

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**PROJETO DE MODERNIZAÇÃO
E MELHORIA DE OPERAÇÕES
AUTOMATIZADAS DE UMA
MÁQUINA DE ENVASE**

Estanislau Jácome Dantas

Brasília, novembro de 2019



**ENGENHARIA
MECATRÔNICA**
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

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

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**PROJETO DE MODERNIZAÇÃO
E MELHORIA DE OPERAÇÕES
AUTOMATIZADAS DE UMA
MÁQUINA DE ENVASE**

Estanislau Jácome Dantas

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

Banca Examinadora

Prof. Guilherme C. de Carvalho, ENM/UnB
Orientador

Eng. Daniel Amaral Ribeiro, Engenheiro Indus-
trial da PS
Co-Orientador

Prof. Jones Yudi M. A. da Silva, ENM/UNB
Avaliador

Prof. Walter de Britto Vidal Filho, ENM/UNB
Avaliador

Brasília, novembro de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

DANTAS, ESTANISLAU JÁCOME

Projeto de modernização e melhoria de operações automatizadas de uma máquina de envase.

[Distrito Federal] 2019.

xi, 120p., 297 mm (FT/UnB, Engenheiro, Controle e Automação, 2019). Trabalho de Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

1. Envasadora

2. Rosqueadora

3. Rotuladora

4. Automação de processos

5. CLP

I. Mecatrônica/FT/UnB

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Dantas, Estanislau Jácome, (2019). Projeto de modernização e melhoria de operações automatizadas de uma máquina de envase. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-*n*°06, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 120p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Estanislau Jácome Dantas

TÍTULO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO: Projeto de modernização e melhoria de operações automatizadas de uma máquina de envase.

GRAU: Engenheiro

ANO: 2019

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.

Estanislau Jácome Dantas

QNL 02 Bloco B apartamento 205.

72155-212 Taguatinga – DF – Brasil.

Dedicatória

Dedico esse trabalho especialmente aos meus pais Antonio e Erivânia, por todo o apoio, carinho, dedicação e confiança que me deram em toda a minha caminhada.

Estanislau Jácome Dantas

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me conceder o dom da vida e me permitir ter forças para continuar nessa caminhada. Agradeço também a toda minha família pelo apoio, acolhimento e atenção dada na minha formação pessoal e profissional, especialmente a minha mãe Erivânia, meu pai Estanislau e minha irmã Ytalla por todos os ensinamentos durante minha vida. Agradeço especialmente ao meu Co-orientador, supervisor de estágio e grande amigo Daniel Amaral Ribeiro pela paciência, atenção e dedicação que tem em exercer sua profissão e me auxiliar nesse trabalho, bem como ao Professor Guilherme Caribé, por toda disponibilidade, atenção e dedicação quando me auxiliou nesse projeto. Agradeço a todos os meus professores de jornada acadêmica por terem sempre buscado ensinar algo que pudesse contribuir na minha formação profissional, bem como aos amigos da empresa Projetando Soluções: Fernando, Aline, Leandro, Damião, Alex e Marconi por todo suporte e confiança durante o desenvolvimento do trabalho. Agradeço em especial à minha namorada Giulia Moreira Dias por me ajudar, entender e acalmar em vários momentos da vida pessoal e profissional. Aos amigos Lucas Silva, Matheus Lima, Gabriel Fernandes, Thúlio Nólten, Kenneth Lui, Leonardo Fonseca, Tiago Gallo, Danielle Almeida, Douglas Maurício, Gabriell Barbedo e muitos outros por todo o suporte e companheirismo durante esses anos no curso de Engenharia. Agradeço por fim a MecaJun, lugar que me concedeu aprendizados especiais e me auxiliou muito na formação profissional com todos os amigos e projetos de Engenharia.

Estanislau Jácome Dantas

RESUMO

O presente trabalho de graduação apresenta a parte dos estudos, o desenvolvimento, as implementações e os testes realizados em uma máquina que consiga realizar o envase, o rosqueamento e a rotulação de garrafas, modificando e aperfeiçoando processos na estrutura original adquirida pela empresa Projetando Soluções, que possuía muitas falhas e limitações em seus sistemas mecânico e de automação, que influenciavam em sua baixa produtividade. As melhorias projetadas visam uma parte estrutural e de controle robusta e segura, que são apresentadas e testadas no escopo deste trabalho, além da automação de ajustes e *setups* para produção, tornando mais prática a vida do operário. Nas implementações realizadas foi possível aprimorar os módulos e verificar as complicações que surgiram em cada um deles quando necessário aumentar a produtividade e em seguida apresentado uma solução para os problemas. Por fim, as modificações desejadas foram implementadas e testadas para verificar se atingiam os resultados propostos. Neste momento, foi possível observar a melhora nos tempos de envase e no rosqueamento de galões de 20 litros, além do aumento da produtividade do maquinário.

Palavras Chave: Envasadora, Tampadora, Rosqueadora, Rotulação, Sistemas Pneumáticos, Integração de Processos, Controle, Automação, Mecatrônica.

ABSTRACT

This graduation project presents the part of the studies for the project, development, implementation and testing of a machine that can perform potting of bottle, pet bottle thread and the labeling of the bottles, modifying and improving processes in the original structure acquired by the company Projetando Soluções, which has several failures and limitations in their mechanic and automation systems, therefore influencing in the low productivity of the production line. The improvements are designed for a robust and safe structural and control part, which are presented and tested in the scope of this work, as well as the automation of adjustments and initial setup for production, making the life of the worker more practical. During the implementations it was possible to improve the modules and check the complications that arose in each one of them when we need to increase the productivity and then presented a solution to the problems. Finally, the desired modifications were implemented and tested to verify that they achieved the proposed results. At this time, it was possible to observe the improvement in the bottle filling times and the threading of 20 liters gallons, besides the increase of the machine productivity.

Keywords: Liquid Filling Machines, Bottle Capping Machines, Bottle Labeling Machine, Pneumatic Systems, Process Integration, Control, Automation, Mechatronics.

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	2
1.3	OBJETIVOS DO PROJETO	3
1.3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4	APRESENTAÇÃO DO MANUSCRITO	4
2	Fundamentação Teórica	5
2.1	INTRODUÇÃO	5
2.2	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	5
2.2.1	RELÉ	5
2.2.2	CONTADORES	6
2.2.3	DISJUNTORES	7
2.2.4	REDES TRIFÁSICAS	7
2.2.5	MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS	7
2.2.6	VARIADORES DE VELOCIDADE - (AC DRIVER)	8
2.2.7	QUADROS DE COMANDO E CONTROLE	9
2.3	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL	11
2.3.1	LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO	11
2.3.2	PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL	14
2.4	INSTRUMENTAÇÃO	17
2.4.1	SENSORES CAPACITIVOS	17
2.4.2	SENSORES INDUTIVOS	18
2.4.3	SENSORES ÓPTICOS	18
2.5	SISTEMAS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS	19
2.5.1	DIAGRAMA TRAJETO-PASSO	19
2.5.2	VÁLVULAS DE CONTROLE DE PRESSÃO	20
2.5.3	VÁLVULAS DE CONTROLE DIRECIONAL	20
2.5.4	ATUADORES PNEUMÁTICOS	21
2.5.5	BOMBA HIDRÁULICA	22
2.6	ANÁLISE ESTRUTURAL	23
2.6.1	ESTRUTURAS E CARGAS	23
2.6.2	MÓDULO DE YOUNG	24

2.6.3	TENSÃO DE ESCOAMENTO	25
2.6.4	CRITÉRIO DE VON MISES	26
3	Apresentação do maquinário	28
3.1	INTRODUÇÃO	28
3.2	ENVASADORA	28
3.2.1	FUNCIONAMENTO.....	29
3.2.2	SISTEMA DE PRESSURIZAÇÃO	32
3.3	UNIDADE ROSQUEADORA DE TAMPAS.....	33
3.3.1	FUNCIONAMENTO.....	35
3.4	UNIDADE DE ROTULAÇÃO	37
3.5	MAPEAMENTOS E TESTES	38
3.5.1	ELÉTRICO	39
3.5.2	PNEUMÁTICO.....	41
3.6	NOVA PROPOSTA	43
3.6.1	PRIMEIRA SOLUÇÃO.....	43
3.6.2	SEGUNDA SOLUÇÃO	45
3.6.3	TERCEIRA SOLUÇÃO	49
4	Desenvolvimento.....	64
4.1	INTRODUÇÃO.....	64
4.2	ENVASADORA	64
4.3	POSICIONADOR DE TAMPAS	69
4.4	ROSQUEADORA	73
4.5	ROTULADORA.....	79
4.6	SISTEMA PNEUMÁTICO	80
4.7	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	83
4.8	QUADRO DE AUTOMAÇÃO	84
5	Resultados.....	87
5.1	INTRODUÇÃO.....	87
5.2	SISTEMA PNEUMÁTICO.....	87
5.3	ENVASADORA	88
5.3.1	GARRAFAS DE 20L.....	89
5.3.2	GARRAFAS DE PEQUENOS VOLUMES	94
5.4	ROSQUEADOR	96
5.4.1	REGULADOR DE ALTURA	96
5.4.2	GARRAFAS DE 20L.....	96
5.4.3	GARRAFAS DE PEQUENOS VOLUMES E DE 5 LITROS.....	98
5.5	ROTULADORA.....	99
6	Conclusões.....	101
6.1	PERSPECTIVAS FUTURAS.....	102

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
Anexos.....	106
II.1 SIMULAÇÃO DE ESFORÇOS NO SOLIDWORKS.....	106
II.2 DIAGRAMA PNEUMÁTICO	112
II.3 IHM.....	113
II.4 DIAGRAMAS ELÉTRICOS.....	116

LISTA DE FIGURAS

1.1	Diagrama sequencial de processos do Maquinário - o número 1 indica presença de esteira transportadora entre as unidades	2
1.2	Esquemático de Disposição das esteiras e processos realizados por cada uma delas...	2
2.1	Componentes básicos de um relé [1]	6
2.2	Simbologia de um contator [3].....	6
2.3	Exemplo de dois modelos de disjuntores [5]	7
2.4	Vista em corte de um motor de indução trifásico	8
2.5	Variador de velocidade [7]	9
2.6	Diagrama de potência (à esquerda) e comando (à direita) para acionamento de motor elétrico trifásico com partida estrela triângulo [8].	10
2.7	Painel de controle com CLP [10].....	10
2.8	Principais blocos da LD em ambiente SPDSW (adaptado de [12]).	12
2.9	Lógica de comando implementada em LD. [7]	13
2.10	Lógica de comando implementada em SFC [10].	13
2.11	Lógica de comando implementada em ST [13].	14
2.12	EtherCAT em um quadro Ethernet padrão (de acordo com IEEE 802.3) [14].....	16
2.13	Diagrama de blocos de um sistema de medição [15].	17
2.14	Funcionamento do sensor capacitivo [17].	18
2.15	Funcionamento do sensor indutivo [16].....	18
2.16	Funcionamento do sensor óptico do tipo difuso [17].	19
2.17	Exemplo de Diagrama Trajeto Passo [11].	20
2.18	Válvula reguladora de fluxo unidirecional [11].	20
2.19	Simbologia de algumas válvulas direcionais pneumáticas [11].....	21
2.20	Atuador pneumático linear de simples ação com retorno por mola [11].	22
2.21	Classificação dos tipos de bomba [11].	22
2.22	Funcionamento da bomba centrífuga.	23
2.23	Exemplo de estudo de cargas e reações que deve ser sempre analisado em um projeto estrutural. Em (a) apresenta-se a estrutura em estudo e em (b) as reações dos apoios e diagramas de força cortante e momento fletor [22].	24
2.24	Tensão de escoamento de um metal , σ_{yo} ; se o metal for deformado até o alongamento ϵB (ao ser descarregado, ponto D) ele exibirá uma deformação plástica permanente ϵA ; uma nova tensão de escoamento, σ_{yi} , aparece para um segundo carregamento [23].....	26

2.25	Análise em estado triplo de tensões.....	27
3.1	Unidade de envase.....	29
3.2	Documento entregue pelo fabricante com os tempos de operação.....	30
3.3	DTP do processo da unidade envasadora.....	31
3.4	Elementos principais do sistema de pressurização para o envase de garrafas.....	32
3.5	Unidade rosqueadora de garrafas de 5 a 20 litros	34
3.6	Itens 3 e 4 que não estavam visíveis na Figura 3.5.....	35
3.7	Unidade rosqueadora de garrafas PET.....	35
3.8	DTP do processo da unidade rosqueadora da esteira 1	37
3.9	Estrutura e principais componentes da unidade rotuladora.	38
3.10	Ligações elétricas do quadro de automação da unidade rosqueadora de embalagens de 20 litros	40
3.11	Mapeamento pneumático representado no software <i>Automation Studio</i>	42
3.12	Desenho CAD da esteira pensada para a primeira solução	44
3.13	Disposição espacial das esteiras para a primeira solução pensada	44
3.14	Disposição espacial da esteira única pensada para a segunda solução	45
3.15	Peças trocadas para teste de adaptação da unidade rosqueadora	46
3.16	Tampadora que serviu de inspiração para o projeto da nova estrutura da nossa rosqueadora [24].....	49
3.17	Esquemático de funcionamento da máquina da Figura 3.16.....	50
3.18	Esquemático de funcionamento da nova estrutura da rosqueadora - sincronização entre motor e eixos	51
3.19	Esquemático de funcionamento da nova estrutura da rosqueadora - rosqueamento ...	51
3.20	Esquemático de funcionamento da nova estrutura da rosqueadora - aproximação ou distanciamento dos eixos a partir da movimentação do motor.....	53
3.21	Solução final em modelo parcial com a rosqueadora posicionada.....	53
3.22	Representação tridimensional da nova estrutura da rosqueadora	54
3.23	Composição do sistema de rotulação a ser implementado.....	55
3.24	Esquemático funcional do sistema de rotulação a ser implementado.	55
3.25	Dimensões de cada unidade na nova esteira. O número 1 em vermelho simboliza uma garrafa de 20L	57
3.26	Modelagem do sistema feita no software Arena - quadro verde corresponde às operações do envase, quadro vermelho à rosqueadora e preto à rotuladora	58
3.27	Resultado de produção total em uma hora de operação do sistema modelado	61
3.28	Tempo médio de operação para 1 garrafa	62
3.29	Tempo médio que cada unidade precisa para operar em um bloco	63
3.30	Resultados obtidos para simulação do modelo no Arena com 10 replicações.....	63
4.1	Nova bomba pressurizadora da unidade de envase.....	65
4.2	Diagrama de conexões hidráulicas do novo sistema de pressurização do envase.....	66
4.3	Tubulações que conectam os tanques de produção com a entrada da bomba pressurizadora.....	66

4.4	Conexões hidráulicas do novo sistema de pressurização do envase.....	67
4.5	Unidade de envase após modificações	68
4.6	Calha que realiza a inserção das tampas nas garrafas junto do alimentador vibratório.	69
4.7	Guias laterais da panela cascata que permitem que as tampas cheguem até o topo da estrutura	70
4.8	Obstáculos internos da panela cascata que permitem o correto posicionamento das tampas.....	70
4.9	Circuito retificador para sinal senoidal [26].	71
4.10	Sinal senoidal retificado [27].	71
4.11	Peça responsável pela inserção das tampas nas garrafas PET	72
4.12	Peça responsável pela inserção das tampas nas garrafas PET - descrição de componentes	72
4.13	Fusos instalados na estrutura do rosqueador	74
4.14	Motor e cilindro pneumático utilizados no rosqueamento de garrafas de 20L.....	75
4.15	Modelagem em software da peça base do novo rosqueador	76
4.16	Estrutura real da rosqueadora.....	76
4.17	Motor utilizado no sistema de rosqueamento das garrafas PET.....	77
4.18	Estrutura do rosqueador completa.	78
4.19	Unidade de rotulação reformulada.	79
4.20	Unidade de rotulação reformulada -segunda parte.	79
4.21	Diagrama pneumático do maquinário após modificações.....	80
4.22	DTP com os dois primeiros atuadores pneumáticos listados.	81
4.23	DTP com os três últimos atuadores pneumáticos listados.	82
4.24	Quadro pneumático.	82
4.25	Controlador Lógico Programável p300 da Lenze [28].	83
4.26	Módulo <i>I/O System</i> 1000 da Lenze [29].	83
4.27	Controlador p300 instalado no maquinário e botão de emergência geral.	84
4.28	Quadro de automação implementado.....	86
5.1	Tempos de movimentação dos atuadores pneumáticos.....	88
5.2	Tempos de envase de acordo com a implementação.....	89
5.3	Béqueres utilizados nos testes de verificação de volume das garrafas.	90
5.4	Gráfico do volume envasado por bico em cada ensaio.	91
5.5	Gráfico de volume envasado por bico de acordo com o volume inicial no tanque de produção.	92
5.6	Tanques de produção	92
5.7	Furos das unidades de retorno nos bicos de envase de garrafas de 20L.....	93
5.8	Imagem em CAD que demonstra os bicos de envase e o alinhamento desejado para os furos de retorno.....	94
5.9	Garrafas sendo envasadas para o teste.	95
5.10	Garrafas após serem envasadas no teste	95
5.11	Tempo de rosqueamento de garrafas de 20L.....	97

5.12	Em A - Ensaio sendo realizado. em B - Resultado de uma tampa bem rosqueada e sem marcações.....	98
5.13	Tampas utilizadas para testar o novo rosqueador	98
5.14	Sensor forquilha para rótulos semelhante ao utilizado no maquinário [32].....	99
1	Peça de suporte da mesa do rosqueador	106
2	Peça de suporte dos eixos e rolamentos da rosqueadora	108
3	Parafuso que posiciona e suporta a peça anterior	110

LISTA DE TABELAS

2.1	Linguagens de programação segundo a norma IEC - 1131-3 [10].	12
3.1	Tempos conferidos para o envase de garrafas de 500ml	47
4.1	Especificações da nova bomba centrífuga da unidade de envase.	65
4.2	Especificações dos sensores fotoelétricos E3FA-TP11 [25].	68
4.3	Especificações do servo motor utilizado para posicionamento do rosqueador.	74
4.4	Especificações do motor utilizado para rosquear garrafas de 20L.	75
4.5	Especificações do motor utilizado para alimentar o sistema de rosqueamento das garrafas PET	77
4.6	Especificações da correia utilizada para o rosqueamento das garrafas	78
4.7	Especificações da correia utilizada para o rotulador das garrafas	80
5.1	Tempos de operação dos atuadores após mudanças implementadas	88
5.2	Tempos de envase de embalagens de 20L com mangueira de 1 polegada.	89
5.3	Tempos de envase de embalagens de 20L	90
5.4	Análise financeira dos excessos liberados pelos bicos	94
5.5	Tempos de rosqueamento de embalagens de 20L	97

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

A	Ampère	[W/V]
cv	Cavalo-vapor	[J/s]
F	Força	[N]
Hz	Hertz	[ciclos/s]
v	Velocidade linear	[m/s]
V	Tensão elétrica	[kg · m ² /(s ³ · A)]

Símbolos Gregos

ω	Frequência	[rad/s]
σ	Tensão de escoamento	[N/m ²]
ϵ	Deslocamento	

Grupos Adimensionais

P	Estado
T	Transição

Siglas

AC	Corrente Alternada
Anvisa	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CLP	Controlador lógico Programável
CPU	<i>Central Process Unit</i>
DC	Corrente Contínua
DMA	<i>Direct Memory Access</i>
ESC	<i>EtherCAT Slave</i>
EtherCAT	<i>Ethernet for Control Automation Technology</i>
FBD	<i>Function block diagram</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Committee</i>
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IHM	Interface Homem Máquina
IL	<i>Instruction list</i>
IP	<i>Internet Protocol address</i>
LD	<i>Ladder diagram</i>
MAC	<i>Ethernet Media Access Controller</i>
NA	Normalmente aberto
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NF	Normalmente fechado
NR	Norma Regulamentadora
PS	Projetando Soluções
PET	Politereftalato de etileno
PVC	Policloreto de vinila
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RPM	Rotações por minuto
SFC	<i>Sequential Function Charts</i>
SPDSW	Sistema para Programação, Documentação e Supervisão em plataformas Windows
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>

Capítulo 1

Introdução

Um dos maiores desafios no setor industrial é o desenvolvimento de sistemas capazes de melhorar a eficiência e a produtividade dos processos em um sistema de produção. Assim, é necessário que se tenha total controle nos níveis de produtividades, qualidade, segurança e padronização de uma linha de produção. Para isso, a engenharia surge como grande aliada para o desenvolvimento e implementação de novas tecnologias que visem otimizar processos devido seu aspecto inovador, criativo, analítico e racional.

É nesse contexto que o profissional de Engenharia de Controle e Automação é inserido, no qual o mesmo deve ser capaz de ter uma visão geral do processo, entendendo detalhadamente cada uma de suas etapas a fim de otimizá-las com a implementação de técnicas de controle de sistemas dinâmicos e discretos, automação de processos, instrumentação industrial, análise de estruturas, programação e criatividade.

É muito importante também que esse profissional tenha um bom entendimento econômico dos processos, pois quando inserido em um contexto de automação industrial, não se leva em conta apenas um aumento de produção ou melhoria de processos, mas da eficiência energética (despesas com energia podem se tornar grandes gastos para uma empresa), normas de segurança para operadores, preservação de ferramentas e aumento de vida útil de equipamentos, ciclos de manutenção, preparo de cenários para possíveis distúrbios ou ruídos externos, entre outros.

Entre os processos citados anteriormente, vários deles serão utilizados para serem aplicados em um maquinário que realize todo o processo de envase de garrafas, visando a otimização de suas operações e maior nível de automação em seus processos. A máquina em que serão desenvolvidos os estudos e implementações será apresentada na próxima seção.

1.1 Contextualização

No ano de 2018, a Projetando Soluções Industriais (PS), uma empresa residida no Distrito Federal que atua na área de desenvolvimento, pesquisa e produção de produtos químicos e biológicos que realizam a neutralização de odores, necessitava melhorar seu processo de envase das

embalagens e para isso, adquiriu uma máquina que deveria realizar o envase de garrafas de tamanhos variados (desde 500 mL até 20L), bem como o posicionamento das tampas, fechamento das garrafas por rosqueamento e por fim, a inserção dos rótulos nas mesmas. O maquinário então adquirido é constituído de 03 (três) esteiras transportadoras e um *buffer* final que recebe as garrafas após o término do processo. A sequência de processos pode ser melhor compreendida conforme a Figura 1.1.

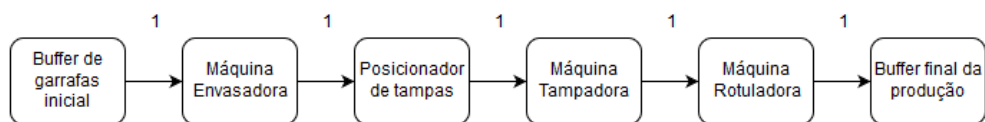


Figura 1.1: Diagrama sequencial de processos do Maquinário - o número 1 indica presença de esteira transportadora entre as unidades

1.2 Definição do problema

Como dito anteriormente, o maquinário é constituído de 3 esteiras transportadoras, uma unidade envase, duas unidades de rosqueamento de tampas, sendo umas delas responsável pelo rosqueamento de garrafas de 5L e 20L e a outra responsável pelo rosqueamento de garrafas pequenas (de 500mL até 2L) de Politereftalato de etileno - PET - e uma unidade de rotulação. A primeira esteira é responsável pelo transporte entre o *buffer* inicial e a unidade de envase que opera com todas as embalagens possíveis. Após esse processo, a mesma esteira direciona as garrafas de 5 ou 20 litros para a unidade de rosqueamento das mesmas, que fica na mesma esteira. Caso as garrafas sejam menores, a primeira esteira utiliza guias laterais para enviar as garrafas menores para a segunda esteira, que possui a unidade tampadora de garrafas PET.

Após esse processo, guias laterais ajudam no transporte das garrafas PET para a terceira esteira, que possui a unidade responsável pela rotulação das garrafas. A disposição das esteiras e as unidades que cada uma possui pode ser vista esquematicamente na Figura 1.2. Nela, as setas indicam a direção de transporte das garrafas. As setas verdes indicam trajetos realizados por todas as embalagens, independente de seus tamanhos. As setas em amarelo indicam as rotas das garrafas PET e as setas vermelhas indicam as rotas das garrafas de 5 e 20 litros.

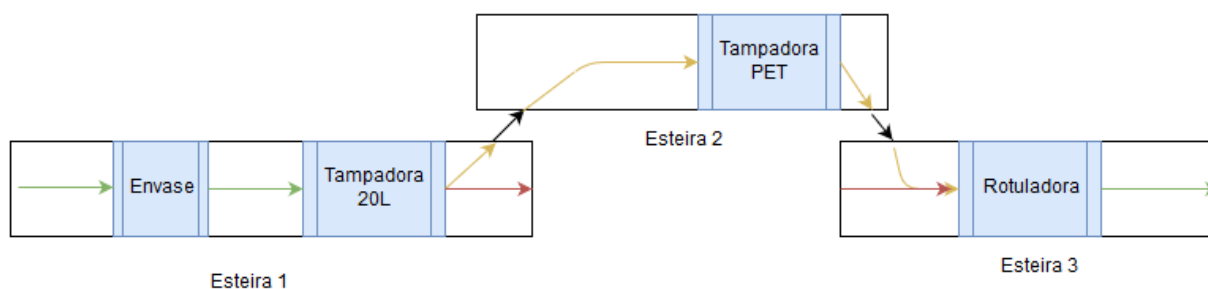


Figura 1.2: Esquemático de Disposição das esteiras e processos realizados por cada uma delas

Como se pode perceber, as garrafas de 5 ou 20 litros não são direcionadas diretamente até a unidade rotuladora. Assim, um funcionário deve sempre carregá-las de uma esteira até a outra, um trabalho cansativo e desgastante. Além disso, pelo esquemático pode-se parecer que não há problemas com o processo para garrafas PET, contudo, o maquinário entregue veio quebrado e nunca realizou o rosqueamento das garrafas PET.

Como o principal atrativo do maquinário quando o mesmo foi comprado foi seu preço baixo, não se pesquisou sobre referências da empresa fornecedora nem sobre seu padrão de qualidade, confiando-se assim, unicamente na palavra do vendedor da empresa fabricante.

Além do fato de entregar uma parte do maquinário inoperante, a tampadora de garrafas PET, outros problemas com outras unidades do maquinário surgiram. Pode-se verificar que na Figura 1.1 existe uma unidade de posicionamento de tampas, mas que não é mostrada na Figura 1.1 pelo fato de nunca ter sido entregue completamente pela empresa fabricante.

Assim, percebe-se que além de adquirir uma máquina incompleta, a mesma é bastante limitada em sua configuração, contendo pouquíssimos sensores que visem automatizar o processo e aumentar a produtividade da mesma. Podem ser citados aqui rapidamente mais alguns dos problemas identificados inicialmente e que serão estudados e tratados no escopo desse trabalho.

- Não foi entregue nenhum manual técnico;
- Produtividade baixa;
- Não existe quadro central de automação;
- O processo não é totalmente automatizado, precisando do acompanhamento e intervenção constante de um operário.

1.3 Objetivos do Projeto

Visando aproximar o projeto do maquinário adquirido de maquinários industriais consolidados, serão projetadas melhorias nos processos do maquinário atual para automatizar o maior número de tarefas possíveis, aumentando a produtividade, garantindo maior segurança no processo e menor interferência de funcionários. Para isso, será necessário adaptar e trocar sensores e atuadores do sistema, modificar a estrutura dos transportadores e de algumas unidades utilizadas até então.

1.3.1 Objetivos específicos

- Mapeamento elétrico da planta de automação atual a fim de entender os parâmetros utilizados no processo, além do processo em si;
- Avaliação da capacidade dos atuais CLP's (Weg click 02 e EATON easy) para a execução das atividades atuais e possíveis atividades novas e realização de estudo de viabilidade para substituição por um CLP mais robusto (se necessário);

- Desenvolvimento de um sistema para posicionamento de tampas e inserção das mesmas nas garrafas para posterior processo de rosqueamento das embalagens;
- Desenvolvimento de uma nova estrutura de esteiras para ligar as unidades de produção (ligando a unidade de envase à unidade de rotulagem);
- Projeto e montagem de quadro de automação separado e isolado do maquinário e organizar o cabeamento e o quadro elétrico para facilitar a utilização e entendimento futuro;
- Desenvolvimento de sistema de supervisão que permita aos operadores verificar o estado atual de produção e entrar com parâmetros iniciais para as operações;
- Montagem e integração das novas estruturas;
- Modelagem do processo e programação dos controladores.
- Testar e avaliar os principais problemas que surgirem com a integração do sistema, realizando os testes de comissionamento necessários.

1.4 Apresentação do manuscrito

No capítulo 2, parte da fundamentação teórica necessária para a realização deste trabalho é apresentada. Em seguida, no capítulo 3, são apresentadas todas as estruturas e sistemas em estado inicial do maquinário que será reestruturado. No capítulo 4, serão apresentadas as ideias e as soluções projetadas para a modernização do maquinário. No capítulo 5 são expostos os resultados obtidos após as implementações projetadas no capítulo 4, tendo por fim uma conclusão das atividades realizadas no presente trabalho.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Introdução

O maquinário desenvolvido neste trabalho utiliza diversos componentes elétricos, mecânicos e pneumáticos que são estudados 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 a parte elétrica em geral, de controladores lógicos programáveis, instrumentação e sistemas de medição, sistemas hidráulicos e pneumáticos além de análise de estruturas utilizados para a implementação deste trabalho.

2.2 Instalações Elétricas

Dentro dos estudos e desenvolvimentos desse projeto, alguns componentes elétricos são utilizados e serão brevemente apresentados nesse momento.

2.2.1 Relé

Segundo [1], os relés basicamente são dispositivos elétricos que tem como função produzir modificações súbitas, porém predeterminadas, em um ou mais circuitos elétricos de saída. O relé tem um circuito de comando, que no momento em que é alimentado por uma corrente, aciona um eletroímã que faz a mudança de posição de outro par de contadores, que estão ligados a um circuito ou comando secundário.

Pode-se dizer que todo relé se configura como um contato que abre e fecha de acordo com algum determinado fator ou configuração. Assim como o contator, o relé é um componente eletromecânico, ou seja, ele conta com uma parte mecânica de contato e o acionamento ocorre através da corrente elétrica em uma bobina.

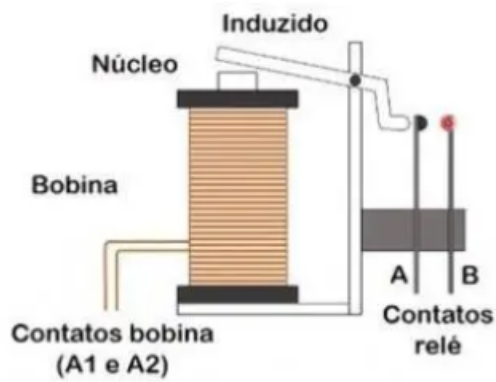


Figura 2.1: Componentes básicos de um relé [1]

Conforme se pode observar na Figura 2.1, a parte principal é a bobina de cobre que está envolvendo um núcleo de ferrite, uma espécie de eletroímã. No momento em que se aciona a bobina, o núcleo irá atrair o induzido que ao mesmo tempo que se desloca em direção a bobina, também irá empurrar o contato A do relé na direção do contato B, fechando este contato.

2.2.2 Contatores

Também conhecidos como contatoras são, de acordo com [2], 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 2.2 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 2.2 a contatora possui um contato auxiliar normalmente aberto.

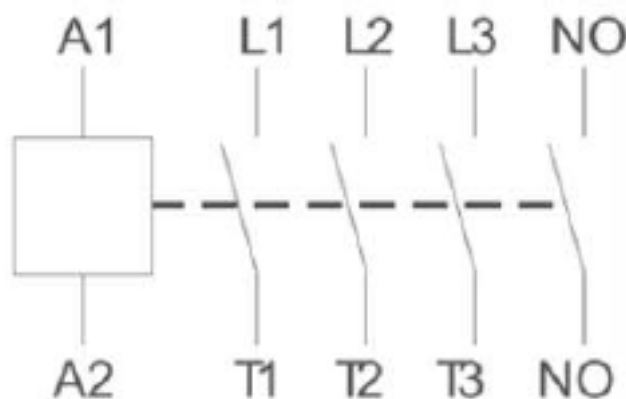


Figura 2.2: Simbologia de um contator [3].

2.2.3 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 [2].

O disjuntor, apresentado na Figura 2.3, 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 [4].

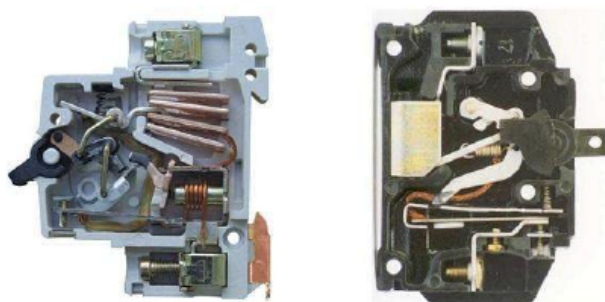


Figura 2.3: Exemplo de dois modelos de disjuntores [5]

2.2.4 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 se encontram 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 [2].

2.2.5 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 2.4, 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"[6].

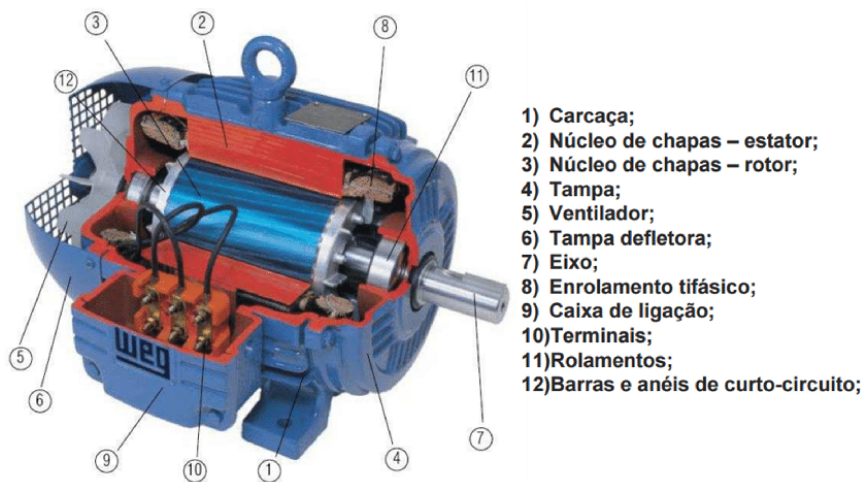


Figura 2.4: Vista em corte de um motor de indução trifásico

2.2.6 Variadores de velocidade - (AC Driver)

Variadores de velocidade são equipamentos com um circuito inversor de frequência. Variadores são um tipo de controlador que tem a função de acionar um motor elétrico e ao mesmo tempo variar a frequência e a tensão que é fornecida ao motor com o objetivo de controlar a sua velocidade e potência consumida.

Em motores elétricos de indução ou corrente alternada, a frequência (medida em Hertz) está diretamente relacionada às Rotações Por Minuto (RPM) de um motor. Em outras palavras, quanto maior a frequência, mais RPM ou maior a velocidade de rotação do motor. No Brasil, as concessionárias de energia elétrica fornecem energia alternada com uma frequência de 60 Hz e por outro lado, a maior parte dos motores elétricos encontrados nas indústrias e que consomem esta energia possuem rotação nominal de 3600 RPM. No entanto, se uma aplicação qualquer não requerer um motor elétrico funcionando na velocidade cheia de 3600 RPM, o que é muito comum, pode-se utilizar um variador de velocidade. Nesse caso, ele poderá ser configurado para gerar uma rampa de descida, reduzindo a frequência e a tensão para que o motor opere conforme os requisitos da carga (velocidade e tensão desejada) [7]. Um exemplo de variador de velocidade está apresentado na Figura 2.5.



Figura 2.5: Variador de velocidade [7]

Uma característica importante do variador de velocidade é que à medida que os requisitos de velocidade do motor em uma determinada aplicação mudam, o inversor de frequência pode simplesmente subir ou descer a velocidade do motor a fim de atender as novas exigências de operação. O uso de um inversor de frequência ajuda a diminuir os custos com energia, aumenta a vida útil dos motores e reduz as manutenções além de ajudar a aumentar a produtividade de certos processos.

2.2.7 Quadros de comando e controle

Um quadro de comando (ou também chamado de painel de comando) é na verdade um conjunto de componentes elétricos com a finalidade de acionar uma determinada máquina elétrica e que normalmente compõe um sistema mais complexo, como um torno mecânico ou uma fresa automatizada.

Geralmente, para montar um quadro é necessário pelo menos um dos tipos de diagramas, o de carga e o de comando, que corresponde a energização das cargas e seus acionamentos respectivamente, conforme o exemplo da Figura 2.6. Em um painel de comando encontram-se normalmente dois conjuntos de interligações de cabos elétricos, os de comandos e os de potência. Pode-se dizer que os cabos de comandos são os responsáveis (junto com os componentes) por determinar a lógica de funcionamento da máquina elétrica a ser acionada. Os cabos que compõe o circuito de potência são responsáveis, junto aos componentes, por conduzir as fases de alimentação da máquina que será controlada/acionada.

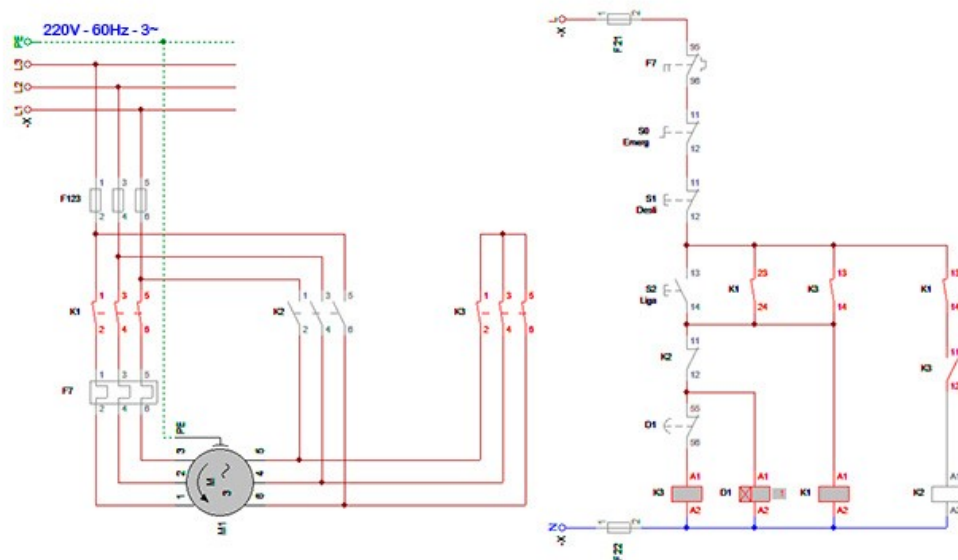


Figura 2.6: Diagrama de potência (à esquerda) e comando (à direita) para acionamento de motor elétrico trifásico com partida estrela triângulo [8].

Um quadro de comando e controle pode conter relés e contadoras quando feita automação a relés, ou pode conter dispositivos de controle digital, como CLPs e placas PWM. Na maioria dos casos, os painéis são mistos. A Figura 2.7 ilustra um painel de comando e controle. Devido à possibilidade de interferência nos sinais de controle, recomenda-se que os dispositivos de potência não sejam instalados em um painel de comando [9].

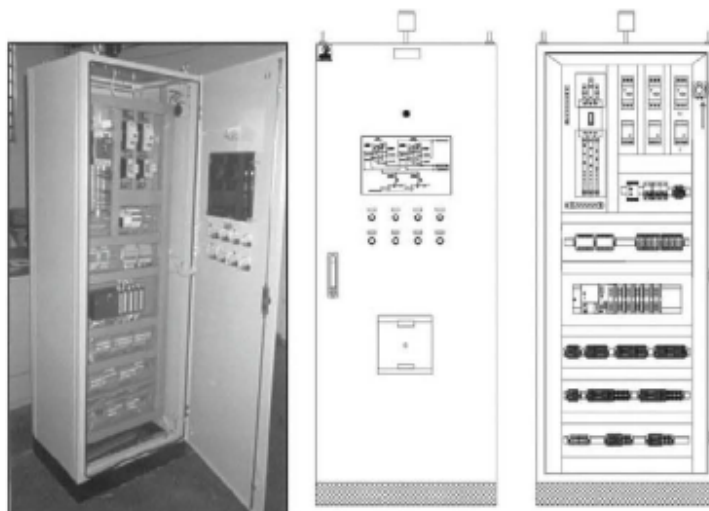


Figura 2.7: Painel de controle com CLP [10].

2.3 Controlador Lógico Programável

Os CLPs, do inglês PLC's (*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"[11].

Os primeiros modelos de CLP surgiram no final da década de 1960, fazendo sucesso quase imediato. Tal sucesso é devido ao fato desses equipamentos serem mais confiáveis que os sistemas baseados em relés, principalmente devido aos seus componentes de estado sólido possuírem maior robustez quando comparados com as peças móveis dos relés eletromecânicos.

Caso uma indústria desejasse realizar melhorias no seu sistema atual, era necessário que a linha de produção fosse paralisada por vários dias, acarretando prejuízo financeiro. Caso o sistema necessitasse de manutenção, as grandes dimensões do sistema e a quantidade elevada de fios dificultavam o conserto. Caso fosse necessário aprimorar o sistema, a planta de produção também era paralisada. Assim, em 1969 surgiu o controlador lógico programável, com base em uma especificação da General Motors, levando em conta os problemas citados anteriormente. O CLP permitiu que sistemas de automação reduzissem em tamanho físico, garantindo robustez na operação e simplicidade na implementação, pois não era mais necessário modificar um quadro inteiro de relés para aprimorar o sistema, apenas desenvolver um novo programa e carregá-lo no CLP [9].

Na década de 70, os CLPs passaram a ter microprocessadores, permitindo a implementação de funções mais complexas, por exemplo funções trigonométricas e funções de controle de processos, além de permitir a comunicação em rede com computadores e outros controladores [10]. 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 como ocupam menos espaço que os componentes de controle anteriormente utilizados (contatores, temporizadores, etc.), garantiram o seu espaço no contexto industrial.

2.3.1 Linguagens de programação

As linguagens de programação estabelecem regras para combinar as instruções de forma que gerem as ações desejadas. Existem várias linguagens de programação que podem ser utilizadas em CLPs. Em 1993, o *International Electrotechnical Committee* (IEC) publicou a norma IEC 1131-3, que normaliza o projeto de programas, e define as linguagens a serem usadas por um CLP. Segundo a norma IEC 1131-3, as linguagens padrão são seis: Tabela de decisão, *instruction list* (IL), *structured text*, *ladder diagram* (LD), *function block diagram* (FBD) e *sequential function charts* (SFC). A Tabela 2.1 classifica as linguagens citadas em três classes.

Tabela 2.1: Linguagens de programação segundo a norma IEC - 1131-3 [10].

Classes	Linguagens
Tabulares	Tabela de decisão
Textuais	IL (Instruction List), ST (Structured Text)
Gráficas	FBD (Function Block Diagram), SFC (Sequential Function Chart) e LD (Ladder Diagram)

2.3.1.1 LD - Ladder Diagram

A linguagem LD foi desenvolvida com base nos diagramas de relés e contatos utilizados para desenvolver projetos de automação a relés, com o objetivo de facilitar e difundir o uso do CLP. Como os profissionais já possuíam esse *know-how*, o LD foi amplamente aceito e utilizado até os dias atuais. A Figura 2.8 mostra a representação e descrição de alguns dos principais blocos da programação em LD. A Figura 2.9 mostra um exemplo de programa desenvolvido em LD.





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 2.8: Principais blocos da LD em ambiente SPDSW (adaptado de [12]).

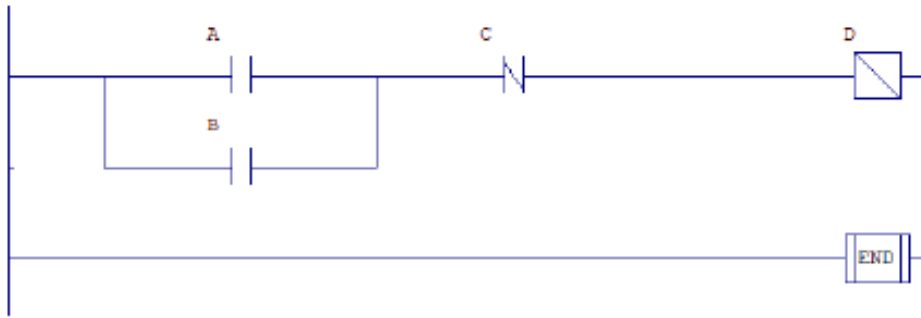


Figura 2.9: Lógica de comando implementada em LD. [7]

2.3.1.2 SFC - Sequential Function Charts

O SFC é uma linguagem que representa as etapas do programa de forma sequencial, semelhante a uma rede de Petri, com posições e transições, como se pode visualizar na Figura 2.10. Do estado inicial P_1 é possível que o sistema vá para os estados P_2 e P_3 . O que determina qual o próximo estado é qual transição será disparada primeiro, T_1 ou T_2 . Cada estado P terá um conjunto de ações que serão executadas quando o programa chegar a esse estado [9].

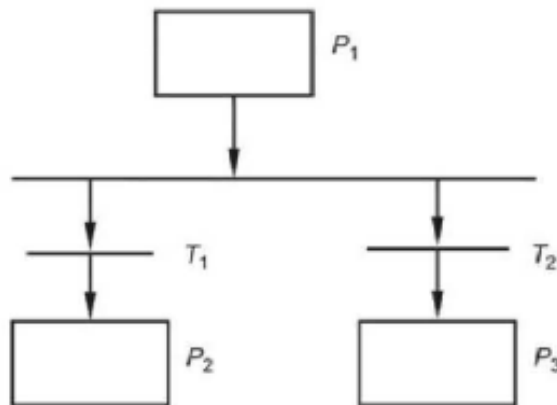


Figura 2.10: Lógica de comando implementada em SFC [10].

2.3.1.3 ST - Structured text

Texto estruturado é uma linguagem de programação para CLP's definida pela PLCOpen na norma IEC 61131-3. Por ser uma linguagem textual e de alto nível, possibilita a solução de problemas mais complexos, usando comandos básicos da programação como laços de repetição e condicionais. Assemelha-se com Pascal e Basic [10]. O ST é utilizado atribuindo novos valores às variáveis do lado direito e não possui ordem de execução. A Figura 2.11 ilustra um programa em ST.

```

IF Posicao = 10 THEN
    Velocidade := 0 ;
    DesligaMotor := TRUE ;
ELSE IF Posicao = 20
    Velocidade := 50 ;
    DesligaMotor := FALSE ;
ELSE
    Velocidade := 100 ;
    DesligaMotor := TRUE ;
END_IF

```

Figura 2.11: Lógica de comando implementada em ST [13].

2.3.2 Protocolos de comunicação industrial

Dentro de um ambiente industrial, alguns equipamentos específicos são utilizados, como os CLPs. Para que esses controladores possam se comunicar com dispositivos de automação do sistema, é necessário que exista um padrão de comunicação entre o controlador e os periféricos. Para isso, existem os protocolos de comunicação, que é uma convenção que visa controlar e possibilitar uma conexão, comunicação e transferência de dados entre dois ou mais sistemas computacionais em rede. Em um contexto industrial, tratam-se de protocolos de comunicação industriais, que além de estabelecerem o padrão de comunicação entre os elementos conectados do sistema, eles devem garantir segurança na troca de mensagens (alta confiabilidade) e uma alta velocidade de comunicação.

A complexidade dos projetos de automação industrial somente cresce. Assim, a quantidade de dados que trafegam em um canal de dados é cada vez maior. Por outro lado, as aplicações que exigem troca de informação ou registro de informações em bancos de dados, sistemas de gerenciamento e supervisão, bem como a integração com outros agentes na rede, como impressoras, servidores, aplicações de negócios, também crescem.

2.3.2.1 EtherCAT

A tendência de protocolos industriais utilizando como base a Ethernet é uma realidade cada vez mais presente nas indústrias. Buscam oferecer uma gama de vantagens importantes para a automação industrial, entre elas, a conectividade para a camada de negócios e a velocidade de comunicação.

O EtherCAT (*Ethernet for Control Automation Technology*) é uma Rede Industrial preparada para este panorama, pois é um sistema Ethernet em tempo real para a automação industrial, que se destaca entre outros devido a sua topologia flexível e o manuseio fácil. Tem como principais características as definições de trocas de informações na rede que proporcionam grande ganho de velocidade de comunicação, uso mínimo de dados e baixo custo para implementação.

Destaca-se entre as principais características do EtherCAT:

- Empacotamento de dados – A tecnologia EtherCAT difere da interpretação de pacotes de dados da própria Ethernet, pois, ao contrário de interpretar pacote a pacote, ela interpreta os frames Ethernet sem parar, assim, um frame é comunicado em toda a rede em nanoegundos. Cada agente de rede captura no frame somente os dados que estão atribuídos a ele e isso acontece com todos os agentes da rede. Se um frame é perdido, outro será enviado logo em seguida com a informação, até que o agente correspondente responda o recebimento do pacote na rede;
- Conexões de rede – As conexões de rede não são feitas por agentes dedicados como são vistos em Redes Industriais tradicionais. Switches CAT6 (simplificam a conexão, baixando custos e tornando sua manutenção mais rápida;) trafegam os dados entre a rede de agentes (I/O Remotos, componentes inteligentes e outros periféricos) e a porta EtherCAT do controlador (CLP e outros), simplificando as conexões de rede;
- Configuração de endereços – Os endereços de rede também são atribuídos de forma muito simples, como em uma Rede TCP/IP. Não existe necessidade de configuração manual, todos os agentes podem ser configurados pelas ferramentas de configuração online. Desta forma, não existe limitação de endereços de rede e a organização destes endereços não limitam a conexão de novos agentes ou causam conflitos de comunicação;
- Tamanho de rede ilimitado – A Rede EtherCAT pode ter o tamanho necessário da aplicação, sem restrições. É claro que a estratégia de conexão e troca de dados é muito importante, pois são comandos em um ambiente industrial, mas ter a possibilidade de criar uma rede do tamanho da aplicação exigida é um fator diferencial desta Rede Industrial;
- Velocidade otimizada – A otimização dos pacotes de dados que trafegam na rede trazem uma nova definição de velocidade de rede. Esta questão é fundamental para atender a severidade de troca de dados de um ambiente industrial.
- Topologias - Linha, árvore, estrela ou cadeia, o EtherCAT suporta quase todas as topologias. O EtherCAT possibilita uma topologia pura de barramento ou linha com centenas de nós, sem as limitações que normalmente surgem de switches ou hubs em cascata.

Em seu princípio funcional, o EtherCAT utiliza uma topologia de mestre-escravo. O mestre EtherCAT envia um quadro que passa por cada nó. Cada dispositivo escravo EtherCAT lê os dados endereçados a ele e insere seus dados no quadro enquanto o mesmo está se movendo pelos módulos. O quadro é atrasado apenas pelos tempos de atraso de propagação de hardware. O último nó em um segmento (ou linha suspensa) detecta uma porta aberta e envia a mensagem de volta ao mestre usando o recurso full duplex da tecnologia Ethernet. O mestre EtherCAT é o único nó dentro de um segmento que pode enviar ativamente um quadro EtherCAT. Todos os outros nós simplesmente encaminham quadros a jusante. Esse conceito evita atrasos imprevisíveis e garante recursos em tempo real [14].

O mestre usa um *Ethernet Media Access Controller* (MAC) padrão sem um processador de comunicação adicional. Isso permite que um mestre seja implementado em qualquer plataforma de hardware com uma porta Ethernet disponível, independentemente de qual sistema operacional ou software de aplicativo em tempo real seja usado. Os dispositivos EtherCAT escravos usam um controlador *EtherCAT Slave* (ESC) para processar quadros em tempo real e totalmente em hardware, tornando o desempenho da rede previsível e independente da implementação individual do dispositivo escravo. O EtherCAT incorpora sua carga útil em um quadro Ethernet padrão, conforme a Figura 2.12. O quadro é identificado com o identificador (0x88A4) no campo EtherType [14].

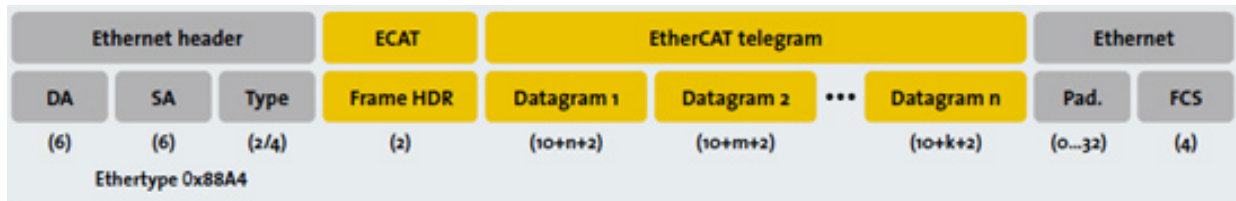


Figura 2.12: EtherCAT em um quadro Ethernet padrão (de acordo com IEEE 802.3) [14].

Durante a inicialização, o dispositivo mestre configura e mapeia os dados do processo nos dispositivos escravos. Diferentes quantidades de dados podem ser trocadas com cada escravo, de um bit a alguns bytes ou até kilobytes de dados.

O quadro EtherCAT contém um ou mais datagramas. O cabeçalho do datagrama indica que tipo de acesso o dispositivo mestre gostaria de executar: ler, escrever ou ler e escrever. Esse protocolo permite ainda o acesso a um dispositivo escravo específico por meio de endereçamento direto ou acesso a vários dispositivos escravos por meio de endereçamento lógico (endereçamento implícito).

O endereçamento lógico é usado para a troca cíclica de dados do processo. Cada quadro endereça uma parte específica da imagem do processo no segmento EtherCAT, para a qual 4 GBytes de espaço de endereço estão disponíveis. Durante a inicialização da rede, cada dispositivo escravo recebe um ou mais endereços nesse espaço de endereço global. Se vários dispositivos escravos tiverem endereços atribuídos na mesma área, todos eles poderão ser endereçados com um único datagrama. Como os quadros contêm completamente todas as informações relacionadas ao acesso a dados, o dispositivo mestre pode decidir quando e quais dados acessar. Por exemplo, o dispositivo mestre pode usar tempos de ciclo curtos para atualizar os dados nas unidades, enquanto usa um tempo de ciclo mais longo para testar entradas e saídas. Uma estrutura de dados do processo fixo não é necessária. Isso também alivia o dispositivo mestre em comparação com os sistemas de barramento de campo convencionais, nos quais os dados de cada nó precisavam ser lidos individualmente, classificados com a ajuda do controlador de processo e copiados na memória [14].

Com o EtherCAT, o dispositivo mestre precisa preencher apenas um único quadro EtherCAT com novos dados de saída e enviá-lo via DMA (*Direct Memory Access*) automático para o controlador MAC. Quando um quadro com novos dados de entrada é recebido via controlador MAC,

o dispositivo mestre pode copiar o quadro novamente via DMA na memória do computador - tudo sem que a CPU precise copiar ativamente quaisquer dados. Além dos dados cíclicos, outros datagramas podem ser usados para comunicação assíncrona ou orientada a eventos.

2.4 Instrumentação

Um sistema de medição é composto por vários tipos de subsistemas, onde podem-se destacar 4 tipos principais, mostrados na Figura 2.13.

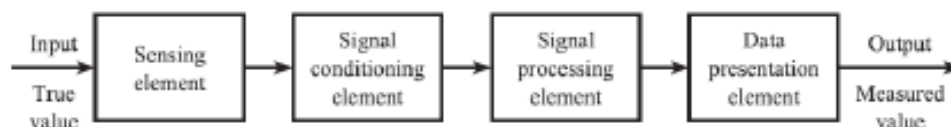


Figura 2.13: Diagrama de blocos de um sistema de medição [15].

O elemento sensor é o dispositivo que está imerso no processo, que gera um sinal de amplitude relacionada com a grandeza medida do estado atual do processo. Tal sinal, na maioria dos casos, gera variação de tensão ou corrente elétrica. O elemento condicionador de sinal é responsável por manipular o dado oriundo do sensor para um formato que torne possível o processamento. Um exemplo é amplificar o sinal de tensão em mV oriundo de um termopar em um dado em V. A presença do elemento condicionador é relacionado ao sensor e capacidade de processamento, o que pode tornar sua presença desnecessária em determinadas situações. O elemento de processamento é responsável por transformar o dado para um formato que seja possível apresentar e interpretar seu significado. Um exemplo de processamento é adquirir dados de pressão de uma caldeira e gerar um gráfico da pressão no tempo. O elemento de apresentação é responsável por expor os dados para o usuário. Por exemplo, uma tela de computador, um *display* de 7 segmentos ou um *display* 16x9 [9].

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 [16]. Esse funcionamento está ilustrado na Figura 2.14. 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.

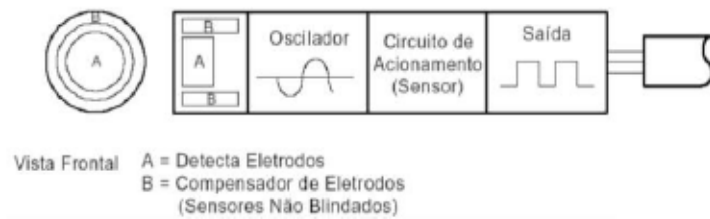


Figura 2.14: Funcionamento do sensor capacitivo [17].

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 [16]. Esse funcionamento está ilustrado na Figura 2.15.

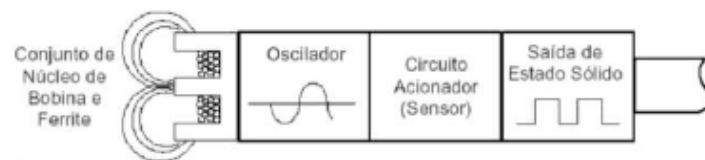


Figura 2.15: Funcionamento do sensor indutivo [16].

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 [18], "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 2.16 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.

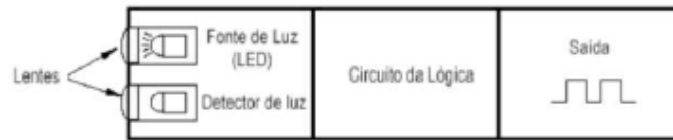


Figura 2.16: Funcionamento do sensor óptico do tipo difuso [17].

2.5 Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

Os sistemas pneumáticos são elementos que transmitem energia a partir da pressão de um fluido gasoso como, por exemplo, o ar comprimido. Segundo FIALHO [11]. "Comparativamente à hidráulica, a pneumática é sem dúvida o elemento mais simples, de maior rendimento e de menor custo que pode ser utilizado na solução de muitos problemas de automatização. Fato este devido a uma série de características próprias de seu fluido de utilização, que no caso é o ar."

Ainda tendo como base [11], os sistemas pneumáticos, por trabalharem com o ar, fornecem as seguintes vantagens: quantidade abundante de fluido (o ar), transporte sem unidade de retorno, segurança, facilidade de manutenção e velocidade de operação. Contudo, deve-se ficar atento a sua principal desvantagem: limite de força/pressão para operação, tendo o limite de operação na faixa de 17 bar.

2.5.1 Diagrama Trajeto-passo

O diagrama trajeto-passo é uma ferramenta muito utilizada no contexto pneumático para ilustrar o acionamento de atuadores em função dos eventos realizados no processo. O DTP, de acordo com [19], "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 observado na Figura 2.17. 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.

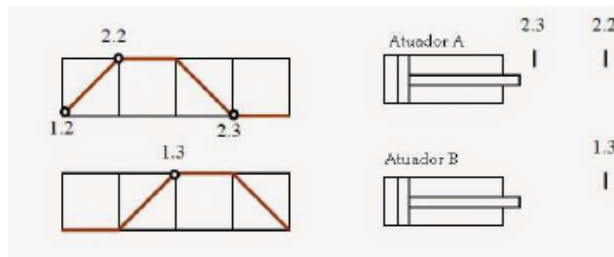


Figura 2.17: Exemplo de Diagrama Trajeto Passo [11].

2.5.2 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 2.18 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 [7].

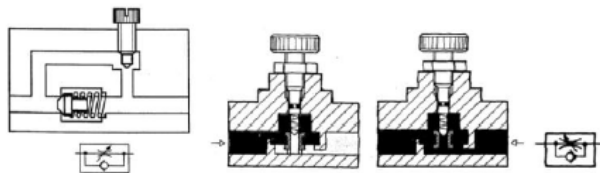


Figura 2.18: Válvula reguladora de fluxo unidirecional [11].

2.5.3 Válvulas de controle direcional

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 2.19. O acionamento pode ser mecânico, elétrico, pneumático ou uma combinação desses tipos [7].



Figura 2.19: Simbologia de algumas válvulas direcionais pneumáticas [11].

2.5.4 Atuadores Pneumáticos

Atuador Pneumático é um dispositivo que converte a energia armazenada no ar comprimido (energia pneumática) em movimento mecânico. Geralmente consistem de um cilindro ou câmara em que o ar atmosférico, ou um gás pressurizado ou a mistura de ambos, é contido e deixado expandir. À medida que o gás se expande, a diferença de pressão entre o interior da câmara e a pressão atmosférica natural faz com que o gás acumule energia. O gás é então liberado do interior da câmara de maneira controlada, de modo que seja direcionado para um pistão, engrenagem ou algum outro dispositivo mecânico. O pistão é então usado para realizar o trabalho real a ser feito. Dependendo de como o gás é direcionado para o pistão e como o atuador é projetado, o pistão pode ser conduzido em linha reta (movimento linear) ou em círculo (movimento rotativo) ou oscilante (movimento limitado por um determinado número de graus) [20].

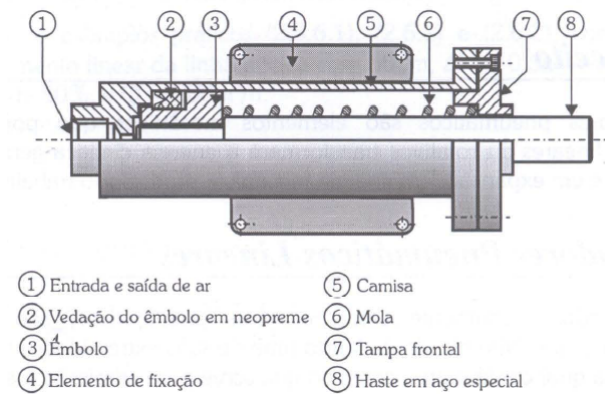


Figura 2.20: Atuador pneumático linear de simples ação com retorno por mola [11].

2.5.5 Bomba hidráulica

As bombas hidráulicas, como as representadas pela Figura 2.21, são equipamentos 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 [7].

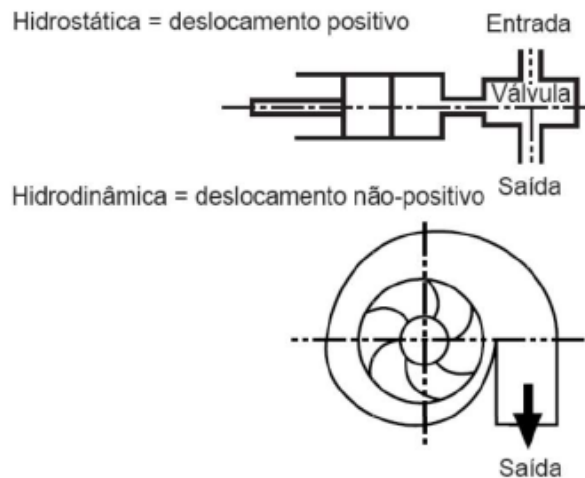


Figura 2.21: Classificação dos tipos de bomba [11].

As bombas de deslocamento positivo, ou volumétricas, fornecem uma determinada quantidade de fluido a cada rotação. Essa movimentação de fluido, de acordo com [11], "é causada diretamente pela ação do órgão de impulsão da bomba que obriga o fluido 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 fluido, segundo

[11], "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", como se observa na Figura 2.22. Uma de suas vantagens é possuir uma pressão uniforme, sem pulsações, sendo importante para a constância necessária em algumas finalidades.

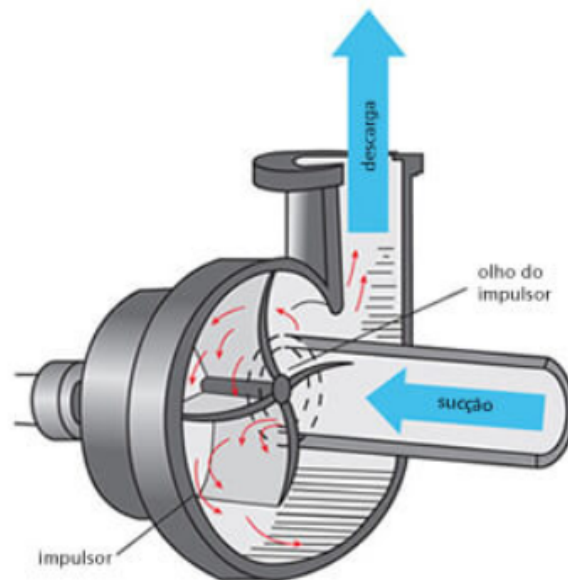


Figura 2.22: Funcionamento da bomba centrífuga.

2.6 Análise estrutural

A análise estrutural é a determinação dos efeitos de cargas sobre estruturas físicas e seus componentes. Segundo Hibbeler [21], "Para projetar um membro estrutural ou mecânico, é preciso conhecer a carga atuando dentro do membro, a fim de garantir que o material possa resistir a essa carga". Logo, as estruturas submetidas a este tipo de análise incluem todas aquelas que devem resistir a cargas, a fim de calcular a deformação da estrutura, bem como as forças internas, tensão, reações de apoio, acelerações e estabilidade. Os resultados da análise são usados para verificar a aptidão de uma estrutura para seu uso, frequentemente sem ser necessário realizar testes físicos.

2.6.1 Estruturas e cargas

Uma estrutura é um corpo ou sistema de partes conectadas utilizada para suportar uma carga. Para o projeto é fundamental reconhecer os diferentes tipos de elementos compondo uma estrutura e ser capaz de classificar estruturas quanto à sua forma e função. Estando os requisitos dimensionais para uma estrutura definidos, torna-se necessário determinar as cargas que a estrutura deve suportar. A fim de projetar uma estrutura é, portanto, necessário primeiramente especificar as cargas que atuam sobre ela. As cargas devem ser consideradas desde as internas, como os pesos

dos vários membros estruturais e possíveis reações, assim como as externas, que são cargas que podem ser aplicadas sobre a estrutura.

Assim, nesse momento, é importante que seja feita toda a modelagem da estrutura a fim de parametrizar e verificar onde as cargas atuam, quais reações elas geram, como torques ou binários de momentos, quais os esforços e tensões, como de cisalhamento, flexão entre outras, como se observa na Figura 2.23.

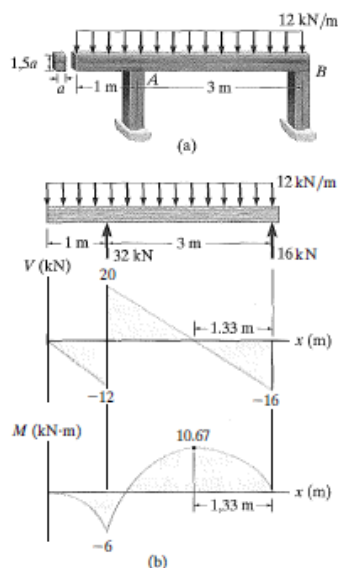


Figura 2.23: Exemplo de estudo de cargas e reações que deve ser sempre analisado em um projeto estrutural. Em (a) apresenta-se a estrutura em estudo e em (b) as reações dos apoios e diagramas de força cortante e momento fletor [22].

2.6.2 Módulo de Young

Uma barra de material qualquer, com um comprimento l_o e área da seção transversal A_o , pode sofrer alguma deformação, como se fosse uma mola que contrai ou se abre ao receber um estímulo. Assim, aplicando-se uma força, a barra pode se esticar ou comprimir, conforme a direção da força. Comparando a uma mola, segundo a lei de Hooke

$$F = k \cdot x \tag{2.1}$$

onde x é o comprimento da mola, F é a força aplicada e k é a constante de proporcionalidade adequada (constante de Hooke), característica da mola e do material. Para uma barra, normalizando-se a força em relação à área, e o alongamento em relação ao comprimento inicial, pode-se rescrever a equação mostrada como:

$$\frac{F}{A_0} = E \left(\frac{l-l_0}{l_0} \right) \quad (2.2)$$

ou, usando-se a simbologia padrão da engenharia:

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (2.3)$$

onde σ é a tensão e ϵ é o alongamento relativo ou, simplesmente, deformação. A nova constante de proporcionalidade, E , é chamada de módulo de elasticidade, ou de Young. O módulo de Young tem origem na energia de ligação entre os átomos do material e divide os materiais em aproximadamente duas classes: os flexíveis e os rígidos. Um material com um elevado valor do módulo de young é um material rígido.

A rigidez de um componente mecânico diz respeito ao quanto ele pode defletir sob uma determinada carga. Ela depende não só do valor do módulo de Young, mas também de como são as solicitações mecânicas sobre ele: tensão de tração, compressão, dobramento, da forma e do tamanho do componente. Uma chapa sob compressão, por exemplo, se dobrará ao ser submetida a um carregamento de compressão. A mesma chapa, de outro material, de maior módulo de Young, se defletirá menos. Dobrada, já apresentará uma rigidez maior. Se transformada em um tubo, será capaz de suportar uma carga muito maior que aquela original, aplicada sobre a chapa, sem apresentar uma modificação apreciável na sua forma.

2.6.3 Tensão de Escoamento

Segundo [23], "Todos os materiais se rompem quando submetidos a um carregamento no qual a tensão seja maior que a da sua resistência mecânica. Contudo, o comportamento ao longo desse processo pode classificá-los em dois grupos: os frágeis – que fraturam sem ‘ceder’ – e os dúcteis – que ‘cedem’ nitidamente antes de fraturar. A maioria dos materiais metálicos, ao ser submetida a uma tensão de tração crescente, se comporta dentro do grupo dos que ‘cedem’ antes de romper. Neste caso, antes de ser atingida a tensão que caracteriza a resistência mecânica do material, a relação entre a força aplicada e o alongamento desvia-se da linearidade elástica na tensão de escoamento σ_{yo} , conforme Figura 2.24. Para estes materiais, a partir deste ponto em diante, passa a acontecer o processo que se denomina deformação plástica do metal.

Contudo, se a carga de tração aumentar muito, quando se atinge a tensão da resistência mecânica (tensão máxima) a situação torna-se incontrolável, com a formação de uma zona de deformação acentuada, denominada pescoço, onde a seção da peça diminui de forma visível, renunciando a ruptura iminente. Assim, um ponto importante a distinguir o comportamento dos materiais frágeis e dúcteis é a energia específica ‘consumida’ na fratura do material – proporcional à área sob a curva tensão versus alongamento, propriedade denominada tenacidade.

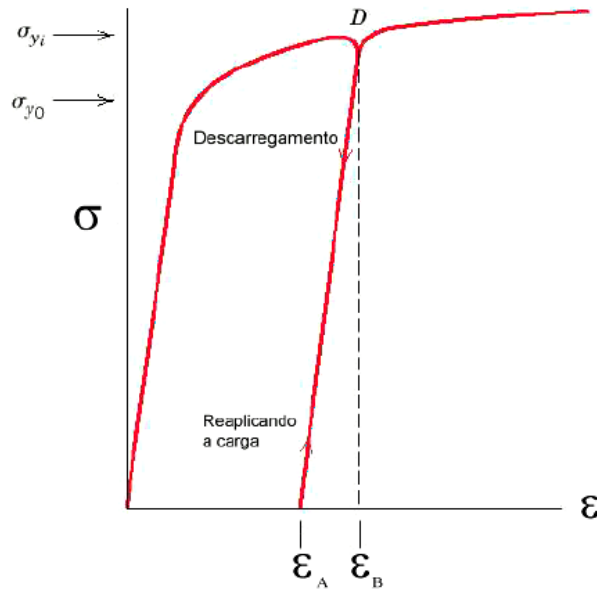


Figura 2.24: Tensão de escoamento de um metal, σ_{y0} ; se o metal for deformado até o alongamento ϵ_B (ao ser descarregado, ponto D) ele exibirá uma deformação plástica permanente ϵ_A ; uma nova tensão de escoamento, σ_{yi} , aparece para um segundo carregamento [23].

É válido citar ainda a tensão normal, que é relativa a efeitos puramente de tração ou compressão (produzem deformação em um plano normal de aplicação da força) – aplicando uma força de tração em uma barra, o material tende a se alongar resultando em tensões e deformações de tração. A tensão de flexão é relativa aos efeitos de tração e compressão em uma mesma seção transversal – aplicando uma força que faça a barra fletir para baixo por exemplo, é gerado uma tensão de tração na face superior e compressão na face inferior. A tensão de cisalhamento existe quando duas partes do material tendem a deslizar uma contra a outra.

2.6.4 Critério de Von Mises

A teoria de von Mises é usada para prever a tensão de falha de um material dúctil submetido a qualquer tipo de carregamento e, desse modo, é geralmente mais utilizada nas validações estruturais.

Após uma análise de estado tripla de tensões para uma seção do material, como na Figura 2.25, observa-se que no caso de tensão uniaxial ou tensão simples, $\sigma_1 \neq 0$, $\sigma_3 = \sigma_2 = 0$ o critério de von Mises simplesmente se reduz a $\sigma_1 = \sigma_y$, que significa que o material começa a escoar quando σ_1 atinge a resistência de escoamento do material σ_y .

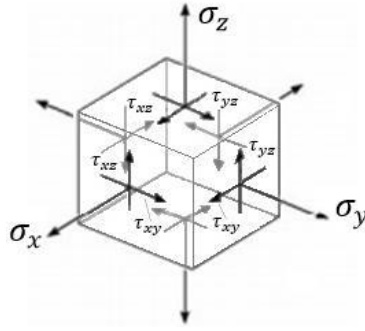


Figura 2.25: Análise em estado triaxial de tensões

Assim, com a consideração feita no início dessa seção, conclui-se que a tensão equivalente de Von Mises, pode ser calculada por:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (2.4)$$

onde σ_e é a tensão equivalente de Von Mises, σ_1 é a tensão máxima principal, σ_2 é a tensão média principal e σ_3 é a tensão mínima principal.

O Critério de Von Mises leva em consideração os conceitos de energia de distorção de um elemento, que também pode ser interpretado como a energia necessária para que ocorra mudança de forma em um elemento. Assim, esse critério define que um elemento estrutural (dúctil) irá falhar se a energia associada à mudança de forma de um corpo, submetido a um carregamento multi axial, ultrapassar a energia de distorção de um corpo de prova submetido a um ensaio uniaxial de tração. Com isso, será utilizado o Critério de Von Mises para aprovar ou não as estruturas que serão desenvolvidas com esse trabalho.

Capítulo 3

Apresentação do maquinário

3.1 Introdução

Este capítulo aborda a apresentação e a descrição de todas os processos executados pelo maquinário em estudo no momento inicial, isto é, antes de ser modificado, apresentando cada uma de suas unidades e todos os seus componentes. São relatadas as atividades realizadas de mapeamento de componentes e todos os aprimoramentos projetados para a integração do sistema em uma linha de produção única. No momento do início desse trabalho, apenas as unidades de envase, tampadora de 5 e 20 litros e unidade de rotulação estavam funcionando, todas com necessidade de acompanhamento de um funcionário por perto para verificar e agir em casos de erro, já que o maquinário não tem muita precisão em suas operações e tarefas executadas.

3.2 Envasadora

A máquina envasadora, mostrada na Figura 3.1, é responsável por envasar líquidos. Seu propósito é prover o enchimento de recipientes com líquidos sem haver contato humano com o produto. O processo é automatizado para promover rapidez, precisão e higiene. Ela encontra-se conectada à esteira 1 do maquinário.

A unidade de envase está atualmente operante e realiza o envase de garrafas de todas as medidas planejadas (de garrafas PET de 500ml até galões de 20L) sendo necessário para isso, apenas trocar e posicionar os bicos para cada tipo de garrafa de acordo com o tamanho que se deseja envasar. Conforme se pode notar na Figura 3.1, a unidade é composta por:

1. Cilindro pneumático de dupla ação da entrada da unidade envase;
2. Cilindro pneumático de dupla ação da saída da unidade envase;
3. Bicos de envase;
4. Quadro de automação exclusivo com CLP WEG Clic 02 CLW - 02/20HR-A;

5. Cilindro pneumático de dupla ação responsável pela movimentação dos bicos de envase;
6. Tanque superior para reservatório dos líquidos com controle de nível;
7. Cilindro pneumático de dupla ação para tampa de fechamento do tanque;
8. Guias laterais;
9. Bomba de pressurização da linha de envase (não visível na Figura 3.1).

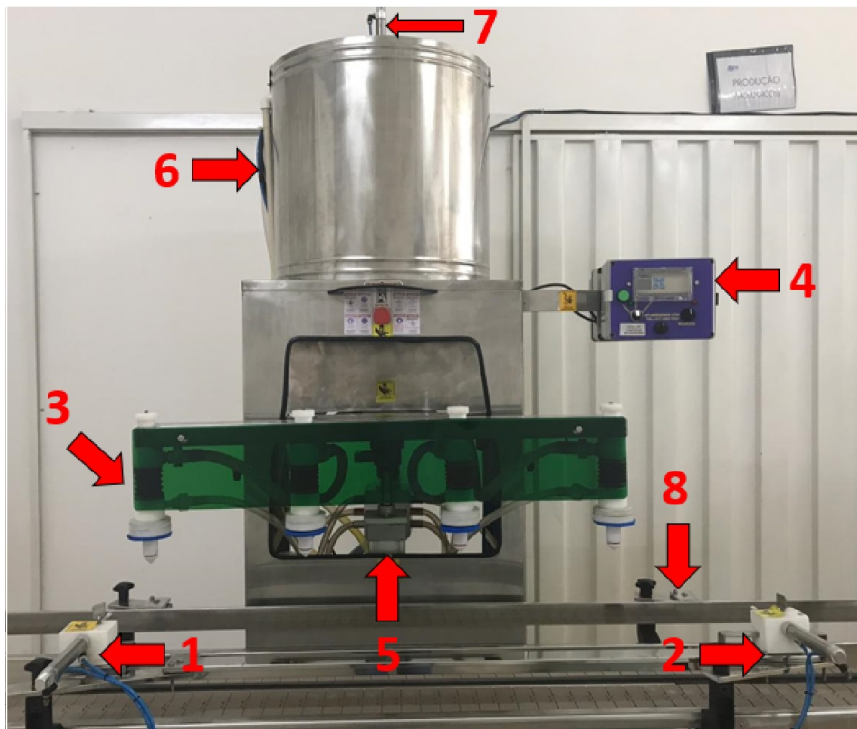


Figura 3.1: Unidade de envase

3.2.1 Funcionamento

O item 9, a bomba de pressurização, está localizado no interior da estrutura do maquinário de forma que não foi possível mostrá-la na Figura 3.1. Como se pode notar, não existe nenhum sensor nessa unidade de operação. Todos os processos foram regulados através do tempo que o fabricante obteve experimentalmente dentro de seus testes e implementou no controlador. Assim, antes da operação, o funcionário deve realizar o *setup* de vários parâmetros.

O primeiro parâmetro a ser inserido são os tempos de operação que o fabricante cedeu em um documento que os mesmos chamam de manual técnico, que nada mais é do que as várias anotações manuscritas experimentais que eles fizeram para regular o processo. Essas anotações foram impressas e entregues, conforme se observa na Figura 3.2.

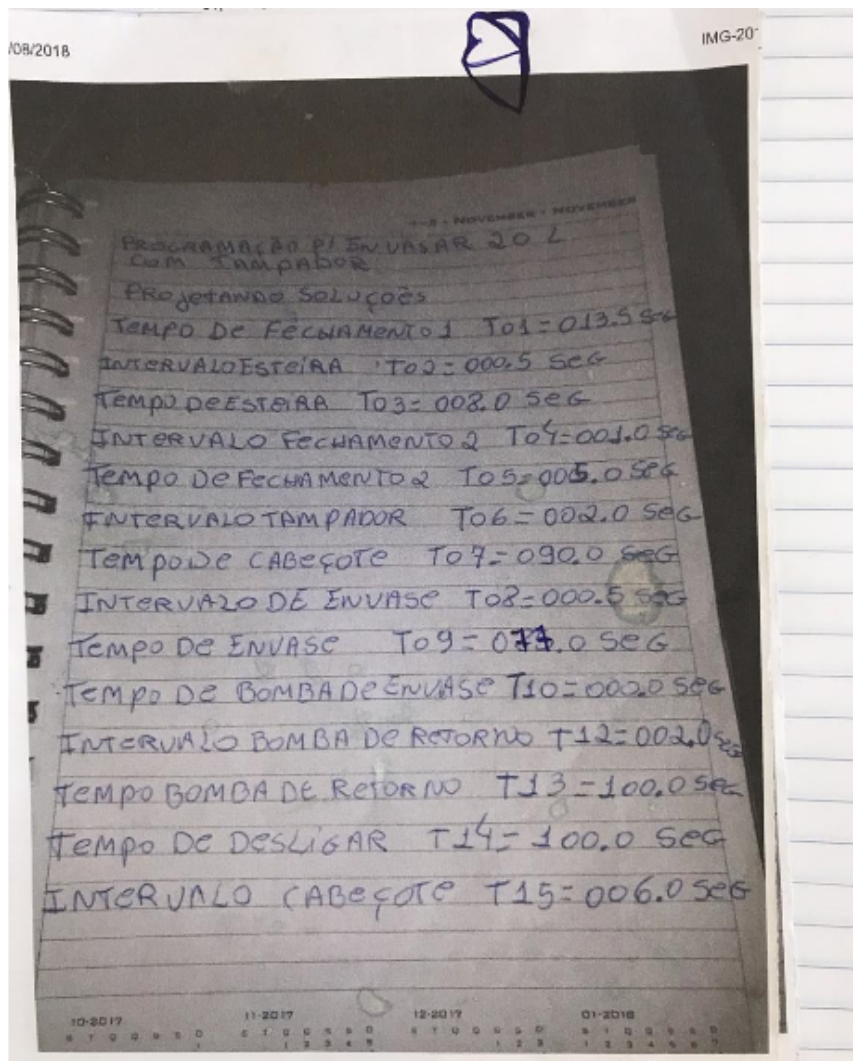


Figura 3.2: Documento entregue pelo fabricante com os tempos de operação.

Após inserir os valores de tempo no CLP, o funcionário deve posicionar as guias laterais de modo que as mesmas fiquem com a distância média entre elas correspondente à garrafa que deve passar no momento da operação. Em seguida, o funcionário deve recuar o cilindro C, isto é, descê-lo, o qual possui os bicos de envase e verificar qual o local aproximado de parada dos bicos. Após fazer essa verificação, o funcionário deve posicionar as garrafas nas posições em que os bicos descem e em seguida, regular os cilindros A e B (itens 1 e 2 da Figura 3.1) sobre uma outra guia lateral de modo que os mesmos fiquem encostados nas garrafas das extremidades, garantindo o posicionamento correto das mesmas para realizar a operação necessária.

Como não existe nenhuma marcação no maquinário para esses posicionamentos, todas as vezes que se troca o tamanho das embalagens a serem envasadas, todos esses processos de posicionamento de componentes deve ser realizado de modo experimental, o que atrasa consideravelmente o início do processo. Note que essas configurações descritas acima são necessárias apenas para a unidade envasadora. Cada etapa tem seus *setups* de posicionamento.

Analisando agora a operação em si, será apresentado o DTP do processo da unidade envasa-

dora, que está na Figura 3.3. Os elementos são:

- A - cilindro final de posicionamento de garrafas (gabarito) - atuador pneumático de dupla ação com acionamento por válvula direcional 5/2 simples solenoide e mola NF. (Elemento 2 da Figura 3.1);
- B - cilindro inicial de posicionamento de garrafas (gabarito) - atuador pneumático de dupla ação com acionamento por válvula direcional 5/2 simples solenoide e mola NF. (Elemento 1 da Figura 3.1);
- C - cilindro que movimenta o braço com todos os bicos de envase - atuador pneumático de dupla ação com acionamento por válvula direcional 5/2 simples solenoide e mola NA. (Elemento 5 da Figura 3.1);
- D - Bomba pressurizadora - atuador elétrico acionado por chaveamento de relé.

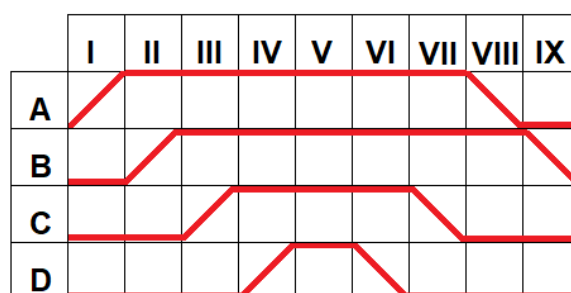


Figura 3.3: DTP do processo da unidade envasadora

Deve-se lembrar mais uma vez que por não haver sensores nesse processo, as transições entre os estados do DTP da Figura 3.3 se dão pelos acionamentos do CLP conforme os parâmetros de tempo que lhe foram informados. Logo, no primeiro estado, o cilindro A é acionado avançando seu embolo e como o mesmo está no final, ou seja, na saída da unidade envase, o mesmo cria uma barreira, de modo que, como a esteira está ligada, as garrafas são movimentadas e ao encontrarem esse cilindro, esbarram nele e param. Após o tempo determinado pela programação, o cilindro B, de entrada do processo, é acionado, avançando seu embolo e não permitindo mais que garrafas entrem na região de trabalho da unidade de envase.

Com isso, os cilindros A e B garantem o posicionamento correto das garrafas para o processo. Em seguida, o cilindro C é acionado e como tem uma válvula NA, ele recua/retorna seu embolo, o que faz descer o braço com os bicos de envase. Após C chegar no local esperado, a bomba pressurizadora é acionada e o envase começa. Após o tempo determinado, a bomba é desligada e em seguida o cilindro C, que possui os bicos de envase, é acionado para avançar com seu embolo e retirar os bicos das bocas das garrafas. Após a retirada de C, o cilindro de saída é recuado, de modo a permitir a saída das garrafas da unidade de envase. Um tempo após isso, o cilindro de entrada é recuado, permitindo a entrada de novas garrafas na unidade de envase.

3.2.2 Sistema de pressurização

O sistema de pressurização é o coração da unidade de envase, pois o mesmo é quem vai distribuir o líquido a ser envasado entre os bicos e fornecer, através de suas bombas, a pressão necessária na linha de envase. Esse sistema de pressurização do envase das garrafas tem em sua estrutura hidráulica, exposta na Figura 3.4, os seguintes componentes que desempenham importantes funções:

1. Unidade de distribuição de bicos de 20 litros - 4 bicos;
2. Unidade de distribuição de bicos de garrafas PET - 6 bicos;
3. Unidade de retorno;
4. Saída de alimentação da bomba pressurizadora;
5. Registro esfera PVC intermediário entre unidades 1 e 2;
6. Registro esfera PVC intermediário entre unidades 2 e 3.
7. Bomba centrífuga que envia líquido ao tanque (item 6 da Figura 3.1).
8. Bomba de pressurização do envase e do retorno.
9. Tubulação de conexão com o tanque superior (item 6 da Figura 3.1).

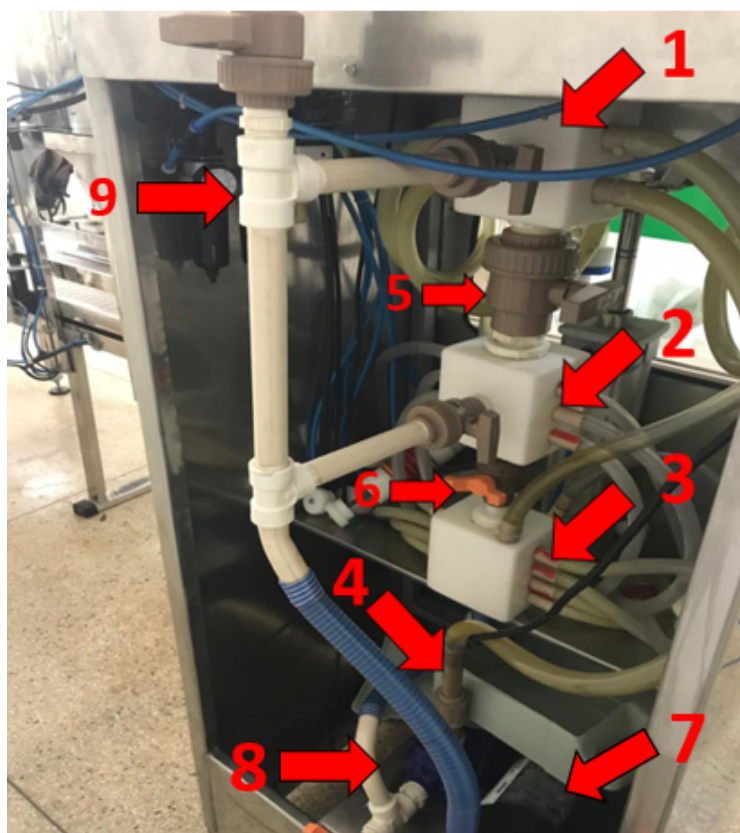


Figura 3.4: Elementos principais do sistema de pressurização para o envase de garrafas.

No sistema inicial, a unidade de envase possuía duas bombas. A primeira delas, item 7 da Figura 3.4 era responsável por ser a entrada do sistema, isto é, o líquido a ser envasado vinha diretamente dos tanques de produção e era conectado na entrada desta bomba. A mesma direcionava o líquido através de uma tubulação (item 9 da Figura 3.4) até o tanque superior da estrutura (item 6 da Figura 3.1). Em alguns momentos foi observado que o nível de reator da produção gerava transbordamento do nível do tanque superior. Um sensor de nível do tipo boia era responsável por informar ao controlador que o nível de líquido do tanque estava baixo e que era necessário acionar a bomba de alimentação do tanque - item 7. O tanque armazenava então o líquido a ser envasado, e tinha uma saída conectada a bomba 8 da Figura 3.4. Essa segunda bomba, que será auxiliada pela gravidade, era responsável por pressurizar as tubulações dos bicos e realizar de fato o envase.

Caso o envase seja de embalagens de 5 ou 20 litros, o item 1 da Figura 3.4 recebe o líquido pressurizado e encaminha para as suas 4 saídas laterais, uma para cada bico de envase. Para isso, é necessário que o registro de esfera 5 esteja fechado, para não enviar líquido para a unidade 2. A unidade 2 só deve ser utilizada para o envase de garrafas PET, contendo a mesma 6 saídas laterais para os seus 6 bicos de envase. Para o correto funcionamento da mesma, é necessário que as válvulas 5 e 6 estejam fechadas, isolando o sistema de envase de garrafas PET. O elemento 3 da Figura 3.4 é a unidade de retorno geral. Assim, todos os bicos enviam suas tubulações de retorno para essa unidade, e a mesma direciona seu fluxo para a bomba pressurizadora do sistema (item 8), de forma a colocar o líquido em excesso retirado pela unidade de retorno de volta no tanque do sistema.

3.3 Unidade rosqueadora de tampas

Como informado anteriormente, existem atualmente duas unidades de rosqueamento no maquinário. A primeira delas está na esteira 1 e é responsável pelo rosqueamento das tampas das garrafas de 5 a 20 litros, que possuem um formato específico de galão. A segunda unidade de rosqueamento está posicionada sobre a esteira 2, e deveria realizar o rosqueamento das tampas das garrafas PET de até 2 litros, contudo, a mesma unidade encontra-se inoperante.

Conforme se pode notar na Figura 3.5, a primeira unidade de rosqueamento das garrafas é composta por:

1. Sensor fotoelétrico de luz difusa - modelo Omron E3FA-DP11;
2. Cilindro pneumático de dupla ação;
3. Motor de indução trifásico;
4. Cilindro pneumático de dupla ação (tanto o elemento 3 quanto 4 estão protegidos pela estrutura apontada na Figura 3.5 - ambos podem ser vistos na Figura 3.6);
5. Guias laterais;

6. Quadro de automação exclusivo com CLP WEG Clic 02 CLW - 02/20HR-A.

Conforme se pode notar na Figura 3.7, a segunda unidade de rosqueamento das garrafas é composta por:

1. Sensor capacitivo;
2. Cilindro pneumático de dupla ação;
3. Motores de indução trifásicos, um para a esteira 2 (que não aparece na Figura 3.7) e outro para girar o gabarito, levando as garrafas ao componente que realiza de fato o rosqueamento das garrafas;
4. Guias laterais;
5. Quadro de automação exclusivo com CLP EATON Easy 512-AC-RC;
6. Motor pneumático rotativo;
7. Alimentador e posicionador vibratório de tampas com panela seletora.

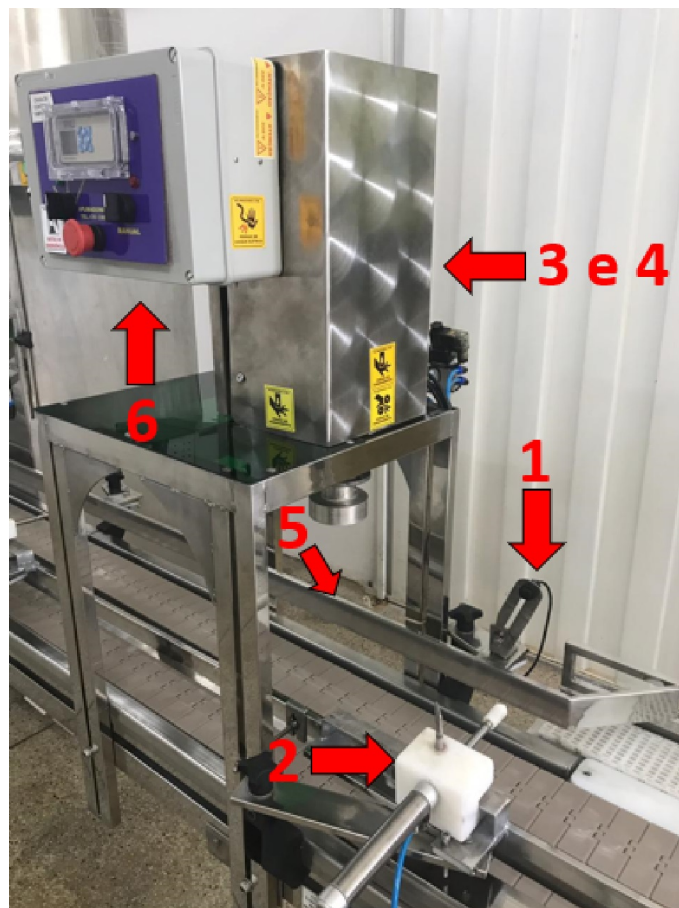


Figura 3.5: Unidade rosqueadora de garrafas de 5 a 20 litros



Figura 3.6: Itens 3 e 4 que não estavam visíveis na Figura 3.5

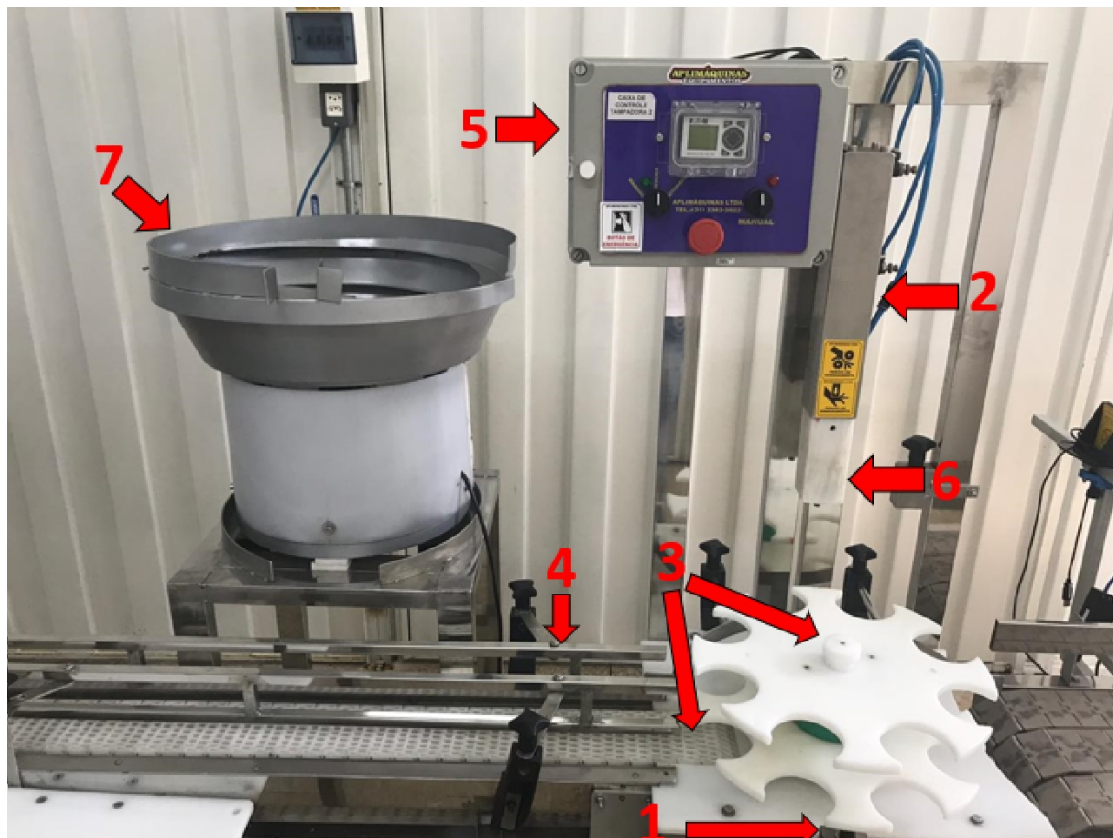


Figura 3.7: Unidade rosqueadora de garrafas PET

3.3.1 Funcionamento

A unidade de rosqueamento de tampas presente na esteira 02 não está operante atualmente. Foi possível analisar durante o estudo da unidade que a lógica de implementação no presente CLP está incompleta ou com erros, de modo a não garantir que os processos ocorram como esperado.

O primeiro prolema analisado é que a esteira leva as garrafas até o componente 3 da Figura 3.7, de modo que como o mesmo é rotativo, deveria existir alguma relação de controle da velocidade angular dessa peça aliado à velocidade de deslocamento da esteira 2 para que quando a garrafa chegasse ao final da esteira, ela entre perfeitamente em uma das posições do gabarito da peça 3.

Isso não ocorre, e quando uma garrafa chega no momento de transição para entrar nessa peça, ou ela fica batendo nas suas extremidades e cai, derramando o líquido envasado anteriormente, ou ela entra parcialmente no gabarito e é amassada pela peça giratório que a pressiona contra a guia lateral.

Além disso, um atuador ou um mecanismo que retire a garrafa do gabarito não foi instalado, ou seja, se a garrafa for inserida com a mão no gabarito e o mesmo for acionado para girar, era de se esperar que após ser rosqueada, a garrafa fosse retirada do gabarito, liberando uma posição no mesmo e seguindo para o próximo processo, o processo de rotulagem. Contudo, isso não ocorre, e uma vez que a garrafa esteja lá dentro, ela gira infinitamente ou até que seja retirada manualmente ou desligue o motor porque a unidade que realizaria a expulsão da garrafa de uma das posições do gabarito não foi instalada.

Por fim, foi entregue um alimentador e posicionador vibratório de tampas que recebe várias tampas e direciona-as até sua saída sempre com a rosca para cima. Contudo, nunca foi entregue a guia que pudesse de fato posicionar as tampas, levando-as da saída do alimentador até as garrafas, de forma que a máquina não pode ser usada. Além disso, as conexões elétricas para alimentação do sistema estavam incompletas.

Pelos fatos descritos acima, fica evidente constatar porque a unidade de rosqueamento da esteira 2 encontrava-se inoperante no momento da avaliação. Com isso, está sendo utilizada apenas a unidade de rosqueamento da esteira 1, o que faz com que o maquinário seja capaz de operar apenas com garrafas de 5 ou 20 litros. Com isso, vistos os componentes apresentados pela Figura 3.5, passa-se à análise da operação em si com o auxílio do DTP dos processos dessa unidade conforme exposto na Figura 3.8. Os elementos são:

- A - cilindro que movimentava verticalmente a peça que rosqueia as tampas - atuador pneumático de dupla ação com acionamento por válvula direcional 5/2 simples solenoide e mola NF - (Elemento 3 da Figura 3.5);
- B - Motor de indução trifásico - (Elemento 4 da Figura 3.5);
- C - cilindro final de posicionamento de garrafas (gabarito) - atuador pneumático de dupla ação com acionamento por válvula direcional 5/2 simples solenoide e mola NF - (Elemento 2 da Figura 3.5);

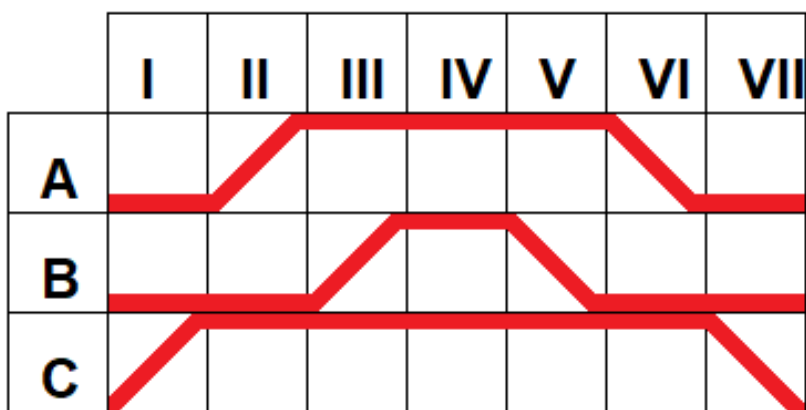


Figura 3.8: DTP do processo da unidade rosqueadora da esteira 1

Deve-se observar que diferente da primeira unidade estudada, a unidade envase, essa unidade de rosqueamento possui um sensor fotoelétrico difuso que será responsável pelo acionamento do atuador C do DTP da Figura 3.8. Assim, quando chega uma garrafa na unidade rosqueadora, o sensor fotoelétrico capta sua presença e aciona o solenoide da válvula de controle direcional de C pedindo para avançar com o embolo. Esse avanço insere um obstáculo no trajeto na esteira, de forma que a garrafa bate no braço do cilindro (o obstáculo). Isso faz com que a garrafa pare na unidade rosqueadora.

Para isso, o cilindro C deve ser posicionado de forma a garantir que quando a garrafa entre em contato com ele, ela já pare no local exato de atuação da rosqueadora. Em seguida, agora toda a programação volta a ser por tempo, de acordo com os testes experimentais feitos pelo fabricante, o cilindro A é acionado, avançando com seu embolo e deslocando toda uma peça que encaixa na tampa da garrafa. Em seguida o componente B é acionado, ou seja o motor é ligado e rosqueia a tampa. Após o tempo especificado pelo fabricante, o motor é desligado, o cilindro A retorna a sua posição inicial e em seguida o cilindro C também é recuado, permitindo o avanço da garrafa na linha de produção.

3.4 Unidade de rotulação

A unidade de rotulação é responsável pela impressão de dados de lote e validade nas garrafas assim como a inserção do rótulo nas mesmas. A unidade está exposta, com seus principais componentes funcionais, na Figura 3.9. Os principais componentes são:

1. Quadro de automação exclusivo com CLP EATON Easy 512-AC-RC;
2. Impressora de dados - validade e informações de lote;
3. Sensor fotoelétrico;

4. Cilindro pneumático de dupla ação;
5. Sensor fotoelétrico;
6. Sistemas de polias e bobinas para direcionamento dos rótulos.

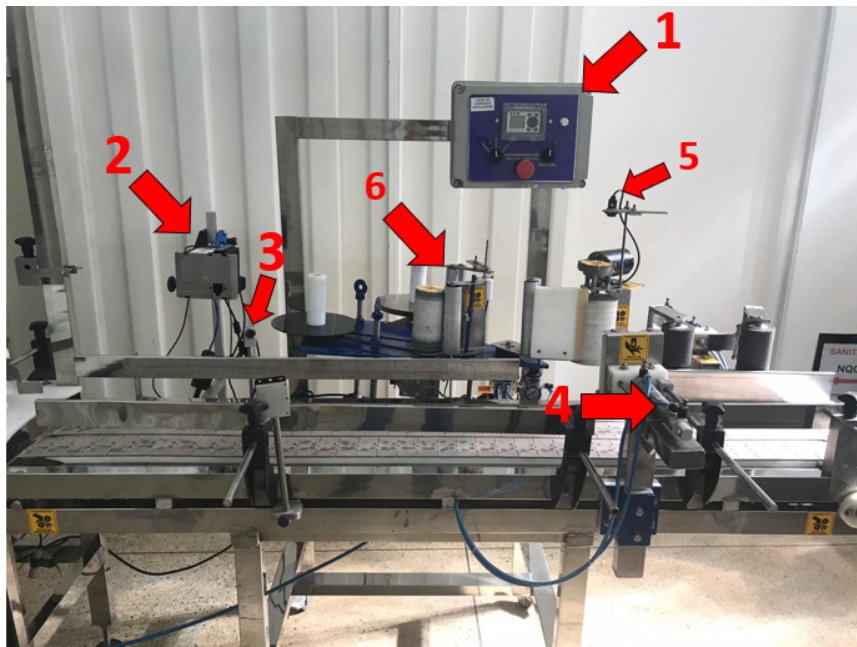


Figura 3.9: Estrutura e principais componentes da unidade rotuladora.

O funcionamento dessa unidade é simples e regular, sendo uma das unidades que menos apresenta problemas na operação. Ao receber uma garrafa, sua esteira direciona a embalagem até o sensor fotoelétrico 3 ser ativado e permitir que a impressora 2 possa imprimir os dados programados. Em seguida, a garrafa é levada a frente até entrar na região de atuação do sensor 5. Nesse momento, percebe-se que a garrafa está na posição para inserir o rótulo. Com isso, é acionado o cilindro 4, que forma uma região de gabarito para a inserção do rótulo. O rótulo percorre as bobinas e polias do sistema 6 e é posicionado e inserido na garrafa. Após o tempo de processo, determinado experimentalmente pelo fabricante, o cilindro 4 recua e permite a garrafa sair para um *buffer* de armazenamento das unidades produzidas.

3.5 Mapeamentos e testes

Para realizar um bom projeto de modernização de um maquinário, é necessário que se entenda muito bem os seus processos para ver quais são seus gargalos e conseqüentemente, projetar melhorias. Uma das primeiras atividades desenvolvidas visando a melhor compreensão operacional do sistema foi a realização dos mapeamentos elétricos de cada um dos quadros de automação, mapeamento do sistema pneumático, estudo de capacidade dos componentes em geral do sistema e de hardware (no caso dos quadros de automação).

Um passo fundamental aqui tomado foi a conversação e coleta de *feedbacks* com os funcionários que trabalham diretamente com a máquina na unidade fabril da PS. Os mesmos trabalham na unidade e são responsáveis por fazer os *setups* iniciais para a operação e acompanhamento do processos, o que lhes permite entender bem o funcionamento das unidades em geral da máquina, e informaram os principais erros que eles observam assim como passando dicas de como melhorar os processos.

3.5.1 Elétrico

O mapeamento elétrico foi realizado buscando entender o circuito elétrico dos quadros de automação e quais acionamentos cada um era responsável no sistema, assim como quais entradas e valores cada quadro e seu CLP analisava. Esse mesmo mapeamento também permitiu verificar quais os componentes estavam presentes em cada um dos quadros, para verificar as especificações de cada um deles, assim como estudar seu possível uso para a reestruturação do maquinário.

O processo foi muito difícil visto a falta de organização e de padrão estabelecida em cada um dos quadros. Muitas práticas inadequadas de instalações elétricas foram observadas e detectadas, conforme se observam na Figura 3.10, que apresenta o quadro de automação da unidade rosqueadora de 20 litros. Os componentes identificados nesse quadro de automação específico foram:

1. Controlador lógico programável com saída a relés WEG CLIC 02 modelo CLW-02/20HR-A
2. Variador de velocidade WEG CFW100
3. 3 blocos de contato NA M20-1A - Metaltex
4. 1 bloco de contato Chint NP2 BE102.1 NF
5. Fonte ZSQH03624 36W, INPUT 100 240V 0.48A e 50/60HZ, OUTPUT 24V e 1,5A tipo colmeia
6. 1 Relé Omron MY2N AC220/240
7. 1 Relé Acoplador Serie AA1R127VCA
8. 1 borne tipo K conector de passagem Steck
9. 1 borne conector Lukma
10. 1 disjuntor Metaltex
11. 1 capacitor

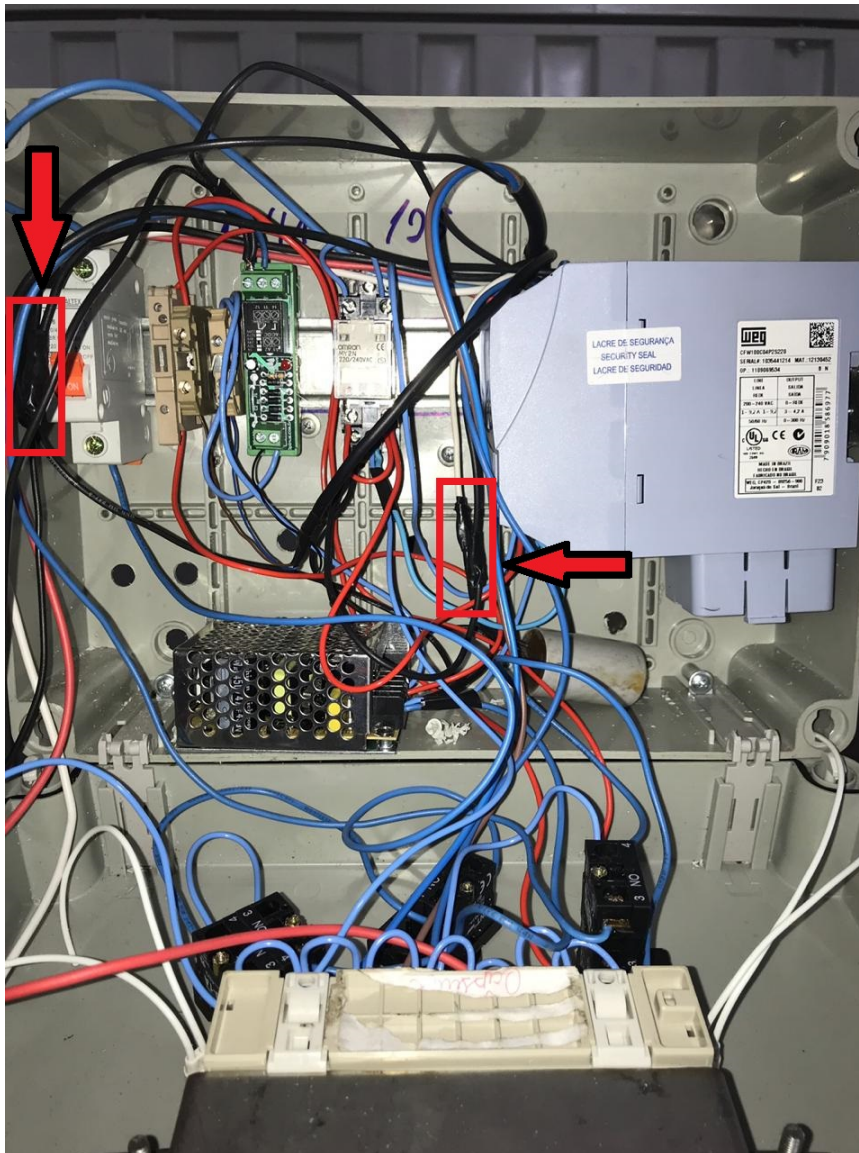


Figura 3.10: Ligações elétricas do quadro de automação da unidade rosqueadora de embalagens de 20 litros

Como dito, além da falta de organização e de padrão na distribuição dos fios, pode-se verificar na Figura 3.10 duas regiões marcadas com setas vermelhas. Elas tentam mostrar duas práticas inadequadas de instalações adquiridas nesse quadro, que foi simplesmente conectar a fase neutra de vários componentes do quadro enrolando os fios e passando fita isolante, ao invés de usar um bloco de conexão ou algum borne mais adequado e seguro para a tarefa. Foi possível perceber que essa prática aconteceu duas vezes nesse quadro e mais algumas vezes em outros.

Assim, com o estudo dos quadros e componentes, foi possível verificar que existem muitas saídas a serem controladas no sistema (24 no total de todos os quadros) e poucas entradas, justamente por haver poucos sensores no processo e muito das configurações da programação terem sido executadas por temporização.

Além disso, foi possível verificar que os CLP's atuais são inadequados para os processos, com

poucas entradas e com dificuldade de comunicação em rede (acredita-se ter sido esse o motivo do fabricante ter usado 4 CLP's para controlar esse processo). Para adequar tudo, usando apenas um CLP robusto, comunicação em rede, fazer um supervisor e mais algumas coisas relacionadas à reestruturação da máquina e do painel de controle central, foi estudado junto ao Co-orientador desse trabalho, o Engenheiro Daniel Amaral, um dos responsáveis por esse projeto, e concluído que é necessário comprar vários módulos de adaptação dos atuais CLP's para realizar as tarefas desejadas. Assim, após um estudo de mercado, concluiu-se que é possível adquirir um novo CLP mais robusto (que será apresentado mais a frente) em preço próximo ao que seria gasto com as adaptações dos atuais, tendo assim, um equipamento muito mais completo e com mais recursos.

3.5.2 Pneumático

O mapeamento pneumático foi realizado com os mesmos objetivos do mapeamento elétrico apresentado anteriormente. Assim, foi possível perceber que um mesmo compressor é utilizado para alimentar todo o circuito pneumático, de forma que o circuito como um todo é distribuído entre as 3 esteiras. O esquemático de conexões do mapeamento realizado está exposto na Figura 3.11. Nela, identificam-se os seguintes itens:

1. Cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide e retorno por mola NF - item 1 da Figura 3.1;
2. Cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide e retorno por mola NF - item 2 da Figura 3.1;
3. Cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide e retorno por mola NF - item 7 da Figura 3.1;
4. Cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide e retorno por mola NA - item 5 da Figura 3.1;
5. Cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide e retorno por mola NF - item 2 da Figura 3.5;
6. Cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide e retorno por mola NF - item 3 da Figura 3.6;
7. Cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide e retorno por mola NF - item 4 da Figura 3.9;
8. Cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide e retorno por mola NA - item usado no *buffer* final de produção.
9. Cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide e retorno por mola NF - item 2 da Figura 3.7;
10. Motor de simples ação pneumático rotativo controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide e retorno por mola NF - item 6 da Figura 3.7;

11. Sistema de pressurização pneumático - composto por compressor, Lubrifil (dreno com filtro, manômetro com válvula reguladora de pressão, lubrificador e unidade de retirada do condensado).

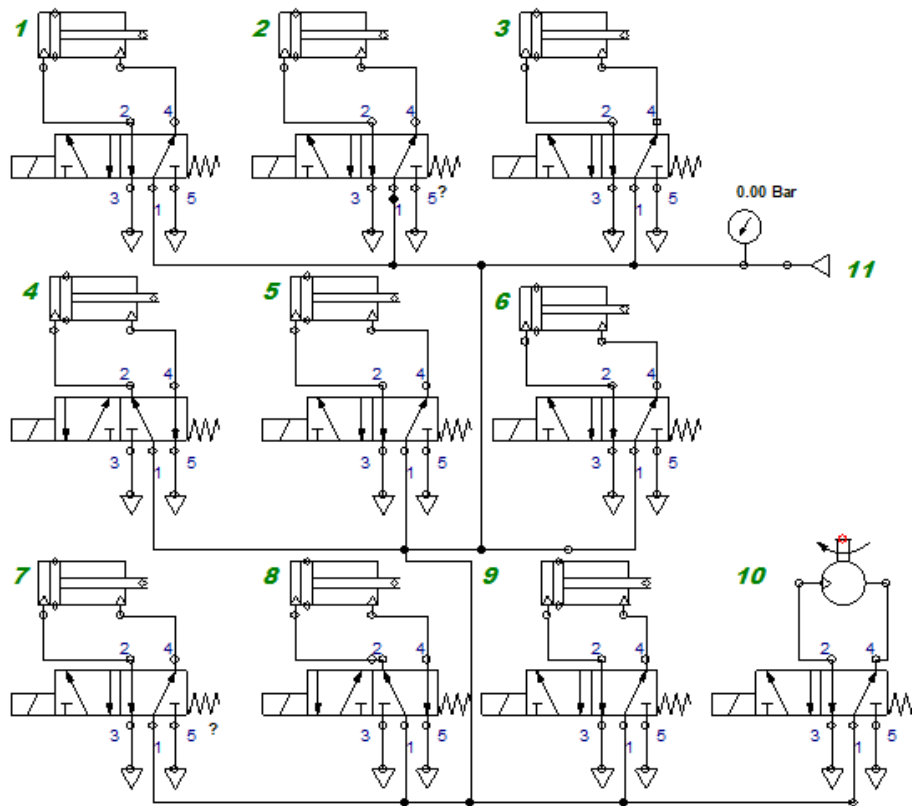


Figura 3.11: Mapeamento pneumático representado no software *Automation Studio*.

O circuito pneumático apresentado acima tem por objetivo demonstrar as ligações e válvulas utilizadas (todas 220V AC). Assim, as distâncias de tubulações e distâncias entre atuadores não são conforme as dimensões reais, o que é de se esperar de uma representação computacional de um sistema.

Observando o diagrama das conexões pneumáticas da Figura 3.11, pode-se analisar a falta de um elemento importante para a segurança em operações com esses sistemas: não existe um botão de emergência. Esses botões são fundamentais em indústrias e em seus maquinários, pois caso alguma operação ocorra de forma inesperada, o acionamento de algum atuador do sistema pode fazer com que algo quebre na linha de produção ou até mesmo esmagar a mão de um funcionário, o que de maneira geral, pode trazer um grande problema para a empresa. Logo, fica evidente a importância desse botão e sua consequente necessidade no sistema, que será implementado na nova proposta de reestruturação do maquinário.

3.6 Nova Proposta

Como dito no início, foi possível observar o funcionamento das unidades de operação e das esteiras contidas no processo. Assim, fica evidente perceber que o atual sistema com 3 esteiras dificulta muito o processo de envase das garrafas por sua limitação estrutural e de operações.

Pelas limitações estruturais, observa-se principalmente o problema no envase de garrafas de 20L. Quando as mesmas são envasadas, não existe uma conexão entre a primeira esteira, de onde as garrafas saem envasadas, até a terceira esteira, onde elas são rotuladas. Assim, os funcionários devem carregá-las manualmente de uma esteira até a outra. Como a densidade do produto é de aproximadamente 1.2kg/L, em uma garrafa de 20 litros, tem aproximadamente 24kg de líquido envasado por embalagem que deve ser transportado entre as esteiras 1 e 3, o que gera desconforto e trabalho cansativo aos funcionários, além de atrasar consideravelmente o processo.

Vale ressaltar que o posicionamento atual do maquinário teve essa descontinuidade entre as esteiras por um despreparo do fabricante. Nota-se que as esteiras 2 e 3 são móveis e podem ser movimentadas para uma melhor distribuição espacial das mesmas. Assim, o fabricante pensou em posicionar a esteira 3 perpendicularmente às esteiras com as unidade rosqueadoras. Contudo, não existe espaço no local para isso. A única maneira seria operar com uma porta que dá acesso ao estoque aberta e com a esteira 3 invadindo parte desse local, o que seria contra as normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa.

Assim, em vista de todos os problemas citados até agora, o trabalho principal foi para projetar uma nova estrutura que pudesse solucionar todos os problemas aqui descritos, ou pelo menos, boa parte deles. O principal requisito do projeto é buscar uma disposição entre as esteiras de forma a facilitar a vida do operário, solucionando os problemas de transporte entre unidades, diminuindo os tempos de *setups* e automatizando a regulagem de altura dos rosqueadores, de forma que esse novo layout permita que seja alcançada uma produtividade de 3000 garrafas de 500ml envasadas, rosqueadas e rotuladas em 1 hora de serviço do maquinário (máquinas de mercado variam sua produtividade entre modelos de 1800 até 4500 garrafas/hora). Com isso, foram desenvolvidas algumas versões intermediárias até chegar a solução que foi finalmente implementada.

3.6.1 Primeira solução

A primeira solução visou solucionar os problemas de transporte das garrafas de 20 litros entre as esteiras 1 e 3. Com isso, foi projetado construir uma nova esteira, e posicioná-la na saída da esteira 1 de forma que a mesma possa encaminhar as garrafas de 20 litros diretamente para a terceira esteira.

Como foi apresentado, todas as garrafas passam pela esteira 1, independente do tamanho da embalagem. As garrafas PET continuariam sendo desviadas para a esteira 2 e seguindo seu fluxo tradicional. As garrafas de 20 e 5 litros seriam direcionadas para essa nova esteira, chamada aqui de esteira 4, conforme a Figura 3.12. Logo, a esteira 4 seria responsável por direcionar as garrafas de 20 e 5 litros para a esteira 3 que contém a unidade de rotulação, sendo apenas uma esteira

de direcionamento, sem nenhuma unidade de operação. O novo fluxo de transporte das garrafas ficaria então semelhante ao fluxo da Figura 3.13, que segue as mesmas orientações de cor da Figura 1.2.

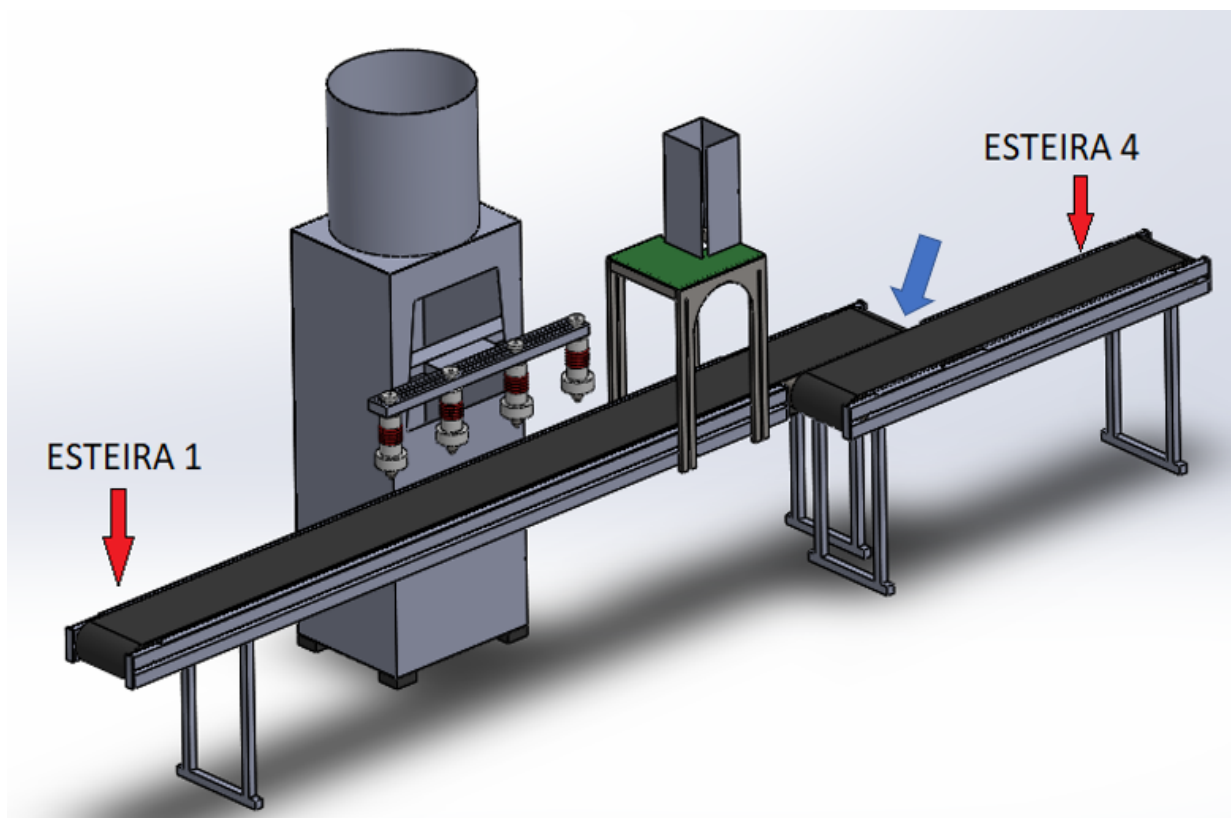


Figura 3.12: Desenho CAD da esteira pensada para a primeira solução

Uma observação que deve ser feita na Figura 3.12 é que no momento de desvio das garrafas de 20 e de 5 litros para a esteira 2, região apontada pela seta em azul, deve-se garantir que as esteiras estejam na mesma velocidade, afim de evitar quaisquer problemas na transição. Além disso, a transição seria feita com o uso de guias laterais, colocadas em 45° de angulação entre a esteira 1 e a esteira 4, de forma que possam direcionar as garrafas para a nova esteira.

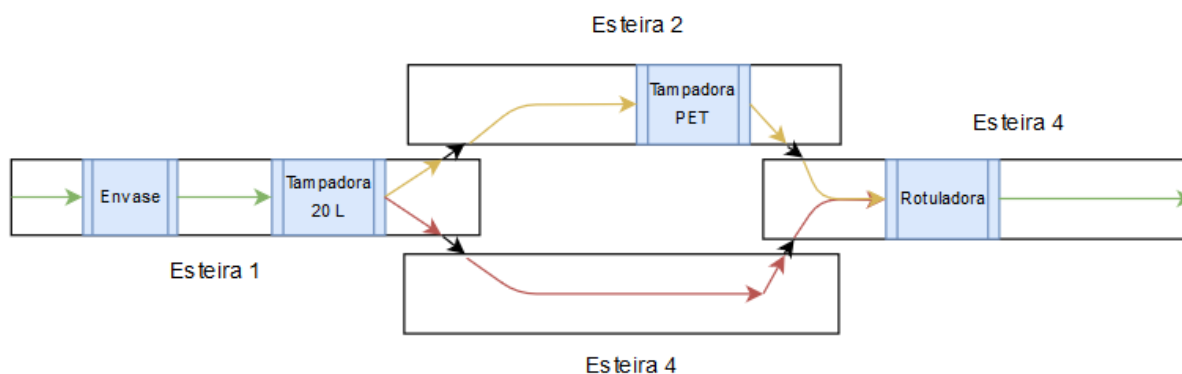


Figura 3.13: Disposição espacial das esteiras para a primeira solução pensada

O uso da solução até então apresentada permite solucionar os problemas estruturais descritos em relação ao manuseio das garrafas de 20 e de 5 litros. Mas vale observar que ainda será mantida a esteira 2, uma unidade com muitos problemas operacionais, como descrito anteriormente. Logo, nesse escopo apresentado, além do projeto dessa esteira 4, seria necessário trabalhar em cima das melhorias da esteira 2, uma unidade que praticamente nada funciona e que custaria um bom tempo de reparo e de gastos com peças novas. Como o sistema de rosqueamento de garrafas na esteira 2 é semelhante ao que se tem na esteira 1, já que ambos utilizam um cilindro pneumático que desloca uma estrutura que encaixa nas tampas e gira sobre elas, fechando as garrafas, foi estudada a possibilidade de adaptar a estrutura da rosqueadora de garrafas de 20 litros para que ela pudesse também rosquear as garrafas PET. Assim, foi desenvolvida a segunda solução.

3.6.2 Segunda solução

Como dito anteriormente, foi pensado em uma segunda solução de modo que fosse possível adaptar a estrutura da rosqueadora das garrafas de 20L para que ela pudesse rosquear também as garrafas PET. Com isso, não será necessário manter a esteira 2, já que sua funcionalidade de rosquear as garrafas PET será realizada ainda na esteira 1. Além disso, se o rosqueamento vai ocorrer na primeira esteira, na unidade rosqueadora de 20 litros, pode-se usar uma única esteira grande em que todas as garrafas transitem por ela, evitando assim, qualquer transferência de embalagens para esteiras laterais. Logo, a disposição espacial seria conforme a Figura 3.14.

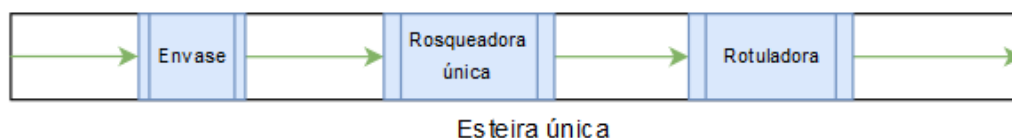


Figura 3.14: Disposição espacial da esteira única pensada para a segunda solução

Observando a Figura 3.14, nota-se que as setas de fluxo de transporte agora são todas verdes, já que todas as garrafas, independente de tamanho, transitam na esteira única. Para isso, basta posicionar as guias laterais de forma a permitir o transporte em linha reta na esteira. Também se observa que o nome da unidade que fecha as garrafas agora é rosqueadora única. Desta forma, daqui para frente, ao mencionar unidade rosqueadora, está sendo feita referência a essa unidade que rosqueia e tampa todas as garrafas, a não ser que sejam explicitamente citados os nomes das unidades anteriores.

Para que a unidade rosqueadora possa tampar todas as garrafas, uma mudança simples seria necessária: a fabricação de uma nova peça que encaixa nas tampas das garrafas PET e realiza o rosqueamento das mesmas, já que a peça atual utilizada tem o perfil de encaixe de uma tampa de 20 litros que possui 80 milímetros de diâmetro. A peça atual pode ser vista como o elemento 2 da Figura 3.15.

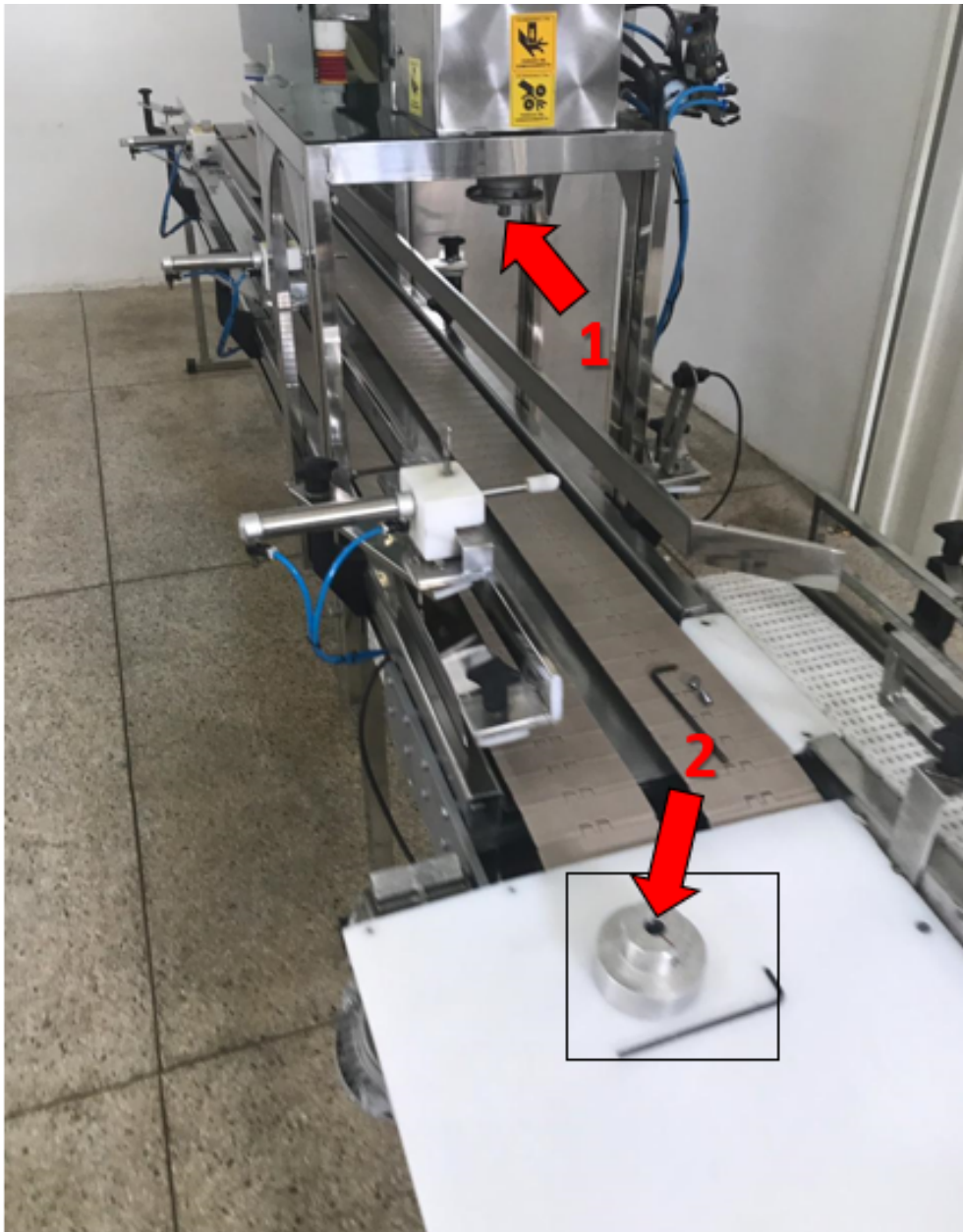


Figura 3.15: Peças trocadas para teste de adaptação da unidade rosqueadora

Foi então medido o diâmetro das tampas das garrafas PET e foi verificado que esse diâmetro é de aproximadamente 300 milímetros. Com isso, fabricou-se uma peça para testes em uma impressora 3D que permitisse encaixá-la na estrutura da rosqueadora e realizar a tarefa necessária, no caso, o rosqueamento das garrafas PET. A foto mostrada na Figura 3.15 foi tirada no dia que os testes com a peça nova fabricada com impressora 3D foram realizados. Nela, nota-se a peça original da rosqueadora de 20 litros apontada como elemento 2 e o eixo que a mesma era encaixada como elemento 1.

Assim, soltando os parafusos de fixação, foi possível inserir nossa peça no lugar da original e realizar os testes. Garrafas PET de diferentes tamanhos foram utilizadas, posicionando-as embaixo do cilindro da rosqueadora e ativando o mesmo a descer com a estrutura de rosqueamento. Foi

possível verificar que a peça fabricada funcionava corretamente e que a unidade rosqueadora de 20 litros poderia agora também rosquear as garrafas PET, pois o motor utilizado na operação (elemento 3 da Figura 3.6) não tracionava demais as tampas PET e permitia um fechamento correto da garrafa de testes.

O escopo dessa segunda solução foi estudado e desenvolvido para mais algumas possíveis melhorias no processo. Contudo, foi encontrado um fator crucial para seu prosseguimento: Produtividade. Usando os parâmetros atuais do maquinário, como velocidade da esteira transportadora, capacidade de vazão da bomba de pressurização e principalmente, tempo dos processos, foi possível concluir que as mudanças projetadas nessa segunda solução permitiam uma boa produção para garrafas de 20 litros, contudo, tem uma produção muito baixa para garrafas PET em geral, já que existe a requisição de produzir aproximadamente 3000 garrafas de 500mL por hora.

Para chegar a essa conclusão, foram realizados testes referentes aos tempos de envase, considerando especificamente o tempo de enchimento de garrafas de 500 mL (sem contar os tempos de posicionamento, inserção de gabaritos e retirada dos bicos) usando a capacidade da máquina atual de 6 bicos para enchimento. Com isso, foram observados os tempos apresentados na Tabela 3.1 usando média aritmética simples para o preenchimento do último campo. Fazendo uma estimativa, baseada na observação do processo, pode-se dizer que o tempo de posicionamento das garrafas na região do envase mais o tempo de inserção e retirada dos bicos e a liberação das garrafas dessa unidade é de aproximadamente 10 segundos. Com isso, em um tempo de 19,74 segundos é fornecido às outras unidades 6 garrafas de 500mL envasadas e liberadas da unidade de envase.

Tabela 3.1: Tempos conferidos para o envase de garrafas de 500ml

Teste	Tempo de envase (s)
1º teste	9.53
2º teste	10.02
3º teste	9.66
4º teste	9.74
Média	9.74

Além do tempo de envase, anotou-se o tempo necessário para o rosqueamento das garrafas de forma geral. Seguindo o DTP da Figura 3.8, o tempo para o cilindro A descer completamente é de aproximadamente 0.8 segundos. O tempo de rosqueamento, tempo que o motor B fica acionado para o rosqueamento da tampa era de aproximadamente 2 segundos e o tempo de retirada do cilindro é o mesmo de descida, 0.8 segundos. Com isso, o tempo para rosqueamento de uma garrafa, considerando apenas a operação de movimentação dos componentes é de 3.6 segundos por unidade. Fazendo uma estimativa - com base nas observações do processo - que o tempo de posicionamento das garrafas, acionamento de gabarito e retirada da garrafa atual para inserção da próxima garrafa na zona de rosqueamento seja de 2 segundos, seria necessário que o processo de rosqueamento durasse 5,6 segundos para cada garrafa. No total, para rosquear as 6 garrafas seriam necessários 33,6 segundos.

Por fim, estimou-se que o tempo de rotulação de uma garrafa de 500mL seja por volta de

4 segundos. Logo, para a rotulação de 6 garrafas seriam necessários 24 segundos. Com isso, somando os tempos de operação do maquinário atual é obtido um tempo de $19.74 + 33.6 + 24 = 77,34$ segundos para o processamento completo de 6 garrafas de 500ml. Como o sistema se assemelha a um pipeline, isto é, obtêm o *delay* para a saída da primeira garrafa, mas as próximas garrafas são liberadas em um tempo menor com uma vazão constante, já que enquanto garrafas são operadas pela unidade N, a unidade N-1 também já está operando. Assim, através de cálculos, é possível estimar que o segundo bloco de 6 garrafas vai ser produzido após 117 segundos do início do processo. A fórmula de produtividade pode ser obtida a partir de uma aproximação de comportamento ao de o fluxo de um processador *pipeline*, conforme a equação (3.1) ou em função dos tempos do processo, conforme a equação (3.2):

$$\text{Produtividade total por hora} = (3600 - \text{delay}) \cdot (\text{vazão}(\frac{g}{s})) + 1 \quad (3.1)$$

De onde 3600 são os segundos em uma hora, *delay* se refere ao tempo necessário para o processamento do 1º bloco de garrafas produzido (77.34s), a vazão (g/s) significa a saída de garrafas por segundo que é dada pela sequência de garrafas que sairão após o primeiro bloco e seguem um valor constante e o número 1 é a primeira unidade que saiu.

$$\text{Produtividade total por hora} = = \frac{3600 \cdot n}{T_{sn} + T_d} \quad (3.2)$$

De onde 3600 são os segundos em uma hora completa, n é o número de garrafas envasadas no mesmo bloco, T_d é o tempo de distanciamento entre os blocos de produção e T_{sn} é o tempo para n garrafas saírem na parte final da esteira.

Como dito, o segundo bloco sai após 117 segundos do início do processo, retirando o *delay* inicial, é obtida uma diferença de 39,66 segundos para saírem 6 garrafas, o que fornece uma vazão de aproximadamente 0.15 garrafas por segundo (6 garrafas/39,66 segundos). Com isso, usando a fórmula (3.1), a produtividade em 1 hora será de 528 garrafas, praticamente um sexto do esperado.

Contudo, observa-se que o processo acima descrito foi bem otimizado, desconsiderando um problema grave que surge nesse cenário: a criação de *buffer* no processo de rosqueamento. Como dito, o envase leva aproximadamente 19,74 segundos para ser concluído, enquanto o rosqueamento leva 33,6. Assim, percebe-se que iniciando o processo no tempo 0, após 19,74 segundos 6 garrafas sairiam do envase para a rosqueadora e só nesse tempo a rosqueadora poderia iniciar seu processo. Como seu processo dura 33,6 segundos para rosquear as 6 garrafas, no tempo de 53.24 segundos a rosqueadora terminaria o seu processo para o bloco inicial de 6 garrafas. Contudo, após a envasadora liberar as 6 primeiras garrafas, ela já começa a operar novamente com o segundo bloco e após 19,74 segundos, ou seja, no tempo 39,48 segundos, ela já estará liberando o segundo lote para a rosqueadora, que ainda não terá terminado o processo do primeiro bloco. Com isso, é possível observar que a rosqueadora será um gargalo no processo, visto que tem o maior tempo de operação por ter que atuar de uma em uma garrafa, ou seja, rosquear cada unidade separadamente,

enquanto o envase opera de 6 em 6 unidades.

Assim, várias soluções foram pensadas visando otimizar o processo para chegar na produtividade desejada de 3000 garrafas por hora, tentando diminuir os tempos de operação do processo, mas nesse sistema, todas tinham o problema do tempo de operação do rosqueador, que tem que atuar de unidade em unidade.

Logo, foi necessário estudar uma nova solução para a tampadora que pudesse diminuir o tempo de rosqueamento das garrafas para poder otimizar o processo como um todo. Com isso, foi desenvolvida a terceira e atual solução.

3.6.3 Terceira solução

3.6.3.1 Rosqueadora

A estrutura de uma esteira única será mantida, pois as vantagens da mesma já foram citadas no item anterior. O maior problema era a rosqueadora. Após muitos estudos e observações de maquinários do mercado, descobriu-se que existe um sistema que rosqueia tampas sem necessidade de parar a linha, ou operar de unidade em unidade, o que diminui em muito o tempo do processo de rosqueamento da tampa e conseqüentemente aumenta a produtividade, que são as máquinas tampadoras automáticas com transmissão de eixo. Logo, percebeu-se que o sistema poderia otimizar bastante a produtividade. A ideia central do sistema a ser desenvolvido foi observado em uma das máquinas da *Apacks*, uma empresa norte americana que desenvolve soluções para a indústria em geral e tem seu modelo apresentado na Figura 3.16.



Figura 3.16: Tampadora que serviu de inspiração para o projeto da nova estrutura da nossa rosqueadora [24].

Por meio da Figura 3.16, pode-se observar que existem 8 eixos, 4 em cada lado, que possuem

anéis amarelos que fazem contato com as tampas das garrafas. Como esses eixos estão girando, alimentados por motores, eles encostam nas tampas das garrafas enquanto as mesmas passam entre eles e com isso, rosqueiam as mesmas. Um sistema simples que não necessita parar e atuar em cada uma das garrafas separadamente, o que permite que com o simples movimento retilíneo da esteira transportadora, os eixos realizem o rosqueamento das tampas.

Para um melhor entendimento do processo, será feita a análise da Figura 3.17. Nela, encontra-se uma ilustração que visa ajudar no entendimento do novo processo de rosqueamento através de uma visão superior dos eixos. Assim, os círculos amarelos representam os eixos da Figura 3.16, sendo os eixos com número 1 de um lado e os eixos com número 2 de outro lado. As setas em verde indicam o sentido de deslocamento das garrafas de acordo com a esteira transportadora principal e os círculos menores em vermelho e em verde indicam as tampas das garrafas que estão em processo. Os círculos vermelhos indicam as tampas que ainda estão em processo de rosqueamento, assim como os verdes indicam as já rosqueadas.

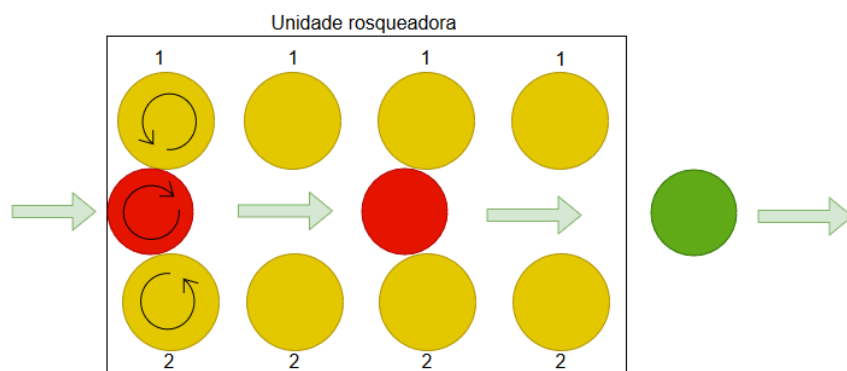


Figura 3.17: Esquemático de funcionamento da máquina da Figura 3.16

Observando a Figura 3.17, os eixos 1 rodam todos no mesmo sentido, o anti horário, assim como os eixos 2. Logo, quando uma garrafa entra na zona de operação da tampadora, sempre fará contato simultâneo com os pares de eixos 1 e 2 dispostos verticalmente (os pares verticais). Cada par de eixos é alimentado por um motor diferente, logo, usam-se 4 motores nesse maquinário da empresa indicada. Assim, o eixo 1 aplica uma força na tampa que a rotaciona no sentido horário. Ao mesmo tempo, o eixo 2 do par aplica também uma força no sentido anti horário no outro lado da tampa, empurrando-a no sentido horário, completando o movimento do eixo 1 e rosqueando a tampa parcialmente.

Note que os eixos devem sempre girar no sentido contrário ao de rosqueamento de uma tampa. Logo, se a tampa é rosqueada no sentido horário, os eixos devem girar no anti horário. Além disso, o sistema apresentado faz com que só haja contato dos eixos com a garrafa 4 vezes, logo, deve-se garantir que esses 4 contatos girem a tampa o suficiente para rosqueá-la.

Como dito, o maquinário da Figura 3.16 serviu de inspiração para montar uma estrutura adaptada para uma nova rosqueadora. Assim, pensou-se em usar uma quantidade menor de eixos e usar duas correias, apoiadas em chapas, para poder fazer o rosqueamento. Para a alimentação,

dos eixos, será utilizado apenas um motor que utilize uma terceira correia sincronizadora, sendo que essa correia fará contato com os eixos 1 e 2, conforme se visualiza na Figura 3.18. Nessa figura é possível entender o sistema de alimentação projetado. O círculo verde representa o eixo do motor que gira em sentido anti horário. A correia sincronizadora, representada em preto na Figura 3.18, faz com que os eixos 1 e 2 também rotacionem no sentido anti horário. Com isso, usando apenas um motor e uma correia sincronizadora, é possível alimentar o sistema.

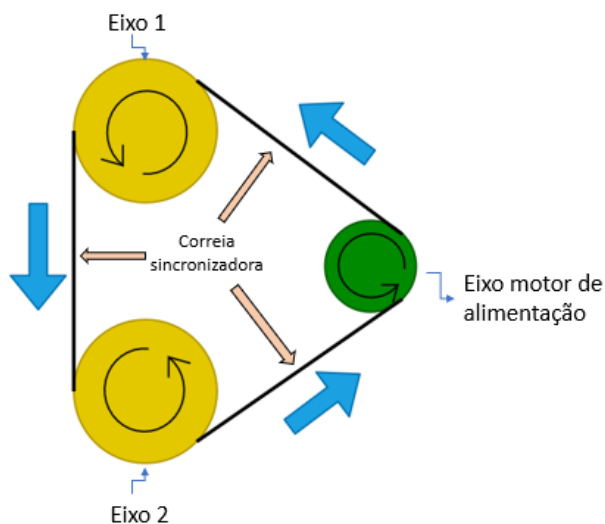


Figura 3.18: Esquemático de funcionamento da nova estrutura da rosqueadora - sincronização entre motor e eixos

Após entender a alimentação utilizando um motor e uma correia sincronizadora entre os dois eixos, deve-se entender como funcionará o processo de rosqueamento. Para isso, observe o esquemático da Figura 3.19.

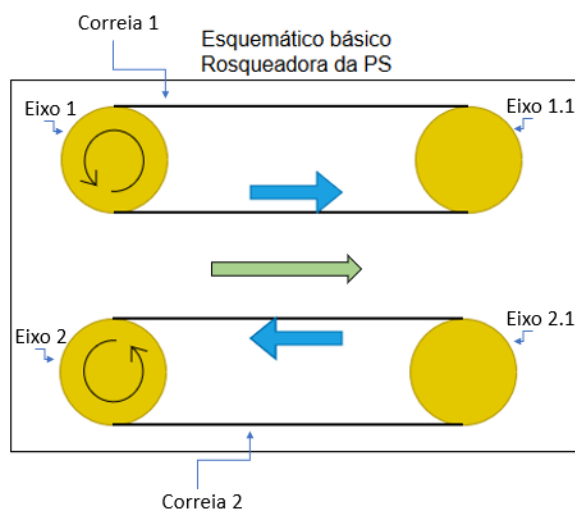


Figura 3.19: Esquemático de funcionamento da nova estrutura da rosqueadora - rosqueamento

Conforme descrito, serão utilizadas mais duas correias sincronizadoras nos mesmos eixos da Figura 3.18. Vale lembrar que os desenhos aqui mostrados estão em 2D e representam visões superiores da estrutura da rosqueadora com o objetivo de facilitar a compreensão de funcionamento da mesma. Na Figura 3.22 são apresentados desenhos 3D do projeto dessas estruturas. Os eixos 1 e 2 recebem a correia de sincronização da Figura 3.18 na parte de cima de sua estrutura, que possui 250 mm de comprimento. Na parte inferior, cada um desses eixos recebem uma segunda correia que será responsável por rosquear as garrafas, usando cada um os eixos 1.2 e 2.1 como polias simples.

Observando a Figura 3.19 e sabendo que os eixos 1 e 2 serão rotacionados por um motor (que foi omitido nesse momento para poder entender melhor como vai ocorrer o rosqueamento da tampa), que rotaciona as correias 1 e 2 da referida Figura, correias essas que vão girar na direção das setas em azul no desenho, movimentando-se em direções opostas uma a outra justamente para poder rosquear a tampa. Assim, enquanto a garrafa é deslocada pela esteira transportadora na direção da seta em verde, a tampa da garrafa faz contato na unidade de rosqueamento com as duas correias que se movimentam em sentidos opostos e vão permitir o rosqueio da tampa. Note que com uma simplificação visual como a da Figura 3.19 pode-se pensar em como as correias vão rosquear as tampas na região de entre eixos 1 e 1.2, por exemplo, já que não há nada que faça a correia pressionar a tampa lateralmente no desenho apresentado. Para isso, será utilizada uma chapa por trás da face das correias 1 e 2, de modo a fornecer um maior suporte estrutural à correia para que ela possa pressionar bem as tampas lateralmente e conseqüentemente, permitir um correto rosqueamento.

Assim, dois parâmetros são importantes. O primeiro é qual o comprimento deve ter entre os eixos 1 e 1.1 horizontalmente. Quanto menor o comprimento, menor o espaço de contato das correias com as tampas e conseqüentemente, maior será a velocidade angular requerida do motor para que a tampa rosqueie em um espaço menor. Ao mesmo modo, quanto maior o espaço, menor será a velocidade exigida do motor. Para o projeto, será utilizada uma distância entre eixo igual ao perímetro da maior tampa que passará pela rosqueadora vezes o número de voltas que a tampa precisa dar para ser fechada e usar a velocidade linear das correias 1 e 2 igual a velocidade linear da esteira transportadora. Isso garante que ao final do trajeto, para a maior tampa, ela terá sido totalmente rosqueada. Se a tampa for menor, basta diminuir a velocidade do motor.

No atual projeto, é necessário também que essa estrutura seja capaz de rosquear garrafas desde as PET's até a de 5 litros que tenham geometria compatível com a máquina. Por geometria compatível deve-se entender uma embalagem que não tenha uma geometria, como um suporte ou pegador de garrafas, atrás da tampa de forma a impedir o rosqueamento por não passar entre os dois eixos 1 e 2 da Figura 3.19. Logo, como as tampas são de tamanhos diferentes, se faz necessário uma solução que permita aproximar e afastar os eixos 1 e 2. Para isso, basta movimentar horizontalmente o motor de forma a afastá-lo ou aproximá-lo dos eixos, como é mostrado na Figura 3.20. Se o motor for posicionado mais a direita, força-se os dois eixos a se aproximarem. Do mesmo modo, se o motor for posicionado a esquerda, os eixos serão afastados. Fica evidente que, para que isso ocorra da maneira correta, é necessário que a estrutura em que os eixos se encontram possam ser movimentadas nessas direções.

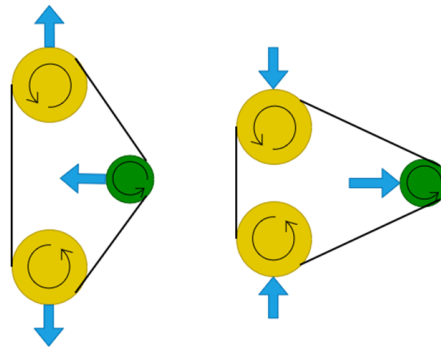


Figura 3.20: Esquemático de funcionamento da nova estrutura da rosqueadora - aproximação ou distanciamento dos eixos a partir da movimentação do motor

A partir do que foi mostrado até agora, foram feitos alguns esboços de uma estrutura para a unidade rosqueadora que possa fornecer os serviços acima descritos, exposta brevemente na Figura 3.22. Como dito, estudos de otimização ainda estão sendo realizados nela. As setas em vermelho na Figura 3.22 indicam uma estrutura que permite a movimentação dos eixos 1 e 2 lateralmente, de modo a se aproximarem ou distanciarem para a necessidade da tampa a ser processada. A seta em amarelo mostra a estrutura da rosqueadora das garrafas de 20 litros, que será mantida, pois as garrafas de 20 litros não possuem geometria compatível, além de que as garrafas de 20 litros não apresentam grande gargalo na produção por ser solicitada uma quantidade bem menor de unidades ao final de uma hora e pelo fato do processo de envase das mesmas demorar muito mais tempo se comparado com o das garrafas de 500mL, o que não torna a unidade rosqueadora de 20L inicial um gargalo nesse caso. A versão completa dessa estrutura pode ser visualizada capítulo que apresenta as implementações desenvolvidas. Uma visão parcial do maquinário é exibida na Figura 3.21.

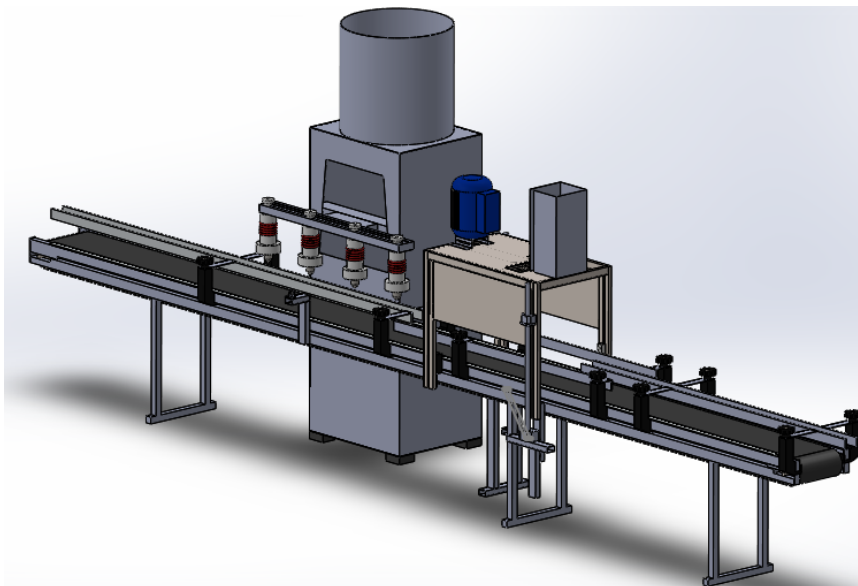


Figura 3.21: Solução final em modelo parcial com a rosqueadora posicionada.

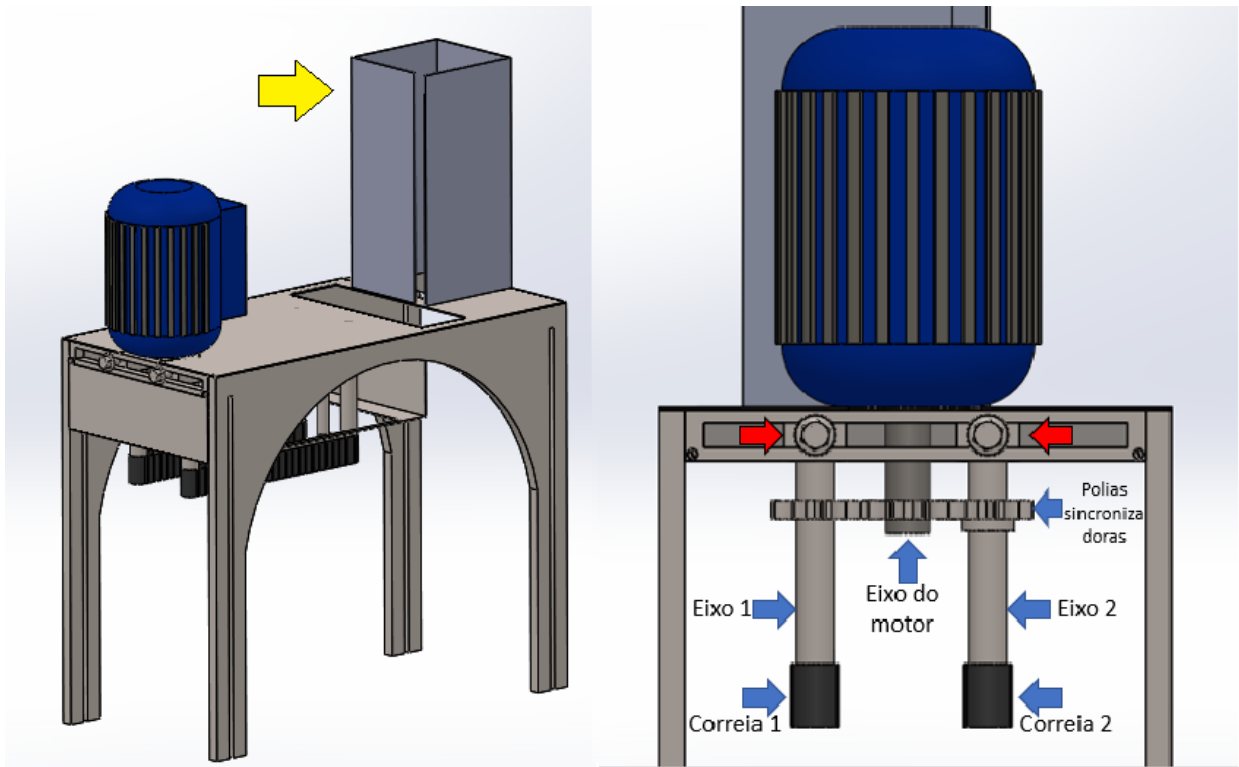


Figura 3.22: Representação tridimensional da nova estrutura da rosqueadora

3.6.3.2 Rotuladora

A unidade rotuladora, como dito, opera corretamente para garrafas de 5L e 20L, mas possui uma precisão muito baixa, pois as vezes coloca o rótulo mais a frente na garrafa e as vezes mais atrás. Contudo, o sistema original de rotulagem só permite o processo para embalagens do tipo galão, que possuem uma superfície lateral plana. Embalagens cilíndricas, como geralmente são garrafas PET, não conseguem ser rotuladas pelo sistema original, pois existe uma necessidade de girar a garrafa para que a mesma receba por completo seu rótulo, movimento esse não efetuado pelo sistema original.

Com isso, estudou-se os métodos utilizados no mercado e concluiu-se que o mais utilizado para a rotulagem de garrafas cilíndricas é um sistema com uma correia de um lado e uma base fixa do outro, semelhante ao exposto na Figura 3.23.

Como se pode observar na referida Figura, a esteira transportadora movimentará as garrafas da esquerda para a direita (conforme as setas vermelhas). O rótulo é fornecido na posição da seta roxa, de forma que fica com um pedaço de sua face com cola exposta no caminho da garrafa na esteira. Quando a garrafa passa, faz contato com a face do rótulo com cola, o que faz com que uma parte do rótulo seja fixada na embalagem. Pra girar a garrafa e permitir que o rótulo seja totalmente fixado na embalagem cilíndrica, utiliza-se o sistema da Figura 3.23.

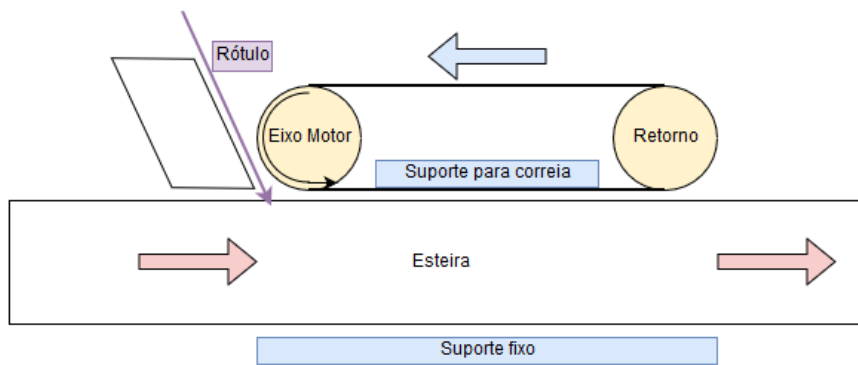


Figura 3.23: Composição do sistema de rotulação a ser implementado.

O eixo motor será responsável por alimentar e girar a correia, representada pela linha grossa entre os eixos (eixo motor e retorno). Esse motor deve realizar a alimentação do sistema, girando em sentido anti-horário, pois a face da correia que está mais próxima da esteira deve acompanhar o sentido de movimento da esteira. Um suporte atrás da correia, posicionado na região entre eixos, se faz necessário para auxiliar na fixação dos rótulos. No outro lado do sistema, deve haver uma guia fixa (suporte fixo) para permitir que a garrafa gire em torno de si mesma e continue o trajeto da esteira.

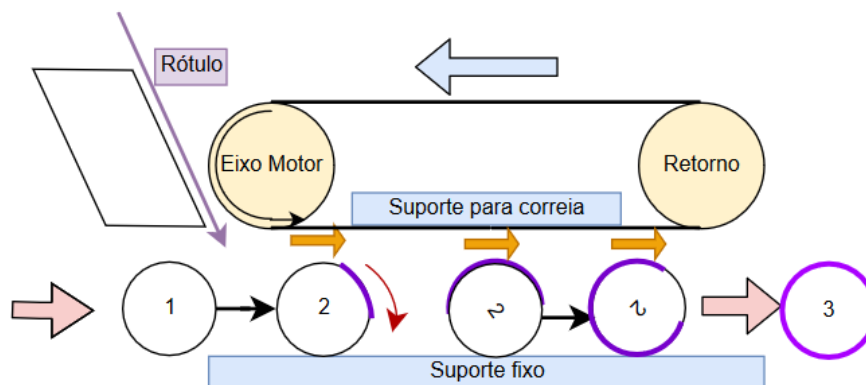


Figura 3.24: Esquemático funcional do sistema de rotulação a ser implementado.

A Figura 3.24 exibe o passo a passo do funcionamento desse sistema. Como dito, o motor deve girar em sentido anti horário fazendo com que a face da correia próxima da esteira acompanhe o movimento da mesma. As garrafas são representadas pelas circunferências brancas. A garrafa 1 indica a embalagem que está prestes a entrar na rotulação. Após passar pelo rótulo (linhas roxas na referida Figura), a garrafa puxa um pedaço do mesmo e logo em seguida faz contato com a correia (garrafa 2 - para melhor entendimento do sistema, na Figura 3.24 a garrafa não faz contato com a correia para poder posicionar as outras setas que serão explicadas a frente, mas no sistema real, a garrafa deve obrigatoriamente fazer esse contato). Como a correia se desloca para a direita, a mesma aplica uma força na extremidade da garrafa, conforme a seta laranja acima da garrafa 2 da Figura 3.24. Ao mesmo tempo, a garrafa faz contato com o suporte fixo, que gera uma resistência ao movimento. Como a correia aplica uma força para um lado e o suporte

fixo aplica para o outro, a garrafa acaba rotacionando sobre si mesma, conforme indica a seta em vermelho na primeira garrafa 2. Como a esteira transportadora está ligada, a garrafa continua sendo deslocada para a direita, e vai se deslocando através da região de rotulação enquanto gira sobre si mesma. Após percorrer toda a zona de rotulação, a garrafa sai no instante 3 com o rótulo colado ao seu corpo.

Para evitar que o rótulo de uma garrafa fique preso na garrafa que vem imediatamente atrás, é necessário garantir que exista um espaçamento mínimo entre as garrafas ao entrar na zona de rotulação. Para isso, será utilizado algum tipo de guia que atrase as garrafas ao entrar no rotulador.

3.6.3.3 Simulações de Produtividade

Na análise da segunda solução, o maior problema causado naquele momento era o fato de a rosqueadora demorar muito tempo para executar sua tarefa, pois precisava atuar de unidade em unidade. Contudo, mesmo assim, ainda restou o problema de que os processos como um todo eram muito lentos. Para poder otimizar o sistema, é necessário propor melhorias em todas as unidades. Mas antes disso, deve-se atentar nas dimensões mínimas do projeto. A nova máquina deve ser flexível, isto é, deve operar com embalagens que variam desde 500ml até 20L. Na nova máquina envasadora, é desejado que se tenha 12 bicos realizando o envase para garrafas de 500ml (o que vai ajudar no aumento de produtividade) e 4 bicos para garrafas de 20L. Como as garrafas de 20L têm um comprimento lateral de 320mm por unidade, para envasar as 4 garrafas simultaneamente, será necessário um espaço de 1280mm. As garrafas de 500ml têm um diâmetro aproximado de 70mm em média, o que faz um bloco de 12 garrafas ter 840mm (considerando que as garrafas não estejam espaçadas).

Com isso, percebe-se que as garrafas de 20L vão determinar as distâncias mínimas entre as unidades de operação, pois cada uma delas deve suportar até 4 garrafas de 20L, que é a quantidade de embalagens que a envasadora trabalha e vai liberar às outras unidades operacionais. Logo, no novo projeto haverá 4 unidades: a primeira é o *buffer* de entrada, que permite posicionar as garrafas no começo do sistema. A segunda unidade é a de envase. A terceira unidade é a tampadora universal das garrafas e a última é a unidade de rotulação.

Sabendo disso, cada unidade deve ter um comprimento de 1300mm porque é a dimensão necessária para trabalhar com 4 garrafas de 20L simultaneamente. Assim, um esquemático para a disposição espacial na nova esteira é mostrado na Figura 3.25. Nele verificam-se as 4 regiões nomeadas com as cotas de 1300mm conforme especificado anteriormente. Observa-se também um bloco menor segmentado verticalmente com 840mm de comprimento. Ele representa as 12 garrafas de 500ml - com 70mm de diâmetro cada - juntas e posicionadas no envase.

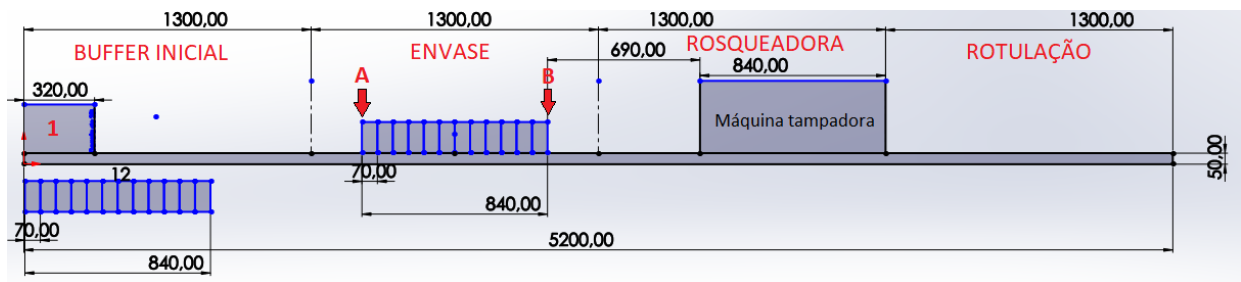


Figura 3.25: Dimensões de cada unidade na nova esteira. O número 1 em vermelho simboliza uma garrafa de 20L

Sabendo da necessidade de aumentar a produtividade, foi estudado junto do Engenheiro Daniel Amaral uma forma de organizar novos tempos de processos em cada unidade do maquinário. Com isso, foram levantados alguns tempos viáveis para cada operação e quais otimizações seriam necessárias para obter os resultados desejados e em seguida verificou-se se com essas mudanças seria possível alcançar a produtividade almejada, de 3000 garrafas por hora. Com isso, os parâmetros iniciais foram definidos como:

- Envase: 3 segundos para enchimento das 12 garrafas de 500mL + 9 segundos para movimentações de cilindros com bicos, gabaritos, posicionadores e movimentação das garrafas. Total de 12 segundos para o processo;
- Fechamento de garrafas: 6 segundos para todas as garrafas serem fechadas;
- Rotulação: 7 segundos para todas as garrafas serem rotuladas e terem dados impressos.

Para atender os tempos requisitados acima, é necessário que se algumas mudanças em componentes atuais do maquinário. O primeiro deles é a bomba de pressurização do envase. O novo processo envasa 12 garrafas de 500mL por operação, um total de 6 litros, em um tempo de envase de 3 segundos, ou seja, uma vazão mínima de 2 litros por segundo, vazão essa não atendida pela bomba atual, que será trocada. Ainda no envase, será necessário aperfeiçoar os posicionamentos de *setups* iniciais dos cilindros de gabarito de envase e de altura dos bicos – atualmente são manuais e imprecisos, deixando a estrutura com os bicos torta, influenciando na distribuição desigual de líquido nos bicos.

Analisando a rosqueadora, é necessário garantir o posicionamento das tampas nas garrafas de forma automática, visto que o posicionador de tampas atual foi entregue sem condições de funcionamento (item 7 da Figura 3.7). Além disso, a unidade de rotulação deve ter um fluxo contínuo na sua impressão de dados e posicionamento de rótulo, ou seja, deve inserir os rótulos sem parar a linha de produção e atuar de unidade em unidade. Vale lembrar que o tempo de operação das unidades foram escolhidos visando alcançar a produtividade desejada e estimados de acordo com o que se acredita que os maquinários possam trabalhar. A confirmação dos mesmos não se dá apenas pela simulação que é apresentada posteriormente, mas pela implementação e validação das operações no maquinário que serão realizadas na continuação desse trabalho.

Para a velocidade da esteira transportadora, considera-se o fato que em 7 segundos todas as garrafas devem ser rotuladas. Para isso, a última garrafa, a mais esquerda, será a última a ser rotulada. Como o processo inicia na primeira garrafa, isto é, a garrafa mais a direita, para a última ser rotulada ela deve percorrer a distância de 840mm do próprio bloco de 12 garrafas mais os 1300mm da região de rotulação. Com isso, deve percorrer 2140mm (840mm + 1300mm) em 7 segundos, o que fornece uma velocidade média de 306 mm/s ou 30,6 cm/s ou 1,106 km/hr.

No envase, as garrafas já começam encostadas no primeiro cilindro de gabarito, ou seja, no ponto B da Figura 3.25. Assim, precisam entrar na região de gabarito que possui o comprimento exato das 12 garrafas juntas, isto é, 840mm. Como se escolheram 9 segundos para as movimentações, deve-se considerar 4,5 segundos para movimentações de entrada e 4,5 para movimentações de saída. Desses 4,5, considera-se que 3 segundos sejam usados de fato para o posicionamento das garrafas e 1,5 segundos para o posicionamento do cilindro com bicos para início de envase. Assim, será necessário um tempo de 840mm/3 segundos, o que fornece uma velocidade de 280mm/s ou 28cm/s ou 1,008km/hr.

Considera-se agora o fato que em 6 segundos todas as garrafas devem ser rosqueadas. Para isso, a última garrafa que está no bloco de envase (garrafa mais a esquerda) será a última a ser rosqueada. Logo, ela deve percorrer a distância de 840mm do próprio bloco de 12 garrafas mais os 690mm que espaçam ela da entrada da rosqueadora e mais 400mm que é o tamanho médio da sessão que realiza o rosqueamento, já que essa operação só é considerada concluída após a garrafa atravessar a unidade que realiza o rosqueamento das tampas (correias 1 e 2 da Figura 3.19). Com isso, a garrafa deve percorrer 1930mm em 6 segundos, o que requer uma velocidade linear (arredondada para cima) de 330mm/s ou 33cm/s ou 1,18km/hr.

Essa foi a maior velocidade necessária, logo, a velocidade crítica para esse processo e a velocidade que se deve usar. Sabendo as distâncias entre as unidades e usando a velocidade acima encontrada, é possível fazer uma estimativa da produtividade nesse sistema. Vale lembrar que como foi dito, a maior velocidade será utilizada, o que faz otimizar outros processos que aconteceriam em velocidades menores. Para a simulação da produtividade, teve-se como auxílio, o software Arena da *Rockwell Automation*, no qual foi realizada a modelagem e simulação do sistema. A modelagem foi implementada conforme a Figura 3.26.

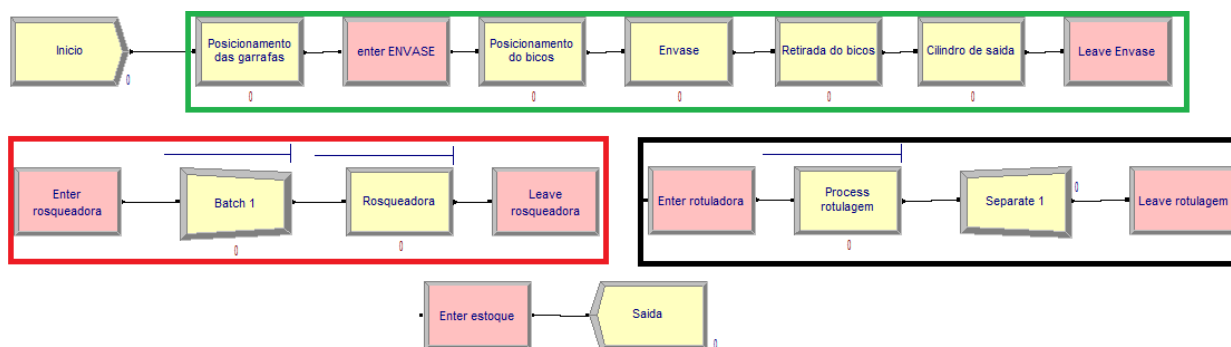


Figura 3.26: Modelagem do sistema feita no software Arena - quadro verde corresponde às operações do envase, quadro vermelho à rosqueadora e preto à rotuladora

Descrevendo os blocos utilizados na Figura 3.26 que foram distribuídos para validação teórica do arranjo, pode-se observar que muitos deles seguem uma distribuição normal que representa a possibilidade da variação nos tempos das operações. Por exemplo, ao movimentar um cilindro pneumático que contém os bicos, não se pode afirmar que o tempo de operação será sempre constante, pois é possível que na primeira operação ele leve X segundos para completar o trajeto e na segunda $X \pm B$, onde B indica uma variação em relação ao tempo de operação médio. Sendo assim, observa-se:

- Posicionamento das garrafas: bloco do tipo processo com ação de *delay* de distribuição normal de 2,55 segundos e variância de 0,2. Esse bloco indica o tempo necessário para as garrafas se posicionarem na região de envase (região entre A e B na Figura 3.25) após a abertura do cilindro A de gabarito que determina o início de operação.
- Enter Envase: bloco do tipo enter que indica a entrada das entidades (as garrafas no caso) no processo de envase.
- Posicionamento dos bicos: bloco do tipo processo com ação de *delay* de distribuição normal de 2 segundos e variância de 0,5. Esse bloco indica o tempo necessário para o cilindro com os bicos descer e iniciar o envase.
- Envase: bloco do tipo processo com ação de *delay* de distribuição normal de 3 segundos (conforme a solicitação feita inicialmente) e variância de 1. Esse bloco indica o tempo necessário para o envase completo das garrafas, ou seja, o tempo em que o líquido será despejado nas embalagens.
- Retirada dos bicos: bloco do tipo processo com ação de *delay* de distribuição normal de 2 segundos e variância de 0,5. Esse bloco indica o tempo necessário para o cilindro com os bicos subir e liberar as garrafas da operação de envase, já que as mesmas já foram preenchidas com o líquido.
- Cilindro de saída: bloco do tipo processo com ação de *delay* de distribuição normal de 1 segundo e variância de 0,5. Esse bloco indica o tempo necessário para o cilindro de gabarito final ser aberto e permitir que as garrafas saiam do envase. Como o cilindro apenas avança e recua e tem uma amplitude de movimento pequena no seu êmbolo, o tempo de operação é realmente pequeno.
- Leave Envase: bloco do tipo leave que é necessário para encerrar uma operação de ENTER, no caso, a operação de envase que foi iniciada pelo bloco Enter Envase. Ela indica a saída das garrafas da unidade de envase e em sua configuração permite o direcionamento das entidades para um outro bloco. Nesse caso, as garrafas após saírem da unidade de envase devem ser direcionadas até a unidade ENTER rosqueadora, que é exatamente o que esse bloco está configurado e programado a fazer. Como existe uma distância de 690mm a ser percorrida entre o cilindro de gabarito B da Figura 3.25 até a rosqueadora e sabendo que a velocidade da esteira transportadora é de 330mm/s, existe um *delay* de 2.1 segundos para o encaminhamento das garrafas até o bloco de enter rosqueadora, sendo esse *delay* a representação do tempo de deslocamento das garrafas até a próxima unidade.

- Início: o primeiro bloco da operação. Vai ser explicado agora porque será mais fácil a compreensão de seus parâmetros. Esse bloco é a alimentação do sistema. É ele quem representa a entrada de entidades em uma modelagem, nesse caso, as entidades são as garrafas. Somando os tempos médios considerados nas operações anteriores, tem-se que após 10,55 segundos as garrafas serão liberadas da região de envase. Foi considerado que após 1 segundo que elas começam a sair da região de envase, isto é, no tempo de 11,55 segundos, o cilindro A pode ser retornado permitindo a entrada de novas garrafas no envase. Isso significa que a cada 11,55 segundos o ciclo de envase está recebendo 12 novas garrafas para envasar. Sendo assim, essa deve ser a taxa de alimentação média do sistema, ou seja, a cada 11,55 segundos, 12 entidades do tipo garrafa são inseridas no modelo.
- Enter rosqueadora: bloco do tipo enter que indica a entrada das entidades (as garrafas no caso) no processo de rosqueamento.
- Batch 1: Item do tipo lote utilizado para agrupar uma quantidade X de entidades em uma única entidade temporária. Utilizou-se esse bloco para considerar as 12 garrafas como um único bloco, já que elas não são operadas mais individualmente no próximo processo. Isso também foi feito pela dificuldade de tratar o *delay* da primeira garrafa chegando em um fluxo pipeline no Arena, ou seja, a primeira garrafa demora 2,1 segundos para chegar na rosqueadora, porém, a próxima garrafa está imediatamente atrás da primeira, e ela não vai levar os 2.1 segundos de atraso, que é a modelagem que o Arena permite, já que os atrasos são direcionados para cada uma das entidades. Assim, agrupando as 12 garrafas em um único bloco e usando o tempo de processo como o tempo para as 12 garrafas serem rosqueadas, obtêm-se um resultado muito semelhante ao fluxo do pipeline que é o que ocorre em um processo real. Assim, esse bloco batch1 está configurado para agrupar 12 unidades, ou seja, as 12 garrafas que saem do envase.
- Rosqueadora: bloco do tipo processo com ação de *delay* de distribuição normal de 5.1 segundos (dado pela distância necessária a ser percorrida dividido pela velocidade da esteira) e variância de 1. Esse bloco indica o tempo necessário para que todas as garrafas passem pela unidade de rosqueamento.
- Leave rosqueadora: bloco do tipo *leave* que é necessário para encerrar uma operação de ENTER, assim como especificado no bloco Leave Envase. Contudo, nesse bloco e conforme se observa na Figura 3.25, ao sair da unidade de rosqueamento, as garrafas já entram na região considerada para os cálculos de rotulação, logo, não há *delay* de transição entre a etapa Leave Rosqueamento e Enter rotuladora.
- Enter rotuladora: bloco do tipo enter que indica a entrada das entidades (as garrafas no caso) no processo de rotulação. Note que neste caso as garrafas ainda estão agrupadas pelo bloco batch1.
- Process Rotulagem: bloco do tipo processo com ação de *delay* de distribuição normal de 3.95 segundos e variância de 2. Esse bloco indica o tempo necessário para que todas as garrafas sejam rotuladas. O tempo para o processo teve uma particularidade. No sistema

real, quando a última garrafa entrar na região de rosqueamento, a primeira garrafa do bloco de 12 já está sendo operada a um certo tempo na unidade de rotulação. Logo, como se unem as 12 garrafas com um bloco batch1 e foi considerado o tempo de processo na rosqueadora o tempo total para as 12 serem rosqueadas, desconsidera-se o fato de na prática as 11 primeiras garrafas já estarem sendo operadas na rotulação (fluxo pipeline). Para consertar isso, considera-se nessa última unidade apenas o tempo da última unidade ser rosqueada, o que volta a operar corretamente a simulação para os deslocamentos e tempos do processo real.

- Separate 1: desfaz a condição do batch1 de unir as garrafas em bloco, ou seja, agora as garrafas já estão separadas novamente.
- Leave rotulagem: bloco do tipo *leave* que é necessário para encerrar uma operação de ENTER, assim como especificado no bloco Leave rotuladora. Direciona entidades para o bloco enter estoque sem atraso.
- Enter estoque: bloco do tipo enter que indica que as garrafas chegaram ao final da linha de produção, ou seja, no *buffer* de saída.
- Saída: bloco do tipo *dispose* necessário no Arena para indicar final de processo e poder fazer uso das análises de resultados do software.

É importante evidenciar que nesse layout de projeto vão existir vazios na esteira. Por exemplo, após iniciar o processo no tempo 0, no tempo de 10,55 segundos as 12 garrafas estarão saindo da rosqueadora, e após mais 7,2 segundos aproximadamente, todas as garrafas já terão sido rosqueadas. Contudo, o segundo bloco de 12 garrafas ainda está sendo envasado e só será liberado no tempo de 22,1 segundos. Assim, durante a execução do processo, é possível ver que o blocos de 12 garrafas na verdade vão estar sempre separados entre si, como dito, existindo vazios dentro do processo.

Com as especificações explicadas anteriormente, foi executada uma simulação simples de 1 hora com replicação única e os resultados reportados pelo software foram analisados, sendo os expostos os mais importantes nas Figuras 3.27, 3.28 e 3.29.

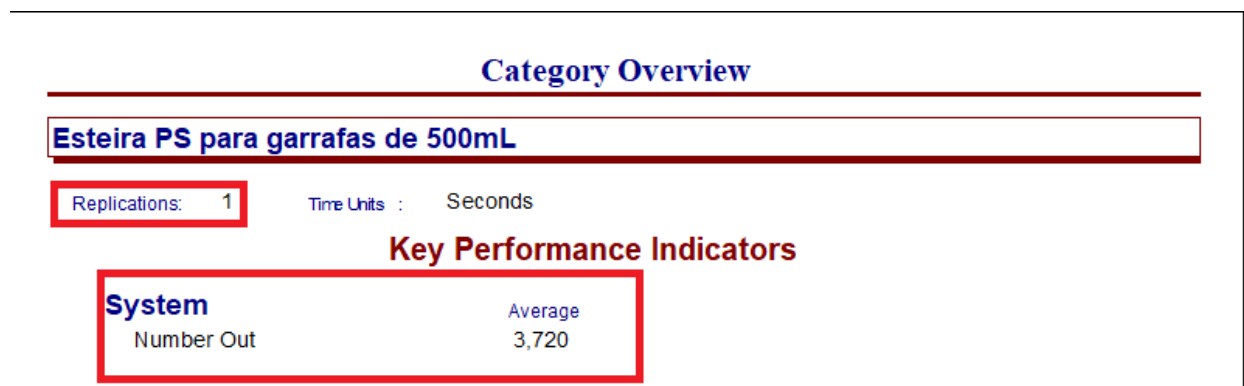


Figura 3.27: Resultado de produção total em uma hora de operação do sistema modelado

Analisando a Figura 3.27, pode-se verificar que o arranjo produziu 24% a mais do valor desejado, que era de 3000 unidades. Isso se deve em partes pelo fato de que a velocidade utilizada para transporte da esteira era de 33cm/s, ou seja, velocidade máxima necessária que otimizou algumas unidades. Além disso, uma sobrecarga na produção foi intencionalmente projetada para que fosse possível não operar na capacidade máxima do layout, de modo que se um único imprevisto acontecesse inesperadamente, a produção não seria gravemente afetada. Por fim, esse valor de 3000 era um valor médio, ou seja, pode ser que um dia o dono precise fabricar 10% a menos do requisitado, mas em outro dia, o mesmo possa necessitar produzir 10% a mais, e com essa flexibilidade de layout, essa requisição maior pode ser atendida, o que não iria ocorrer caso o projeto fosse concluído para capacidade máxima de 3000 unidades.

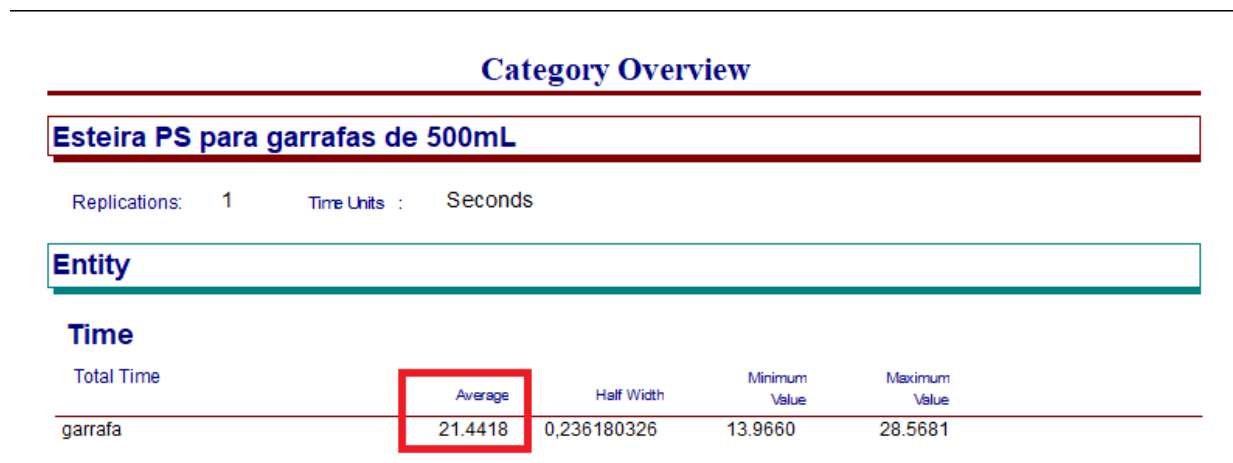


Figura 3.28: Tempo médio de operação para 1 garrafa

Analisando a Figura 3.28, observa-se que o tempo médio de vida da garrafa dentro da linha de produção é de aproximadamente 21,44 segundos, isto é, o tempo que uma garrafa leva desde que entrou no sistema até sair. Sabendo disso e que a vazão de garrafas por segundo (g/s) dentro do fluxo pipeline é dado pelo tempo da envasadora, já que todos os outros processos são contínuos, isto é, as garrafas passam por eles sem parar, percebe-se que esse valor de vazão é de 12/11,55, sendo 12 o número de garrafas que saem a cada processo da envasadora e 11,55 o tempo que leva para 12 novas garrafas entrarem no processo. Assim usando esses valores, utiliza-se a equação 3.1 para analisar o valor teórico esperado:

$$\text{Produtividade total por hora} = (3600 - 21.44) * \left(\frac{12}{11.55}\right) + 1 = 3718 \text{ garrafas}$$

o que apresenta que de fato a simulação foi bem próxima do valor esperado em teoria pipeline. A pequena diferença pode ser justificada notando a variação dos valores de tempo médio que o software utilizou.

Por fim, deve-se analisar a porcentagem de uso das unidades. Como visto, dos 21,44 segundos de tempo médio de produção, o envase, com todas as suas movimentações de componentes e uso dos bicos era responsável por aproximadamente 10,55 segundos (note que aqui está considerando o tempo em que o cilindro de gabarito é aberto, determinando o fim do envase, e não a entrada no processo de novas garrafas). A unidade de rosqueamento é responsável por 5,1 segundos desse

tempo (considerando o tempo de transporte entre envase e rosqueamento nessa unidade), enquanto a rotuladora é responsável por 5,79 segundos. Assim, pode-se analisar na Figura 3.29 que a unidade de envase é responsável pelo maior tempo no processo, sendo que boa parte desse tempo de envase é tomado pela necessidade de posicionamentos de gabarito, bicos e afins. Com isso, fica notório que se for necessário realizar alguma otimização, ela será mais significativa se diminuir o tempo da unidade de envase.

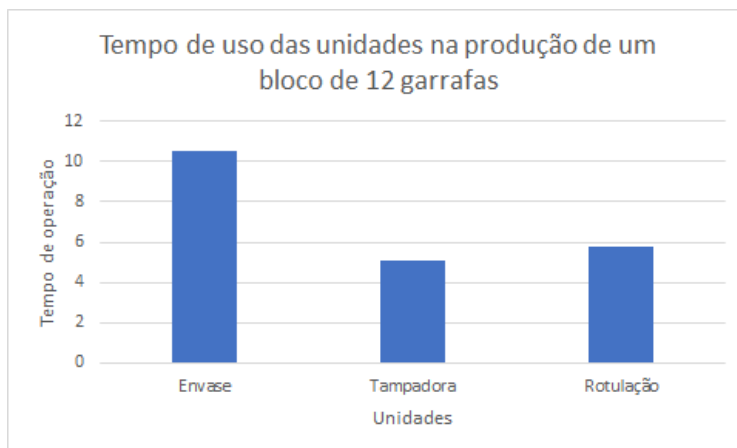


Figura 3.29: Tempo médio que cada unidade precisa para operar em um bloco

Por fim, foi realizada uma última simulação do mesmo sistema com 10 replicações. Isso permite ter uma noção melhor do funcionamento contínuo pelo fato que em cada replicação, os valores das distribuições podem sofrer pequenas alterações. Com essa simulação, foram obtidos os resultados da Figura 3.30 que validam o modelo teórico para diversas execuções aleatórias.



Figura 3.30: Resultados obtidos para simulação do modelo no Arena com 10 replicações

Capítulo 4

Desenvolvimento

4.1 Introdução

Este capítulo abordará o desenvolvimento das estruturas e da implementação de todas as ideias pensadas e apresentadas na última solução do capítulo anterior. Será relatado mais profundamente cada uma das três unidades (envase, rosqueamento e rotulação) após as implementações das melhorias projetadas. Assim, apresenta-se todo o maquinário após a sua reestruturação, bem como peças e componentes utilizados em geral, explicando-se mais alguns detalhes de cada adaptação que foi necessária para o projeto.

Vale lembrar que o novo projeto visou reutilizar vários dos componentes que já eram utilizados na máquina em seu estado inicial para diminuir os gastos com a reestruturação. Assim, alguns atuadores foram mantidos ou reposicionados, mas a parte de controle e comandos elétricos foi totalmente reprojeta e trocada. Com isso, foram implementados alguns sensores que vão auxiliar no controle de processos do maquinário, assim como sistemas de transmissão mecânicos que visam melhorar a eficiência e aumentar a automação de tarefas no processo. Os novos componentes serão explicados a seguir.

4.2 Envasadora

A unidade de envase não sofreu grandes modificações estruturais, pois já envasava todas as embalagens necessárias. A maior dificuldade da unidade era a sua bomba centrífuga de pressurização do sistema, pois não permitia um envase rápido pela sua potência e baixa vazão. Com isso, foi adquirida uma nova bomba com maior potência, e conseqüentemente, maior pressurização do sistema, afim de diminuir o tempo de envase das embalagens e aumentar a produtividade do sistema (conforme explicado no item 3.6.3.2 - Produtividade, no qual a bomba deve ter uma vazão mínima de 7.2 m³/h).

Com isso, uma nova bomba foi adquirida, na qual suas configurações aparecem na Tabela 4.1, sendo a mesma é apresentada na Figura 4.1. A bomba adquirida tem proteção contra algumas

substâncias, visto que no ambiente em que irá operar, vai envasar substâncias químicas e biológicas, de forma que as mesmas não devem prejudicar o funcionamento da bomba.

Tabela 4.1: Especificações da nova bomba centrífuga da unidade de envase.

Especificações	
Tensão de operação	220V
Corrente de operação	4.16 A
RPM	3440
Potência	1.5 cv
Vazão máxima	12 m ³ /hr



Figura 4.1: Nova bomba pressurizadora da unidade de envase

Uma das mudanças feitas no sistema de envase foi a maneira como o líquido a ser envasado chega até os bicos de envase. O sistema anterior já foi explicado no item 3.2.2 - Sistema de pressurização. No novo sistema, é utilizada apenas uma bomba, sendo que o líquido a ser envasado também vem direto dos tanques de produção, sendo sugado pela bomba e a mesma o pressuriza, direcionando diretamente aos bicos de envase, ou seja, o sistema não utiliza mais o tanque superior (conforme item 7 da Figura 3.1) no caminho do envase. A mesma bomba é responsável pela pressurização das tubulações de retorno e direciona o fluxo de retorno direto para a produção. Assim, uma única bomba é utilizada para o envase, permitindo que o líquido a ser envasado percorra um caminho menor nas tubulações do que era antes. As novas conexões da bomba com o sistema de envase são apresentadas na Figura 4.2.

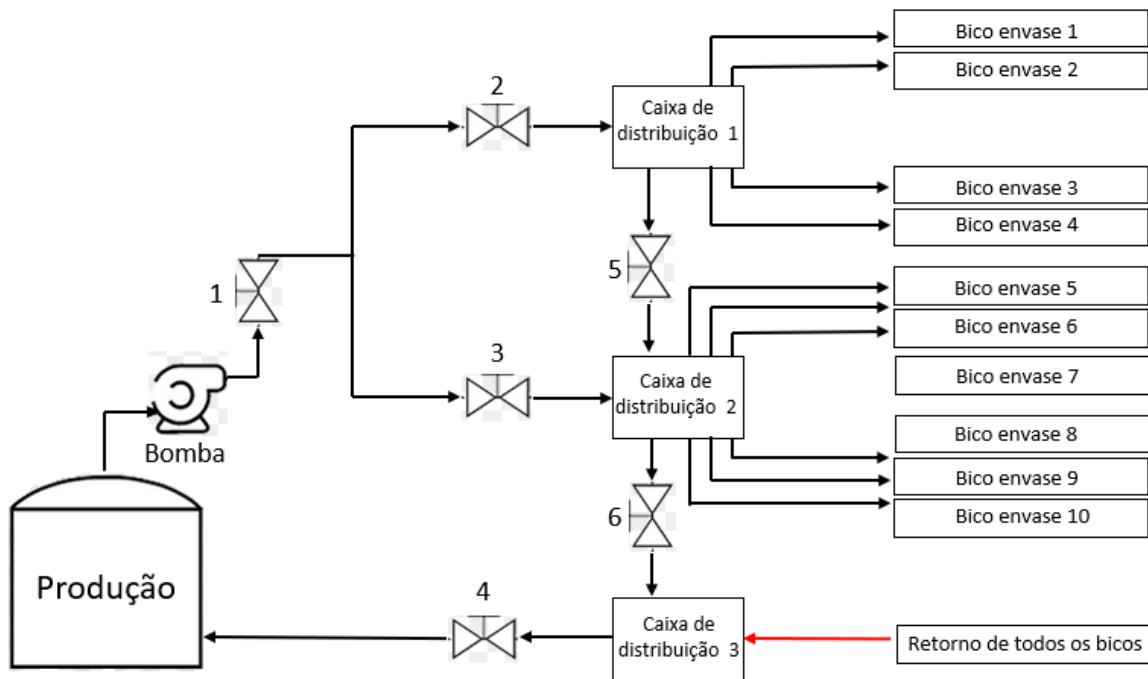


Figura 4.2: Diagrama de conexões hidráulicas do novo sistema de pressurização do envase.

Na Figura 4.2, os bicos de envase de 1 até 4 são geralmente utilizados como os bicos de envase para garrafas de 20L (bicos com maior vazão de saída). No envase de garrafas de pequenos volumes, são utilizados 10 bicos para garrafas pequenas (bicos com menor vazão de saída). Na mesma Figura ainda, as válvulas manuais de 1 até 6 são registros de esfera de PVC, conforme a Figura 4.4 que mostra o sistema real (na Figura 4.4 as numerações em vermelho indicam as válvulas manuais de esfera de 1 a 6 da Figura 4.2 e as setas em azul de 1 a 3 indicam as caixas de distribuição - cubos brancos da Figura 4.4).

Pela Figura 4.3 percebe-se que o líquido a ser envasado vem direto dos tanques de produção, conforme a seta indicativa número 2 e é direcionado até a entrada da bomba, seta indicativa número 1. A seta indicativa número 3 mostra a tubulação de saída da bomba.



Figura 4.3: Tubulações que conectam os tanques de produção com a entrada da bomba pressurizadora.

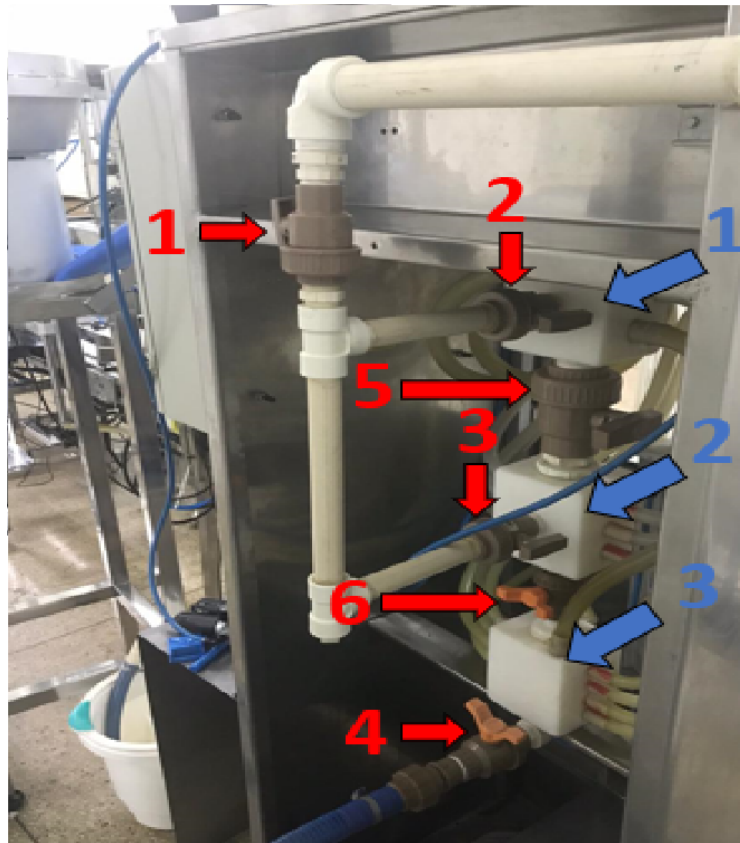


Figura 4.4: Conexões hidráulicas do novo sistema de pressurização do envase.

Além disso, conforme pode-se observar na Figura 4.5, posicionaram-se novos sensores fotoelétricos do tipo barreira para auxiliar no controle do processo. As configurações dos sensores utilizados estão expostos na Tabela 4.2. Os novos itens do sistema de envase são:

1. Bicos de envase de tamanhos variados;
2. Cilindro pneumático que realiza o percurso para movimentação dos bicos;
3. Sensores fotoelétricos Omron modelo E3FA-TP11;
4. Cilindro pneumático para controle de garrafas na entrada da região de envase;
5. Cilindro pneumático para controle de garrafas na saída da região de envase;
6. Guias laterais lineares;
7. Motobomba centrífuga bomax maxbloc 07/0 de selo misto (não aparece na Figura 4.5).

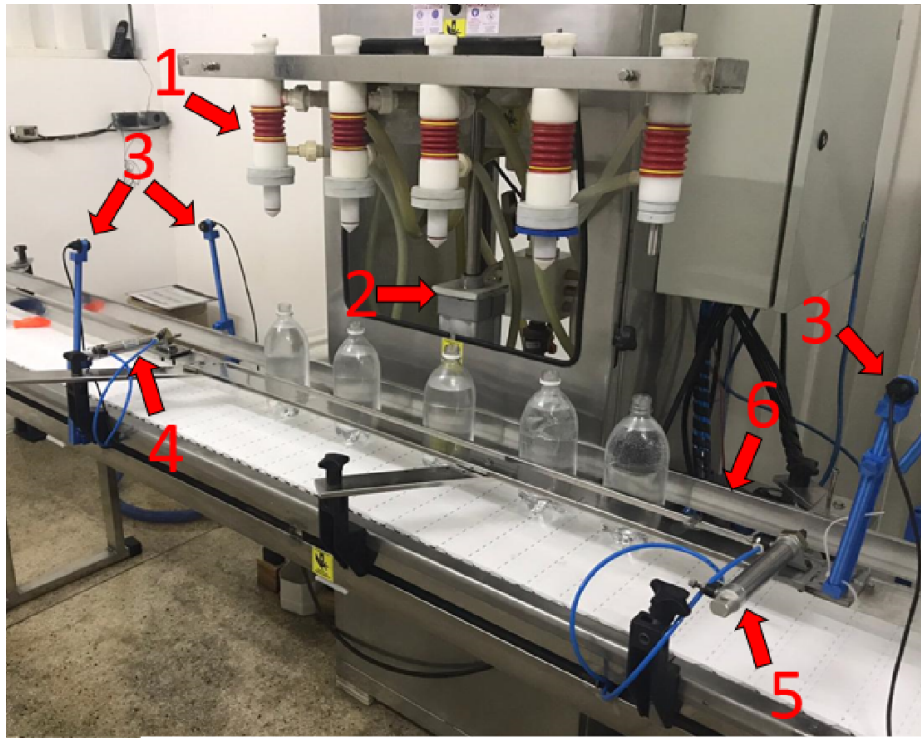


Figura 4.5: Unidade de envase após modificações

Tabela 4.2: Especificações dos sensores fotoelétricos E3FA-TP11 [25].

Especificações	
Tensão de operação	10 a 30 VDC
Corrente de consumo - emissor	25 mA máx
Corrente de consumo - receptor	15 mA máx

Esses sensores têm a função de fazer a contagem da quantidade de garrafas que entram na região de envase e da quantidade que sai, para que ao final do processo, o operador tenha facilmente o número de garrafas que foram envasadas. Além disso, eles permitem um controle mais preciso no acionamento dos cilindros de gabarito da região de envase, itens 4 e 5 da Figura 4.5.

Quando uma quantidade n de garrafas entram na região de envase, elas passam pela primeira barreira formada pelos sensores fotoelétricos (item 3 mais a esquerda da Figura 4.5), que permite que o sistema de controle saiba quantas garrafas entraram na região de envase e bloqueie a entrada de novas garrafas através do acionamento do cilindro de entrada da região de envase, item 4 da Figura 4.5. Após um tempo necessário para o envase dessas n embalagens, o cilindro de saída da unidade de envase, item 5 da Figura 4.5 é movimentado de modo a permitir que as garrafas saiam da região de envase e sigam para o processo de rosqueamento das embalagens. As garrafas quando passam pela segunda barreira de sensores fotoelétricos, item 3 mais a direita da Figura 4.5, permitem que esses sensores informem quantas garrafas já saíram da região de envase, valor que deve ser igual ao de entrada, que foi contado com a primeira barreira de sensores fotoelétricos, e após isso, o sistema sabe que pode movimentar o cilindro 5 da Figura 4.5 novamente para fechar

a região de envase e permitir que a mesma receba novas garrafas para serem envasadas.

4.3 Posicionador de tampas

Conforme mostrado no item 7 da Figura 3.7, o maquinário original possuía um alimentador vibratório de tampas para garrafas PET com panela em ferro, mas não possuía a calha de inserção de tampas nas garrafas, isto é, o alimentador fornecia tampas posicionado-as sempre com a rosca para cima, mas não existia uma calha ou guia de conexão que levasse essas tampas da saída do alimentador até as garrafas e as inserisse nas embalagens.

Assim, foi necessário adquirir uma calha de conexão que permitisse que as tampas fossem levadas desde a saída do alimentador vibratório até as garrafas e fizesse a inserção das tampas nas garrafas. A calha adquirida pode ser vista na Figura 4.6 destacada em vermelho.



Figura 4.6: Calha que realiza a inserção das tampas nas garrafas junto do alimentador vibratório.

O alimentador vibratório de tampas é composto basicamente por uma panela cascata confeccionada em aço inox ou ferro e uma bobina eletromagnética. O funcionamento do alimentador vibratório de tampas é bastante simples: as tampas são colocadas dentro da panela cascata que, no momento em que o equipamento é acionado, passa a vibrar. A vibração da panela, quando bem ajustada, faz com que as tampas percorram canaletas laterais (expostas na Figura 4.7) que permitem que as tampas subam até o topo da panela, na saída do alimentador, promovendo o posicionamento correto das tampas.



Figura 4.7: Guias laterais da panela cascata que permitem que as tampas cheguem até o topo da estrutura

Nesse caminho, existem alguns obstáculos que impedem que as tampas cheguem na posição errada ou que cheguem uma por cima da outra, como se observa na Figura 4.8. A seta indicadora 1 da Figura 4.8 mostra o obstáculo que descarta uma tampa que chegue com a rosca e o lacre para baixo, permitindo que somente as tampas com a rosca para cima, como se pode ver na referida Figura, sigam seu caminho até o final da panela. A seta indicadora 2 da Figura 4.8 mostra o obstáculo que retira uma tampa que chegue até aquele ponto por cima de outra tampa. Logo, caso haja tampas que não foram posicionadas corretamente, elas são retiradas e colocadas novamente dentro da panela vibratória, iniciando-se novamente o processo até que todas as tampas estejam no lugar certo.



Figura 4.8: Obstáculos internos da panela cascata que permitem o correto posicionamento das tampas.

Pode-se observar pela Figura 4.6 o formato em C da calha que realiza a inserção das tampas, que saem com a rosca para cima do alimentador, são giradas em aproximadamente 180° e ficam com a rosca na posição de inserção da garrafa. Logo, ao realizar um ajuste de altura da estrutura, é possível permitir que a garrafa, ao passar pela saída da calha, arraste uma tampa que estará posicionada corretamente para ser rosqueada.

Para que a vibração ocorra na estrutura, é necessário uma retificação do sinal de entrada.

Sabe-se que a panela tem uma bobina alimentada por corrente alternada. Com a retificação, utiliza-se deste mecanismo para cortar a senoide de forma a controlar o intervalo de tempo ao qual se deseja submeter a bobina à tensão e, portanto, limitar a energia aplicada ao sistema.

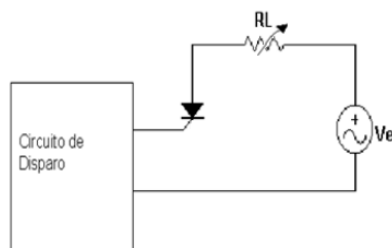


Figura 4.9: Circuito retificador para sinal senoidal [26].

Sendo a tensão aplicada em função do tempo dada pela equação, onde V_{max} é o pico de tensão e ω é a frequência da rede em radianos por segundo [rad/s]:

$$V(t) = V_{max} \cdot \sin(\omega t) \tag{4.1}$$

Considerando um tempo de disparo do tiristor da Figura 4.9 como α (em radianos), pode-se dizer que o valor médio (V_{med}) da tensão aplicada nas bobinas é:

$$V_{med} = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} V_{max} \cdot \sin(\omega t) dt = \frac{V_{max}}{2\pi} (1 + \cos(\alpha)) \tag{4.2}$$

Pelo valor calculado na integral 4.2, pode-se perceber que o tempo de disparo do tiristor influencia diretamente na tensão média aplicada sobre a bobina. A forma de onda esperada após a retificação é conforme a Figura 4.10 apresenta.

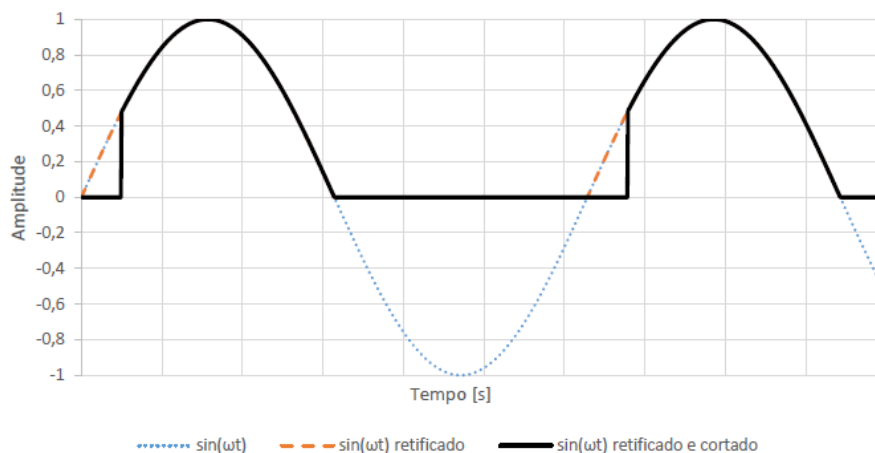


Figura 4.10: Sinal senoidal retificado [27].

Nas Figuras 4.11 e 4.12, pode-se observar a estrutura presente ao final da calha que realiza a inserção das tampas nas garrafas. A estrutura fornece as tampas na posição mostrada na Figura 4.11. Para a inserção, basta que a garrafa passe embaixo da peça e arraste a tampa para a direita, o que será algo natural, pois as garrafas estão sendo deslocadas pela esteira transportadora. Para isso, é necessário que seja realizado um ajuste dessa peça inseridora, conforme se nota na Figura 4.12.



Figura 4.11: Peça responsável pela inserção das tampas nas garrafas PET

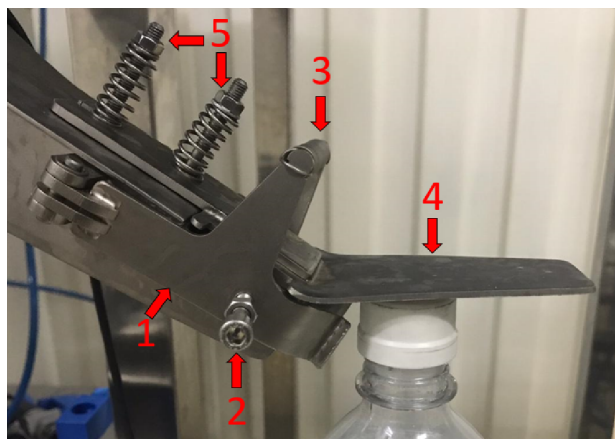


Figura 4.12: Peça responsável pela inserção das tampas nas garrafas PET - descrição de componentes

Na Figura 4.12, observam-se os itens que permitem um melhor ajuste do insersor de tampas. O item 1 da referida Figura é a peça responsável por segurar as tampas que caem da calha, conforme exposto na Figura 4.11. Essa peça utiliza a mola exposta no item 3 para conseguir segurar a tampa, sendo que, quando a garrafa passa no insersor, é exercida uma força sobre a

mola, deslocando-a para abrir o item 1 e liberar a tampa para a garrafa. O parafuso indicado pelo item 2 da Figura 4.12 é responsável por regular a tensão que o item 1 utiliza para segurar as tampas, no caso, a mola. Com isso, apertando o parafuso do item 2, afastam-se as peças do item 1 e consequentemente desloca-se a mola, abrindo-a e permitindo que a garrafa precise exercer uma força menor para retirar a tampa do insersor. O item 4 da Figura 4.12 é responsável por exercer uma força sobre a tampa, de modo que a mesma fique melhor fixada na garrafa. A força que será exercida pode ser regulada pelas molas do item 5.

4.4 Rosqueadora

A unidade rosqueadora foi a que passou pelas maiores mudanças no projeto, conforme explicado no item 3.6.3.1 - Rosqueadora e pela modelagem da unidade desenvolvida e mostrada na Figura 3.22.

Com isso, após ter a estrutura pronta, a primeira montagem feita na unidade foi a inserção de um conjunto de fusos de esfera laminados com servo motor, polias com correia dentada para sincronização e guias lineares. Esse sistema foi implementado visando automatizar o posicionamento da estrutura como um todo. No maquinário original, para rosquear embalagens de 20L, a unidade rosqueadora deveria estar a uma altura X da esteira, altura esta determinada pelas dimensões da embalagem de 20L. Para o rosqueamento de garrafas de 5L, a unidade rosqueadora deveria estar a uma altura Y, sendo $Y < X$, isto é, deveria estar mais abaixo pelo fato da embalagem de 5L ter menores dimensões. Esse *setup* de altura era feito manualmente com ajuste de parafusos, o que era difícil para os operários devido ao peso da estrutura.

Logo, analisaram-se as dimensões e peso da nova estrutura e com esses dados, utilizaram-se dois fusos de esferas laminados de 20mm de diâmetro com passo de 5mm, um em cada uma das 4 pernas da estrutura dispostos diagonalmente, conforme se pode visualizar na Figura 4.13, na qual o item 1 indica o servo motor, os itens 2 indicam a correia sincronizadora, os itens 3 indicam os fusos, os itens 4 indicam o conjunto castanha e suporte para fixação na estrutura, o item 5 indica o mancal tipo BK utilizado no fuso que não recebe o motor e os itens 6 indicam as polias sincronizadoras.

Nas outras duas pernas foram instalados conjuntos de guias lineares com patins sem abas. Para a movimentação da estrutura foi utilizado um servo motor, que possui suas características expostas na Tabela 4.3, fixado em um dos fusos. Assim, quando o servo recebe um comando para realizar uma movimentação, o mesmo acaba girando o fuso que está apoiado nele. Para movimentar também o outro fuso, de forma sincronizada, foram utilizadas polias em duralumínio com perfil AT e passo de 5mm, uma em cada um dos fusos, interligando-as com uma correia dentada de sincronização em poliuretano com cabos de aço. Logo, o movimento de um dos fusos faz com que o outro se movimente da mesma maneira.

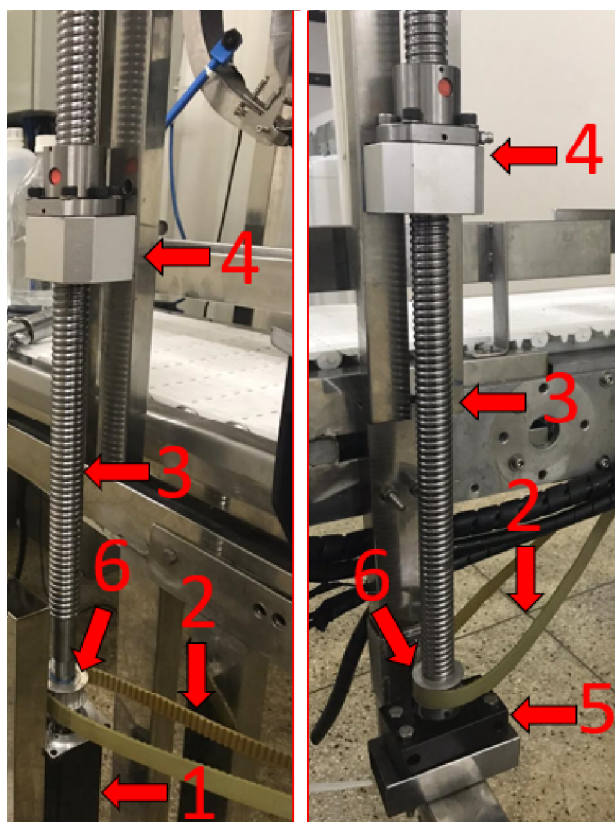


Figura 4.13: Fusos instalados na estrutura do rosqueador

Tabela 4.3: Especificações do servo motor utilizado para posicionamento do rosqueador.

Especificações	
Alimentação	Trifásica
Tensão de operação	220 V
Corrente de operação	3.6 A
RPM	6000
Potência	1 cv

Com essa automação, para movimentar a estrutura do rosqueador e posicioná-la de acordo com as dimensões da garrafa que será utilizada na produção, basta que o operário aperte um botão que aciona o servo motor e movimentar a estrutura, tornando mais simples, rápido e seguro o *setup* de altura dessa unidade.

A segunda modificação foi o reposicionamento da estrutura rosqueadora das garrafas de 20L, que é o mesmo da antiga unidade (cilindro pneumático e motor), tendo apenas recebido um novo suporte e uma lubrificação nas guias laterais, como se observa na Figura 4.14, no qual o motor utilizado tem suas especificações mostradas na Tabela 4.4.



Figura 4.14: Motor e cilindro pneumático utilizados no rosqueamento de garrafas de 20L.

Tabela 4.4: Especificações do motor utilizado para rosquear garrafas de 20L.

Especificações	
Alimentação	Trifásica
Tensão de operação	220 V
Corrente de operação	3.6 A
RPM	6000
Potência	1 cv

Por fim, foram implementadas as peças responsáveis pelo rosqueamento das garrafas do tipo PET, as quais foram desenvolvidas segundo o modelo exposto no item 3.6.3.1 - Rosqueadora. A principal peça dessa estrutura é a exposta na Figura 4.15, que é a peça responsável por receber todos os elementos. No item 1 da Figura 4.15, na imagem mais a esquerda, existe o furo para inserção do parafuso M16 que será responsável pela fixação da peça na estrutura, como se pode identificá-lo na Figura 4.16. O item 2 da Figura 4.15 é o furo que receberá os eixos responsáveis pela transmissão do movimento para as correias rosqueadoras, sendo estes eixos posicionados com rolamentos de esferas simples dentro de mancais, mancais estes que ficam dentro da peça de Aço inox 304. O item 3 é uma chapa que vai atrás das correias rosqueadoras que visa dar suporte para a correia poder rosquear as tampas. Um esquemático da peça após receber os eixos e a correia rosqueadora está exibido na mesma Figura 4.15 na parte da direita, na qual visualiza-se como o item 3 fica posicionado logo atrás da correia, promovendo um apoio para que as mesmas rosqueiem as tampas.

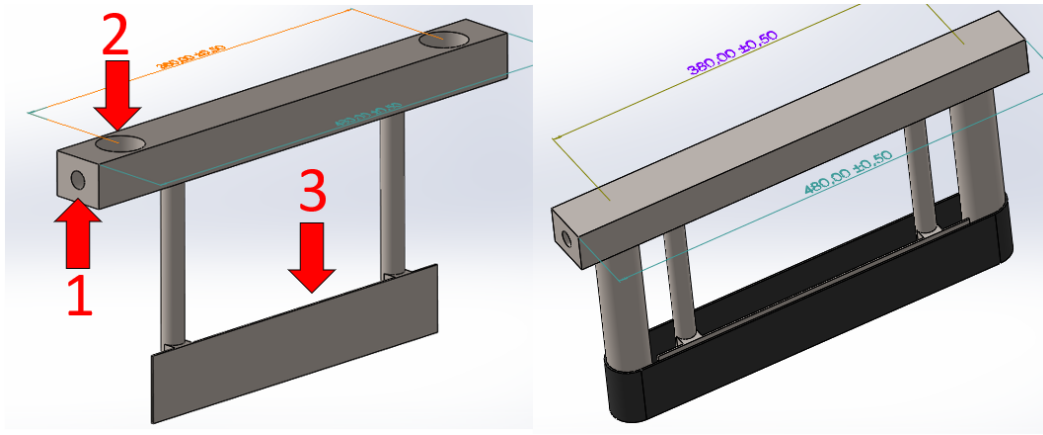


Figura 4.15: Modelagem em software da peça base do novo rosqueador

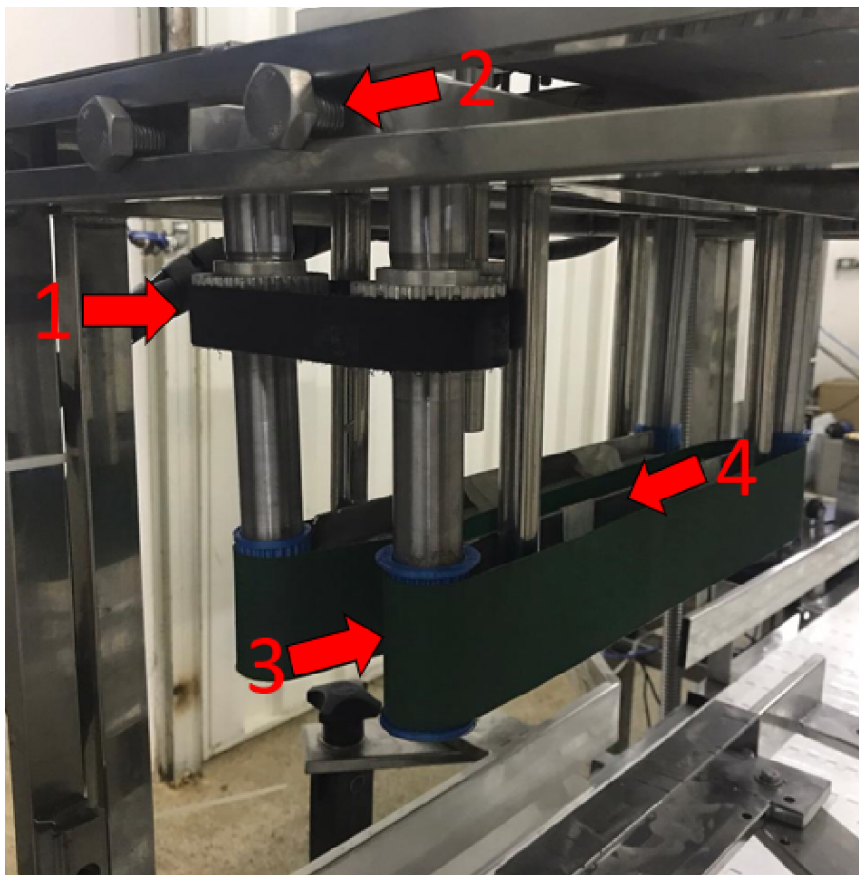


Figura 4.16: Estrutura real da rosqueadora

Na Figura 4.16 que apresenta o sistema real implementado, nota-se no item 1 a parte do sistema de transmissão, o qual é o mesmo explicado na Figura 3.18. Como se pode visualizar, foram utilizados 3 eixos, sendo um o eixo motor e os outros dois os eixos de transmissão. As polias dentadas foram selecionadas com mesmo diâmetro com o objetivo de não ter ganho de velocidade na transmissão, de modo que controlando a velocidade do motor com um inversor de frequência, controla-se corretamente a velocidade dos eixos. As polias possuem passo de 5mm

e foram fabricadas em duralumínio liga 6351T6. A correia de sincronização foi fabricada em borracha cloroprenica com cordoneis em fibra de vidro e área dentada revestida com tecido de *nylon*. O motor utilizado para alimentação desse sistema tem suas características expostas na Tabela 4.5 e sua fixação e posicionamento mostrados na Figura 4.17.

Tabela 4.5: Especificações do motor utilizado para alimentar o sistema de rosqueamento das garrafas PET

Especificações	
Alimentação	Trifásica
Tensão de operação	220 V
Corrente de operação	1.13 A
RPM	1700
Potência	0.17 cv

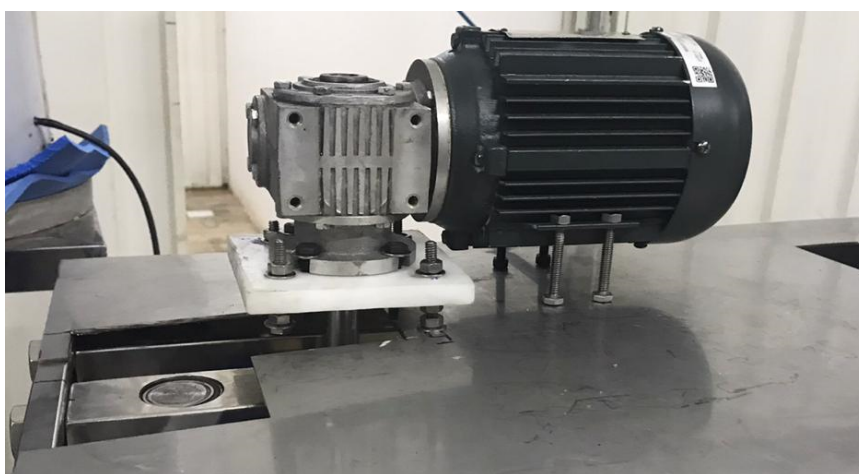


Figura 4.17: Motor utilizado no sistema de rosqueamento das garrafas PET

O item 2 da Figura 4.16 são os parafusos de fixação da peça exposta na Figura 4.15, conforme mostrado também nas setas em vermelho da Figura 3.22. A fixação por parafusos permite que as peças possam ser movimentadas horizontalmente na estrutura, permitindo o ajuste do rosqueador para receber tampas PET de qualquer diâmetro. O item 3 da Figura 4.16 apresentam polias com flanges superiores e inferiores desenvolvidas em impressão 3D que visam ajudar no tensionamento das correias nos eixos, evitando escorregamentos e deslocamentos dessas correias.

No item 4 da Figura 4.16 observa-se as correias selecionadas para fazerem os rosqueamentos das tampas PET. As correias utilizadas possuem superfície exterior em borracha nitrílica (NBR), com superfície rugosa, núcleo de tração com lâminas de poliamida e superfície interior de náilon impregnado com borracha nitrílica (NBR). Demais especificações da correia estão expostas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Especificações da correia utilizada para o rosqueamento das garrafas

Especificações	
Espessura total	1,3 mm
Tensão para 1% de alongamento	2,6 N/mm
Temperatura de trabalho	de -20° C até 100° C

Para verificar se a estrutura utilizada iria suportar os esforços requeridos, tendo em vista que é uma estrutura montada em Aço inox 304, foram realizadas com o auxílio do software *SolidWorks* simulações de esforços sobre as peças constituintes da estrutura a fim de verificar se as mesmas não seriam danificadas pelo peso dos equipamentos que a rosqueadora iria suportar. As simulações e demais comentários sobre as mesmas estão expostas no item 1 dos Anexos. Por fim, apresenta-se a Figura 4.18 que mostra a estrutura completa do rosqueador posicionado sobre a esteira.



Figura 4.18: Estrutura do rosqueador completa.

4.5 Rotuladora

Conforme explicado no item 3.6.3.2 - Rotuladora, algumas mudanças deveriam ser implementadas na unidade rotuladora para permitir que a mesma faça a operação para garrafas PET e embalagens de 5L e 20L. O sistema que tensionava e fornecia os rótulos foi mantido exatamente como era, conforme observa-se no retângulo vermelho da Figura 4.19. Na mesma imagem, pode-se observar o local onde o rótulo é inserido na garrafa conforme a marcação em amarelo. Por fim, representado pela seta vermelha na Figura 4.19, é exibida a implementação do sistema do item 3.6.3.2 - Rotuladora.

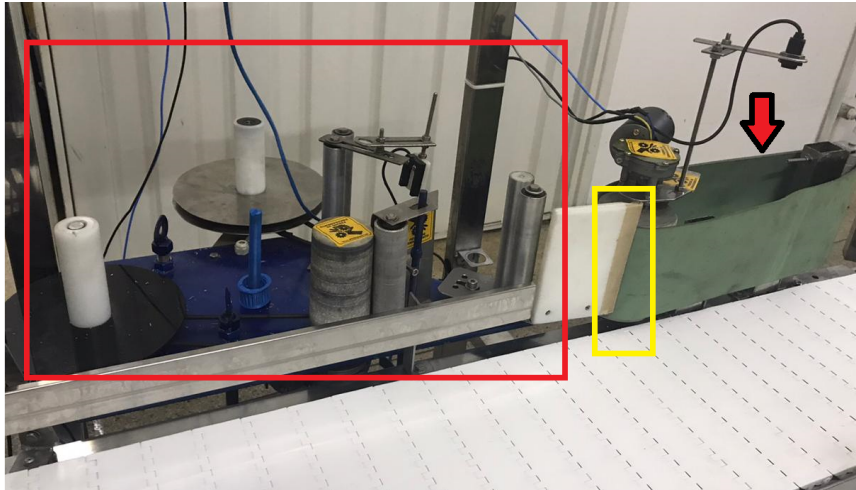


Figura 4.19: Unidade de rotulação reformulada.

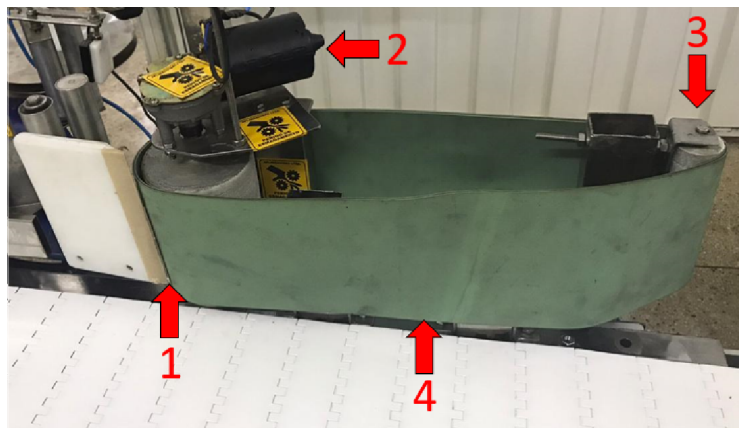


Figura 4.20: Unidade de rotulação reformulada -segunda parte.

Na Figura 4.20 observa-se as principais modificações implementadas na unidade de rotulação. No item 1, está a região por onde o rótulo passa e faz contato com a garrafa. Percebe-se que é uma região estreita, já que o rótulo é fino e assim que faz contato com a garrafa, já deve fazer contato também com a correia de rotulação, item 4 da Figura 4.20. A correia selecionada tem superfície externa e interna de borracha nitrílica (NBR) com superfície rugosa e núcleo de tração

com lâmina de poliamida. Demais especificações estão exibidas na Tabela 4.7. O item 2 indica o motor que alimenta esse sistema, que é DC de 12V. O item 3 indica o eixo de retorno.

Tabela 4.7: Especificações da correia utilizada para o rotulador das garrafas

Especificações	
Espessura total	3 mm
Tensão para 1% de alongamento	4,4 N/mm
Temperatura de trabalho	de -20° C até 100° C

4.6 Sistema Pneumático

Com a reestruturação do maquinário, foi possível eliminar alguns atuadores pneumáticos e simplificar esse sistema, muito pelo fato de eliminar todos os itens que estavam presentes na esteira 2 da Figura 3.12. Assim, o novo diagrama pneumático está conforme a Figura 4.21. O documento técnico completo com o diagrama pneumático está exposto no item 2 dos Anexos.

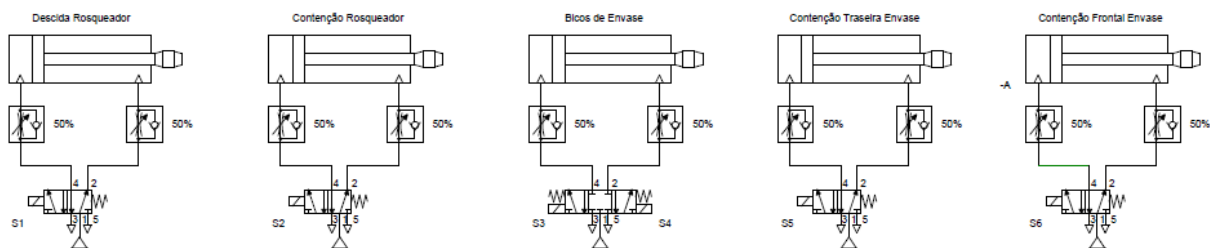


Figura 4.21: Diagrama pneumático do maquinário após modificações.

Assim, observando a Figura 4.21 pode-se concluir que apenas 5 atuadores pneumáticos estão sendo utilizados até o momento. Assim, os atuadores estão dispostos como:

1. Descida rosqueador: é um cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide 24V e retorno por mola NF. Este atuador é o item pneumático indicado na Figura 4.14.
2. Contenção Rosqueador: é um cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide 24V e retorno por mola NF. Este atuador é o item 2 indicado na Figura 3.5. Este atuador age no mesmo sistema que o atuador anterior. Assim, a Figura 4.22 apresenta o DTP do sistema que possui os dois atuadores. O atuador A é o cilindro rosqueador (item anterior), o B é o motor elétrico exposto na Figura 4.14 e o C é o atuador "contenção rosqueador". Assim, quando a garrafa está na posição de rosqueamento correta, que é informada por um sensor fotoelétrico de barreira, o cilindro C é acionado para que a garrafa pare na região correta de rosqueamento. Em seguida, o cilindro A é acionado e desce até a tampa. No momento em que encosta na tampa, é acionado o motor elétrico (item b do DTP) que fica um tempo de 2 segundos ligado para rosquear a tampa. Após

esse tempo, o motor é desligado e o cilindro A é recuado. Após isso, o cilindro C é recuado, permitindo que a garrafa saia da região de rosqueamento;

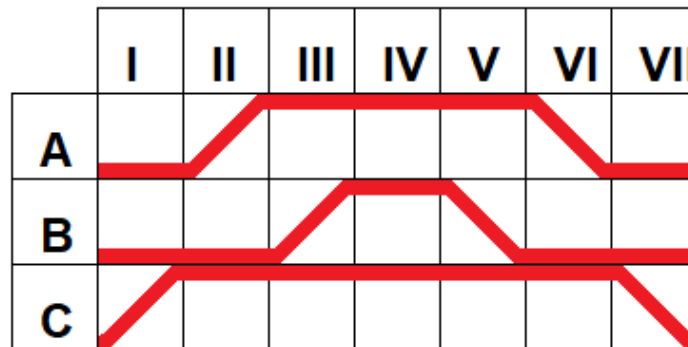


Figura 4.22: DTP com os dois primeiros atuadores pneumáticos listados.

3. Bicos de Envase: é um cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/3 centro fechada duplo solenoide 24V e mola. Este atuador é o item 2 indicado na Figura 4.5;
4. Contenção traseira de Envase: é um cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide 24V e retorno por mola NF. Este atuador é o item 4 indicado na Figura 4.5;
5. Contenção frontal de Envase: é um cilindro pneumático de dupla ação controlado por válvula direcional 5/2 avanço com solenoide 24V e retorno por mola NF. Este atuador é o item 5 indicado na Figura 4.5. Esse atuador está conectado no mesmo sistema que os outros dois anteriores, Bicos de envase e Contenção traseira de Envase. Assim, a Figura 4.23 apresenta o DTP do sistema que possui os três atuadores. O atuador A é Contenção traseira de Envase, B é o Bicos de envase e C é Contenção frontal de Envase. Logo, quando as garrafas entram no região de envase, o atuador C é acionado para fazer com que as garrafas parem na região correta de envase. Após um tempo calculado, o atuador A é acionado, não permitindo que nenhuma garrafa mais entre na região de envase. Após isso, é garantido que as garrafas estão corretamente posicionadas no envase e é acionado o atuador B, o que permite que as garrafas sejam de fato envasadas. Após o término do processo, o atuador B é recuado, isto é, os bicos de envase são retirados das garrafas. Após isso, o atuador C é recuado, permitindo que as garrafas saiam da região de envase. Após um certo tempo, é garantido que as garrafas que foram operadas já saíram do envase e o atuador A é recuado, permitindo que novas garrafas entrem na região de envase.

Foram adicionadas válvulas reguladoras de vazão nas conexões de entrada e saída dos atuadores, permitindo um controle do tipo *meter-out*. A alimentação do sistema pneumático vem toda do mesmo compressor, passando antes por uma unidade Lubrifil.

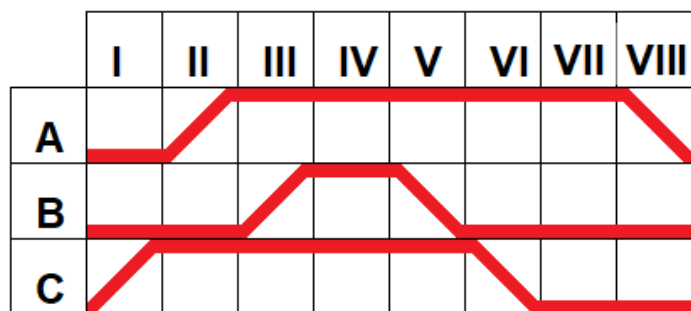


Figura 4.23: DTP com os três últimos atuadores pneumáticos listados.

Para um melhor controle e manutenção do sistema pneumático e de suas tubulações, foi montado um quadro de comandos que recebe todas as válvulas direcionais do sistema, bem como os solenoides. Assim, qualquer serviço que seja necessário ser realizado neste sistema, basta analisar o quadro pneumático e não mais sair procurando as válvulas pelo corpo da esteira, (o que era feito antes). O quadro está exposto na Figura 4.24.



Figura 4.24: Quadro pneumático.

4.7 Controlador Lógico Programável

Como dito no capítulo anterior, o sistema original possuía 4 pequenos Controladores Lógicos Programáveis que eram responsáveis por cada uma das unidades. Assim, acontecia que cada uma das unidades tinha funcionamento independente. Com isso, foi preferível trocar os 4 CLP's com pouca capacidade por um único mais robusto e moderno. Com isso, após várias pesquisas de modelo e de preços, o Engenheiro Daniel Amaral Ribeiro optou por escolher um controlador do tipo p300 da marca Lenze, muito em função do seu custo, plataforma de programação, material e suporte técnico acessíveis, sendo que o mesmo ainda permite a utilização da rede EtherCAT. O modelo é apresentado na Figura 4.25.



Figura 4.25: Controlador Lógico Programável p300 da Lenze [28].

Uma das grandes vantagens desse modelo de CLP é o fato de o mesmo já vir com uma tela LCD de 7" *touchscreen* para auxiliar no desenvolvimento do sistema supervisório do maquinário, bem como a configuração de *setup* inicial. Para a configuração, programação e desenvolvimento das lógicas de comando e da IHM no p300 foram utilizados os softwares *L-force PLC Designer* 3.18, junto do *Lenze Engineer* v2.30.00 e do *VisiWinNet Smart*.

Para que a parte dos comandos cheguem até os dispositivos, assim como para que os sinais dos sensores cheguem até o CLP, é necessário um módulo de saídas e entradas. O controlador p300 necessita do módulo *I/O System* 1000 para poder realizar essas tarefas e ser a interface de comunicação entre o controlador e o maquinário.



Figura 4.26: Módulo *I/O System* 1000 da Lenze [29].

Como dito na seção 2.3.2.1 - EtherCAT, este protocolo é um dos mais rápidos de todos e que permite uma fácil configuração pela sua topologia de rede, motivo o qual o mesmo foi utilizado no projeto, permitindo que os pacotes de dados sejam disponibilizados da forma mais rápida para que seja possível ter o acesso e o monitoramento de dados e tarefas por *Ethernet*.

A lógica de controle responsável pela operação do maquinário foi montada utilizando três linguagens de programação de CLP's: *Ladder*, texto estruturado e SFC. O programa principal está em SFC e alguns de seus estados ativam variáveis que acionam linhas de diagramas *Ladder*, com *timers* e contadores. Para controlar corretamente alguns inversores de frequência e *drivers*, é necessário trabalhar com a variação de bits em *words*, e nesse caso, foi preferível o uso do texto estruturado. A Figura 4.27 apresenta o CLP utilizado e posicionado no maquinário, junto do botão de emergência do sistema geral, que quando ativado, desliga todos os componentes elétricos e permite o recuo de todos os atuadores pneumáticos.



Figura 4.27: Controlador p300 instalado no maquinário e botão de emergência geral.

O sistema supervisório também foi desenvolvido e implementado no CLP, de modo que o mesmo permite que o operário possa selecionar o tamanho da embalagem a ser envasada, a quantidade de garrafas requeridas, realizar o *setup* de altura e posição da unidade rosqueadora de garrafas, acompanhar a quantidade itens envasados até o momento, monitorar dados de cada unidade de operação da máquina e algumas outras funcionalidades.

4.8 Quadro de automação

Para montar o quadro de automação, primeiro foi montado e planejado todo o código com a lógica de programação do CLP e em seguida desenvolvido o diagrama elétrico com os componentes envolvidos. Assim, sabendo quais componentes usar e suas características, foi realizada a aquisição do quadro elétrico com as dimensões necessárias (1200x800x300mm) para ser montado.

Para uma maior segurança durante o uso dos equipamentos e padronização do maquinário com as normas nacionais vigentes, foram consultadas as normas NR 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade que "estabelece os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade" [30], bem como a NBR - 5410 [31], que é um conjunto de normas técnicas, concebidas através de consensos e estudos relacionados ao tema, estipulando requisitos de qualidade, desempenho, segurança e etc. A mesma é baseada na norma internacional IEC 60364 - *Electrical Installations of Buildings*.

Assim, foram construídos os diagramas de instalações elétricas dos componentes do quadro de automação, diagramas estes expostos no item 3 dos anexos. O quadro de automação montado está exibido na Figura 4.28. Através da referida figura, pode-se observar os seguintes componentes:

1. 9 disjuntores Metaltex;
2. 1 fonte chaveada com saída 24V e 2.2A;
3. 1 fonte chaveada com saída 24V e 1A; ;
4. 4 Relés Omron MY2N AC 220/240;
5. 2 Relés Acopladores Serie AA1R127VCA;
6. I/O System 1000;
7. 3 Inversores de frequência WEG CFW100;
8. 1 Inversor de frequência Lenze i550 de 1cv;
9. 1 Inversor de frequência Lenze i550 de 2cv;
10. 1 Driver 8400 topline de 1cv Lenze.

Na Figura 4.27, observa-se o CLP junto de sua IHM que não foram fixados no quadro de automação porque o mesmo não ficará muito próximo ao maquinário, pois a região onde o maquinário é posicionada é lavada e higienizada constantemente após os procedimentos de envase. Por esse motivo e pelo layout da sala de produção, foi preferido posicionar o quadro em um dos cantos da referida sala, em uma distância aproximada de 5 metros do maquinário. Com isso, colocar a IHM tão distante do maquinário dificultaria para o operário fazer os *setups* para a produção, pois em algumas configurações, o mesmo deve verificar posicionamentos precisos, que devem ser acompanhados de perto. Assim, optou-se por posicionar o CLP e a IHM em uma estrutura na região intermediária do próprio maquinário, de forma que esses componentes fiquem próximos de todas as unidades de operação do maquinário. Além disso, optou-se também por posicionar o botão de emergência ao lado do quadro do CLP, permitindo que o mesmo fique próximo ao maquinário e em necessidade de utilizá-lo, não será necessário que o operário se desloque até o quadro no canto da sala de produção.



Figura 4.28: Quadro de automação implementado.

Vale lembrar que os inversores e *driver* utilizados, bem como as fontes, já possuem dentro de seus circuitos internos circuitos específicos de proteção previstos na NBR-5410 para acionamento de motores.

Capítulo 5

Resultados

5.1 Introdução

Com o objetivo de avaliar o desempenho do novo maquinário, 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 as unidades sejam testadas individualmente e em conjunto para que seja possível observar os pontos críticos do processo e determinar formas de se melhorar o seu desempenho, para por fim, fazer uma análise geral dos problemas resolvidos e pendentes de solução por trabalhos futuros.

A principal metodologia para os testes foi observar em primeiro momentos todos os atuadores de cada unidade, assim como os sensores e verificar as atualizações de dados e de status na IHM. Em seguida, realizar a verificação e cronometragem dos tempos de operação em cada uma das unidades, bem como a avaliação das quantidades produzidas.

5.2 Sistema pneumático

O primeiro sistema a ser testado foi o pneumático. Para isso, posicionou-se cada um dos atuadores em suas novas posições, bem como foi alterada a pressão de operação do sistema de 2 bar para 3,5 bar, um aumento percentual de 75% (aumento esse que foi verificado nos manuais técnicos de cada um dos atuadores para saber se os mesmos conseguem operar com essa pressão) com o intuito de aumentar a velocidade dos deslocamentos dos atuadores e, conseqüentemente, reduzir o tempo de operação em cada unidade. Além disso, foram ajustadas as válvulas reguladoras de vazão para obter um controle *meter out* de precisão.

Dentre os 5 atuadores pneumáticos do diagrama da Figura 4.21, dois deles tem seus tempos de operação totalmente relacionados a produtividade, sendo eles: "Descida Rosqueador" e o "Bicos de envase", pois movimentam estruturas que atuam diretamente nas garrafas e que influenciam na produtividade. Com as mudanças descritas no parágrafo anterior, os atuadores foram testados continuamente. Para determinar o tempo que se leva para o deslocamento em um atuador, foram

realizadas medições de tempo com um cronômetro. Na ativação do solenoide de controle do atuador era disparado o tempo e no momento de recuo total do êmbolo do atuador o cronômetro era pausado. Com as medidas em mãos, foram aplicados conceitos de média e desvio padrão nos dados. Durante as medições, os tempos de avanço e de recuo nos atuadores foram muito próximos, por isso a referida tabela apresenta apenas uma medição de tempo.

Tabela 5.1: Tempos de operação dos atuadores após mudanças implementadas

Atuador	Tempo original (s)	Tempo pós modificações (s)
Bicos de envase	2.5 ±0.31	1.3 ±0.33
Descida rosqueador	1.5 ±0.4	0.8 ±0.3
Contenção rosqueador	0.65 ±0.44	0.35 ±0.25
Contenção traseira envase	0.6 ±0.3	0.32 ±0.22
Contenção frontal envase	0.6 ±0.3	0.35 ±0.22

Assim, ao observar os valores da Tabela 5.1, percebe-se que houve uma melhoria no tempos de operação dos atuadores que irá influenciar na produtividade final do maquinário, já que esses movimentos são repetidos várias vezes em um ciclo de produção. Comparando com os valores analisados no item 3.6.3.3 - Produtividade com os da Tabela 5.1, observa-se que os tempos projetados foram cumpridos. A Figura 5.1 apresenta os resultados da Tabela 5.1 dispostos em um gráfico de barras.

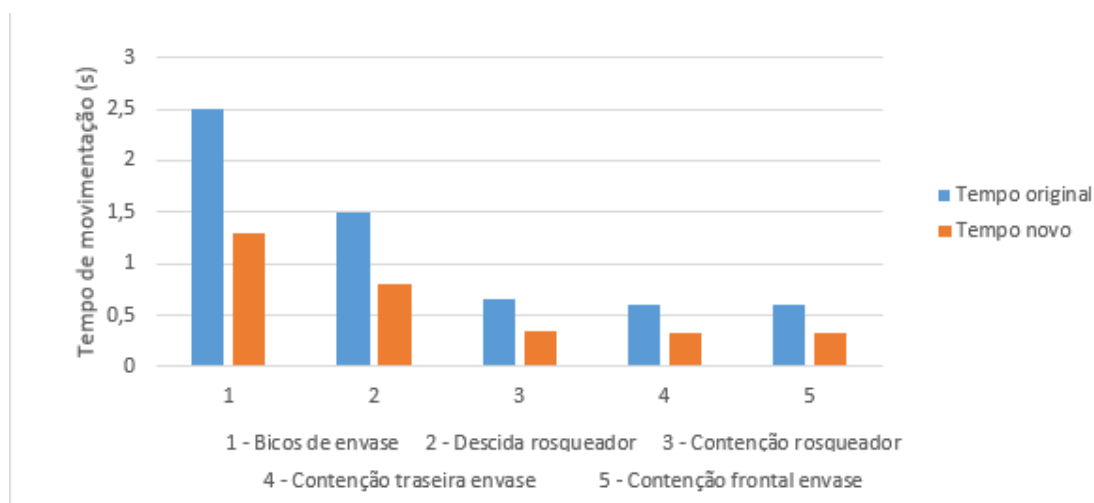


Figura 5.1: Tempos de movimentação dos atuadores pneumáticos

5.3 Envasadora

Após aferir e posicionar corretamente os sensores utilizados nessa unidade, colocou-se a bomba de pressurização em sua vazão máxima e observou-se o comportamento da unidade de envase. Para determinar o tempo que se leva para o envasamento de uma embalagem 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 ausência de

sensor de fluxo, a única forma de controlar o quanto de líquido será depositado em cada garrafa será o tempo escolhido. O tempo foi escolhido para ser uma das variáveis do CLP e realizava-se ensaios para verificar se o tempo selecionado era o suficiente para o envase de todas as garrafas e se todas elas teriam o nível desejado após o envase, pois não é permitido que uma garrafa fique com o volume envasado muito maior que as outras.

5.3.1 Garrafas de 20L

A conexão entre o sistema de produção e a bomba pressurizadora era realizada no maquinário original por uma mangueira de 1 polegada. No teste dessa unidade foram utilizadas as embalagens de 20L, sendo que o maquinário possui 4 bicos de envase para essas garrafas. Assim, o tempo de operação está conforme a Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Tempos de envase de embalagens de 20L com mangueira de 1 polegada.

Tempo original (s)	Tempo pós modificações (s)
75	68

No maquinário original, a conexão dos tanques de produção com a bomba pressurizadora era realizada com uma mangueira de 1 polegada, mangueira esta utilizada nos primeiros testes. Para uma diminuição mais significativa no tempo de operação da unidade, foi trocada a mangueira de 1 polegada por uma mangueira de 1 1/2 polegadas. Após isso, acionou-se a bomba de pressurização em 100% de seu funcionamento, mas observou-se que em alguns locais da estrutura interna do sistema de pressurização ocorreram vazamentos indesejados, assim como nos bicos. Com isso, diminuiu-se a velocidade de operação da bomba para aproximadamente 90% do valor máximo e novos testes foram realizados, o que permitiu que um novo tempo fosse obtido: 61 segundos, redução de aproximadamente 18,67% em relação ao tempo original. A Figura 5.2 apresenta um gráfico de barras com uma comparação entre os tempos de envase antigos e o novo tempo observado.

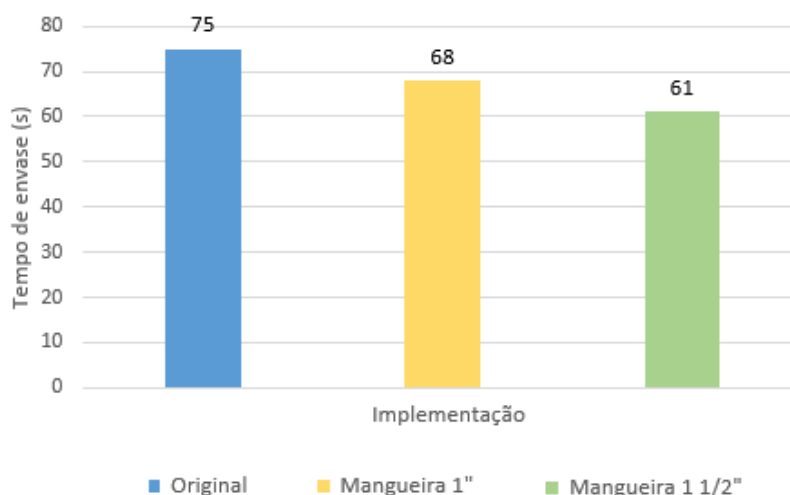


Figura 5.2: Tempos de envase de acordo com a implementação.

Com o tempo de envase das garrafas de 20L fixado em 61s, foram realizados os testes para verificar o nível de volume envasado. A metodologia utilizada foi encher as embalagens de 20L com o tempo de 61s e em seguida esvaziá-las, despejando o líquido em béqueres específicos (expostos na Figura 5.3) a fim de verificar o volume que de fato havia sido liberado. Foram realizados 10 ensaios com o maquinário, que envasa 4 garrafas de 20L em ao mesmo tempo. A Tabela 5.3 exhibe os resultados obtidos.

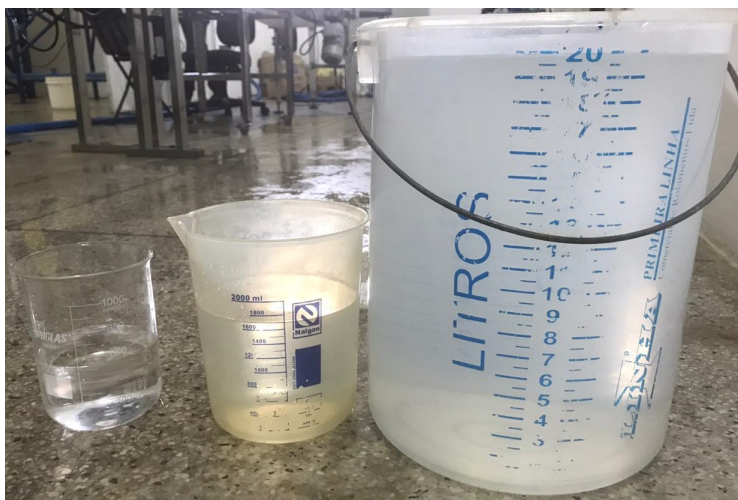


Figura 5.3: Béqueres utilizados nos testes de verificação de volume das garrafas.

Tabela 5.3: Tempos de envase de embalagens de 20L

Ensaio	Volume no Tanque (L)	1º Bico (L)	2º Bico (L)	3º Bico (L)	4º Bico (L)	Média (L)
1º	1750	21,6	20,7	21	20	20,85
2º	1650	21,3	20,6	20,7	20	20,65
3º	1560	21,6	20,6	20,4	20	20,65
4º	1480	21	20,5	20,45	20	20,475
5º	1400	22,25	20,1	20,05	19,7	20,075
6º	1340	21,1	20,3	20,4	19,9	20,35
7º	1260	20,9	20,2	20,3	19,9	20,25
8º	1180	22	20	20,2	19,6	20,1
9º	1080	20,9	20,3	20,3	19,7	20,3
10º	350	19,5	19	19,5	18	19,25
Média	-	21,21	20,25	20,35	19,68	-
DP	-	0,76	0,49	0,39	0,64	-
%	-	+ 6,05%	+ 1,03%	+ 1,80%	- 1,60%	-

A segunda coluna da Tabela 5.3 apresenta os volumes iniciais de líquido a ser envasado em cada ensaio no tanque da produção que alimenta a bomba pressurizadora da unidade de envase. Da terceira coluna até a sexta, são apresentados os volumes liberados por cada bico de envase e a sétima coluna indica o valor médio liberado pelos 4 bicos naquele ensaio. A décima primeira linha da referida tabela apresenta a média dos volumes liberados de cada um dos bicos após os

dez ensaios realizados, bem como a décima segunda linha apresenta o desvio padrão dos valores obtidos e por fim, a décima terceira linha apresenta o desvio percentual do valor médio liberado de cada bico para o valor de referência de 20L.

Na situação desejada, todos os bicos deveriam liberar 20L em todos os ensaios independente do volume contido no tanque. Contudo, observando os valores liberados por cada bico durante os 10 ensaios na Tabela 5.3, percebe-se que não houve uma linearidade como era desejado. O gráfico da Figura 5.4 apresenta uma curva para os valores liberados por cada bico em cada um dos ensaios. Com o referido gráfico, fica mais visível perceber que o 1º bico foi aquele que apresentou maiores variações nos valores, o que também pode ser confirmado pelo maior desvio padrão ser o desse bico, além do fato do 4º bico ter sido o que menos liberou líquido.

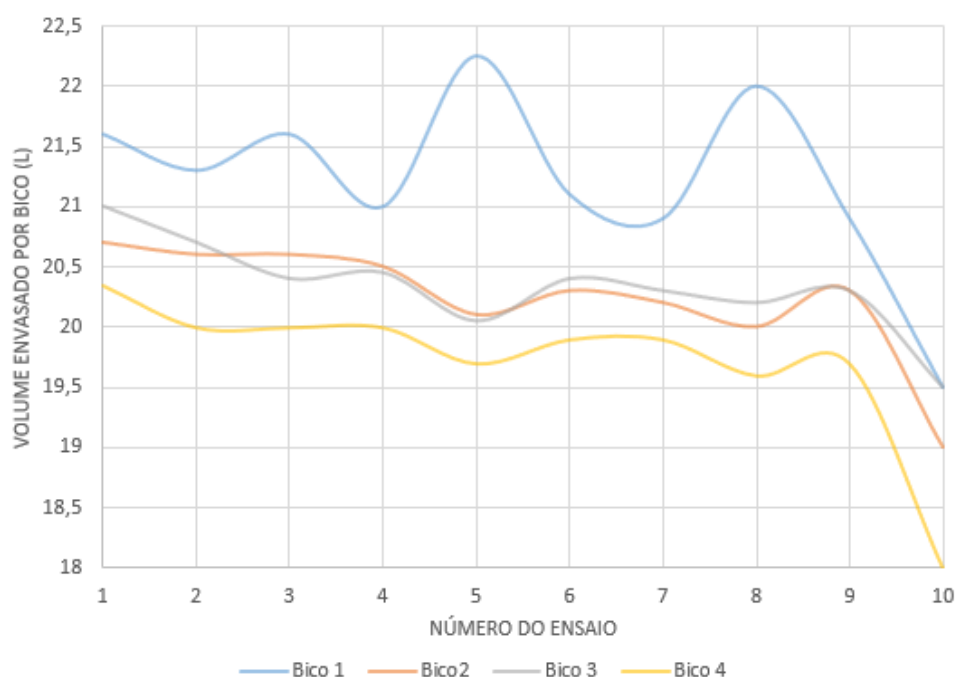


Figura 5.4: Gráfico do volume envasado por bico em cada ensaio.

Um dos motivos das variações observadas nos volume medidos, conforme Tabela 5.3, é o nível do líquido no tanque de produção. A Figura 5.5 apresenta um gráfico que mostra uma curva que representa o volume liberado por cada bico de acordo com o volume no tanque de produção. Com a ajuda do referido gráfico, nota-se que quanto menor o volume no tanque de produção, menores os valores liberados nos bicos. Observa-se ainda que apenas no volume de 1500L do tanque de produção que todos os bicos mantêm o volume de referência para o envase. Como o tanque de produção é conectado à bomba centrífuga da envasadora por meio de uma mangueira de 1 1/2 polegadas e utiliza da gravidade para levar o líquido do tanque até a entrada da bomba, percebe-se que quanto maior o volume no tanque, isto é, quanto maior a altura da coluna do líquido, maior será a pressão do líquido na mangueira que abastece a bomba. Com maior pressão na mangueira de conexão, conseqüentemente a bomba pressurizadora opera com maior regularidade, permitindo que os bicos liberem uma quantidade maior de líquido. A Figura 5.6 mostra os tanques

de produção. O tanque maior, de capacidade de 12000L, envia o líquido para o tanque menor, de capacidade de 2000L, e esse recebe a mangueira para conexão na bomba pressurizadora do envase.

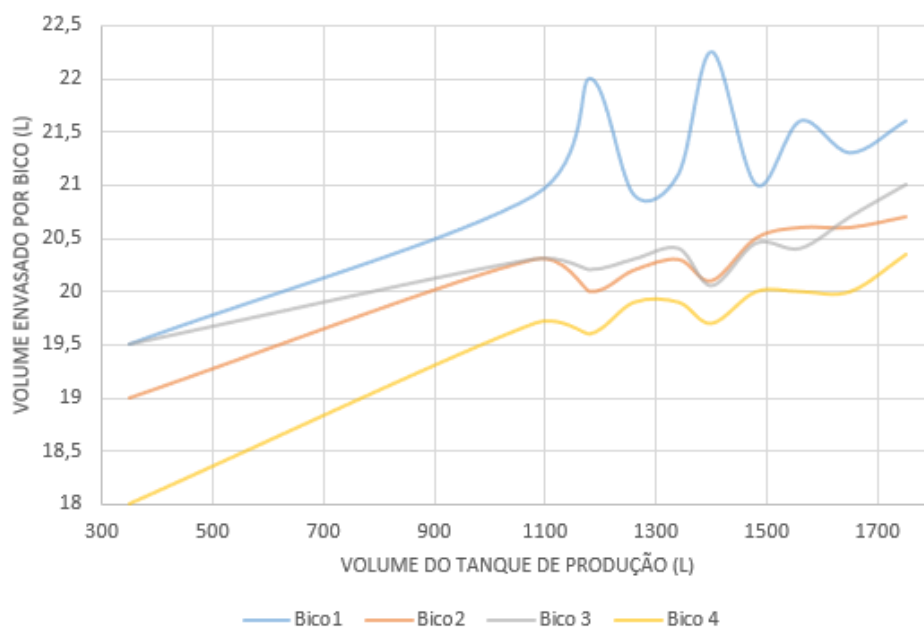


Figura 5.5: Gráfico de volume envasado por bico de acordo com o volume inicial no tanque de produção.



Figura 5.6: Tanques de produção

Outro fator que influencia nas variações dos valores de líquido liberado em cada bico são os posicionamentos dos furos da unidade de retorno. Conforme se observa na Figura 5.7, cada bico possui 4 furos que são responsáveis por enviar o líquido para a unidade de retorno. Logo, quando o bico entra na garrafa, o líquido é liberado e ao atingir a altura dos furos de retorno, o líquido começa a ser direcionado para a tubulação de retorno, evitando transbordamentos no envase, visando garantir uma padronização dos níveis envasados, pois se todos os furos estão na mesma altura para todos os bicos, o nível deve ser o mesmo para todas as garrafas. Com isso, na situação ideal, os furos dos bicos devem estar perfeitamente alinhados, como indica a linha vermelha sobre os bicos na parte inferior da Figura 5.8. Contudo, ao observar a Figura 5.7, nota-se que alguns dos furos são mais altos do que os outros (basta observar as borrachinhas vermelhas na parte inferior de cada bico e notar que alguns furos estão mais acima ou mais abaixo). Com isso, os bicos sempre liberam volumes de líquido nas garrafas diferentes, pois um começa a enviar líquido para o retorno em um instante de tempo diferente dos outros bicos.

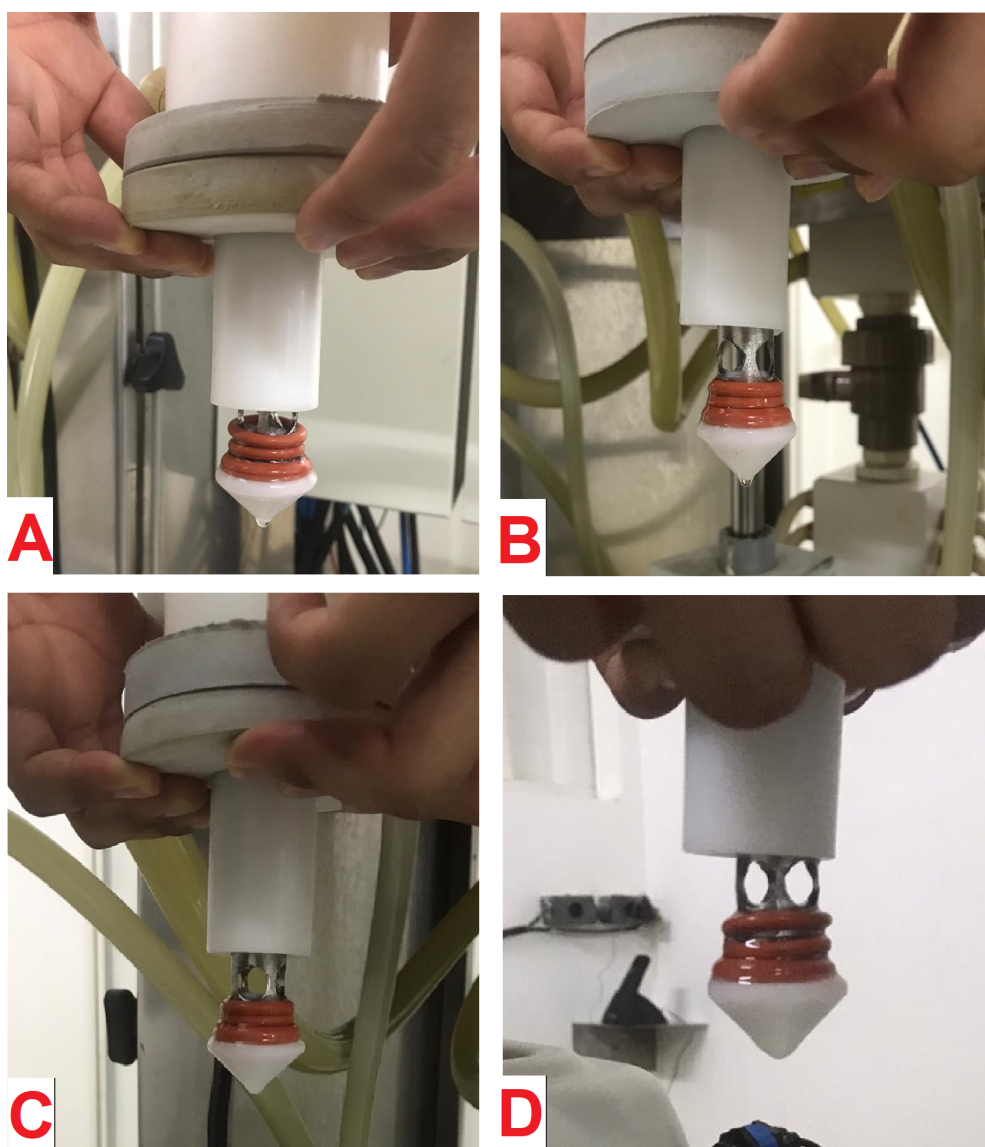


Figura 5.7: Furos das unidades de retorno nos bicos de envase de garrafas de 20L.

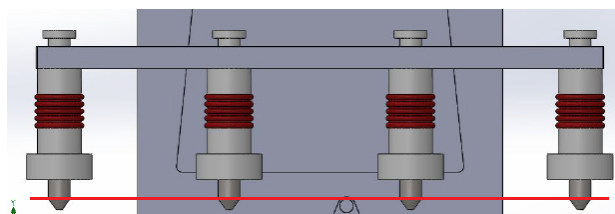


Figura 5.8: Imagem em CAD que demonstra os bicos de envase e o alinhamento desejado para os furos de retorno.

Com o intuito de analisar o quão prejudicial para a empresa pode ser esse volume excessivo liberado pelos bicos, será feita uma análise financeira. Calculando a média geral das 40 garrafas que foram envasadas nos ensaios, se obtém o valor médio de 20,37L envasados em cada embalagem, isto é, 0,37L a mais em cada embalagem. Sabendo-se que o preço médio do litro dos produtos da PS é de R\$ 40,00, o excesso de cada garrafa causa um prejuízo de R\$ 14,80. Supondo uma produção de 5000L (valores reais de uma produção da PS), seriam necessárias 250 garrafas de 20L, o que indica um lucro estimado de R\$ 200.000,00. Contudo, com o volume médio excedido nas 250 garrafas que não é pago pelo cliente (o mesmo paga por 20L, se a garrafa contém 20,37L, o excesso não pode ser cobrado), no fim, existe um prejuízo de R\$ 3.700,00 causado pelos excessos, o que diminui o lucro total para R\$ 196.300,00, ou seja, uma redução de 1,85% em relação ao lucro estimado, o que é aceitável pela empresa. A Tabela 5.4 apresenta um resumo dessa análise financeira.

Tabela 5.4: Análise financeira dos excessos liberados pelos bicos

Produção (L)	Garrafas (20L)	Lucro esperado	Prejuízo do excesso	Lucro Final
20	1	R\$ 800,00	R\$ 14,80	R\$ 814,80
5000	250	R\$ 200.000,00	R\$ 3.700	R\$ 196.300,00

5.3.2 Garrafas de pequenos volumes

Testes semelhantes foram realizados para o envase de garrafas PET de 1 litro. Como o maquinário antigo não operava completamente com esses tipos de garrafas, por não conseguir rosqueá-las, não há informações dos tempos do maquinário original para essa operação.

Assim, ao colocar a bomba em sua vazão máxima para o envase de garrafas PET de 1 litro, percebeu-se que os bicos utilizados para essa operação não aguentavam a pressão exercida e vazavam líquido pelas suas estruturas e conexões, bem como também foram observados vazamentos na estrutura interna da unidade de envase. Assim, optou-se por diminuir a vazão da bomba para 75% da máxima e repetir os testes. Nesse cenário, o tempo necessário para envasar totalmente as 10 garrafas de 1L foi de 16s.

Observando os valores da Tabela 3.1, pode-se fazer uma comparação entre os tempos obtidos para o envase. No ensaio da referida tabela, foram envasadas 6 garrafas de 500ml em um tempo médio de 9,74s, isto é, 1L em aproximadamente 3,25s. No novo sistema de pressurização,

foram envasadas 10 garrafas de 1L em 16s, isto é, 1L em 1,6s. Deve-se observar que se fossem utilizados 10 bicos de envase no maquinário original o tempo de envase teria sido maior que o apresentado na Tabela 3.1, pois o fluxo seria dividido para mais 4 bicos. Logo, observa-se que no teste do novo maquinário, mesmo utilizando 10 bicos, diminui-se o tempo de envase de litros/s em aproximadamente 50,77%.



Figura 5.9: Garrafas sendo envasadas para o teste.



Figura 5.10: Garrafas após serem envasadas no teste

Pela Figura 5.10 observa-se que o envase foi regular e satisfatório, visto que o nível de líquido nas garrafas foi muito próximo entre todas as unidades e um pouco acima da marca de 1L. Contudo, não foi possível utilizar o potencial máximo da bomba em nenhum dos casos e pelo fato de no envase das garrafas PET terem ocorridos maiores problemas com a estrutura hidráulica, optou-se por não realiza os testes de volume envasado para essas unidades até que sejam realizadas as manutenções nas conexões hidráulicas da máquina.

Como citado, um dos grandes problemas observados foram os pontos de vazamento no interior do maquinário no sistema de pressurização, além do fato de que os bicos de envase utilizados não suportaram a pressão máxima da bomba, causando vazamentos críticos durante o processo. Logo, para tornar a unidade mais rápida para o envase dessas embalagens, com um melhor tempo de operação e maior produtividade, será necessário modificar os bicos e realizar reparos internos nas tubulações.

5.4 Rosqueador

5.4.1 Regulador de altura

O primeiro teste realizado na estrutura foi para verificar o *setup* de altura que foi alterado e automatizado. Assim, após conectar os componentes de transmissão na estrutura, foram dados alguns comandos no motor para que o mesmo desse passos e verificar se a estrutura se movimentava corretamente, bem como se os fusos estavam sendo movimentados de maneira síncrona pelas correias. Os testes foram concluídos com sucesso, o que faz notar que o novo *setup* para altura do unidade rosqueadora foi implementado com sucesso.

5.4.2 Garrafas de 20L

As únicas modificações realizadas na unidade rosqueadora de garrafas de 20L foram relacionadas ao tempos de movimentação dos atuadores pneumático Descida Rosqueador e Contenção rosqueador da Tabela 5.1. O presente teste objetivava mensurar a regularidade no tempo de rosqueamento e seu valor, bem como se as tampas eram totalmente rosqueadas sem serem danificadas ou marcadas.

O tempo foi medido acionando o cronômetro no momento do avanço do cilindro de contenção das garrafas e finalizando a medição quando o mesmo cilindro era totalmente recuado. Após isso, foi observado se a tampa estava totalmente rosqueada e se a mesma não estava danificada, pois se o tempo de rosqueamento for excessivo, a peça que realiza o rosqueamento pode danificar a tampa. Foram realizados 16 ensaios, conforme os resultados expostos na Tabela 5.5.

O gráfico da Figura 5.11 exhibe uma curva com os dados da Tabela 5.5 e torna mais visível notar que os valores se mantiveram próximos. O tempo original, isto é, o tempo de operação do maquinário antes das melhorias serem implementadas, era de 4.5s. Como o tempo médio nos ensaios realizados foi de $3,79s \pm 0,12$, optou-se por indicar ao CLP que o processo duraria 4s,

visando uma pequena margem de segurança acima do desvio padrão. Com isso, considerando o tempo de 4s, foi obtida uma redução de 11,1% em relação ao tempo original.

Tabela 5.5: Tempos de rosqueamento de embalagens de 20L

Ensaio	Tempos de rosqueamento (S)	Garrafa Marcada (S/N)
1º	3,7	Não
2º	3,53	Não
3º	3,84	Não
4º	3,76	Não
5º	3,88	Não
6º	3,63	Não
7º	3,73	Não
8º	3,89	Não
9º	3,83	Não
10º	3,84	Não
11º	3,86	Não
12º	3,85	Não
13º	3,96	Não
14º	3,95	Não
15º	3,82	Não
16º	3,93	Não
Média	3,79	-
DP	0,12	-

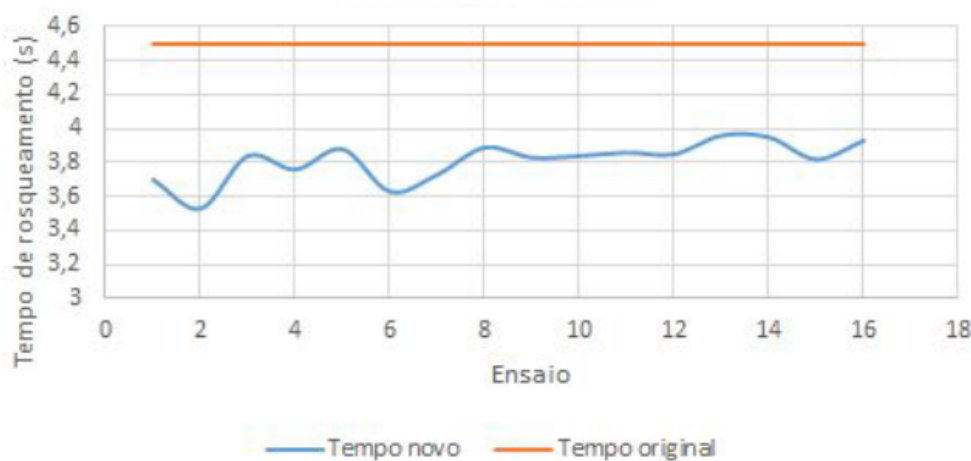


Figura 5.11: Tempo de rosqueamento de garrafas de 20L

A Figura 5.12 apresenta em A a unidade rosqueadora de garrafas de 20L realizando um dos ensaios e em B a garrafa após o rosqueamento, no qual se verifica que a tampa foi totalmente rosqueada e não houve nenhuma marca ou danificação na tampa após o processo, etapa essa de

verificação que foi repetida nos 16 ensaios e é indicada pela terceira coluna da Tabela 5.5.

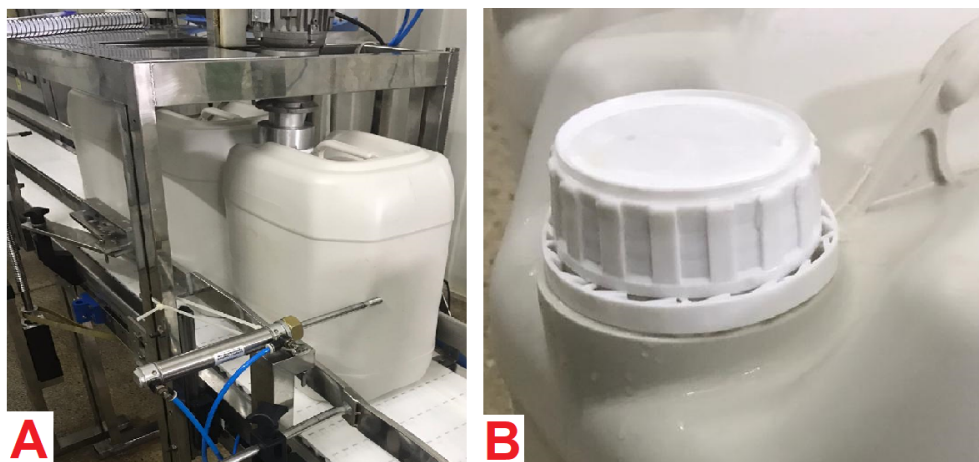


Figura 5.12: Em A - Ensaio sendo realizado. em B - Resultado de uma tampa bem rosqueada e sem marcações.

5.4.3 Garrafas de pequenos volumes e de 5 litros

Para essa nova estrutura, conforme a Figura 4.16, foram colocadas garrafas de diversos tamanhos e com tampas diferentes, conforme a Figura 5.13, para serem rosqueadas e verificar como o processo iria ocorrer. Assim, diferente dos outros ensaios, esse objetivava em primeiro momento verificar o funcionamento da estrutura.



Figura 5.13: Tampas utilizadas para testar o novo rosqueador

Os primeiros testes foram realizados com as garrafas PET que utilizam a tampa da direita da Figura 5.13. Essas tampas possuem o lacre já posicionados no seu corpo. Após as garrafas passarem pela nova unidade rosqueadora, observou-se uma certa dificuldade no rosqueamento das tampas.

Quando as garrafas com as referidas tampas passavam pelo rosqueador, observou-se que elas praticamente não estavam sendo rosqueadas. Assim, foram realizados ajustes nas correias, nos suportes traseiros das mesmas, na velocidade do motor do eixo de alimentação e na distância entre as duas correias da unidade, com o objetivo de permitir que as correias pudessem realizar maior contato na extremidade das tampas e conseqüentemente, rosqueá-las. Com essas mudanças,

as tampas foram rosqueadas até aproximadamente metade da rosca, mas ainda faltavam muitos passos para que elas pudessem ser totalmente rosqueadas. Diminuir a distância entre as correias, permitindo que elas exerçam maior força contra a tampa, apesar de parecer o melhor ajuste em um primeiro momento, não foi o mais correto, pois apesar de permitir um rosqueamento melhor quando as garrafas eram posicionadas e empurradas com a mão do operador, acabava fazendo com que a garrafa ficasse presa na parte de cima quando deslocadas pela esteira, e enquanto a esteira empurrava a garrafa para frente na parte de baixo, as garrafas acabavam sendo derrubadas.

Foi possível observar que o lacre dessas tampas causam certa resistência no processo. Com isso, foi retirado o lacre e feito o teste com a tampa sem o lacre. Observou-se que a tampa foi mais rosqueada do que com o lacre, mas ainda não era totalmente fechada.

Os mesmos testes se repetiram para a tampa mais a esquerda da Figura 5.13 utilizadas em garrafas de 5L, sendo obtido os mesmos resultados anteriores: a tampa nunca era rosqueada totalmente em processo natural, isto é, quando empurrada pela esteira. Só eram bem rosqueadas quando empurradas com a mão do operário ou algum suporte para evitar a queda das garrafas. Assim, esse procedimento invalida parcialmente a estrutura, pois é necessário que a mesma rosqueie as tampas quando as garrafas são movimentadas pela esteira transportadora. Logo, será necessário testar se uma troca da correia por uma outra de superfície mais irregular ou por um sistema com polias e correias dentadas possam melhorar os resultados do rosqueamento nessa unidade.

5.5 Rotuladora

Para o sistema de alimentação do rótulo é utilizado um sensor de forquilha NPN, semelhante ao exposto na Figura 5.14. Contudo, como os sensores do maquinário em geral são do tipo PNP, isso prejudica o acionamento da unidade. Esse deve ter sido um dos motivos de o maquinário original utilizar vários CLP's, pois em cada unidade de processamento, uma lógica de comando e tipos de sensores eram utilizados. Assim, ao buscar reaproveitar o máximo possível os componentes do maquinário original, não foi possível reaproveitar este sensor, de modo que a aquisição de um novo sensor forquilha do tipo PNP deve ser realizada.



Figura 5.14: Sensor forquilha para rótulos semelhante ao utilizado no maquinário [32]

Para testar a parte mecânica da unidade rotuladora, após posicionar a correia (item 4 da

Figura 4.20), movimentou-se manualmente o eixo de alimentação do motor e foi verificado que a estrutura conseguia fazer a garrafa girar sobre si mesma ao mesmo tempo que era deslocada para frente. Esse movimento, conforme exibido na Figura 3.24, é o movimento fundamental para a unidade rotuladora. Contudo, pelo sistema de alimentação de rótulos não estar funcionando, não foi possível testar com completude e exatidão o funcionamento da unidade.

Capítulo 6

Conclusões

Durante esse projeto foi possível aprender sobre o funcionamento de todas as unidades do maquinário: envasadora, tampadora e rotuladora, assim como descobrir novos componentes elétricos e maquinários utilizados na indústria e ter a experiência de lidar com um processo industrial de unidades integradas.

Um dos maiores desafios desse projeto foi inicialmente conseguir adequar um layout para os maquinários de forma econômica, isto é, sem mudar muito a estrutura geral original por uma nova estrutura muito cara, de forma a reaproveitar peças e componentes de outras unidades que não seriam mais utilizadas, a fim de atender a produtividade almejada. Além disso, foi possível trabalhar diariamente com uma realidade da engenharia de controle de automação: adequar processos e otimizá-los ao máximo com o menor custo possível.

Foi possível identificar a necessidade de um bom projeto de automação, não só do gerenciamento, entendimento das etapas e boas escolhas de soluções, mas principalmente a importância de fazer uma boa documentação sobre o projeto, quadros elétricos e de automação bem organizados e informativos de modo a facilitar leituras e manutenções.

Com relação ao maquinário, foi possível identificar e observar várias das atividades que não funcionavam corretamente e propor soluções que visem a melhoria operacional da unidade. De maneira geral, o projeto buscou montar um maquinário que automatizasse algumas funções antes realizadas pelos operários, como o regulagem da altura da unidade tampadora.

Da unidade envasadora, foi possível perceber que a modificação da bomba e a diminuição do caminho percorrido pelo líquido já trouxeram algumas melhorias, como a redução do tempo de envase em aproximadamente 18,67% e 50,77% para garrafas de 20L e 1L, respectivamente, mesmo com os problemas de vazamento identificados na estrutura. Além disso, a nova lógica do CLP permite contar quantas garrafas já foram envasadas e fornecer essa dado facilmente ao operador.

Da unidade rosqueadora, foi possível observar a redução do tempo de rosqueamento de garrafas de 20L em 11,11% se comparado ao tempo original. Da nova unidade rosqueadora de tampas PET projetada, foi possível concluir que deve-se fazer um estudo mais profundo para entender se somente a modificação das correias que rosqueiam as tampas será suficiente para fazer o sistema

funcionar, ou se o mesmo deve ser substituído por algum outro modelo.

Da unidade rotuladora, foi possível observar que a mesma tem sua parte mecânica funcional, o que vai permitir que garrafas cilíndricas sejam rotuladas pelo sistema, restando apenas as modificações necessárias no sistema de fornecimento de rótulos para poder realizar uma análise mais completa no sistema.

A simplificação do sistema pneumático e as modificações realizadas permitem que o sistema funcione agora com um botão de emergência (geral), garantindo mais segurança aos operários e sua implementação em um quadro específico visou facilitar possíveis serviços de manutenção. O mesmo objetivo foi alcançado ao montar um único quadro central de automação, que possui praticamente todos os componentes do sistema de potência e comandos elétricos. A aquisição de um novo CLP com uso do EtherCAT e com a IHM integrada permitem maior praticidade nos ajustes e *setups* para a produção, bem como para implementação de novas atividades, permitindo um maior desempenho do maquinário.

Simulações e testes computacionais foram realizados visando validar alguns parâmetros de projeto adotados. Durante o desenvolvimento desse trabalho foi possível propor modelos, descobrir e tentar solucionar problemas mecânicos e elétricos, o que permitiu a validação de alguns dos conhecimentos aprendidos no curso de Engenharia Mecatrônica

6.1 Perspectivas Futuras

Para os próximos passos do projeto estão previstos o estudo final sobre a capacidade do rosqueador de garrafas PET, visando concluir se o mesmo é capaz de rosquear totalmente as tampas e se permitirá o aumento de produção desejado.

A manutenção e troca de peças na estrutura hidráulica interna da envasadora, bem como a troca de seus bicos de envase, se tornam necessários para aumentar ainda mais a produtividade da unidade, visto que esses foram os maiores problemas encontrados para operar com a bomba em regime máximo.

A manutenção e troca dos sensores de forquilha da unidade de rotulação também se fazem necessários para de fato tornar a unidade operante, visto que sua parte mecânica já está pronta.

A implementação de um controle de qualidade visando otimizar o sistema e diminuir a intervenção do operário no processo também pode ser pensado, contudo, pelo conhecimento de estrutura atual, sabe-se que para isso será necessário modificações na estrutura das guias laterais e da esteira como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ELÉTRICA, M. da. O que é e como funciona um relé? <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-rele-como-funciona-um-rele/>, (acessado em 14 de junho de 2019).
- [2] CREDER, H, Instalações Elétricas. 15^a ed. Rio de Janeiro LTC c2007.
- [3] ELÉTRICA, M. da. Contatores, o que são? Fonte: Mundo da Elétrica: <https://www.mundodaeletrica.com.br/contatores-o-que-sao/>, (acesso em 03 de abril de 2019).
- [4] ELÉTRICA, M. da. O que é um disjuntor e qual sua aplicação? Fonte: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-disjuntor-e-qual-sua-aplicacao/>, (acessado em 14 de junho de 2019).
- [5] MATTEDE, H. Como funcionam os disjuntores? Fonte <https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funcionam-os-disjuntores/>, (acessado em 14 de junho de 2019).
- [6] MAMEDE FILHO, J. Instalações elétricas industriais. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- [7] ROCHA, C. 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, 2018.
- [8] ELÉTRICA, S. da. Partida estrela triângulo. Fonte: <https://www.saladaeletrica.com.br/partida-estrela-triangulo/>, (acessado em 23 de outubro de 2019).
- [9] RIBEIRO, D. A. Controle PID com filtro estatístico para controlador industrial. Publicação FT.TG-n:010/2018, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 85p. 2018.
- [10] MORAES, C. C. D.; CASTRUCCI, P. de L. Engenharia de Automação Industrial, 2^o ed., [S.l.]: LTC, 2007.
- [11] FIALHO, A. B., Automação pneumática: projetos, dimensionamento e análise de circuitos, 2 ed., Sao Paulo: Érica, 2003.
- [12] TECNOLOGIA, H. Elementos do programa ladder. Fonte: HI Tecnologia Automação Industrial: <https://doc.hitecnologia.com.br/spdsw/files/ladElements.html>, (acessado em 23 de outubro de 2019).
- [13] AUTOMAÇÃOWEB. Linguagem st – parte 1. Fonte: <https://automacaoweb.wordpress.com/2017/11/12/linguagem-st-parte-1-em-desenvolvimento/>, (acessado em 24 de outubro de 2019).
- [14] GROUP, E. T. Ethercat - the ethernet fieldbus. Fonte: <https://www.ethercat.org/en/technology.html>, (acessado em 03 de outubro de 2019).

- [15] BENTLEY, J. P. Principles of measurement systems. [S.l.]: Pearson Education India, 1988.
- [16] TERGOLINA, R. L. Sensores Industriais. Fonte: Politecnica da PUCRS: http://www.politecnica.pucrs.br/professores/tergolina/Automacao_e_Control/APRESENTACAO_-_Aula_03_Sensores_Industriais.pdf, (acessado em 24 de outubro de 2019).
- [17] CURZEL, J. L. Sensores industriais [Apostila de sala de aula], Joinville: Instituto Federal de Santa Catarina, 2018.
- [18] INDUSTRIAL, D. S. O que são sensores fotoelétrico ou óptico e suas aplicações? Fonte: DeniSensor Segurança Industrial: <http://denisensor.com/blog/o-que-saosensores-fotoeletrico-ou-optico-e-suas-aplicacoes>, (acessado em 27 de outubro de 2019).
- [19] 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 28 de maio de 2019).
- [20] BRASIL, B. Atuador pneumático: o que é, tipos e vantagens. Fonte: BONGAS: <https://bongas.com.br/atuador-pneumatico-o-que-e-tipos-vantagens/>, (acesso em 28 de maio de 2019).
- [21] HIBBELER, R.C. - Estática - Mecânica para Engenharia. 12^a ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2011.
- [22] HIBBELER, R.C. - Resistência dos Materiais, Sétima Edição, São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2010.
- [23] CALLISTER, W. D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [24] Apack, Automatic Spindle Capping Machine, <http://www.apacks.com/> (acesso em 14 de maio de 2019).
- [25] CORPORATION, O. Photoelectric sensors e3fa/e3ra/e3fb/e3rb. Fonte: <https://www.fa.omron.com.cn/datapdf/cat/e3fae3rae3fbe3rbe424e1111csm1006569.pdf?id=3130>, (acessado em 27 de outubro de 2019).
- [26] CIPELLI, A. M.; SANDRINI, W. J.; MARKUS, O. Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos. ed. 23, São Paulo: Érica, 2007.
- [27] WERNER, J. G. Estudo da vida em fadiga de feixes de mola de alimentadores vibratórios e análise de substituição por material compósito. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2017.
- [28] LENZE. Controlador p300. Fonte: <https://www.lenze.com/pt-br/produtos/controles/controlador-p300/>, (acessado em 28 de outubro de 2019).
- [29] LENZE. I/o system 1000. Fonte: <https://www.lenze.com/pt-br/produtos/controles/io-system-1000/>, (acessado em 28 de outubro de 2019).
- [30] MTE. NR-10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade. MINISTÉRIO DO

TRABALHO E EMPREGO - Aprovada pela portaria nº598, de 07 de dezembro de 2004, publicada no D.O.U. em 8 de dezembro de 2004, 2004.

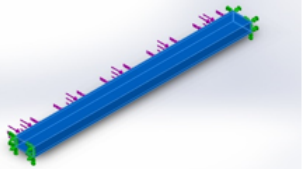
[31] ABNT. Norma brasileira regulamentadora 5410 – NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, versão corrigida, 2008.

[32] SICK. Sensor de ultrassom tipo forquilha. Fonte: <https://www.directindustry.com/pt/prod/sick/product-894-1141631.html>, acessado em (05 de novembro de 2019).

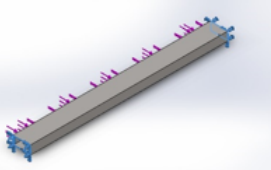
ANEXOS

II.1 Simulação de Esforços no SolidWorks

Propriedades do material

Referência do modelo	Propriedades	Componentes
	<p>Nome: AISI 304</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico linear elástico</p> <p>Critério de falha predeterminado: Tensão de von Mises máxima</p> <p>Limite de escoamento: 2.06807e+08 N/m²</p> <p>Resistência à tração: 5.17017e+08 N/m²</p>	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(barra transversal unica)

Acessórios de fixação e Cargas

Nome do acessório de fixação	Imagem de acessório de fixação	Detalhes de acessório de fixação
Fixo-1		<p>Entidades: 2 face(s)</p> <p>Tipo: Geometria fixa</p>

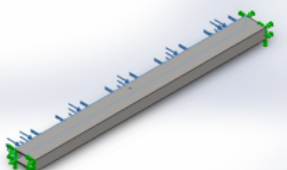
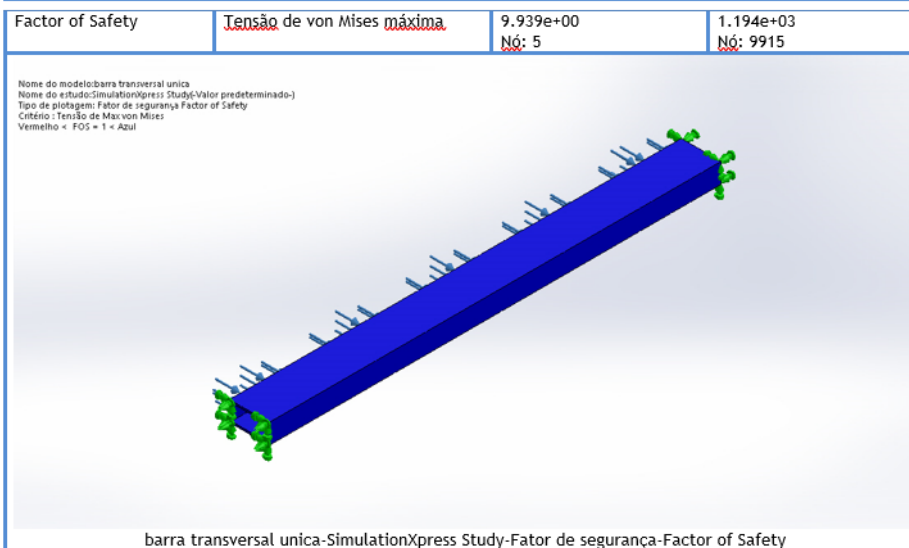
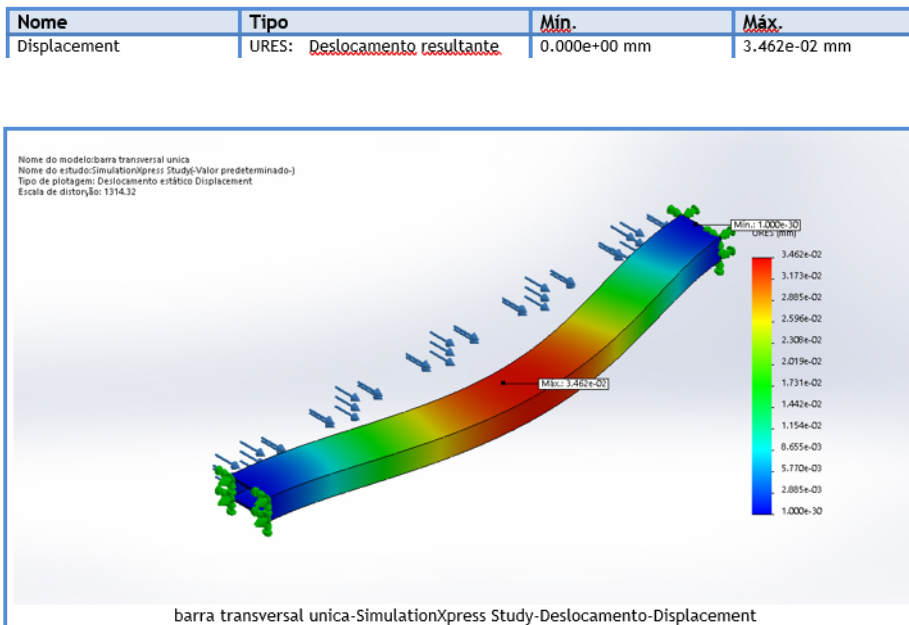
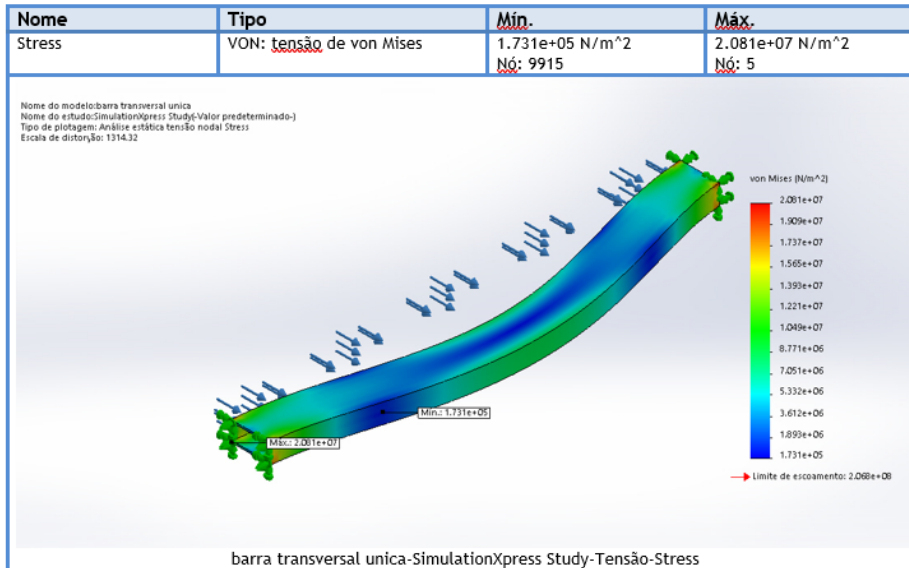
Nome da carga	Carregar imagem	Detalhes de carga
Força-1		<p>Entidades: 1 face(s)</p> <p>Tipo: Aplicar força normal</p> <p>Valor: 1000 N</p>

Figura 1: Peça de suporte da mesa do rosqueador

Resultados do estudo



Acessórios de fixação e Cargas

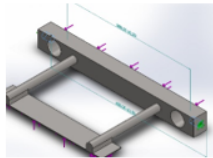
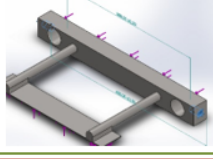
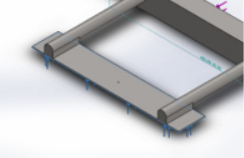
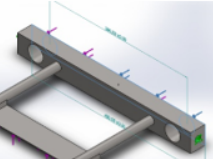
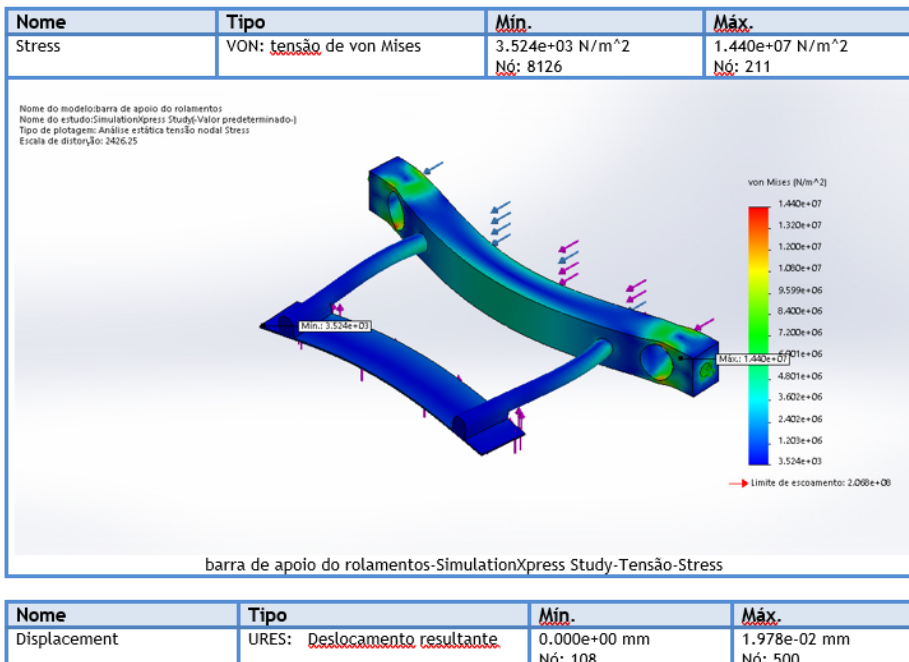
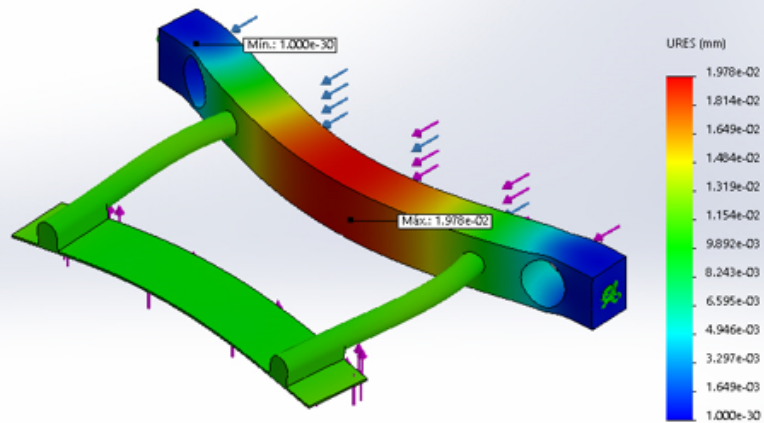
Nome do acessório de fixação	Imagem de acessório de fixação	Detalhes de acessório de fixação
Fixo-2		Entidades: 2 face(s) Tipo: Geometria fixa
Fixo-3		Entidades: 2 face(s) Tipo: Geometria fixa
Nome da carga	Carregar imagem	Detalhes de carga
Força-1		Entidades: 1 face(s) Tipo: Aplicar força normal Valor: 0.5 N
Força-2		Entidades: 1 face(s) Tipo: Aplicar força normal Valor: 1000 N

Figura 2: Peça de suporte dos eixos e rolamentos da rosqueadora



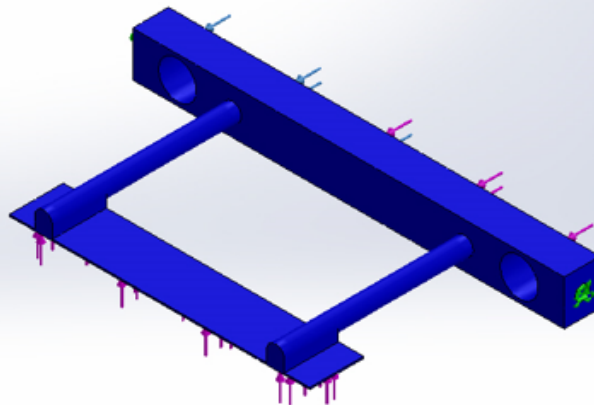
Nome do modelo: barra de apoio do rolamentos
 Nome do estudo: SimulationXpress Study (Valor predeterminado)
 Tipo de plotagem: Deslocamento estático Displacement
 Escala de distorção: 2426.25



barra de apoio do rolamentos-SimulationXpress Study-Deslocamento-Displacement

Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensão de von Mises máxima	1.436e+01 Nó: 211	5.869e+04 Nó: 8126

Nome do modelo: barra de apoio do rolamentos
 Nome do estudo: SimulationXpress Study (Valor predeterminado)
 Tipo de plotagem: Fator de segurança Factor of Safety
 Critério: Tensão de Max von Mises
 Vermelho < FOS = 1 < Azul



barra de apoio do rolamentos-SimulationXpress Study-Fator de segurança-Factor of Safety

Acessórios de fixação e Cargas

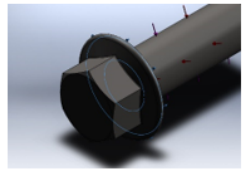
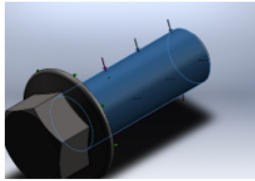
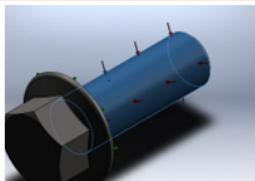
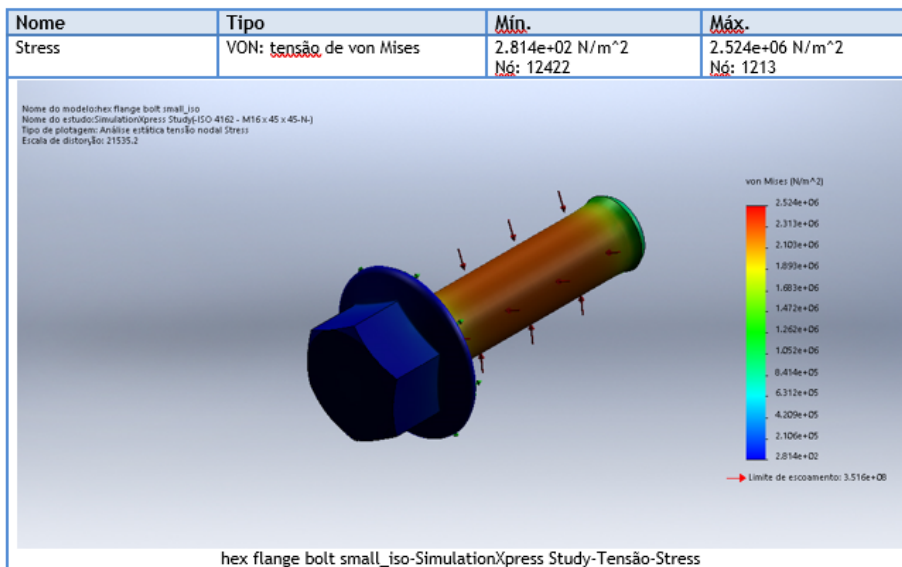
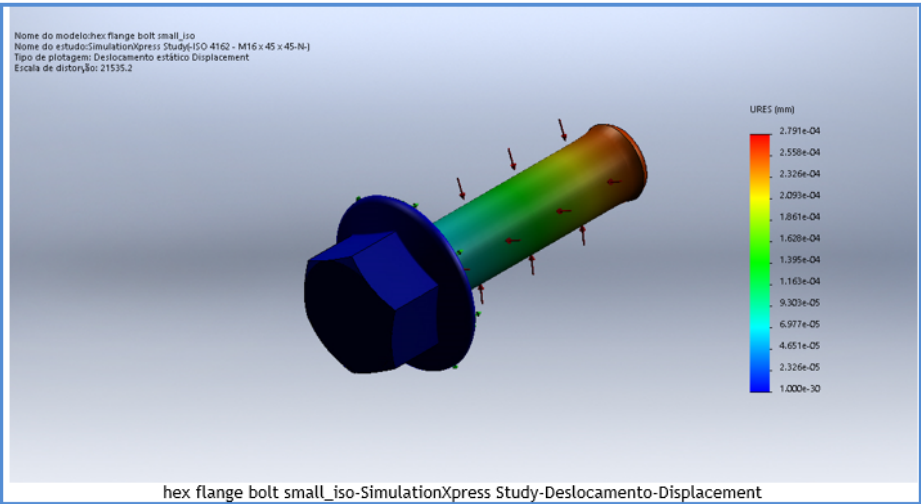
Nome do acessório de fixação	Imagem de acessório de fixação	Detalhes de acessório de fixação
Fixo-2		Entidades: 1 face(s) Tipo: Geometria fixa
Nome da carga	Carregar imagem	Detalhes de carga
Pressão-1		Entidades: 1 face(s) Tipo: Normal à face selecionada Valor: 300 Unidades: N/m ²
Força-2		Entidades: 1 face(s) Tipo: Aplicar força normal Valor: 5000 N

Figura 3: Parafuso que posiciona e suporta a peça anterior

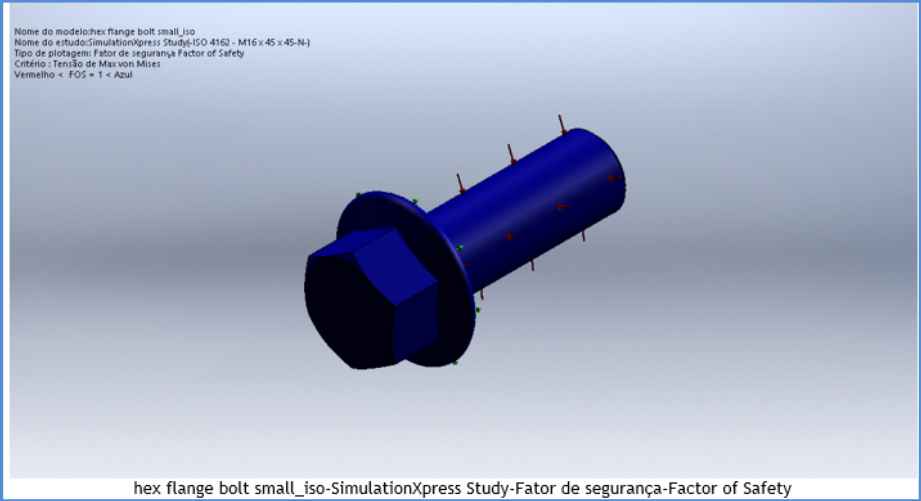
Resultados do estudo



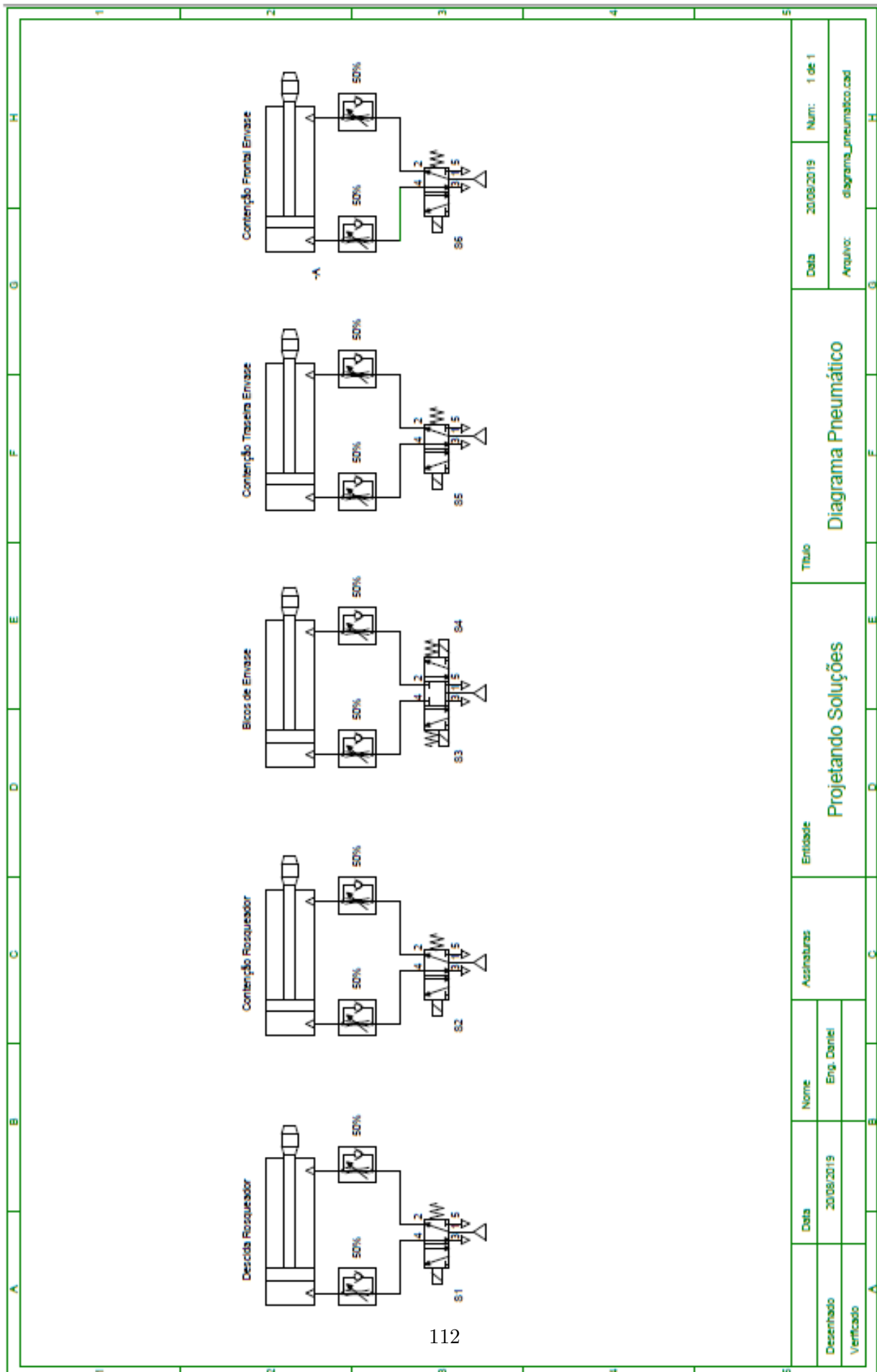
Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Deslocamento resultante	0.000e+00 mm Nó: 89	2.791e-04 mm Nó: 8498



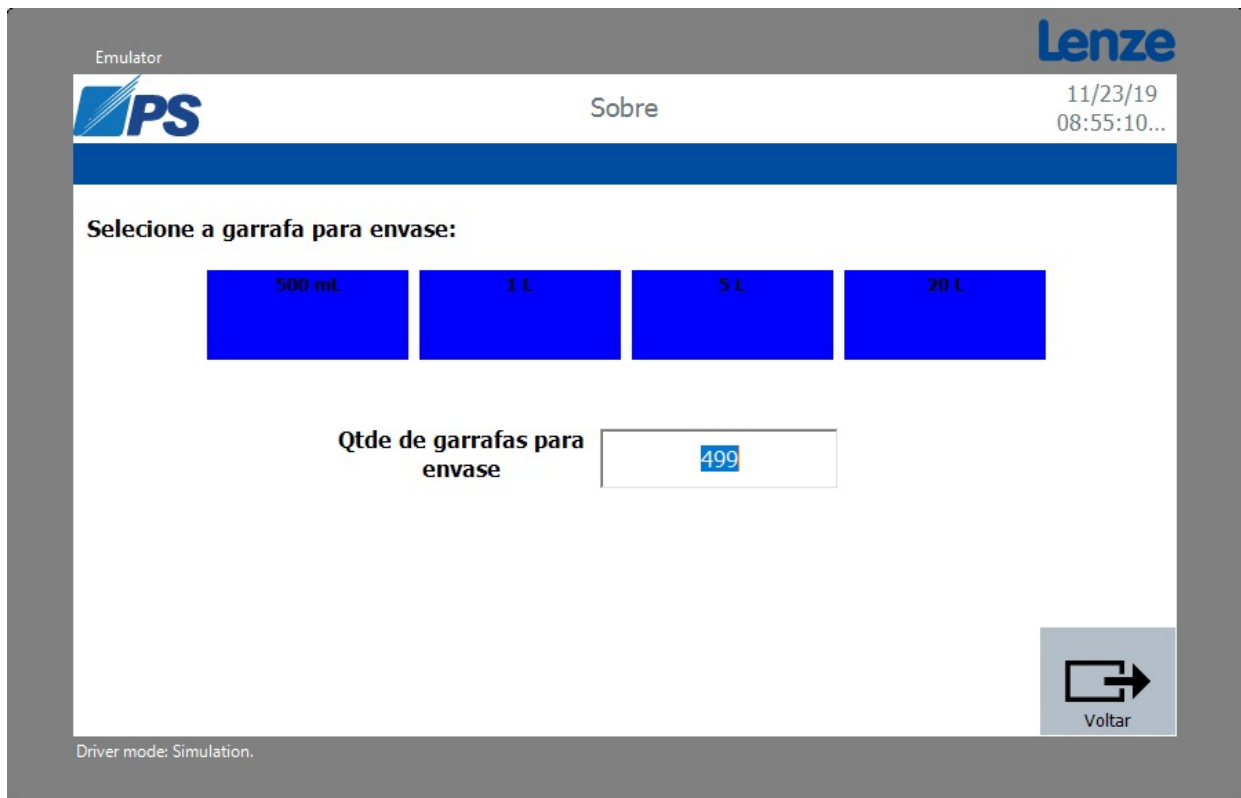
Factor of Safety	Tensão de von Mises máxima	1.393e+02 Nó: 1213	1.250e+06 Nó: 12422
------------------	----------------------------	-----------------------	------------------------



II.2 Diagrama Pneumático



II.3 IHM



Emulador

Lenze

PS

Sobre

11/23/19
08:55:10...

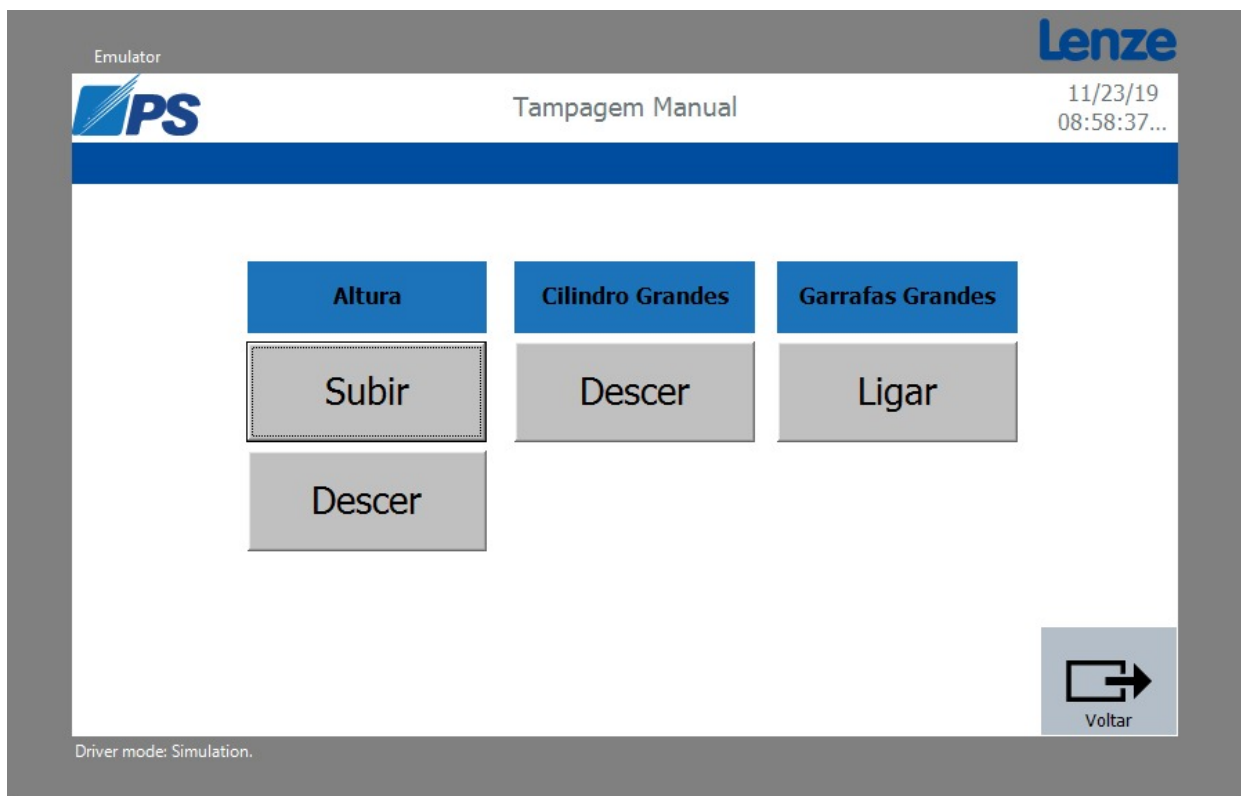
Selecione a garrafa para envase:

500 ml 1 L 5 L 20 L

Qtde de garrafas para envase

Voltar

Driver mode: Simulation.



Emulador

Lenze

PS

Tampagem Manual

11/23/19
08:58:37...

Altura Cilindro Grandes Garrafas Grandes

Subir Descer Ligar

Descer

Voltar

Driver mode: Simulation.

Emulador Lenze

PS Setup 11/23/19
09:10:58...

Selecione os módulos para ativar

Envasadora Tampadora Rotuladora

Voltar

Driver mode: Simulation.

Emulador Lenze

PS Início 11/23/19
08:52:33...

Envase	Desligado	<div style="background-color: black; color: white; padding: 5px; font-weight: bold;">Status Máquina</div> <div style="background-color: red; color: white; padding: 5px; font-weight: bold;">Desligado</div> <div style="border: 1px dashed gray; padding: 10px; margin-top: 10px; font-weight: bold;">Ligar Máquina</div>	Total de Garrafas
Rosqueamento	Desligado		0 / 0
Rotulagem	Desligado		<div style="background-color: black; color: white; padding: 5px; font-weight: bold;">Garrafa</div> <div style="background-color: black; color: white; padding: 5px; font-weight: bold;">Tempo</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">+1 seg</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">-1 seg</div> </div>
<div style="background-color: blue; color: white; padding: 10px; margin: 5px;">Setup</div> <div style="background-color: blue; color: white; padding: 10px; margin: 5px;">Modo Manual</div> <div style="background-color: blue; color: white; padding: 10px; margin: 5px;">Configuração</div> <div style="background-color: blue; color: white; padding: 10px; margin: 5px;">Relatórios</div>			

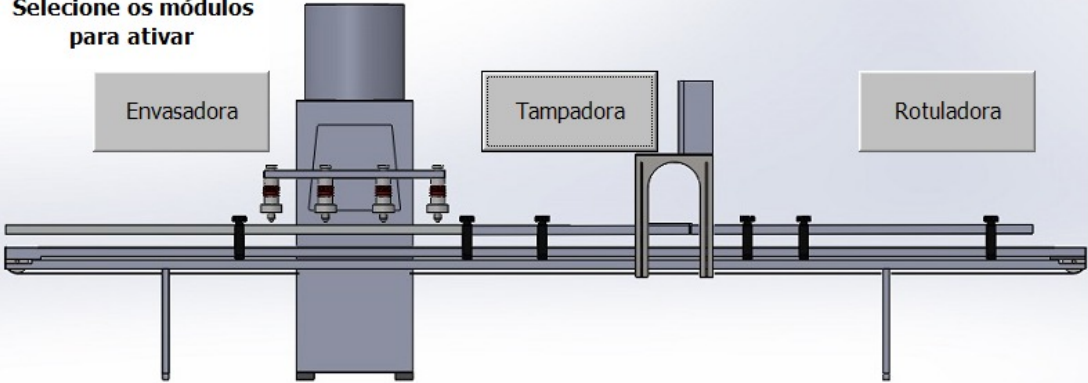
Driver mode: Simulation.

Emulador Lenze

PS Setup 11/23/19
08:59:51...


Selecione os módulos para ativar

Envasadora



Tampadora

Rotuladora




Voltar

Driver mode: Simulation.

Emulador Lenze

PS Envase Manual 11/23/19
08:58:01...

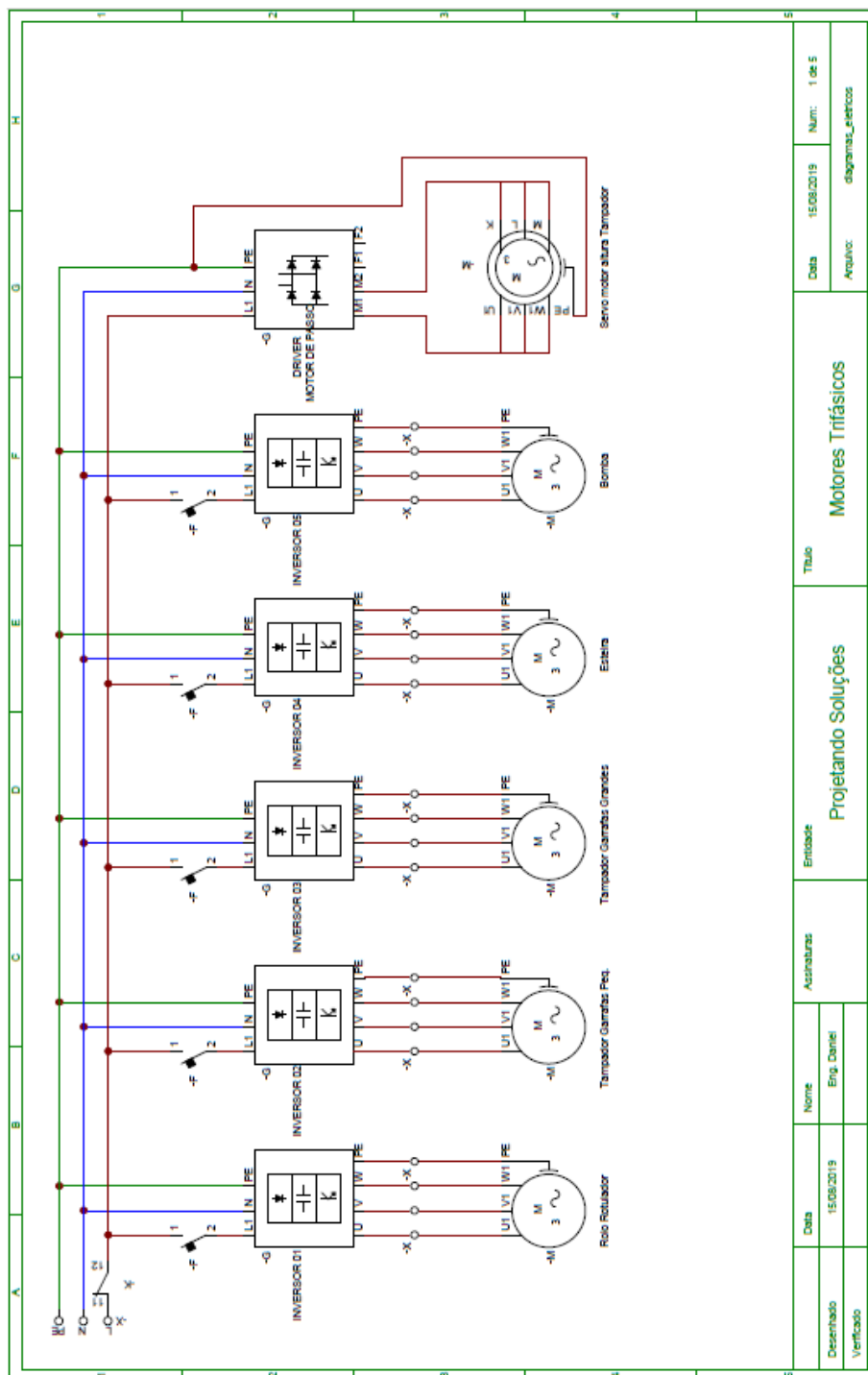
Bicos	Cilindro Frontal	Cilindro Traseiro	Bomba
Subir	Fechar	Fechar	Ligar
Descer			



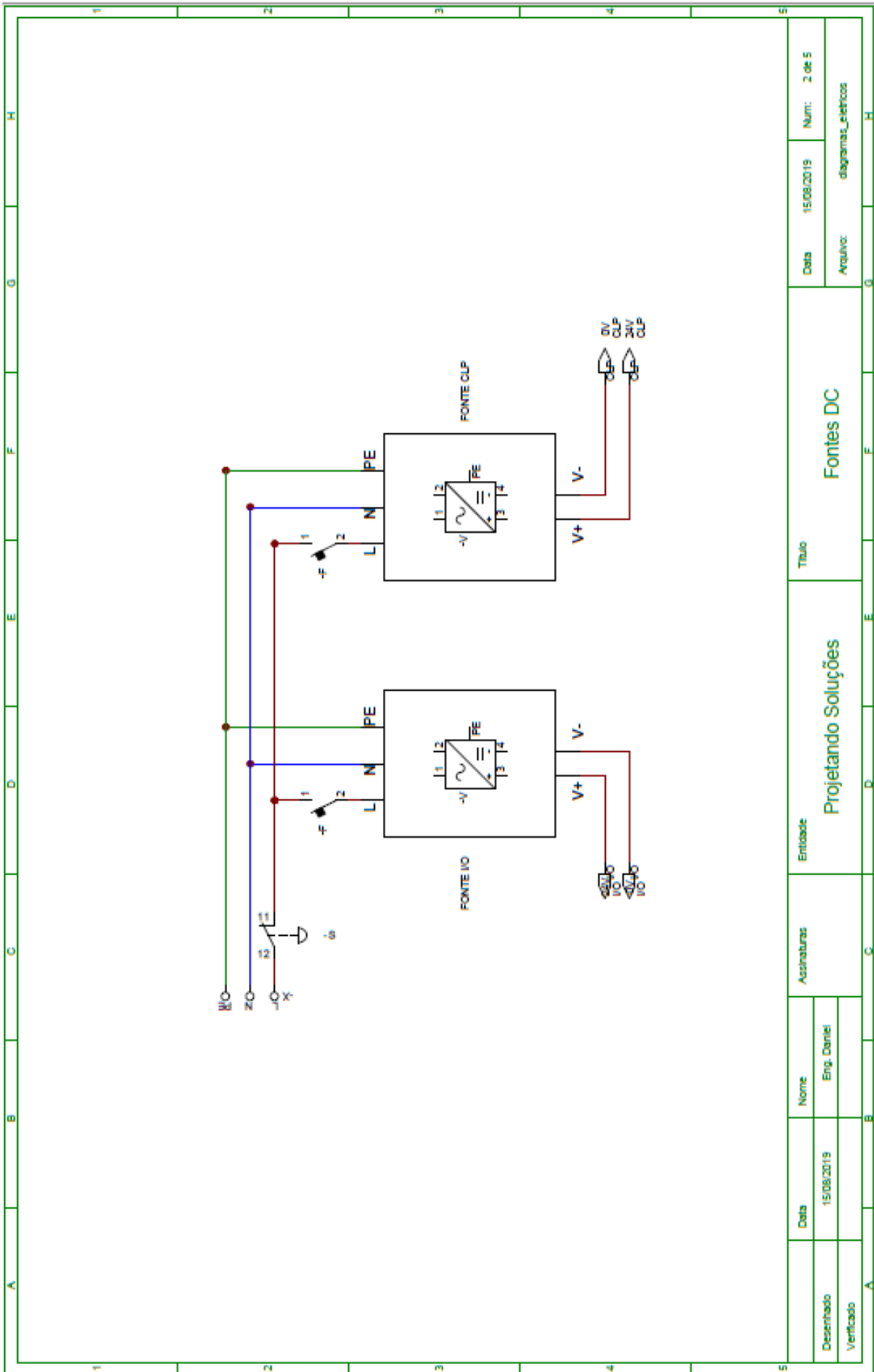
Voltar

Driver mode: Simulation.

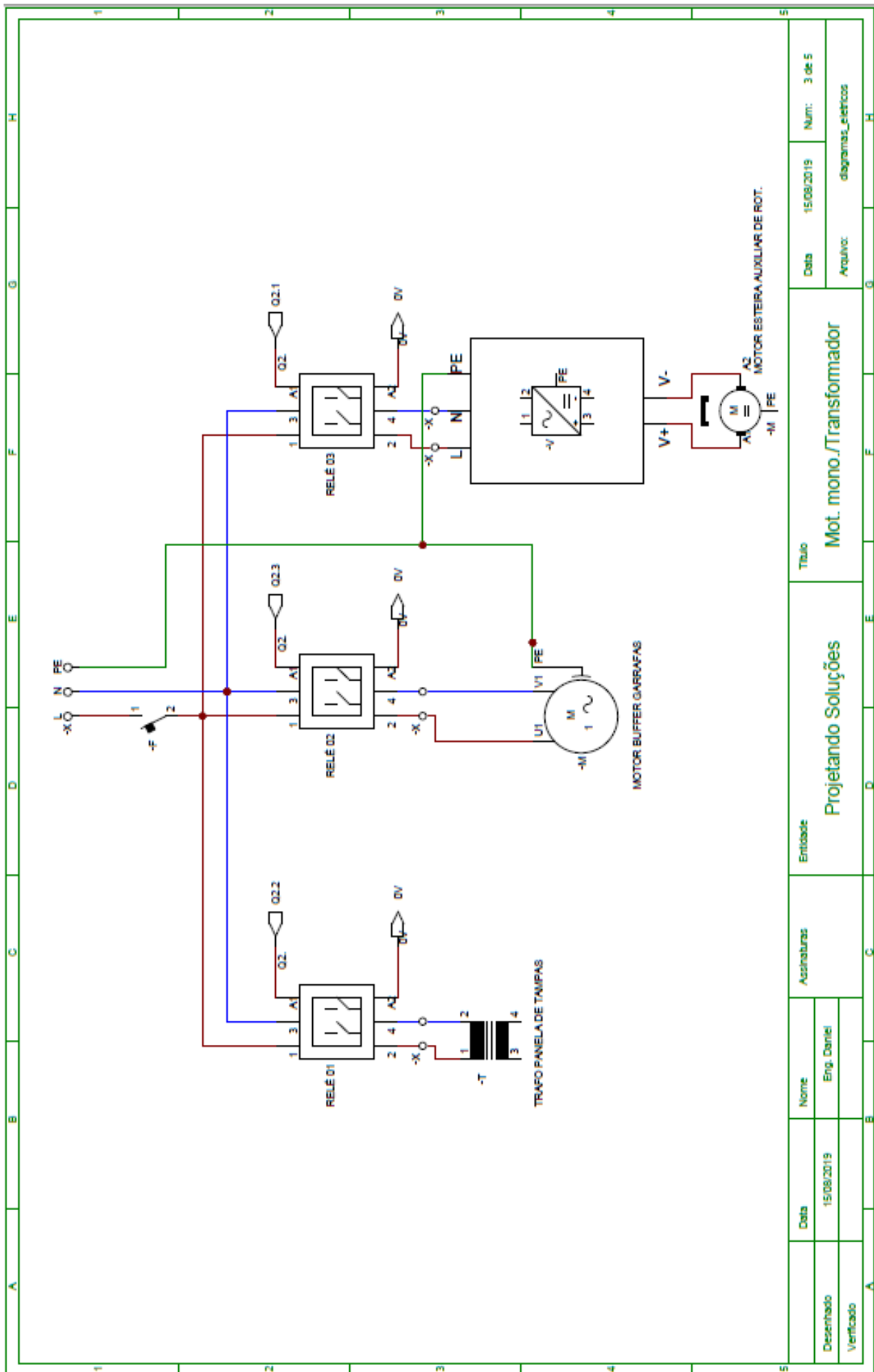
II.4 Diagramas Eléctricos



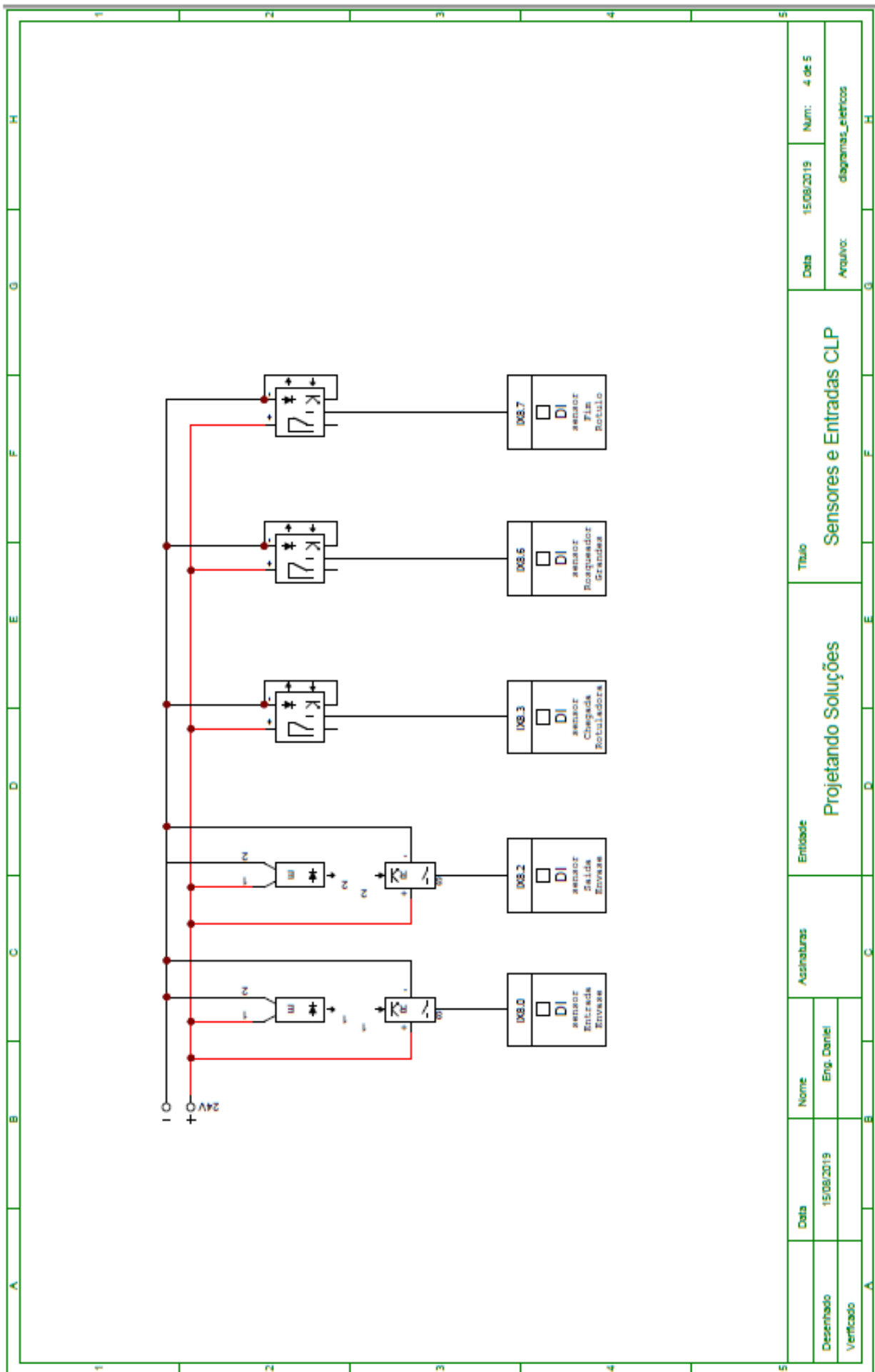
Data		15/08/2019		Num.: 1 de 5	
Desenhado		Eng. Daniel		Arquivo: diagramas_eletricos	
Verificado					
Título			Motores Trifásicos		
Entidade			Projetando Soluções		
Assinaturas					



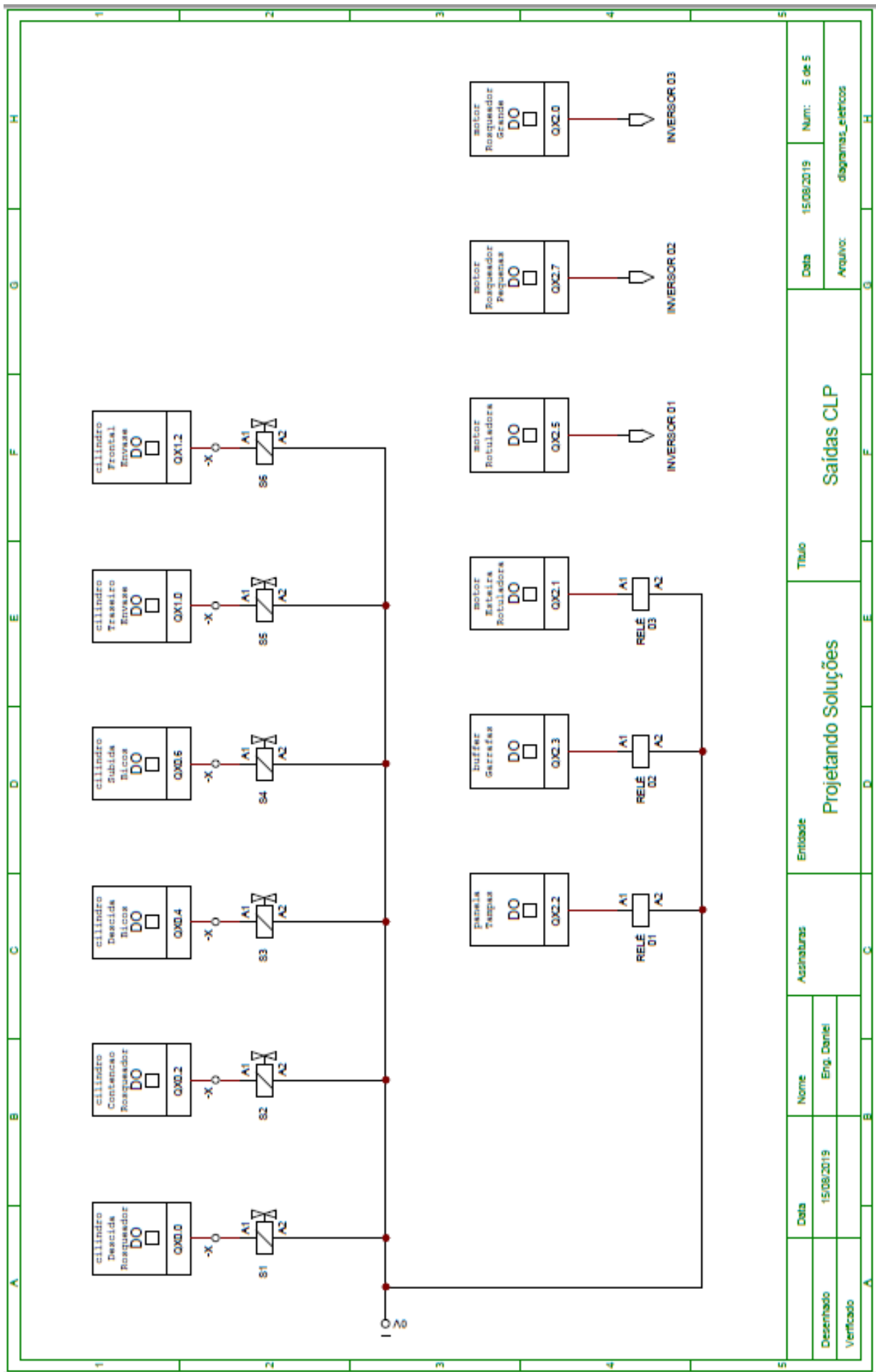
Data		15/08/2019		Num: 2 de 5	
Arquivo:		diagramas_eletricos			
Projeto			Fontes DC		
Título			Fontes DC		
Entidade			Projeto Soluções		
Assinaturas					
Data		15/08/2019		Nome	
Desenhado		Eng. Daniel			
Verificado					



Data		15/08/2019		Num:		3 de 5	
Desenhado		Eng. Daniel		Arquivo:		diagramas_eletricos	
Verificado				Titulo		Mot. mono / Transformador	
		Assinaturas		Entidade		Projeto Soluções	
		Nome		Entidade		Projeto Soluções	
		Eng. Daniel		Entidade		Projeto Soluções	



Data		Nome		Assinaturas		Entidade		Titulo		Data		Num:	
Desenhado		Eng. Daniel						Sensores e Entradas CLP		15/08/2019		4 de 5	
Verificado										Arquivo:		diagramas_eletricos	



Desenhado		Nome		Titulo		Data		Num:	
Verificado		Eng. Daniel		Saídas CLP		15/08/2019		5 de 5	
		Assinaturas		Entidade		Arquivo:		diagramas_eletricos	