

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS**

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA**

**RUAN CARLOS MOTA TEIXEIRA**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE  
EMBALAGEM DE FITAS ADESIVAS PARA UMA INDÚSTRIA DO  
POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

Manaus/AM

2019

**RUAN CARLOS MOTA TEIXEIRA**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE EMBALAGEM DE  
FITAS ADESIVAS PARA UMA INDÚSTRIA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

Pesquisa desenvolvido durante a disciplina de trabalho de conclusão de Curso II e apresentado à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção de título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: DSc. Walter Prado Souza Guimarães

Manaus

2019

**Universidade do Estado do Amazonas – UEA**  
**Escola Superior de Tecnologia - EST**

*Reitor:*

**Cleinaldo de Almeida Costa**

*Vice-Reitor:*

**Cleto Cavalcante De Souza Leal**

*Diretor da Escola Superior de Tecnologia:*

**Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo**

*Coordenador do Curso de Engenharia de Elétrica*

**Walfredo da Costa Lucena Filho**

*Banca Avaliadora composta por:*

*Data da defesa: 16/12/2019.*

**Prof. Walter Prado de Souza Guimarães (Orientador)**

**Prof. Walfredo da Costa Lucena Filho**

**Prof. Fábio de Souza Cardoso**

## **CIP – Catalogação na Publicação**

Teixeira, Ruan Carlos Mota

Implementação de um sistema automático de embalagem de fitas adesivas para uma indústria do Polo Industrial de Manaus / Ruan Carlos Mote Teixeira [orientado por] Walter Prado de Souza Guimarães. – Manaus: 2019.

87 f. p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado do Amazonas, 2019.

1. Automação Industrial. 2. Servomecanismo. 3. Ergonomia  
I. GUIMARÃES, Walter Prado de Souza.

RUAN CARLOS MOTA TEIXEIRA

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE EMBALAGEM DE  
FITAS ADESIVAS PARA UMA INDÚSTRIA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Nota obtida: \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ )

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Área de concentração: Automação Industrial

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_  
Orientador: Walter Prado de Souza Guimarães

\_\_\_\_\_  
Avaliador: Walfredo da Costa Lucena Filho

\_\_\_\_\_  
Avaliador: Fábio de Souza Cardoso

Manaus

2019

A minha família que sempre me deu suporte e motivação na caminhada do saber e foram fundamentais para alcançar os meus objetivos. Dedico-lhes como forma de gratidão

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, porque até aqui nos ajudou o SENHOR.

Aos meus pais Raimundo e Leonir que são excelentes pais, sempre me instruindo e condicionando no caminho do conhecimento e por nunca ter faltado afeto.

Ao meu irmão Rômulo Teixeira que sempre me incentivou a buscar meus objetivos.

Agradeço ao Instituto de Pesquisa HUB: Inovação e Tecnologia por ter contribuído na minha caminhada acadêmica e profissional, agradeço aos colegas de trabalho por todo auxílio e aprendizado, e em especial aos professores Fábio Cardoso, Raimundo Claudio e Jozias Parente por todo conhecimento adquirido.

Ao meu orientador, professor Walter Prado pelo convite de participar de um projeto que agregou muito na minha carreira e abriu portas para novos aprendizados, e por toda orientação na realização do trabalho.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram e acreditaram em mim: Juan Lennon, Ítalo Souza e Bárbara Alcântara. Agradeço em especial ao amigo Jhonattan Farah pela parceria e momentos de alegria ao longo do curso e por todo conhecimento compartilhado.

Aos amigos e companheiros de trabalho: Rubens de Andrade, Lennon Brandão e Samuel Bruno por todo suporte técnico e parceria.

Ao corpo docente da Escola Superior de Tecnologia por ter conseguido transmitir todo o conteúdo possível durante esse curso de graduação.

À Universidade do Estado do Amazonas por proporcionar um ambiente de formação acadêmica e pessoal.

Ao Fisioterapeuta Josiel Gomes pelo auxílio em assuntos correlacionados à ergonomia.

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema elétrico de uma solução tecnológica para uma empresa do polo industrial de Manaus, do segmento de fitas adesivas, visando automatizar o processo de embalagem, baseada em um maquinário que seja capaz alocar diversos modelos de fitas já rotuladas em caixas de papelão padrão de forma automática. A máquina é baseada em uma automação industrial com Controlador Lógico Programável (CLP), servo mecanismo, sensores e inversores de frequência, onde um conjunto de sensores envia o comando para o CLP para deslocar uma peça mecânica via servo motores com o intuito de capturar um conjunto de fitas adesivas e leva-las para uma esteira paralela com caixas de papelão padrão preparadas para receber as fitas. Então um sistema pneumático é acionado para despejar as fitas. O projeto objetiva substituir a operação manual de embalagem de fitas por uma operação que o operador tenha menos esforço físicos e melhores condições de trabalho. Dessa forma, serão empregados métodos de análise ergonômica para avaliar o impacto da automação no processo.

**Palavras-chave:** Automação Industrial. Servo mecanismo. Controladores Lógicos Programáveis. Ergonomia.

## **ABSTRACT**

This article has as objective the development of the electric system of a technical solution for a Manaus industrial pole's company, of the adhesive tapes segment, looking for to automate the packaging process, based on machinery capable of automatically allocating various tape models already labeled in standard cartons in a automatic way. The machine is based in a industrial automation with PLC, servo mechanism, sensors and frequency inverters, where a set of sensors sends the command to the Programmable Logic Controller to move a mechanical part via servo motors with the intend to capture a set of tapes and take them to a parallel conveyor belt. of standard cardboard prepared to receive the ribbons. Then a pneumatic system is actuated to dump the tapes. The design aims to replace manual tape packing operation with one that has less physical effort and better working conditions. Therefore, ergonomic analysis methods will be employed to assess the impact of automation on the process.

**Keywords:** Industrial automation. Servomechanism. PLC. ergonomic

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Enrolamento trifásico simples .....	17
Figura 2 - Vetor do campo magnético para $\omega t=90^\circ$ .....	18
Figura 3 - (a) espira dentro de um campo magnético, vista frontal; (b) Dedução do conjugado induzido .....	18
Figura 4 - Diagrama esquemático de um inversor de frequência .....	20
Figura 5 - Funcionamento do sensor fotoelétrico .....	21
Figura 6 - Tipo de chaves manuais comumente utilizadas .....	22
Figura 7 - (a) Representação vetorial da transformada de Clarke (b) Sinal trifásico no domínio do tempo (c) Transformada do sinal trifásico em um sinal bifásico ortogonal .....	23
Figura 8 - Transformada de Park nas componentes $U_d$ e $U_q$ .....	24
Figura 9 - Princípio de funcionamento de servo motor de corrente alternada .....	24
Figura 10 - Parâmetros do modo de operação PR .....	26
Figura 11 - Parâmetros <i>Data</i> e <i>Type</i> .....	26
Figura 12 - Partes do CLP .....	27
Figura 13 - Ciclo de varredura.....	28
Figura 14 - Funcionamento das funções XIC, XIO e OTE .....	29
Figura 15 - Identificação das tarefas.....	34
Figura 16 - Folha da tarefa .....	35
Figura 17 - Prioridade de mudança.....	36
Figura 18 - Metodologia.....	37
Figura 19 - (A) Esteira de saída da máquina Guzzetti; (B) Esteira da rotuladora; (C) Máquina rotuladeira; (D) Esteira para o virador de fitas; (E) Virador de fitas; (F) Esteira da embaladora Guzzetti; (G) Sistema pick-up; (H) Esteira das caixas .....	38
Figura 20 - Fita com filme plástico após sair da máquina Guzzetti .....	38
Figura 21 - Máquina rotuladora.....	39
Figura 22 - Embaladora Guzzetti.....	40
Figura 23 - Gabarito Guia para 5 fitas .....	40
Figura 24 - Carregador de fitas e pegador de fitas .....	41
Figura 25 - Carro do carregador de fitas.....	42
Figura 26 - Diagrama funcional da embaladora Guzzetti.....	43
Figura 27 - Arquitetura do sistema elétrico da máquina embaladora Guzzetti. ....	45
Figura 28 - Alimentação do sistema .....	47

Figura 29 - Diagrama básico do inversor de frequência VFD007L21A .....	48
Figura 30 - Diagrama elétrico dos inversores de frequência e motores trifásicos.....	49
Figura 31 - Diagrama do <i>servo driver</i> no modo PR .....	50
Figura 32 - Diagrama elétrico dos servos motores .....	51
Figura 33 - Diagrama da fonte de alimentação DC .....	51
Figura 34 - Diagrama sinalizações .....	52
Figura 35 - Diagrama do sistema pneumático .....	52
Figura 36 - Entradas do CLP: chaves e sensores.....	54
Figura 37 - Entradas do CLP: servo motores e pneumático .....	55
Figura 38 - Saída CLP: Sinalização e inversores de frequência.....	56
Figura 39 - Saídas CLP: <i>servo driver</i> .....	57
Figura 40 - <i>PR Homing</i> .....	58
Figura 41 - Configuração do <i>homing</i> .....	59
Figura 42 - Relação de transmissão .....	60
Figura 43 - Configuração dos comandos posição do <i>servo driver</i> .....	61
Figura 44 - Fluxo sequencial das principais rotinas do programa do CLP.....	64
Figura 45 - Posicionamento dos componentes .....	65
Figura 46 - Cabeamento do painel de comando .....	66
Figura 47 - Pinout CN1 .....	66
Figura 48 - Conector de alimentação do <i>servo driver</i> .....	67
Figura 49 - Instalação elétrica dos elementos do gabinete .....	67
Figura 50 - Montagem final do painel de comando.....	68
Figura 51 - Instalação dos servos motores.....	69
Figura 52 - Integração dos motores de indução nas esteiras .....	69
Figura 53 - Instalação dos sensores nas esteiras a) esteira principal b) esteira das caixas.....	70
Figura 54 - Chaves fim de curso.....	70
Figura 55 - Instalação do circuito pneumático .....	71
Figura 56 - Funcionamento do carregador de fitas.....	71
Figura 57 - Embaladora Guzzetti montada.....	72
Figura 58 - Ciclo de operação da embaladora Guzzetti.....	77
Figura 59 - Operação manual de embalagem de fitas .....	79
Figura 60 - Carregamento da esteira das caixas .....	79
Figura 61 – Método de análise ergonômica Sue Rodgers para operação manual de embalagem de fitas.....	80

Figura 62 - Método de análise ergonômica Sue Rodgers para operação de carregamento da esteira das caixas .....	81
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Materiais utilizado no sistema elétrico da embaladora Guzzetti .....	45
Tabela 2 - Posição comando Servo motor eixo Z.....	62
Tabela 3 - Posição comando servo motor eixo X.....	63
Tabela 4 - Teste de validação do sistema elétrico da embaladora Guzzetti .....	73

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
1.1 MOTORES DE INDUÇÃO E INVERSORES DE FREQUÊNCIA .....	16
1.2 SENSORES FOTOELÉTRICOS .....	20
1.3 CHAVES .....	21
<b>1.3.1 Chaves operadas manualmente</b> .....	<b>21</b>
<b>1.3.2 Chaves fim de curso</b> .....	<b>22</b>
1.4 SERVOMOTORES .....	22
<b>1.4.1 Servomecanismos</b> .....	<b>22</b>
<b>1.4.2 Funcionamento do Servo Motor AC</b> .....	<b>22</b>
<b>1.4.3 Modo de operação PR dos servo drives ASDA-A2 DELTA</b> .....	<b>25</b>
1.5 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS .....	26
<b>1.5.1 Linguagem de programação de CLP</b> .....	<b>28</b>
1.6 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO .....	29
<b>1.6.1 Disjuntores termomagnético</b> .....	<b>30</b>
<b>1.6.2 Equipamentos de parada de emergência</b> .....	<b>31</b>
<b>1.6.3 Chaves seccionadoras de baixa tensão</b> .....	<b>31</b>
1.7 ERGONOMIA E NR-17 .....	31
1.8 DOENÇAS OSTEOMUSCULARES RELACIONADOS AO TRABALHO .....	32
1.9 AVALIAÇÃO ERGONÔMICA: MÉTODO SUZANNE RODGER .....	34
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>37</b>
2.1 ESPECIFICAÇÕES DE SOFTWARES .....	37
2.2 METODOLOGIA PARA EMBALAGEM AUTOMÁTICA DE FITAS .....	37
<b>2.2.1 Solução Guzzetti</b> .....	<b>38</b>
<b>2.2.2 Embaladora Guzzetti</b> .....	<b>39</b>
2.3 ARQUITETURA DO SISTEMA ELÉTRICO. ....	44
2.4 MATERIAIS .....	45
<b>3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO</b> .....	<b>47</b>
3.1 DIAGRAMA ELÉTRICO .....	47
<b>3.1.1 Alimentação</b> .....	<b>47</b>
<b>3.1.2 Inversores de frequência e motores trifásicos</b> .....	<b>47</b>
<b>3.1.3 Servo driver e servo motor</b> .....	<b>49</b>
<b>3.1.4 Fonte de corrente contínua</b> .....	<b>51</b>
<b>3.1.5 Sinalizações</b> .....	<b>52</b>
<b>3.1.6 Válvulas Eletro solenoide</b> .....	<b>52</b>
<b>3.1.7 Entradas CLP: chaves e sensores</b> .....	<b>53</b>
<b>3.1.8 Entradas CLP: Servo Motores e Sistema Pneumático</b> .....	<b>54</b>
<b>3.1.9 Saídas do CLP: Inversor de frequência e sinalizações</b> .....	<b>55</b>
<b>3.1.10 Saídas do CLP: Servo driver</b> .....	<b>56</b>
3.2 CONFIGURAÇÃO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA .....	57
3.3 CONFIGURAÇÃO DO <i>SERVO DRIVER</i> .....	57
<b>3.3.1 Servo motor: Eixo X</b> .....	<b>58</b>
<b>3.3.2 Servo motor: Eixo Z</b> .....	<b>61</b>
3.4 PROGRAMAÇÃO DO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL .....	62
3.5 MONTAGEM DO PAINEL DE COMANDO .....	64

3.6 INTEGRAÇÃO COM A SOLUÇÃO MECÂNICA .....	68
3.7 VALIDAÇÃO E AJUSTES .....	72
<b>4 RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>76</b>
4.1 RESULTADOS FUNCIONAIS .....	76
4.2 RESULTADOS ERGONÔMICOS .....	79
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICE A – PROGRAMA EM LADDER DO CLP .....</b>	<b>87</b>

## INTRODUÇÃO

A automação industrial é definida como a tecnologia relacionada a aplicação de sistemas mecânicos, de sistemas eletrônicos e computadores que operam e controlam um processo produtivo (GROOVER, 2007).

Em um mercado altamente competitivo, as companhias tendem a optar por soluções de automação industrial que tornem os processos mais enxutos e eficiente, cada vez mais almeja-se por linhas de produção mais automatizadas, visando diminuir o custo com mão-de-obra, acelerar, monitorar e controlar o processo produtivo e bons indicadores de rendimento de produção. Dessa forma, a automação industrial torna-se um grande aliado a manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*), já que a substituição de manufaturas por máquinas permite redução no tempo de ciclo, melhor aproveitamento de recursos e um maior envolvimento dos operadores nos processos produtivos, agregando mais valor a mão-de-obra (HEDELING & JACKSON, 2011) (GROOVER, 2007).

Outro fator relacionado aos benefícios da automação industrial, relaciona-se com melhores condições de trabalho, fazendo com que a ergonomia do posto de trabalho seja menos nociva a saúde do operador, atenuando o risco de patologias, sobretudo, das Doenças Osteomusculares Relacionadas ao Trabalho (DORT) (NEUMANN, et al., 2010) (HELFENSTEIN, 1998).

Atualmente uma das principais empresas do Brasil no segmento de fitas adesivas possui ineficiência no processo de embalagem, onde possui um esforço de mão-de-obra elevada para realização das atividades desse posto, que consistem em alocar as fitas rotuladas em caixas de papelão padrão e simultaneamente operar outras máquinas do posto de embalagem. Na perspectiva ergonômica, a atividade manual de embalagem de fitas adesivas torna-se prejudicial à saúde do operador, principalmente devido ao elevado volume de produção e o movimento repetitivo realizado para locomover as fitas.

A finalidade deste trabalho é apresentar a implementação de uma automação industrial para uma fábrica de fitas adesivas do Polo Industrial de Manaus por meio do desenvolvimento do sistema elétrico de uma solução capaz de embalar fitas de forma autônoma. O sistema elétrico será formado, sobretudo, por controladores, sensores, motores de indução, servo motores e atuadores pneumáticos que irá transportar fitas adesivas já rotuladas e protegidas, após passar por todo processo produtivo, em caixas de papelão padrão de forma automática. Ao final da implementação, o equipamento pretende diminuir o esforço humano das atividades manuais de embalagem de fitas.

Dessa forma, a pesquisa se justifica por buscar agregar essas melhorias concernente a automação industrial e que englobam diversas temáticas relacionadas à Engenharia Elétrica, como: sistema de controle; acionamento elétricos; máquinas elétricas; eletrônica de potência; linguagem de Programação; instalações elétricas; ergonomia e segurança do trabalho.

O trabalho será abordado de forma sistemática por meio 4 capítulos incluso as referências:

Capítulo I - Referencial Teórico: será apresentado os principais componentes que compõe a automação que vislumbra o projeto, como: motores de indução e inversor de frequência, sensores fotoelétricos, chaves, servo motores, definições de fabricante, Controladores Lógicos Programáveis, dispositivos de proteção e assuntos relacionados a ergonomia: NR-17, DORT e métodos de análises ergonômicos

Capítulo II – Materiais e métodos: neste capítulo são descritas as etapas para execução do projeto e as definições de modelos e arquitetura do sistema para alcançar o objetivo proposto, além das especificações dos materiais utilizados para a implementação.

Capítulo III - Implementação do Projeto: descreve detalhadamente os procedimentos realizados durante a implementação do projeto e por fim apresentar os testes de validação do projeto.

Capítulo IV – Resultados Obtidos: apresenta os resultados obtidos separados em duas vertentes, os resultados correlacionados a funcionalidade do sistema e os resultados do ponto de vista dos benefícios ergonômicos.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

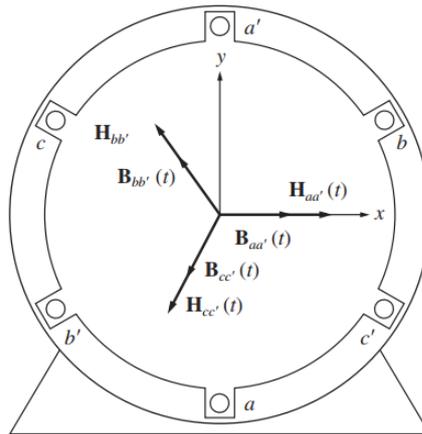
Diante da problemática e uma hipótese para solucionar o problema, é necessário fornecer um embasamento teórico para qualificar o projeto de pesquisa. Para o sistema elétrico utilizado na pesquisa é necessário entender quais são os principais componentes para aplicação, o princípio de funcionamento de cada um elemento que compõe o sistema e como se dá o seu dimensionamento.

### 1.1 MOTORES DE INDUÇÃO E INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Dentre os motores de indução, para o enfoque da aplicação, o motor rotor de gaiola de esquilo torna-se o mais apropriado. Os motores trifásicos rotor gaiola de esquilo possui fisicamente um estator e um rotor. O estator, parte estática do motor, é constituído por um núcleo ferromagnético laminado, onde é alocado os enrolamentos nas cavas, alimentado por uma corrente alternada trifásica. Já o rotor, parte móvel do motor trifásico, fisicamente é constituído por um núcleo de chapas ferromagnética, isoladas entre si, e barras condutoras paralelas ligadas unidas na extremidade por anéis metálico, formando um curto-circuito nos condutores. Os motores gaiola de esquilo trifásico tem vantagens de ser mais econômico e pode ser utilizado em diversas aplicações quando comparado com o motores monofásicos ou trifásico de rotor bobinado (FRANCHI, 2008).

O princípio de funcionamento de um motor AC baseia-se no campo magnético girante criado pela parte estática do motor, esse campo é formado pela tensão alternada trifásica aplicada nos enrolamentos do estator. A intensidade do campo resultante é constante, porém o fasor varia com o tempo. Isso pode ser ilustrado na Figura 1, com o enrolamento trifásico simples, onde é possível verificar a intensidade de campo,  $H(t)$ , referente as três fases,  $(H_{aa'}(t), H_{bb'}(t) e H_{cc'}(t))$ .

Figura 1 - Enrolamento trifásico simples



Fonte: (CHAPMAN, 2013)

$$H_{aa'}(t) = H_M \text{sen}(\omega t) \angle 0^\circ \text{ A. e/m} \quad (1)$$

$$H_{bb'}(t) = H_M \text{sen}(\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ \text{ A. e/m} \quad (2)$$

$$H_{cc'}(t) = H_M \text{sen}(\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ \text{ A. e/m} \quad (3)$$

Sabendo que a densidade de campo magnético pode ser dado por:

$$B = \mu H \quad (4)$$

Então é possível determinar o campo magnético gerado pelos pares de enrolamento (a/a', b/b' e c/c') do estator que são correspondentes a cada fase do sistema trifásico:

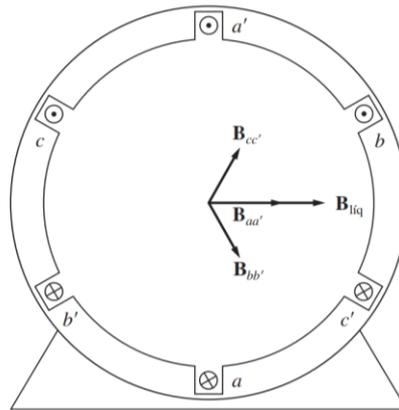
$$B_{aa'}(t) = B_M \text{sen}(\omega t) \angle 0^\circ \text{ T} \quad (5)$$

$$B_{bb'}(t) = B_M \text{sen}(\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ \text{ T} \quad (6)$$

$$B_{cc'}(t) = B_M \text{sen}(\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ \text{ T} \quad (7)$$

O campo magnético girante é a soma vetorial dos três campos criados pelo estator, conforme a Figura 2:

$$B_{liq} = B_{aa'} + B_{bb'} + B_{cc'} \quad (8)$$

Figura 2 - Vetor do campo magnético para  $\omega t = 90^\circ$ 

Fonte: (CHAPMAN, 2013)

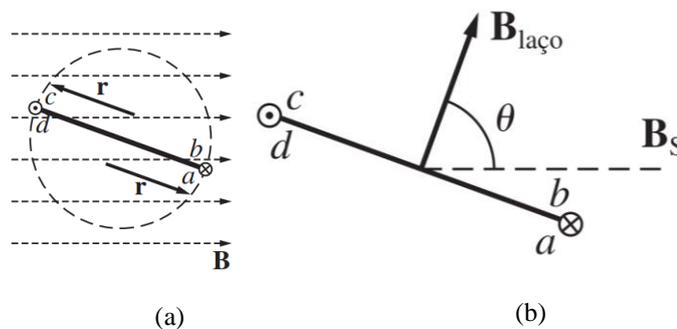
Contudo, observa-se que esse campo está constantemente em rotação, devido o ângulo  $\omega t$ , mas a soma vetorial faz com que o módulo do campo líquido seja sempre constante.

Outro princípio que justifica o funcionamento do motor é dado pelo fato do conjugado criado para induzir o alinhamento de dois campos magnéticos presentes em uma máquina ou seja, na condição em que uma espira é submetida a um campo  $B_s$  e a formação de um campo criado pela corrente no laço da espira  $B_{\text{laço}}$ , o conjugado pode ser dado pela relação.

$$\tau_{ind} = k B_{\text{laço}} \times B_s \quad (9)$$

Ou seja, o conjugado induzido será inexistente apenas quando o ângulo entre os dois campos for nulo. Isso pode ser verificado conforme a ilustração de uma espira na presença de um campo magnético ( $B$ ), conforme a Figura 3.

Figura 3 - (a) espira dentro de um campo magnético, vista frontal; (b) dedução do conjugado induzido



Fonte: (CHAPMAN, 2013)

De posse dessas informações, o princípio de funcionamento do motor de indução consiste em um campo magnético criado pelo núcleo do rotor, induz um conjugado rotacional

que buscar se alinhar com o campo girante do estator, sem nunca conseguir alinhar com ele (CHAPMAN, 2013).

A velocidade do campo magnético do motor de indução está diretamente relacionada com o número de polos (P) e a frequência da rede (f), sendo dado pela equação em rpm:

$$n_{sinc} = \frac{120f}{P} \quad (10)$$

Ou seja, para alterar a velocidade do campo girante, conseqüentemente a velocidade no eixo do motor, a solução mais viável é a alteração na frequência.

Para isso, utiliza-se inversores de frequência, visto que o motor precisa alterar a velocidade, em contrapartida manter o mesmo torque, para isso é importante conhecer o fundamento, que relata que os motores de indução podem ser estruturados como um transformador em que o enrolamento primário é o estator e o secundário é o rotor, dessa forma o conjugado do motor pode ser representado pelo fluxo de magnetização  $\varphi_m$  e a corrente no rotor

$$\tau = \varphi_m \cdot I_2 \quad (11)$$

Já a tensão aplicada a bobina do estator ( $U_s$ ) relaciona-se com a frequência da rede (f), o número de espiras do enrolamento (n), conforme a Equação 12, sabendo que o número de espira é uma constante, então para manter o mesmo torque no rotor para velocidades distintas é necessário manipular a tensão do estator proporcional à variação da frequência  $f$ , desta forma o fluxo permanece constante. Sendo assim, para alterar a velocidade de um motor AC é necessário fazer as manipulações tanto na frequência quanto na amplitude da tensão (FRANCHI, 2013).

$$U_s = 4,44 \cdot f \cdot n \cdot \varphi_m \quad (12)$$

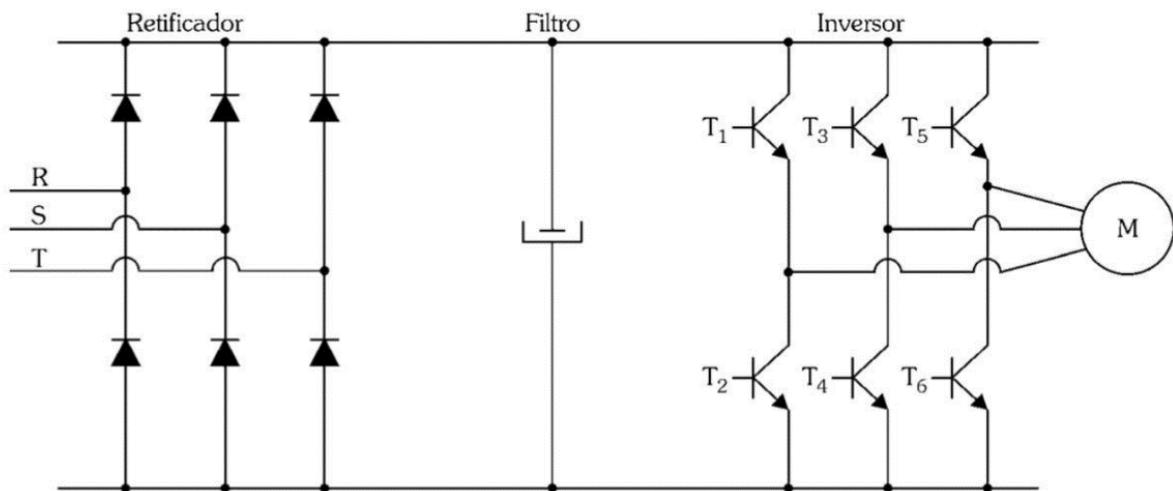
Para entender o funcionamento do inversor de frequência divide-se em três partes, conforme a Figura 4: retificador e filtro DC, sistema de controle e circuito inversor:

- a) retificador e link CC: Responsável por transformar a tensão alternada em um sinal de corrente contínua, normalmente são utilizados os retificadores trifásicos em ponte de seis pulsos. Posteriormente esse sinal deve ser filtrado para melhorar a componente CC, então o sinal passa por um filtro capacitivo;
- b) sistema de controle: Além de incluir o sistema de leitura e ajustes de parâmetros que não é o objetivo do estudo. A principal característica do sistema de controle é controlar o bloco inversor, por meio de lógica PWM. Os pulsos PWM irá

determinar a tensão, por meio da tensão média dos pulsos e a frequência do sinal ao final do bloco inversor;

- c) bloco inversor: Conjunto de transistores ou IGBTs, geralmente configurados em ponte completa, tem a função de fazer a inversão da tensão contínua em corrente alternada, conforme o chaveamento controlado pelos pulsos PWM do sistema de controle do inversor de frequência.

Figura 4 - Diagrama esquemático de um inversor de frequência



Fonte: (FRANCHI, 2013)

## 1.2 SENSORES FOTOELÉTRICOS

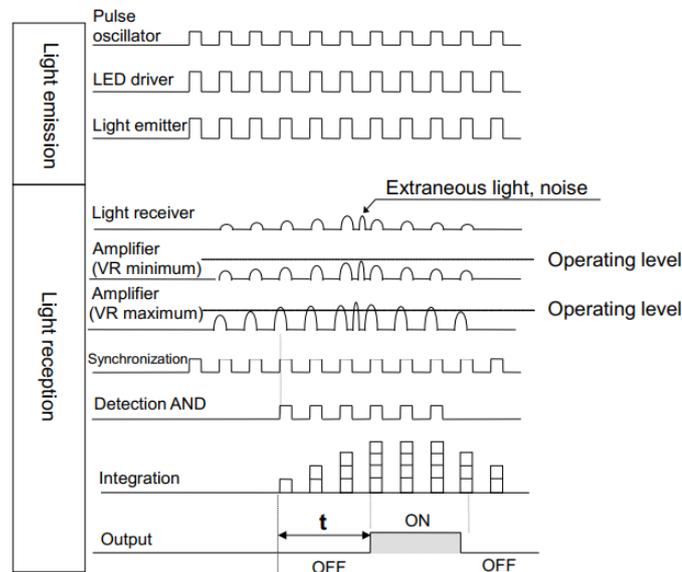
Os sensores fotoelétricos possuem uma alta gama de utilização na automação industrial, ele é o responsável por detectar um agente externo e iniciar uma rotina de uma máquina, normalmente definido como *input* de um sistema elétrico. O sensor fotoelétrico é construído a partir de uma fonte de luz, um receptor de luz, um circuito eletrônico principal e a saída do circuito.

O princípio de funcionamento do sensor, como pode ser observado na Figura 5, é baseado na emissão de pulsos de luz, sincronizado com um oscilador, o receptor recebe a luz refletida (sensor fotoelétrico do tipo reflexivo) e transforma em um sinal elétrico, esse sinal é amplificado em uma margem superior e inferior. A detecção de um sinistro pelo receptor de luz implica em alterações na amplitude ou no período do sinal de luz amplificado que pode superar o nível de operação do sensor. Nesse momento é acionado a detecção por lógica E, que compara o clock do sensor com sinal do receptor de luz, posteriormente esse sinal passa por um circuito integrador que faz com que a saída do sensor não seja ativada apenas com um pulso, sendo necessário uma sequência de pulsos do detector E para ativar a saída do sensor, inibindo

acionamentos incorretos. Então o acionamento na saída do sensor é dado conforme a amplitude do circuito integrador (PANASONIC, 2014).

Contudo, quando um objeto se aproxima do sensor, a quantidade de luz refletida que entra no dispositivo aumenta, superando o nível de operação do sensor, se essa quantidade de luz se manter por um período de tempo, o sensor é ativado.

Figura 5 - Funcionamento do sensor fotoelétrico



Fonte: (PANASONIC, 2014)

### 1.3 CHAVES

Dois tipos de chaves destacam-se para o desenvolvimento do sistema elétrico empregado no projeto: chaves operadas manualmente e chave operadas mecanicamente

#### 1.3.1 Chaves operadas manualmente

Uma das formas mais utilizadas no controle manual de contatos elétricos são por meio de botão que são atuados manualmente ao ser pressionados, três tipos de chaves se destacam; botão de comando normalmente aberto (NA), o funcionamento consiste em fechar o circuito quando pressionado e ao ser liberado o contato volta a estar aberto; botão de comando normalmente fechado (NF), ao contrário do NA esse em estado normal encontra-se fechado e quando é pressionado o contato elétrico é aberto; e botão normalmente fechado conjugado com normalmente aberto, onde a seção superior é um contato NF e a seção inferior é um contato NA (PETRUZELLA, 2014), como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - Tipo de chaves manuais comumente utilizadas



Fonte: (PETRUZELLA, 2014)

### 1.3.2 Chaves fim de curso

As chaves operadas mecanicamente são atuadas por fatores mecânicos como pressão, posição e temperatura. A chave de fim de curso é utilizada em controle de automação industrial para indicar que um limite foi alcançado. O funcionamento consiste em uma força mecânica aplicada no excêntrico da chave, e então fecha o contato elétrico permitindo a passagem de corrente elétrica. Normalmente são utilizadas para sinalizar a reversão, partida e parada de motores elétricos.

## 1.4 SERVOMOTORES

Na automação industrial o conceito de servomecanismo é amplamente empregado em servo motores, que são motores de corrente contínua ou corrente alternada acoplado a um sistema de controle com realimentação negativa por um dispositivo/sensor capaz de determinar a posição do eixo do motor, denominado encoder rotacional. Normalmente são aplicados em maquinários que possuem rotinas de movimentos precisas e controláveis.

### 1.4.1 Servomecanismos

Sistemas de servomecanismo são sistemas de controle que utilizam realimentação negativa, por meio de sensores, que detectam um erro e corrige o mecanismo. James aborda o seguinte conceito para expressar o conceito de servomecanismo:

Servo mecanismo é a combinação de elementos para controle de uma fonte de alimentação que a saída desse sistema ou alguma função de saída é realimentada para comparação com a entrada, essa diferença entre esses dois sinais é utilizada para controlar uma planta (JAMES & NICHOLS, 1947).

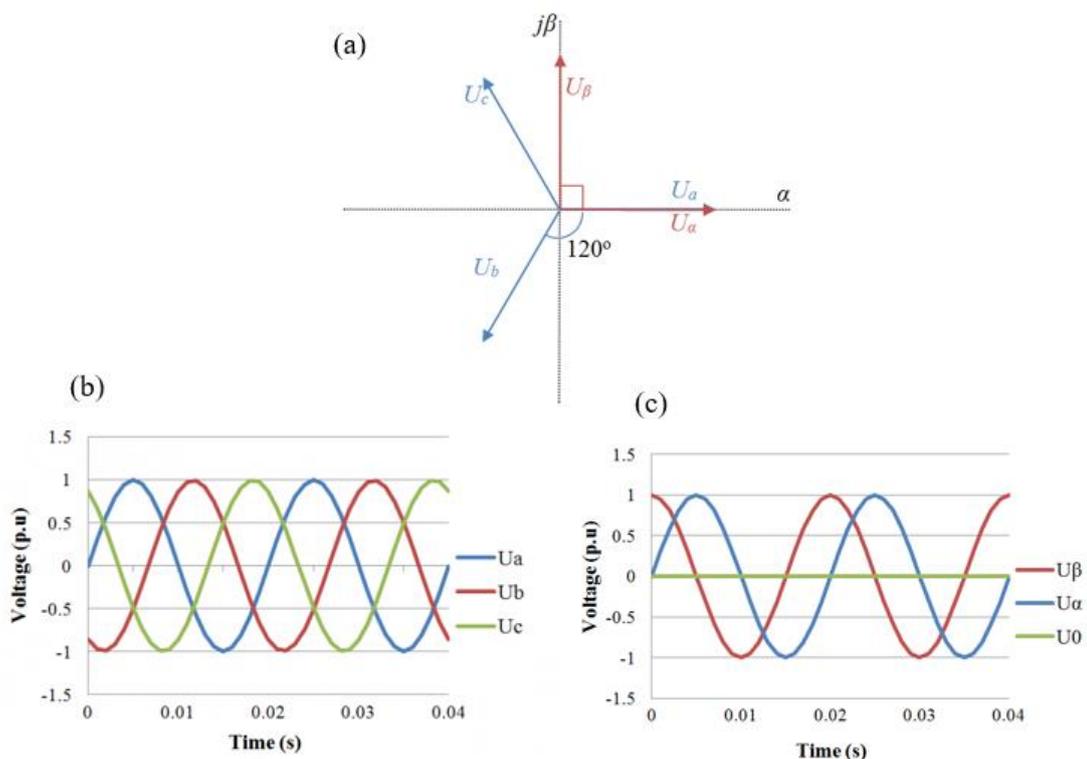
### 1.4.2 Funcionamento do Servo Motor AC

Para a completa assimilação dos princípios de funcionamento do servo motor de corrente alternada é necessário conhecer primeiramente a transformada de Clarke e

transformada de Park. São operações matemáticas utilizados pela malha de controle do servo motor AC para tornar a modelagem mais simples.

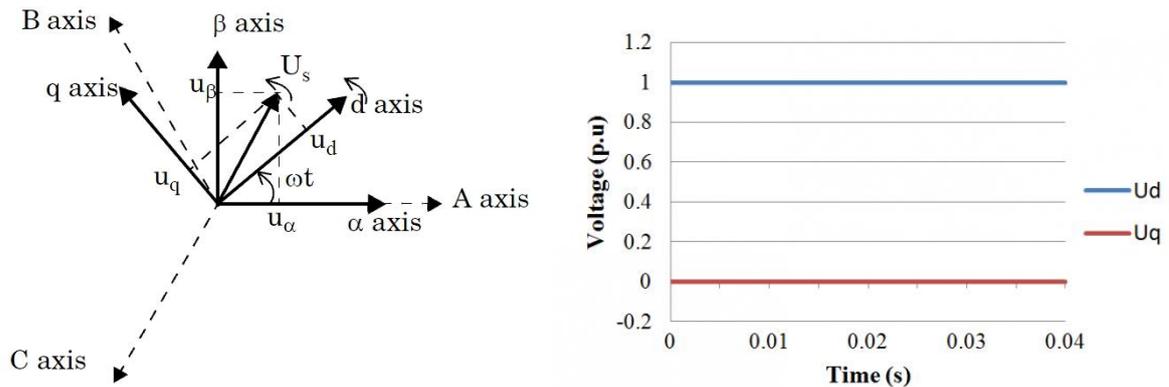
- a) **transformada de Clarke:** a transformada de Clarke é uma operação que representa um sinal trifásico em vetores espaciais (números complexos), que gira conforme o campo girante do estator e preserva as propriedades do sinal como: módulo, frequência e ângulo de fase (KRAUSE, et al., 2002) como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - (a) Representação vetorial da transformada de Clarke (b) Sinal trifásico no domínio do tempo (c) Transformada do sinal trifásico em um sinal bifásico ortogonal



Fonte: (OPENELECTRICAL, 2017)

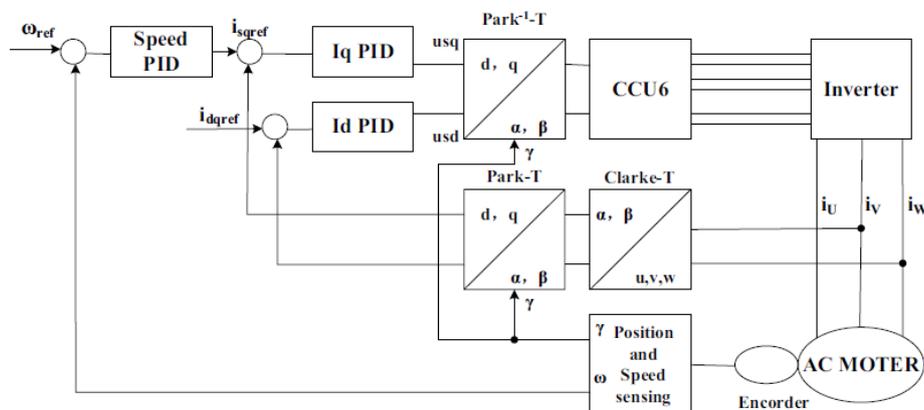
- b) **transformada de Park:** Após a transformada de Clarke para o plano imaginário ainda existe duas componentes senoidais, porém para utilizar controladores lineares (PI e PID) é necessário atuar sobre sinais constantes. Então a transformada de Park converte vetores em sistema estacionário ortogonal de duas fases balanceadas em rotação ortogonal dq, que apresenta as componentes real e imaginária constantes (FERRAZ, et al., 2012). como pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8 - Transformada de Park nas componentes  $U_d$  e  $U_q$ 

Fonte: (OPENELECTRICAL, 2017)

Com base nesses conceitos, o princípio de funcionamento de um servo motor AC, pode ser verificado com base no diagrama da Figura 9.

Figura 9 - Princípio de funcionamento de servo motor de corrente alternada



Fonte: (LONG, 2012)

Ao ser iniciado a posição angular, determinada pelo encoder, e a velocidade que consiste na posição angular alterando ao longo do tempo. A velocidade medida indiretamente pelo encoder é comparado com *setpoint* de velocidade do motor ( $\omega_{ref}$ ) e assim o bloco "speed PID" transforma essa informação em componentes de corrente ( $I_d$  e  $I_q$  de referência). Esse sinal é comparado pelo sinal de corrente de realimentação do motor ( $i_u$ ,  $i_v$  e  $i_w$ ) após passar pela transformada de Clarke e transformada de Park que o transforma no domínio dq. Então o sinal de erro (resultado do comparador) é enviado para o controlador PID (Iq PID e Id PID) em seguida os sinais de corrente prosseguem para o bloco da transformada inversa de Park, transformando o sinal no domínio dq para um sinal bifásico ortogonal estacionário. Esse sinal de corrente é o sinal de controle para o drive inversor de frequência, Long em seu trabalho utilizou o drive CCU6.

Dessa forma o motor é controlado por meio da saída do inversor de frequência por meio de um sinal SPWM (*Sinusoidal pulse width modulation*) que conforme a frequência e amplitude da corrente pode variar a velocidade do motor (LONG, et al., 2012).

### 1.4.3 Modo de operação PR dos *servo drives* ASDA-A2 DELTA

Os modos de operação básicos dos *servo drives* da fabricante Delta Electronic modelo ASDA-A2 são de posição, velocidade e torque, podendo ser utilizado um único modo de operação ou modos de operações duais.

- a) modo posição: Esse modo pode ser *Terminal Input* (PT) ou *Register Input* (PR), no modo de operação PT o *servo driver* recebe o comando posição e comanda o motor para posição alvo. Os comandos de posição são inseridos via conector e recebe sinais de pulsos. No modo PR o *servo driver* recebe o comando de posição e então comanda o motor para a posição alvo. O comando de posição é enviado pelo registrador (64 conjuntos de registrador no total) e usa o sinal de entrada digital para selecionar o registrador;
- b) modo velocidade: O *servo driver* recebe o comando velocidade e comanda o motor para velocidade requerida. O comando velocidade pode ser dado por registradores (3 conjuntos de registradores) ou uma tensão analógica externa (-10V ~ 10V). Entradas digitais são utilizadas para selecionar a fonte de comando;
- c) modo torque: O *servo driver* recebe o comando torque e comanda o motor para torque alvo. O comando torque pode ser dado por registradores (3 conjuntos de registradores) ou uma tensão analógica externa (-10V ~ 10V). Entradas digitais são utilizadas para selecionar a fonte de comando.

Para o projeto é utilizado o modo de operação posição PR, visto que o modo de operação PT está sujeito a alterar a posição final conforme a integridade do cabeamento e conexões de entrada do *servo driver*, visto que depende de sinais de pulsos e se algum pulso não chegar íntegro ao *driver*, poderá comandar uma posição diferente da ideal. Já no comando PR existem um conjunto de posições definidas no conjunto de registrador do *servo driver* e então via entrada digital é enviado o comando para os registradores da posição alvo.

No modo PR a fonte de comando de cada eixo é oriunda de 64 conjuntos de registradores que constitui os parâmetros do *servo drive*. Os 64 conjuntos de registradores podem ser utilizado como comando de posição. Ao entrar com uma entrada digital ou saída digital externa

(POS0 ~ POS5 e CTRG), um dos 64 conjuntos de registradores podem ser selecionados para a posição comando, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Parâmetros do modo de operação PR

Position Command	POS5	POS4	POS3	POS2	POS1	POS0	CTRG	Parameters
P1	ON	ON	ON	ON	ON	ON	↑	P6-00
								P6-01
P2	ON	ON	ON	ON	ON	OFF	↑	P6-02
								P6-03
~								~
P50	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON	↑	P6-98
								P6-99
P51	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	↑	P7-00
								P7-01
~								~
P64	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	↑	P7-26
								P7-27

Fonte: (DELTA ELECTRONICS, 2014)

CTRG é o gatilho de subida para cada parâmetro. No modo PR os parâmetros (P6-02 ~ P7-27) possuem 32 bits que podem ser relacionados a parâmetro de especificações da operação do *servo driver*. No parâmetro de especificação é definido nos registradores o tipo de operação PR, por exemplo pode ser definido a velocidade limite, se o motor não irá parar quando chegar na velocidade alvo, delay entre rotinas, e outras definições adicionais. Já o parâmetro *Data* é informado dados de posição ou velocidade, como pode verificado na Figura 11.

Figura 11 - Parâmetros *Data* e *Type*

Bit	31 ~ 28	27 ~ 24	23 ~ 20	19 ~ 16	15 ~ 12	11 ~ 8	7 ~ 4	3 ~ 0
DW0	...	...	...	...	...	...	...	TYPE
DW1	DATA (32 bit)							

Fonte: (DELTA ELECTRONICS, 2014)

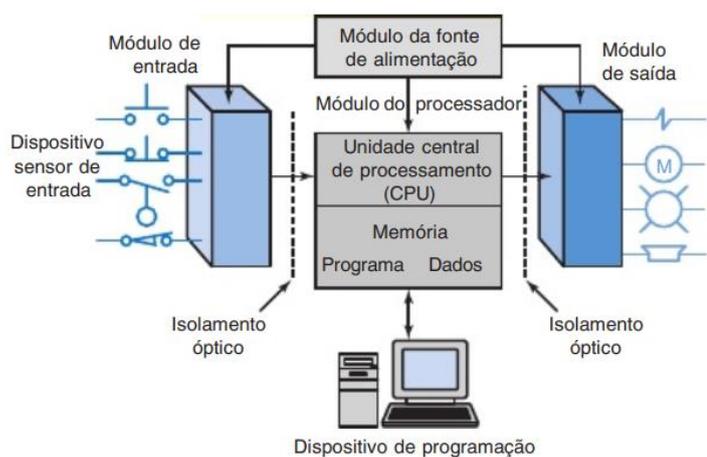
## 1.5 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

Atualmente Controladores Lógicos Programáveis (CLP) é a tecnologia de controle de processo mais utilizada em automação industrial por possuir facilidade de programação e instalação, possui possibilidade de comunicação em rede e ser extremamente robusto. O CLP é uma tecnologia mais usual, em relação a tecnologia a relés, devido a confiabilidade, visto que atenua problemas devido a um grande volume de cabeamento e por possuir flexibilidade, pois as modificações do equipamento, podem ser feitas apenas por meio de *software*, não sendo

necessário modificar o hardware da máquina. Outro ponto é a capacidade de comunicação, permitindo comunica-se com outros controladores, monitoramento dos parâmetros do processo, além de possibilidade de upload e download de programas por meio de protocolos de rede (PETRUZELLA, 2014).

A arquitetura do CLP é baseada nas seguintes partes, Figura 12 :

Figura 12 - Partes do CLP



Fonte: (PETRUZELLA, 2014)

- a) módulo de entrada e módulo de saída: para CLP menores, normalmente as entradas e saídas (I/O) são fixas, vindo diretamente do fabricante, possuindo pouca flexibilidade, porém baixo custo. O controlador lógico programável modular, consiste em um processador, fonte de alimentação e um gabinete que podem ter diversos tipos de módulos I/O (normalmente somente do mesmo fabricante) conforme a aplicação do usuário. A função do módulo I/O é ser a interface de conexão com os outros periféricos da máquina, para entrada normalmente são sensores, chaves e elementos de comando, já o módulo de saída conecta-se, por exemplo, a atuadores, válvulas, motores e sinaleiros. Para o isolamento dos módulos com os componentes internos do CLP, são utilizados optoacopladores;
- b) fonte de alimentação: fornece corrente contínua para os módulos conectados ao gabinete do CLP, normalmente não alimenta os dispositivos de campo, necessitando de uma fonte externa para esse fim;
- c) CPU: formada por um microcontrolador, para o processamento lógico e suportes de comunicação, além de uma memória EPROM ou EEPROM, juntamente com a memória RAM;

- d) dispositivo de programação e Programa: utilizado para upload de uma lógica de programação na memória ROM da CPU, o programa são as instruções definidas pelo usuário, normalmente é utilizado a linguagem *LADDER*, utilizando símbolos gráficos.

O funcionamento do CLP consiste em uma sequência repetitiva, denominado varredura ou *scan*, onde primeiramente ocorre a leitura das entradas, quais os estados dela (ligado ou desligado), posteriormente é processado o programa, gerando em seguida um diagnóstico interno e as diretrizes de comunicação, posteriormente é habilitado as saídas conforme o programa, como pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 - Ciclo de varredura



Fonte: Própria

### 1.5.1 Linguagem de programação de CLP

A linguagem Ladder é uma linguagem mais utilizada para CLP e é análoga a lógica de relé, além de outras funções como bloco de instruções.

Os tipos mais comuns de bloco de funções são destacam-se: lógica, temporizadores e contadores. O funcionamento baseia-se em fluxo de dados, os dados circulam pela malha de entrada, passam pelos blocos de função ou instrução e seguem para a saída. (PETRUZELLA, 2014).

As representações de contatos e bobinas são símbolos mais comuns, destacam-se três símbolos verificador de fechado (XIC), verificador de aberto (XIO) e energização de saída (OTE). A Figura 14 resume o funcionamento das três lógicas mais comuns.

- a) verificador de fechado: análoga ao contato normalmente aberto do relé, a cada instrução XIC existe um bit de memória associada com dispositivo de entrada ou

uma condição lógica interna. Dessa forma, o CLP analisa se o contato está fechado baseado a posição do bit de memória;

- b) verificador de aberto: operar similar a um contato normalmente fechado. Associado a cada XIO há um bit de memória, ligado a um dispositivo de entrada, podendo ser condição interna. O CLP examina se contato está aberto por meio do bit de memória;
- c) instrução de energização de saída: análoga a bobina de um relé. Ela orienta o CLP a ligar ou desligar uma saída. Ele toma essa decisão quando há um caminho lógico e verdadeiro.

Figura 14 - Funcionamento das funções XIC, XIO e OTE

Se o bit de dado na tabela for	O estado da instrução for		
	XIC VERIFICADOR DE FECHADO 	XIO VERIFICADOR DE ABERTO 	OTE ENERGIZAÇÃO DA SAÍDA 
0 lógico	Falso	Verdadeiro	Falso
1 lógico	Verdadeiro	Falso	Verdadeiro

Fonte: (PETRUZELLA, 2014)

Outra instrução comumente utilizada nos Controladores Lógicos Programáveis é a instrução de temporizador. Os temporizadores no CLP possuem funcionalidade iguais a relés de tempo eletrônico e mecânico, porém possuem algumas vantagens como o ajuste de tempo facilmente editável, as modificações do número de temporizadores não implicam em alteração no cabeamento e a precisão na temporização visto que o retardado consiste em apenas relacionado ao processador do CLP.

Há três tipos diferentes de temporizadores no CLP: o temporizador de retardo ao ligar (TON), o temporizador de retardo ao desligar (TOF), temporizador de retenção ao desligar (RTO) e Reset (RES).

- a) TON: conta o intervalo que a instrução é verdadeira;
- b) TOF: conta o intervalo que a instrução é falsa;
- c) RTO: conta o intervalo que a instrução é verdadeira e conta o intervalo que a instrução passa a ser falsa;
- d) RES: retorna o valor acumulado da contagem do temporizador

## 1.6 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

Em quadros elétricos para uma instalação industrial deve ser previstos dispositivos de proteção visando prevenir o sistema em caso de sinistros na instalação elétrica (sobrecorrente

ou curto elétrico) ou quando é necessário isolar a máquina para uma manutenção, além de sistemas que visem paradas de emergência. Conforme se preveem nas normas: NBR 5361, NR10, NBR 5410, NBR IEC 60439-3 e NBR 10860.

### 1.6.1 Disjuntores termomagnético

Disjuntor termomagnético é um dispositivo de chaveamento e proteção contra falta de isolamento entre as partes, podendo ser por sobrecarga ou por curto-circuito. Segundo a NBR 5410 e NBR IEC 60439-3 é imprescindível o uso de dispositivo para sobre cargas, curto-circuito e choques elétricos, sendo o disjuntor termomagnético responsável pelos dois primeiros, podendo ser substituído por outros elementos como fusível (ABNT, 2014).

A priori existe dois tipos de disjuntores: magnético e térmico. O disjuntor térmico é previsto para sobrecargas sendo acionado por temperatura e o disjuntor magnético é dispositivo contra curto-circuito. O disjuntor termomagnético é a junção dos dois tipos, seu funcionamento para proteção contra sobrecarga consiste em uma lâmina bi metálica com coeficientes de dilatação diferentes, em caso de sobrecarga o excesso de corrente irá fazer a lâmina aquecer por possuir coeficiente de dilatação diferente a lâmina tende a se curvar e abrir o contato do disjuntor. Já em relação ao seu funcionamento em quanto ao princípio magnético, consistem em uma bobina e um pistão no núcleo, quando o dispositivo se encontra fechado a corrente percorre a bobina. Na presença de um curto-circuito o campo magnético criado pela bobina irá fazer mover o pistão e abrir os contatos do disjuntor (IEEE, 1997).

Os disjuntores possuem o tempo de atuação para cada carga, isso determina a curva do dispositivo:

- a) curva B: são utilizados para carga resistiva, podendo suportar uma corrente instantânea de 3 à 5 vezes a corrente nominal;
- b) curva C: normalmente utilizados para cargas indutivas, suportando até dez vezes a corrente nominal;
- c) curva D: grandes cargas indutivas como grandes motores, transformadores. Suportando corrente de pico até o dobro da curva C.

O dimensionamento do disjuntor é baseado na corrente de projeto ( $I_b$ ) que é dado pela corrente da carga dividida por uma variação devido a tensão da rede (utiliza-se normalmente 10% para cargas específicas como é o caso do painel elétrico). A corrente do disjuntor ( $I_n$ ) deve ser menor que a corrente de projeto (CREDER, 2007).

### **1.6.2 Equipamentos de parada de emergência**

A norma NBR 13759 especifica a necessidade que todo maquinário deve ter a função parada de emergência, exceto quando o equipamento de parada de emergência não reduz o risco e máquinas manuais portáteis ou manualmente guiada. A finalidade é especificar e atender requisitos essenciais de segurança, a função do dispositivo de parada de emergência é atenuar ou extinguir risco a máquina ou a trabalhador quando o trabalho estiver em andamento, o dispositivo deve ser acionado por uma simples ação humana. O tipo de equipamento que atende o projeto é o acionador manual, sendo que o seu acionamento deve prevalecer sobre todos os outros comandos da máquina. A botoeira deve apresentar ação mecânica positiva, onde todo o contato é dado de forma mecânica, tanto quanto o acionamento quanto o desligamento do acionador (ABNT, 1996).

### **1.6.3 Chaves seccionadoras de baixa tensão**

Segunda a norma ABNT NBR IEC 60947-3 todo quadro elétrico deve possuir dispositivo de seccionamento geral sob carga, em função da corrente mínima permanente. A função é isolar um determinado circuito da eletricidade, sendo uma espécie de extensão do condutor de força. A chave seccionadora deve possuir a função de seccionamento simultâneo e bloqueio do circuito. Além de bloqueio por meio de cadeado quando se encontra desligado (ABNT, 2014).

## **1.7 ERGONOMIA E NR-17**

Ergonomia é uma ciência que busca analisar a interação do corpo humano com os sistemas, ela permite a adaptação do trabalho ao homem. Segundo a International Ergonomics Association (IEA)

Ergonomia é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de otimizar o bem-estar humano e o desempenho global do sistema (IEA, 2000).

Ainda segundo a IEA, a ergonomia pode ser dividida em ergonomia física: estudo da postura no trabalho, manuseios, movimentos realizados no trabalho, movimentos repetitivos e saúde no trabalho. Já ergonomia cognitiva é o estudo da carga mental de trabalho, ou seja, tomada de decisão, desempenho especializado, interação com computador, estresse devido ao trabalho. Por fim, a ergonomia organizacional, trata-se dos recursos coletivos do trabalho,

projetos em grupo, trabalho cooperativo, cultura organizacional, organizações em rede, teletrabalho e gestão de qualidade.

A NR-17 é a “Norma Regulamentadora que visa a estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente” (MT, 2015). As condições de trabalho comentadas relacionam-se com o levantamento, transporte e descarga de materiais, à mobília, aos equipamentos, as condições ambientes do trabalho e também a organização do trabalho. Dessa forma, para avaliar as características psicofisiológicas dos trabalhadores, cabe ao empregador realizar a análise ergonômica, devendo a mesma abordar as condições de trabalho, no mínimo, segundo estabelecido na Norma Regulamentadora 17.

Júlia Abrahão relata em seu livro:

A ergonomia supera a concepção taylorista de homo economicus, mostra os limites do ponto de vista reducionista em que apenas o ‘trabalho físico’ é considerado, revelando a complexidade do trabalhador e a multiplicidade dos fatores que o compõem” (ABRAHÃO, et al., 2009).

## 1.8 DOENÇAS OSTEOMUSCULARES RELACIONADOS AO TRABALHO

Inicialmente é fundamental a compreensão que o termo Doença Osteomuscular relacionados ao trabalho (DORT), não se configura com o uma doença propriamente dita. Ela é um conjunto de patologias heterogêneas do sistema muscular esquelético relacionados as condições de trabalho (HELFENSTEIN, 1998). Os principais sintomas podem ser:

- a) grau 1: sensação de desconforto e dor localizada no membro afetado, geralmente leve e intermitente, melhora com o repouso;
- b) grau 2: dor tolerável, entretanto mais persistente, intensa e localizada, a recuperação se dá por repouso, porém é mais demorada que no grau 1;
- c) grau 3: é caracterizado por dor persistente e forte, redução da força muscular, perda de controle dos movimentos, variação na sensibilidade, não atenua com o repouso;
- d) grau 4: dor forte (insuportável), irradiada para todos os segmentos afetados, incapacidade de execução de atividades do trabalho, podendo ter deformidade e atrofia.

As DORT são lesões que afetam os músculos, tendões e nervos dos membros inferiores e sobretudo dos membros superiores, podendo afetar, também, pescoço e tronco. As lesões podem evoluir até se tornar inflamações crônicas e consequência funcionais. Os tendões estão sujeitos ao estresse tensional pelos músculos e estresse pelos ossos que os comprimem, além

de ligamentos adjacentes, dependendo do esforço podem ocorrer alterações fisiológicas, metabólicas e circulatórias devido a oclusão do fluxo sanguíneo e conseqüentemente privação de nutrientes. Já as doenças relacionadas aos nervos, neuropatias, são mais raras (exceto a Síndrome do Túnel de Carpo que ocorre com mais frequência) se relacionam a compressão dos nervos devido a inflamações locais, condições tumorais, fraturas e luxação no punho (NICOLETTI, 1996).

As DORT podem se dar devido a movimentos repetitivos ou sobrecargas biomecânicas, como por exemplo: sobrecarga para manutenção da postura por longos períodos; força demasiada para realização de uma atividade e até mesmo condições de temperatura, vibrações e pressões extremas. Outros fatores que podem acarretar ou acelerar a ocorrência de uma DORT são: relação do trabalhador com os equipamentos e mobiliários (posicionamento, angulações e distância); excesso da jornada de trabalho; falta de intervalos apropriados; instruções de trabalho incorreta; má postura; falta de variabilidade de atividades. Os distúrbios só podem se relacionar com o termo DORT, quando os sinais e sintomas estão claramente relacionados, anatomicamente, as atividades ocupacionais.

Entre as principais as principais as enfermidades, as mais evidenciadas são doenças dos membros superiores como: tendíneas inflamatórias (tendinites), doenças que afetam os tendões, como por exemplo: tendinite da cabeça longa do bíceps, tendinite do músculo supra espinhoso e tenossinovites do punho (tenossinovites são tendinites que afeta a revestimento, “bainha”, do tendão). Já entre as neuropatias compressivas, uma das mais comuns são as síndrome de túnel de carpo, relacionados a compressão dos nervos do canal do carpo (estrutura anatômica que se estende da mão ao antebraço), síndrome tensional do pescoço e os cistos sinoviais que são tumores benigno que se aparecem nas extremidades dos ossos articulados.

Os operários de linha de produção, bancários e digitadores são os que são mais afetados pela DORT, porém os indivíduos treinados, bem condicionados, que mantêm a postura e movimentos correto durante a jornada de trabalho, incluindo intervalos adequados, possuem menor probabilidade de se ter uma DORT (HELFENSTEIN, 1998).

A terapêutica se dá por diversas formas, sendo elas:

- a) ergonomia: melhorar a condição de trabalho e a conservação da saúde do trabalhador, mantendo satisfatório os sistemas técnicos do ponto de vista da produção e segurança;
- b) exercício físico: sobretudo a modalidade aeróbica em relação ao alongamento. Colaboradores que realizam a maioria das atividades de forma mental, passam maior parte da jornada de trabalho de forma imóvel aliada a uma forte concentração

mental, relatam perturbações físicas, como dores na costa e no pescoço. Dessa forma o exercício físico é uma excelente terapia;

- c) anti-inflamatórios não hormonais: remédios para controlar a dor e a inflamação, tanto nos casos agudos quanto nos crônicos;
- d) repouso: geralmente para um período mínimo de 7 dias, porém não são eficazes para casos subagudo e crônicos;
- e) fisioterapia: podendo ser por meio da aplicação de gelo em caso agudos e calor nos casos crônicos, radiação eletromagnética como anti-inflamatório, corrente elétrica para efeito analgésico, além de técnicas de terapia manuais possibilitando o relaxamento do musculo e tendões, além de orientações posturais e mobilização do sistema nervoso são técnicas utilizadas no tratamento da patologia;
- f) tratamento cirúrgico: visa a descompressão e a eliminação das possíveis malformações congênitas dos músculos esqueléticos.

#### 1.9 AVALIAÇÃO ERGONÔMICA: MÉTODO SUZANNE RODGER

A análise de fadiga muscular proposta por Suzanne Rodger avalia a quantidade de fadiga acumulada nos músculos durante vários padrões de trabalho, dentro de 5 min. Esse método é mais aplicado para atividades executadas durante uma ou mais horas e onde problemas de posturas e esforços estão presentes. Com base no risco de fadiga, uma prioridade para mudança pode ser atribuída à tarefa (RODGERS, 1998).

Utilizando uma folha de identificação de tarefas (Figura 15) é dividido o trabalho em tarefas, posteriormente é identificada qual porcentagem representa cada atividade no turno e quais atividades o colaborador considera difícil. A análise deve ser feita para as atividades que possui uma participação maior que 10% do turno e todas que são consideradas difíceis.

Figura 15 - Identificação das tarefas

Job	Analyst	Date / /	
Task	% Shift Time	Considered Difficult	Change Priority
1.		<input type="checkbox"/> Yes	
2.		<input type="checkbox"/> Yes	
3.		<input type="checkbox"/> Yes	
4.		<input type="checkbox"/> Yes	
5.		<input type="checkbox"/> Yes	
6.		<input type="checkbox"/> Yes	
7.		<input type="checkbox"/> Yes	
8.		<input type="checkbox"/> Yes	

Fonte: (BERNARD, 2006)

De posse das folhas para cada tarefa identificada (folha da tarefa, Figura 16) é avaliado para cada região de corpo três fatores de risco no trabalho, atribuindo uma classificação por categoria. Os fatores são: nível do esforço para diferentes órgãos e regiões, duração do esforço contínuo e frequência do esforço.

Figura 16 - Folha da tarefa

Region	Effort Level (If the effort cannot be exerted by most people, enter 4 for Effort and VH for Priority)			Scores			Priority
	Light -- 1	Moderate -- 2	Heavy -- 3	Effort	Dur	Freq	
Neck	Head turned partly to side, back or slightly forward	Head turned to side; head fully back; head forward about 20°	Same as Moderate but with force or weight; head stretched forward				
Shoulders	Arms slightly away from sides; arms extended with some support	Arms away from body, no support; working overhead	Exerting forces or holding weight with arms away from body or overhead	Right			
				Left			
Back	Leaning to side or bending arching back	Bending forward; no load; lifting moderately heavy loads near body; working overhead	Lifting or exerting force while twisting; high force or load while bending				
Arms / Elbow	Arms away from body, no load; light forces lifting near body	Rotating arms while exerting moderate force	High forces exerted with rotation; lifting with arms extended	Right			
				Left			
Wrists / Hands / Fingers	Light forces or weights handled close to body; straight wrists; comfortable power grips	Grips with wide or narrow span; moderate risk angles, especially flexion; use of gloves with moderate forces	Pinch grips; strong wrist angles; slippery surfaces	Right			
				Left			
Legs / Knees	Standing, walking without bending or leaning; weight on both feet	Bending forward, leaning on table; weight on one side; pivoting while exerting force	Exerting high force while pulling or lifting; crouching while exerting force	Right			
				Left			
Ankles / Feet / Toes	Standing, walking without bending or leaning; weight on both feet	Bending forward, leaning on table; weight on one side; pivoting while exerting force	Exerting high force while pulling or lifting; crouching while exerting force	Right			
				Left			
Continuous Effort Duration	< 6 s 1	6 - 20 s 2	20 - 30 s 3	> 30 s 4 (Enter VH for Priority)			
Effort Frequency	< 1 / min 1	1 - 5 / min 2	> 5 - 15 / min 3	> 15 / min 4 (Enter VH for Priority)			

Fonte: (BERNARD, 2006)

Com base na combinação da pontuação pode ser estabelecer as prioridades de mudança, a tabela da Figura 17 relata o nível de prioridade conforme a combinação das categorias esforço, duração e frequência.

Figura 17 - Prioridade de mudança

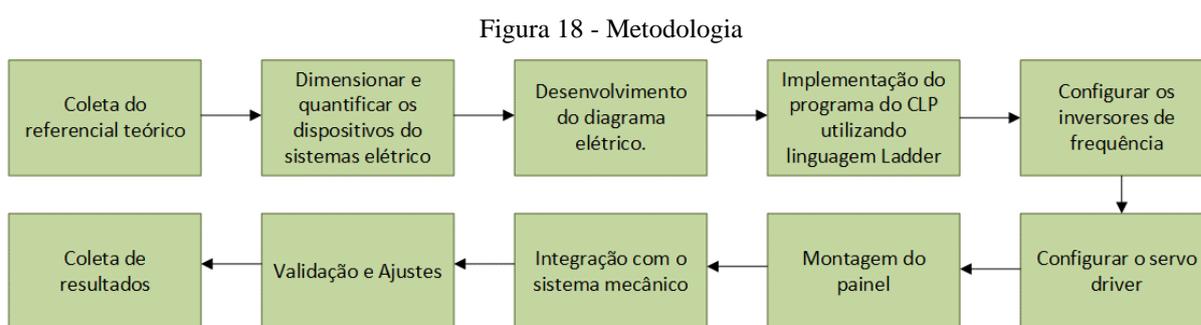
Low (L)	Moderate (M)	High (H)	Very High (VH)
111	123	223	323
112	132	313	331
113	213	321	332
211	222	322	4xx, x4x, xx4*
121	231		
212	232		
311	312		
122			
131			
221			

Fonte: (BERNARD, 2006)

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho consiste em uma pesquisa aplicada, e tem como objetivo uma pesquisa exploratória sobre o material bibliográfico. O trabalho utilizara procedimentos padrões de pesquisas bibliográficas e experimental. O método de abordagem adotado é hipotético-dedutivo e o método de procedimento é monográfico. Para coleta de dados será utilizada documentação indireta e a análise e interpretação de seus dados será qualitativa de forma global.

A metodologia para o desenvolvimento do projeto pode ser sintetizada por meio do digrama da Figura 18.



Fonte: PRÓPRIA

### 2.1 ESPECIFICAÇÕES DE SOFTWARES

Os softwares utilizados para o desenvolvimento do projeto são:

- a) *QElectroTech 5.13.0*: software utilizado para o desenvolvimento do diagrama elétrico e pneumático;
- b) *ISPsoft 3.07*: software da fabricante Delta utilizada para programar o CLP, utilizando a linguagem Ladder;
- c) *ASDASoft 5.3.4.0*: software da Delta utilizado para configurar os servos drive;
- d) *Microsoft Visio Standard 2016*: software para confecção de diagramas em geral.

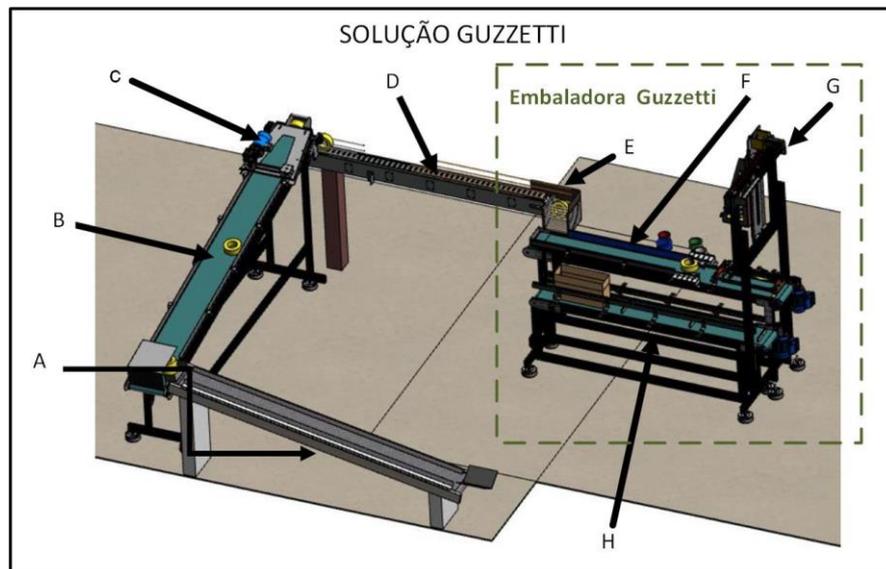
### 2.2 METODOLOGIA PARA EMBALAGEM AUTOMÁTICA DE FITAS

O objetivo do projeto é o desenvolvimento do sistema elétrico da máquina embaladora Guzzetti, porém ela é um item de um sistema mais amplo de embalagem de fitas de forma automática chamado de Solução Guzzetti.

### 2.2.1 Solução Guzzetti

A solução Guzzetti é um conjunto de dispositivos e máquinas eletromecânicos responsável por proteger, rotular e embalar as fitas adesivas de forma automática. A Figura 19 relata os principais componentes da solução Guzzetti.

Figura 19 - (A) Esteira de saída da máquina Guzzetti; (B) Esteira da rotuladora; (C) Máquina rotuladeira; (D) Esteira para o virador de fitas; (E) Virador de fitas; (F) Esteira da embaladora Guzzetti; (G) Sistema pick-up; (H) Esteira das caixas



Fonte: PRÓPRIA

A máquina Guzzetti é responsável por colocar um material de filme plástico de proteção nas fitas, como pode ser observado Figura 20, e posteriormente a fita é despejada na esteira de saída da máquina Guzzetti.

Figura 20 - Fita com filme plástico após sair da máquina Guzzetti



Fonte: PRÓPRIA

Posteriormente a fita assume a posição horizontal após uma barreira mecânica e então entra na máquina rotuladora (Figura 21). A máquina rotuladora tem a função de colocar a etiqueta na fita. Após sair da máquina, a fita encontra-se na posição vertical, então novamente é necessário um virador de fitas e só então ela entra na máquina que é o foco de estudo, a embaladora Guzzetti.

Figura 21 - Máquina rotuladora



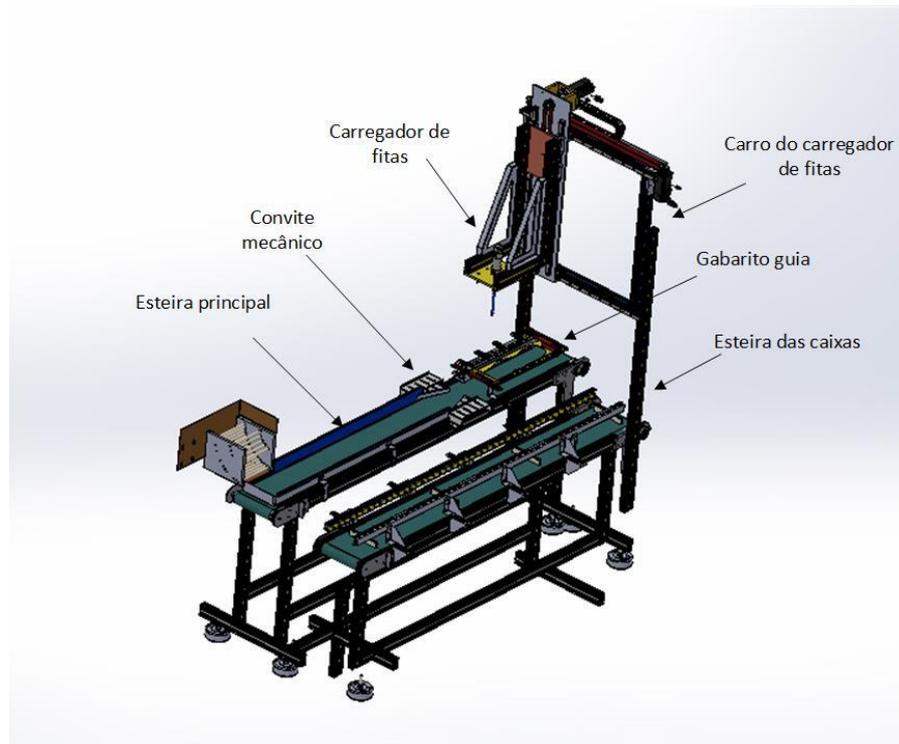
Fonte: PRÓPRIA

Na embaladora Guzzetti a fita já rotulada deve ser alocada em caixa de papelão de tamanho padrão que se encontram preparadas em uma esteira paralela para o depósito das fitas. Após comportar a quantidade máxima de fitas da caixa, ela segue para o processo de fechamento e adesivagem da caixa.

### 2.2.2 Embaladora Guzzetti

A embaladora Guzzetti é o objeto de estudo da pesquisa, ela possui alguns detalhes para manter um funcionamento confiável, conforme pode ser verificado na Figura 22.

Figura 22 - Embaladora Guzzetti



Fonte: PRÓPRIA

As fitas se encontram na posição horizontal ao entrar na esteira da embalagemadora Guzzetti elas passam por um convite mecânico, fazendo com que as fitas fiquem em fila de forma ordenada. Dessa forma elas entram em um gabarito guia (Figura 23) que acomoda uma certa quantidade de fitas, podendo ser um gabarito para 5 fitas, 4 fitas e 3 fitas, dependendo do modelo da fita adesiva.

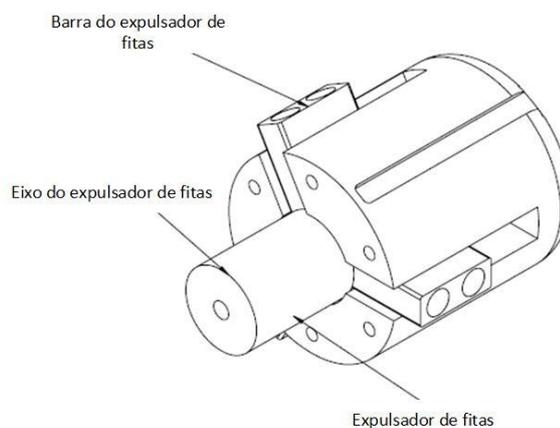
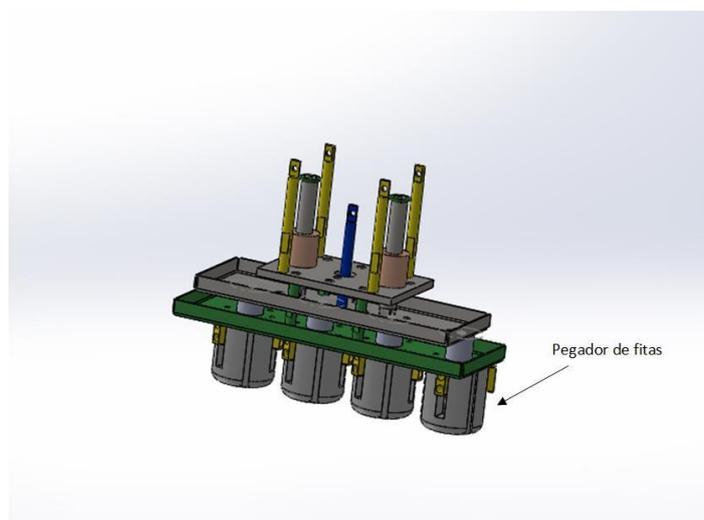
Figura 23 - Gabarito Guia para 5 fitas



Fonte: PRÓPRIA

Um sensor fotoelétrico detecta quando a última fita entra no gabarito e envia um comando para um dispositivo mecânico apanhar as fitas denominado “carregador de fitas”, como pode ser observado na Figura 24.

Figura 24 - Carregador de fitas e pegador de fitas



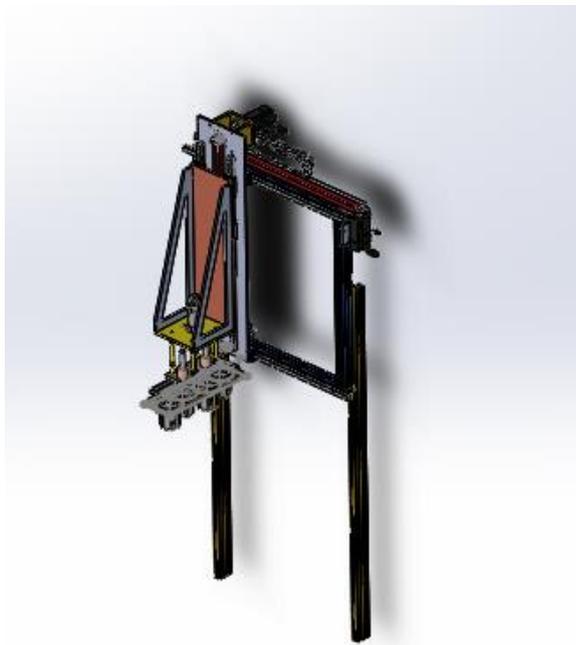
Fonte: PRÓPRIA

Cada carregador de fitas foi desenvolvido para o gabarito correspondente, dessa forma ele apanha de maneira exata todas as fitas do gabarito guia por meio do deslocamento do carregador de fitas no eixo Z e um sistema de mola do pegador de fitas que consegue penetrar na fita sem danificá-la, porém mantendo a aderência sem que elas caiam do pegador de fitas por meio da ação da gravidade. Todo sistema de movimentação do carregador de fitas é feito por dois servos motores: um movimenta no eixo z e outro movimenta no eixo x, e um aparato mecânico baseado em um sistema de polia e correia. O sistema estruturado de locomoção do

carregador de fitas em um sistema elétrico e mecânico é denominado “carro do carregador de fitas”, Figura 25.

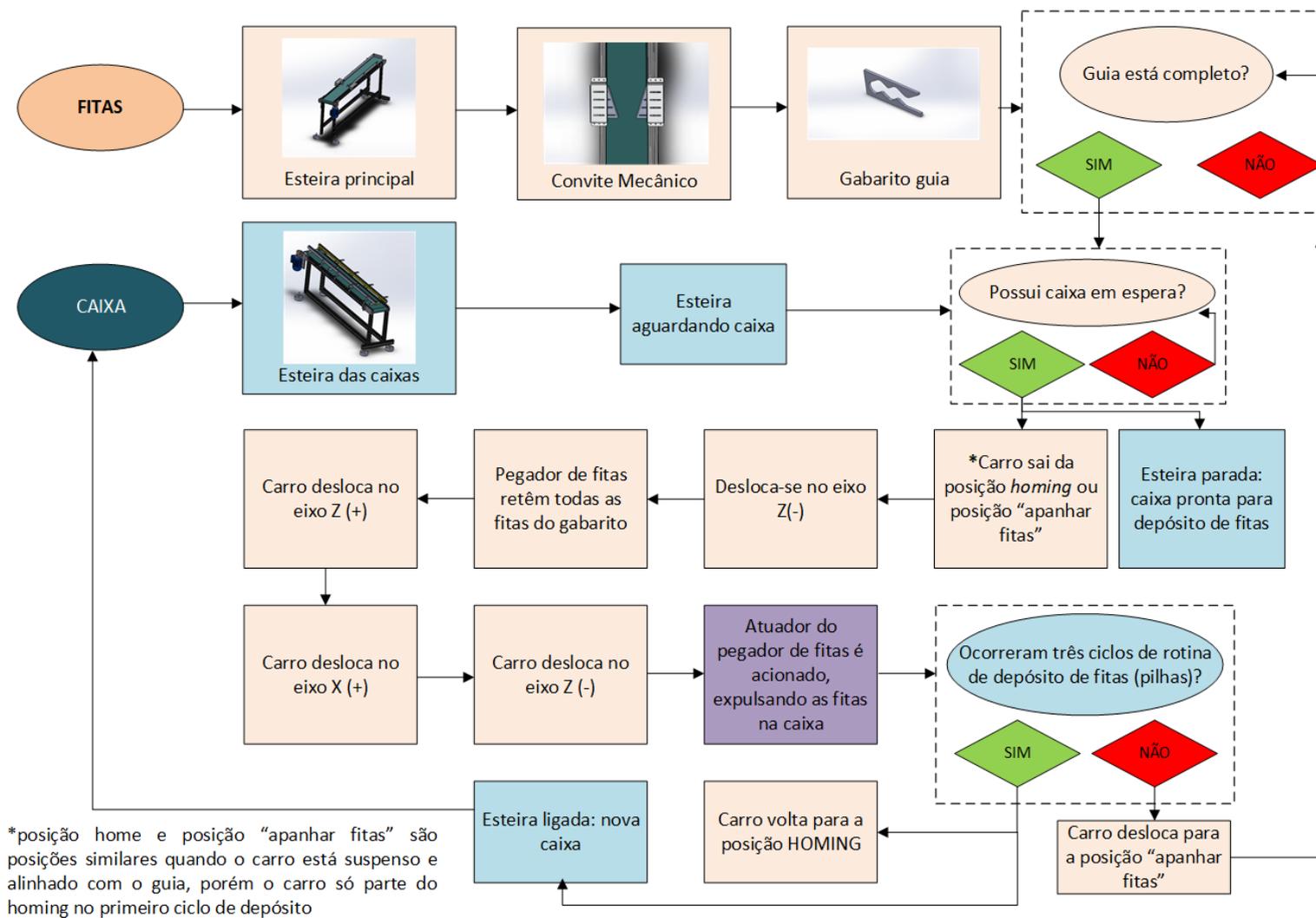
O carro então transporta as fitas que estavam no gabarito até uma esteira paralela que se encontra a caixa de papelão em tamanho padrão, dessa forma o carregador de fitas entra na caixa de papelão e então um atuador pneumático juntamente com a solução mecânica do expulsador de fitas (Figura 24), expelle as fitas do carregador e as depositam na caixa, posteriormente o carregador de fitas retorna para a esteira principal e espera que o sensor reconheça novamente que o gabarito está completo e realiza a rotina de depósito outra vez. Ao total para encher a caixa completamente são necessárias três rotinas de depósito de fitas, relacionadas com o número de pilhas que uma caixa suporta (3 pilhas). O funcionamento completo da embaladora Guzzetti pode ser simplificado pelo diagrama funcional da Figura 26.

Figura 25 - Carro do carregador de fitas



Fonte: PRÓPRIA

Figura 26 - Diagrama funcional da embaladora Guzzetti



Fonte: PRÓPRIA

### 2.3 ARQUITETURA DO SISTEMA ELÉTRICO.

O objetivo central da pesquisa é o estudo e implementação do sistema elétrico da embaladora Guzzetti. A arquitetura do sistema elétrico da embaladora Guzzetti está centrada no Controlador Lógico Programável, por meio dele há periféricos de entradas como sensores e chaves e periféricos de saída como os inversores de frequência, *servo drives*, atuadores pneumáticos e sinalizadores.

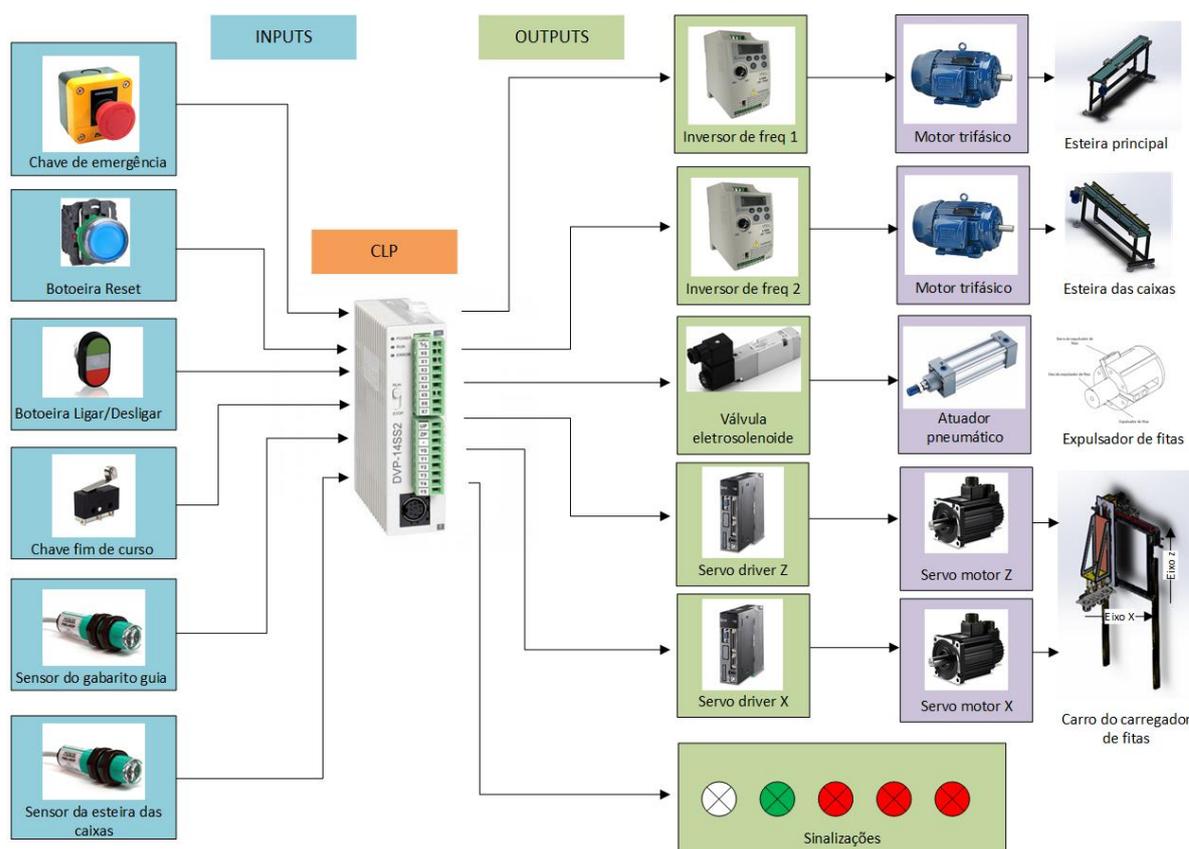
Dentre os periféricos de entrada as botoeiras start/stop e reset possui a função de enviar um comando para PLC de iniciar e parar a máquina ou resetar o CLP, respectivamente, além da chave de emergência que interrompe a rotina do maquinário instantaneamente, outro periférico de entrada é o sensor de fim de curso, ele é responsável por enviar um comando para a unidade de controle sinalizando que o carro do carregador de fitas chegou no limite do seu deslocamento, o CLP responde para *servo driver* que o servo motor deve finalizar o ciclo. O sensor fim de curso também é utilizado para sinalizar a posição *homing* dos servos motores.

A embaladora Guzzetti prever quatro sensores fotoelétricos. Dois sensores detectam quando o gabarito guia está completo, eles ficam alinhados com a última e primeira posição do gabarito guia, os outros dois sensores fotoelétricos localizam-se na esteira das caixas, eles detecta quando uma caixa está preparada e posicionada para receber fitas.

O CLP possui também os periféricos de saída que são os inversores de frequência para controlar a velocidade e o sentido das esteiras. São previstos dois inversores, um para a esteira das caixas e outro para esteira principal. Além disso, o CLP comanda os servos drives e consequentemente os servos motores que irão controlar a movimento do carro do carregador de fitas e o sistema “pick up” automático. Além do acionamento eletropneumático relacionado com a rotina do atuador do expulsador de fitas.

Sinalização é outro comando de saída do CLP, o dispositivo possui lâmpadas para indicar se está energizada, sistema ligado, sistema desligado, sinalização de sobrecarga e sinalização de falha de sensor. A arquitetura do Hardware do sistema elétrico pode ser sintetizada conforme a Figura 27.

Figura 27 - Arquitetura do sistema elétrico da máquina embaladora Guzzetti.



Fonte: PRÓPRIA

## 2.4 MATERIAIS

Além dos materiais citados na arquitetura do sistema elétrico da embaladora Guzzetti, diversos de materiais são previstos para implementação do sistema, sobretudo, dispositivos de proteção elétrica e materiais para confecção do quadro de comando. A Tabela 1 ilustra todos os materiais utilizados no desenvolvimento do sistema elétrico da embaladora Guzzetti, não incluso os materiais da solução mecânica.

Tabela 1 - Materiais utilizado no sistema elétrico da embaladora Guzzetti

ITEM	DESCRIÇÃO	CÓDIGO	FABRICANTE	QTD
1	CHAVE SECCIONADORA COMPACTA 20A/3P	LB 120 B40 YR TOPO	Schmersal	1
2	MINIDISJUNTOR BIFÁSICO DE 6A 230/400V CURVA DE DISPARO C	39340	ELETROMECC	4
3	MINIDISJUNTOR MONOFÁSICO 2A 230/400V CURVA DE DISPARO C	MWDC2	WEG	1
4	INVERSOR INV. 0.75KW 1CV 220V	VFD007L21A	DELTA	2
5	DISJUNTOR BIPOLAR 3P 16A CURVA C - 3000A	39342	ELETROMECC	1

6	RELE INTERFACE SLIM 6A 1NAF 24VCC RSL	RSLM001024	Carlo Gavazzi	12
7	BASE RELE SLIM 1REV PARA TRILHO DIN	ZRLS12NA	Carlo Gavazzi	12
8	PENTE DE JUMPERS COM 20 VIAS	PRT8-JP	Metaltex	1
9	SINALEIRO LED 22MM - 24VCC BRANCO IP65	L20-R7-WP	Metaltex	1
10	SINALEIRO LED 22MM - 24VCC VERDE IP65	L20-R7-GP	Metaltex	1
11	SINALEIRO LED 22MM - 24VCC VERMELHO IP65	L20-R7-R	Metaltex	2
12	SINALEIRO LED 22MM - 24VCC AMARELO IP65	L20-R7-Y	Metaltex	1
13	BOTÃO DUPLO 22MM PLÁSTICO - VERDE/VERMELHO 1NA+1NF	P20BL-1C	Metaltex	1
14	BOTÃO EMERGÊNCIA 22MM PLÁSTICO C/ COGUMELO 60MM - VERMELHO - 1NF	P20BYR-R-1B	Metaltex	3
15	PULSADOR (BOTÃO) REDONDO 22 MM PLÁSTICO- AZUL- 1NA	P20BFR-BL-1B	Metaltex	1
16	SENSOR F.E.M18 PNP 1NA+1NF DS4000MM C/CONECTOR	IFORI401811STP	Carlo Gavazzi	2
17	SENSOR CAPACITIVO M18 COM CONECTOR	CA18CLC12BP	Carlo Gavazzi	2
18	CABO COM CONECTOR M12 RETO 5MTS 4 FIOS	CONM14NFS5	Carlo Gavazzi	4
19	CLP CPU 14SS2 8ED/6SD TRANSISTOR	DVP14SS211T	Delta	1
20	EXPANSÃO DE CLP 8IN+8OUT .SAIDA A RELÉ	DVP16SP11R	Delta	3
21	FONTE MONOFÁSICA 60W 24V 2,5A	Drp024v060w1az	Delta	1
22	MOTORED.TRIF.REL.1/25 0.08KW/0,12CV 4P TAM.25	1230	ORIENTAL	2
23	MOTOR 200W BAIXA INERCIA S/ FREIO	ECMAC10602ES	Delta	1
24	DRIVE 200W A2 220V 1/3 FASES	ASDA20221M	Delta	1
25	MOTOR 750W BAIXA INERCIA C/ FREIO	ECMAC20807SS	Delta	1
26	DRIVE 750W A2 220V 1/3 FASES	ASDA20721M	Delta	1
27	CHAVE DE FIM DE CURSO	FM8	Metaltex	4
28	CANALETA RÍGIDA PARA QUADRO DE COMANDO, COR CINZA RAL 7035, DIMENSÕES 2000 X 50 X 50 MM (REFERÊNCIA: 109.073)	Referência 109073	Dutoplast	2
29	TRILHO DIN PRÉ-GALVANIZADO LEGRAND 35MM PERFURADO	Referência 936603	Legrand	2m
30	CONECTORES DE PASSAGEM COM CONEXÃO POR PARAFUSO PARA CABOS 6 MM² QUADRADO PARA TRILHO 35 MM	MTB6EN	Metaltex	20
31	CONECTORES DE PASSAGEM COM CONEXÃO POR PARAFUSO PARA CABOS 2,5 MM² QUADRADO PARA TRILHO 35 MM	MTB2,5EN	Metaltex	14
32	CONECTOR TERRA	MGB6/35	Metaltex	5
33	POSTE FINAL	MAB35P	Metaltex	4
34	QUADRO DE COMANDO STEELBOX DE SOBREPOR 800X600X250	SS806025	Steck	1
35	CILINDRO MI 25 X 80 PU MAG DUP/AMORT REGULÁVEL	1130250080XP	Metalworks	1
36	CILINDRO IA 40 X 25 PU MAG	121A400025CP	Metalworks	1
37	VALV SOL/MOL 5V 1/8 24V S7	7010021100C2	Metalworks	2

Fonte: PRÓPRIA

### 3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

O desenvolvimento do sistema elétrico da máquina Guzzeti pode ser dividido em diagrama elétrico, configuração do inversor de frequência, configuração do *servo driver*, programação do Controlador Lógico Programável, montagem do quadro de comando, integração com a solução mecânica e por fim validação e testes.

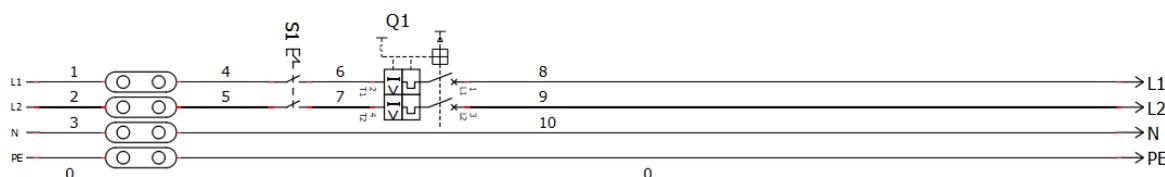
#### 3.1 DIAGRAMA ELÉTRICO

Modelado a arquitetura do sistema elétrico, definindo quais serão as entradas e saídas do CLP e antes de iniciar a montagem do quadro é necessário primeiramente fazer o diagrama elétrico e pneumático do sistema.

##### 3.1.1 Alimentação

A alimentação é bifásica da rede 220 V (tensão de linha). O circuito de alimentação do sistema constitui sobretudo dispositivos de proteção, como pode ser observado na Figura 28, o primeiro dispositivo de proteção na entrada do sistema é uma chave seccionadora compacta de 20 A e em seguida um disjuntor termomagnético bipolar de 16 A, curva C.

Figura 28 - Alimentação do sistema



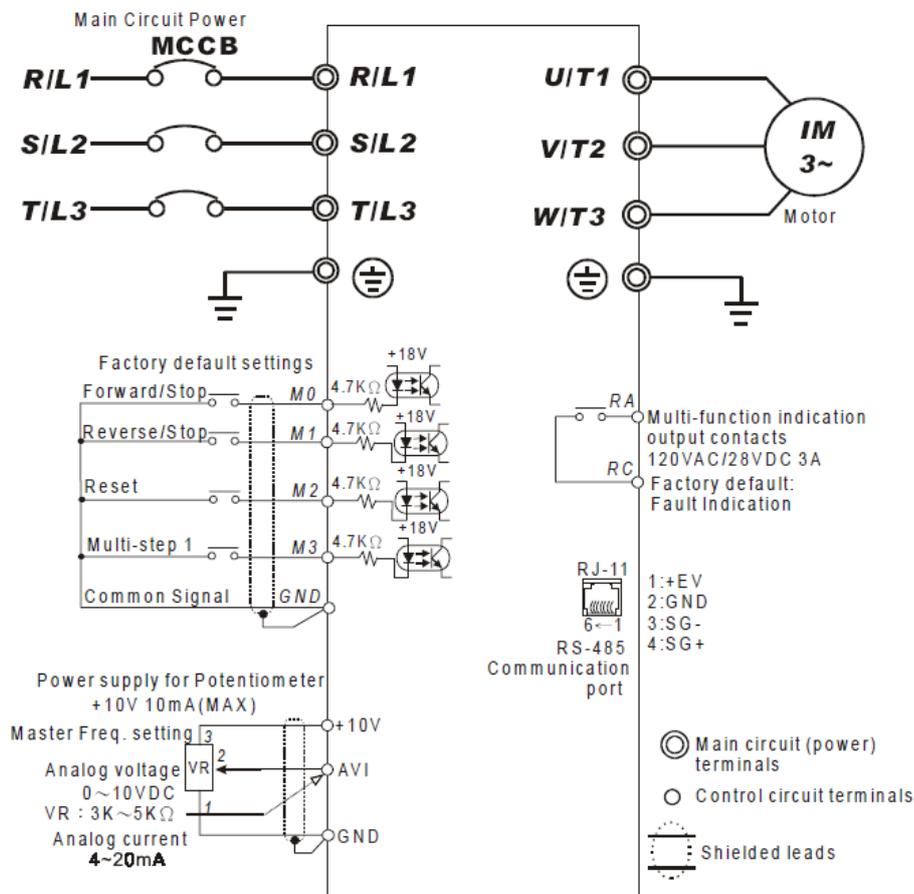
Fonte: PRÓPRIA

##### 3.1.2 Inversores de frequência e motores trifásicos

Os inversores de frequência têm a função de controlar a velocidade dos motores das esteiras, além de determinar o sentido de rotação e o comando de iniciar e parar. Foi utilizado o inversor de frequência VFD007L21A da fabricante Delta de 750 W e 1 cv. Os comandos do sentido de rotação, start e stop são enviados para o inversor por meio do CLP ativando os pinos M0, M1. Esses pinos se referem-se aos comandos de frente/para e reverso/para, respectivamente, foi utilizado o relé de indicação multifuncional, na função padrão de fábrica ele indica falha, podendo ser no motor trifásico ou no próprio dispositivo. O inversor pode ser

alimentado por uma fonte bifásica, é o caso do projeto, e a saída alimentar uma carga trifásica. O esquema foi embasado do diagrama do fabricante, Figura 29 .

Figura 29 - Diagrama básico do inversor de frequência VFD007L21A

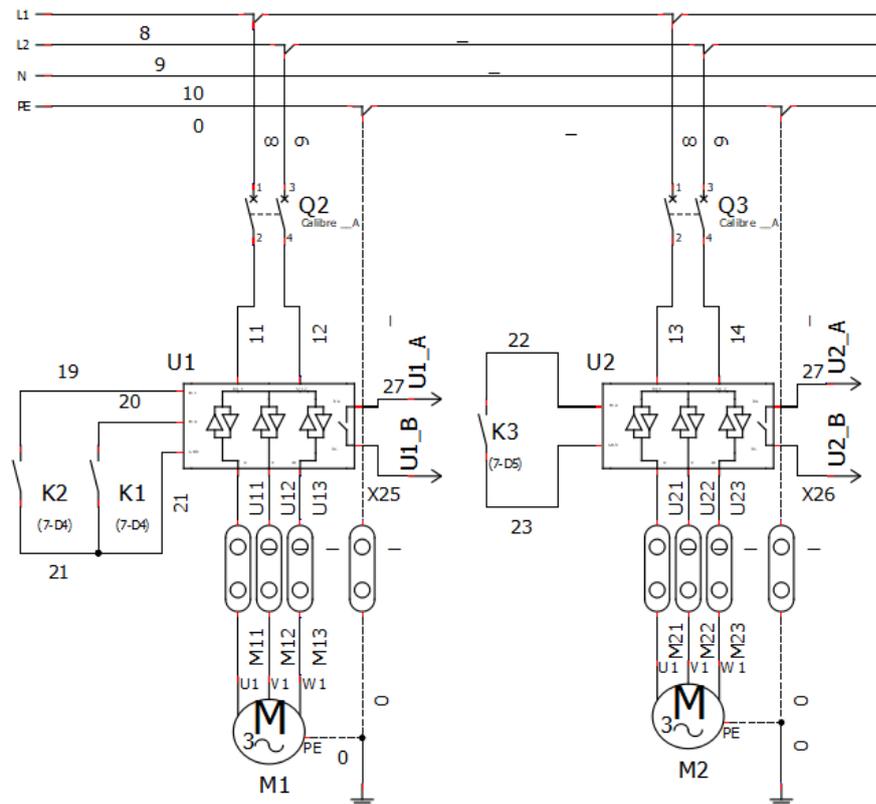


Fonte: (DELTA ELECTRONIC, 2011)

Como dispositivo de proteção foi provido minidisjuntor bipolar de 6 A, curva C para cada inversor de frequência. Dessa forma o diagrama elétrico dos inversores pode observado na Figura 30.

Os relés K2 e K1 acionam os comandos M0 e M1 respectivamente referentes ao motor 1 e os relés K3 acionam o comando M0 do motor 2. As saídas dos relés de indicação de falha U1\_A-U1\_B e U2\_A-U2\_B são *inputs* para o CLP. Outro fato observado é que além da alimentação trifásica do motor é necessário disponibilizar aterramento para o mesmo.

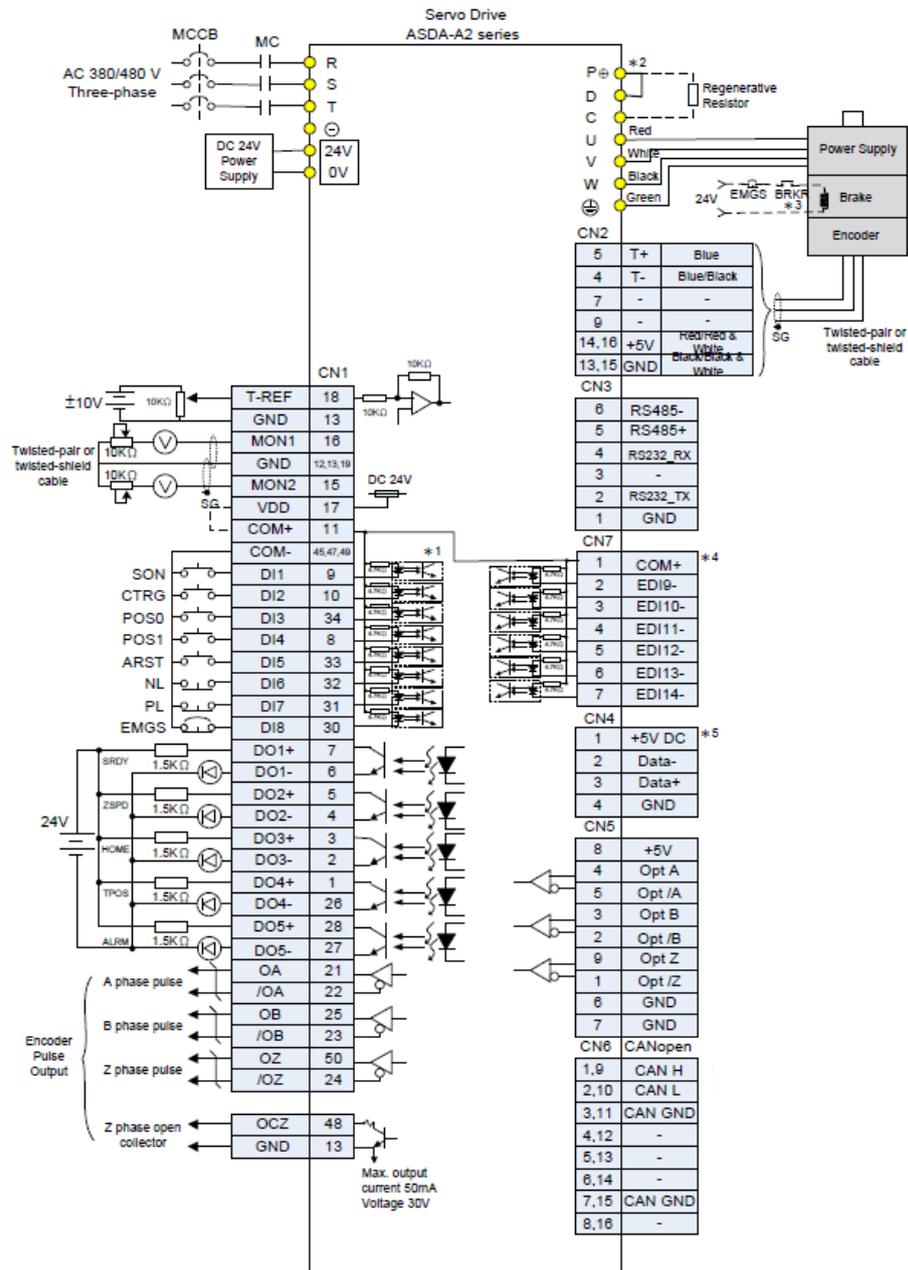
Figura 30 - Diagrama elétrico dos inversores de frequência e motores trifásicos



Fonte: PRÓPRIA

### 3.1.3 Servo driver e servo motor

Os servos drives possuem a função de controlar os servos motores que irão coordenar os movimentos do eixo Z e eixo X do carro do carregador de fitas. Os *servos drives* e servo motores foi utilizado da fabricante Delta. O servo drive para controle do movimento do eixo Z foi escolhido o modelo de 750 W ASDA20721M e o servo motor de mesma potência modelo ECMAC20807SS, para o eixo X é selecionado um servo motor e *servo driver* de 200 W com os modelos respectivos ECMAC10602ES e ASDA20721M. O modo de operação utilizado no *servo driver* é o modo PR que foi abordado seu funcionamento na sessão 1.4.3, para o modo PR o fabricante disponibiliza o diagrama de ligação da Figura 31.

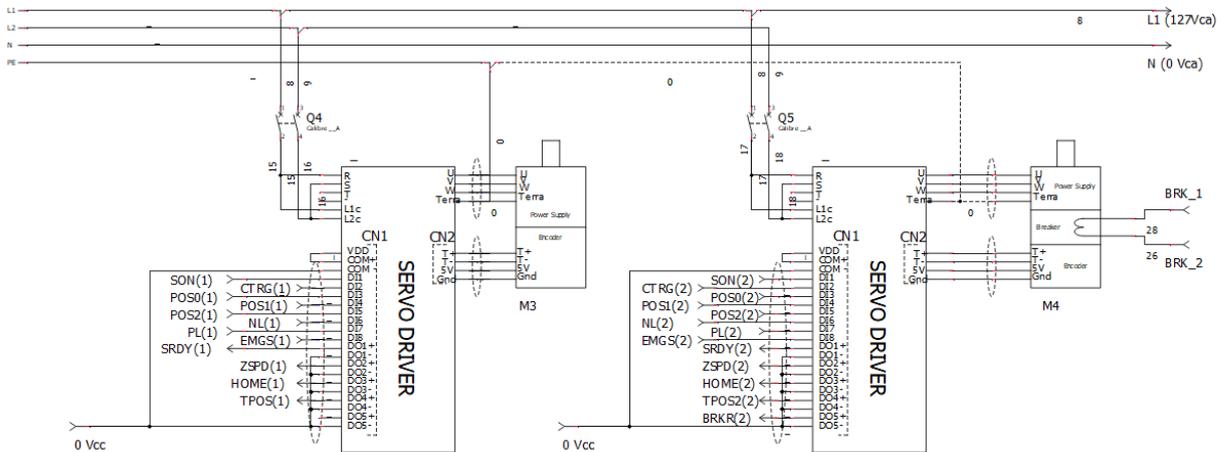
Figura 31 - Diagrama do *servo driver* no modo PR

Fonte: (DELTA ELECTRONICS, 2014)

O modelo do *servo driver* escolhido admite uma alimentação bifásica. Para proteção do equipamento são previstos para os *servos drives* minidisjuntores bipolar 6A, curva C. Os inputs do canal são correspondentes ao diagrama. SON (servo motor ligado), CRTG (Gatilho), POS0 e POS1 (palavra binária que indica o registrador para a posição requerida), ARST (alarme reset), NL e PL (indicação de posições limites, podendo ser positivo ou negativo) e EMGS (emergência). Entretanto, para o projeto será utilizado a POS2 que não é uma entrada digital por *default* sendo necessário configurar o parâmetro P2-114 para que pino ARST (alarme reset) se torne uma entrada digital referente a POS2.

Há também os outputs que são os feedbacks do *servo driver*: ZRDY (servo pronto), ZSPD (velocidade zero atingida), HOME (home completo), TPOS (posição alvo alcançada), BRKR (alarme quando necessário utilizar o *break* do servo motor). O *servo driver* disponibiliza a saída para o servo motor (U,V,W e GND), enquanto o motor insere os sinais do sensor encoder no *servo driver* a fim de realizar o controle do mesmo. O diagrama pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 - Diagrama elétrico dos servos motores

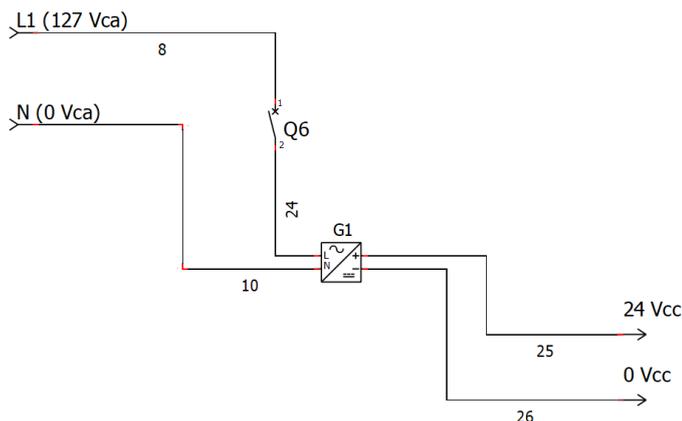


Fonte: PRÓPRIA

### 3.1.4 Fonte de corrente contínua

O projeto prevê alimentação de corrente contínua, visando sobretudo o Controlador Lógico Programável e alguns dispositivos que são alimentados em DC como lâmpadas de sinalização, sensores e o atuador pneumático. A fonte utilizada é de 65W monofásica, 24V, modelo DRP024V060W1AZ da fabricante DELTA. Consta também no circuito um mindisjuntor de proteção monopolar de 2A, curva C (Figura 33).

Figura 33 - Diagrama da fonte de alimentação DC

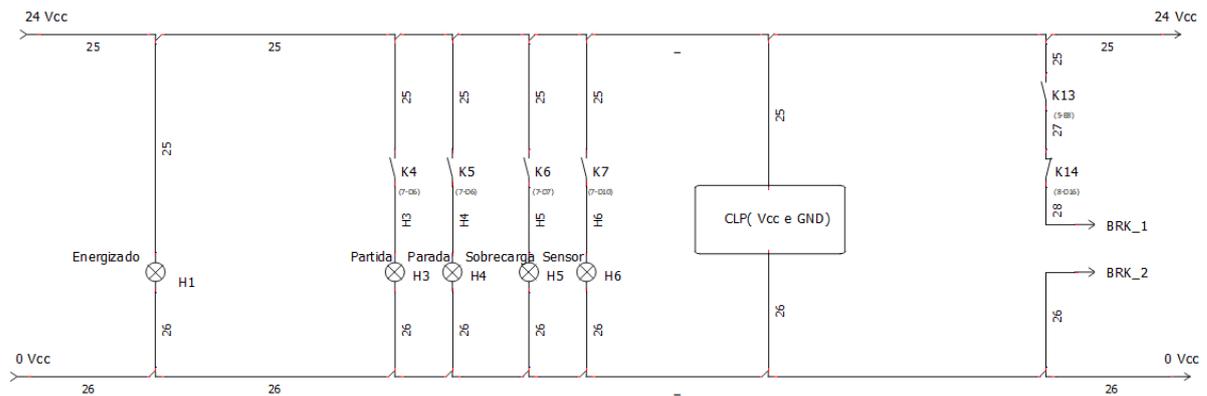


Fonte: PRÓPRIA

### 3.1.5 Sinalizações

O barramento de corrente contínua alimenta as lâmpadas de sinalizações e o Controlador Lógico Programável Delta (DVP14SS211T). As sinalizações são: energizado, partida, parada, sobrecarga e falha no sensor. Essas sinalizações são controladas pelo CLP, dessa forma utiliza-se relés para o comando. No barramento de 24 V também alimenta o freio do motor 2, sinalizado no diagrama da Figura 34 por BRK\_1 e BRK\_2.

Figura 34 - Diagrama sinalizações

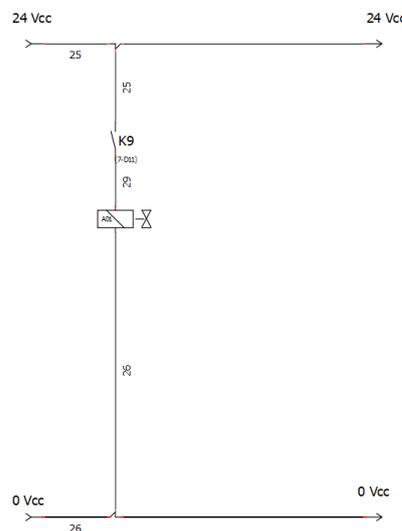


Fonte: PRÓPRIA

### 3.1.6 Válvulas Eletro solenoide

A válvulas eletro solenoide que comanda o atuador pneumático do expulsor de fitas são alimentadas pelo barramento CC, tendo em seu circuito o contato do relé para execução do comando, conforme a Figura 35. A válvula solenoide utilizada é a 7010021100C2 da metalworks que já apresenta consigo sensores de indicação do estado êmbolo.

Figura 35 - Diagrama do sistema pneumático



Fonte: PRÓPRIA

### 3.1.7 Entradas CLP: chaves e sensores

Para a quantidade de entradas e saídas que serão utilizadas pelo sistema elétrico são necessárias três expansões para o CPU do Controlador Lógico Programável, utiliza-se a expansão de modelo DVP16SP11R (Delta) de 8 entradas e 8 saídas. Os inputs do Controlador Lógico Programável no primeiro momento correspondem a chaves e sensores, as entradas são configuradas para ser acionadas em nível alto. As chaves correspondem:

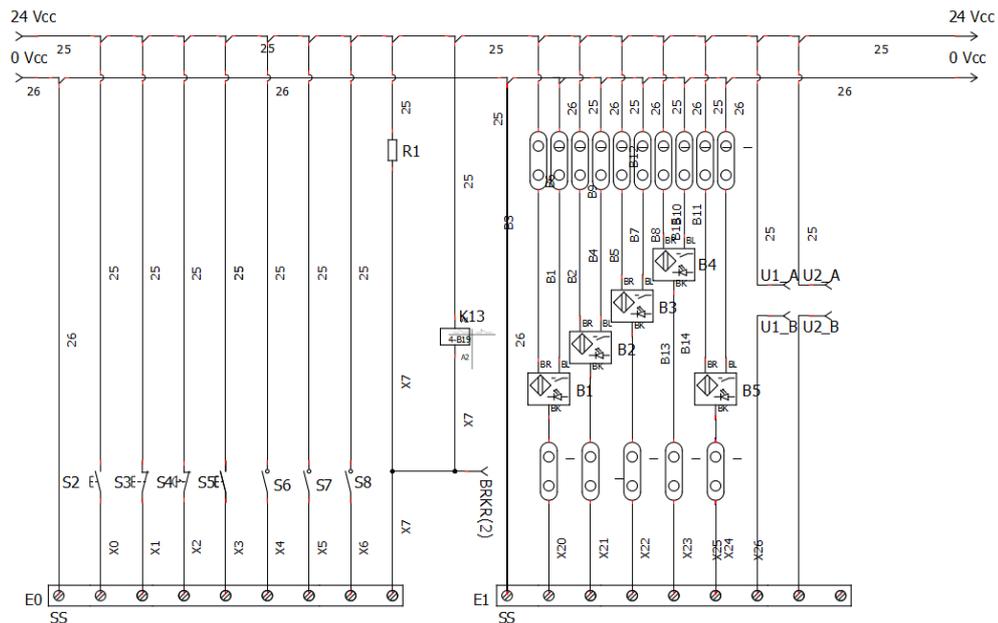
- a) S2: start;
- b) S3: stop;
- c) S4: emergência;
- d) S5: reset;
- e) S6: frente/para inversor de frequência;
- f) S7: reverso/para inversor de frequência.

Já os sensores são: B1 sensor que indica esteira cheia, B2 sensor no final do gabarito guia, B3 sensor no início do guia e B4 e B5 indica que tem caixa presente e pronta. Estes dispositivos são sensores óticos PNP (envia nível alto da detecção de objeto) modelo IFORI401811STP da fabricante Carlo Gavazi, estes dispositivos possuem 3 saídas, onde 2 são destinados a alimentação e o terceiro é utilizado como sinal de controle.

Além dos sensores e chaves, restam ainda na CPU e na primeira expansão algumas entradas livres, então adota-se a entrada de sinalização do freio do motor 2 e em paralelo a bobina do relé do contato do freio (Figura 32) . Nos *sockets* excedentes da expansão 1 aloca-se os contatos de indicação de sobrecarga do inversor.

O diagrama completo pode ser analisado na Figura 36.

Figura 36 - Entradas do CLP: chaves e sensores



Fonte: PRÓPRIA

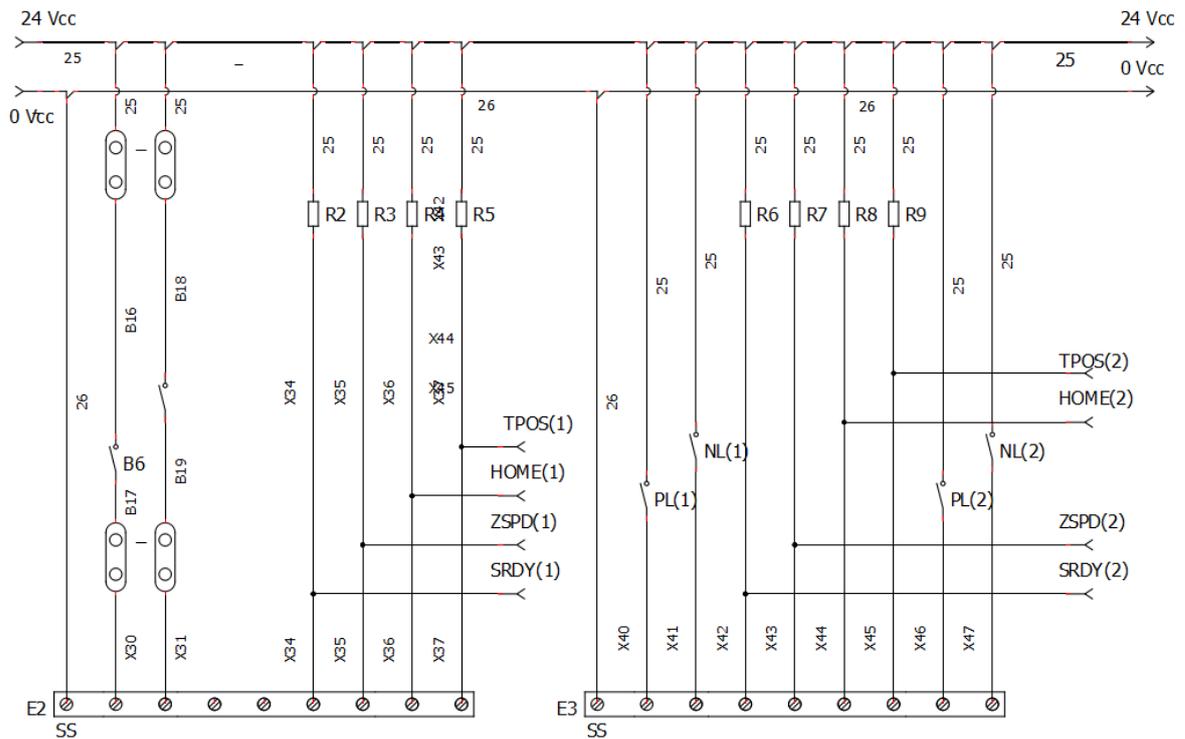
### 3.1.8 Entradas CLP: Servo Motores e Sistema Pneumático

Para as expansões do CLP 2 e 3 é inserido os comandos do servo motor e sistema pneumático. Os *inputs* do CLP relacionados os servo motores são referentes as saídas de sinalizações e feedback do *servo driver* comentada na sessão 3.1.3 e ilustrados na Figura 32.

Segundo a sugestão do fabricante na Figura 31 relata que esses comandos estão na configuração coletor aberto necessitando de resistor de polarização de 1,5 k $\Omega$ . Outra entrada são as indicações dos limites de posições PL e NL, controladas por meio de chave de fim de curso (FM8, Metaltex) que serão instaladas nas extremidades do trilho onde percorre o carro carregador de fitas.

Para as entradas referente ao sistema pneumático compreende-se que o atuador pneumático utilizado no projeto possui sensores magnéticos que detecta a posição do embolo, informando o estado de avançado ou recuado. Esse sinal é enviado para o PLC, visando criar *flags* e criar alerta de erro caso o circuito pneumático não tenha executado os comandos. O input destinado a essa função é o X30 e X31. O diagrama completo relacionado as expansões 2 e 3 podem ser notadas na Figura 37.

Figura 37 - Entradas do CLP: servo motores e pneumático



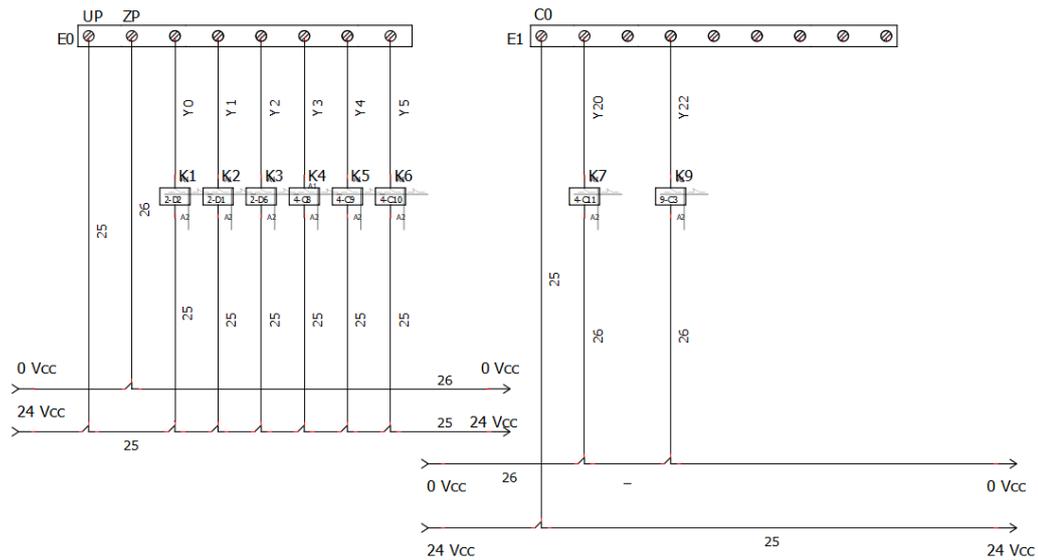
Fonte: PRÓPRIA

### 3.1.9 Saídas do CLP: Inversor de frequência e sinalizações

As saídas referentes ao CPU do CLP e a primeira extensão estão relacionadas aos comandos dos relés que controlam a sinalização e os modos de operação do inversor de frequência. Na Figura 34 é mostrado os contatos dos relés para chavear as sinalizações e na Figura 35 faz-se referência ao contato que alimenta a eletro solenoide. Esses contatos estão relacionados à interface de relés 6A, foi utilizado o modelo RSLM001024 (Carlo Gavazzi). Dessa forma, o CLP tem função de alimentar a bobina desses dispositivos para comandar os contatos, podendo ser estes normalmente aberto ou normalmente fechado.

Na Figura 30 observa-se os contatos que comandam o sentido de rotação e parada do motor, ações controladas pelo inversor de frequência. Na saída Y0 à Y2 é destinada a comandar à interface desses contatos. O diagrama completo referente ao inversor de frequência e sinalizações podem ser observados na Figura 38.

Figura 38 - Saída CLP: Sinalização e inversores de frequência

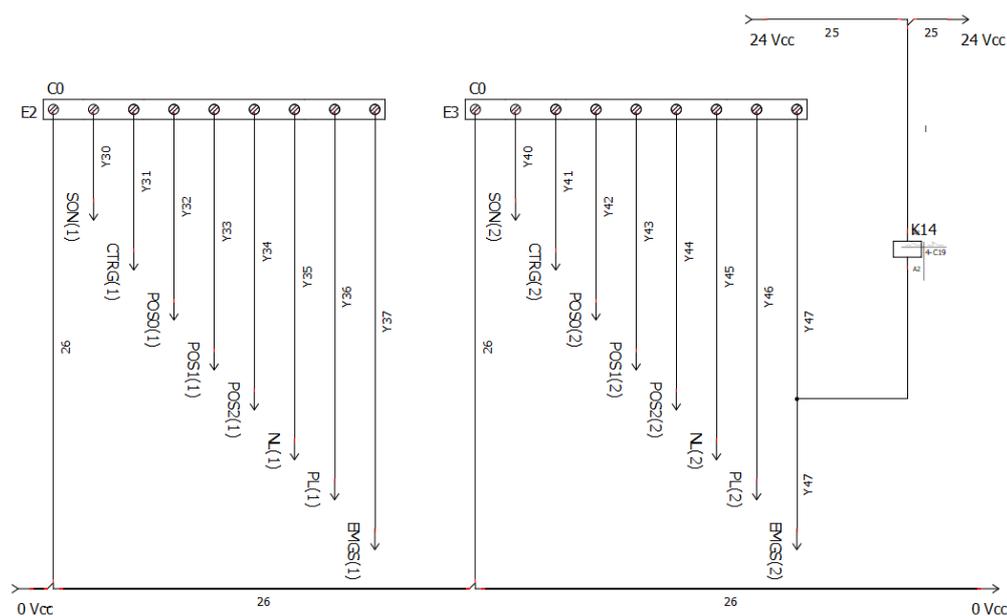


Fonte: PRÓPRIA

Tanto as entradas quanto as saídas do CLP podem ter seus barramentos chaveados no Vcc ou no GND, dependendo da configuração do CLP. Na configuração do projeto, a saída do CLP está chaveando a referência (0 Vcc).

### 3.1.10 Saídas do CLP: *Servo driver*

As saídas da terceira e quarta extensão é destinada exclusivamente aos comandos dos dois servos drivers. Os comandos do servo driver que precisam ser controlados pelo CLP foram na sessão 3.1.3, relacionados aos inputs do *servo driver*, e ilustrados na Figura 32. Ao final resta o acionamento do relé K14 que aciona o freio do motor em caso de emergência. O diagrama das saídas do CLP para controle do *servo driver*, pode ser verificado na Figura 39

Figura 39 - Saídas CLP: *servo driver*

Fonte: PRÓPRIA

### 3.2 CONFIGURAÇÃO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

A utilização dos inversores de frequência foi motivada por um dispositivo compacto (ocupa pouco espaço no gabinete comparando com comandos elétricos tradicionais), de fácil reprogramação, e, sobretudo, poder ser alimentado por uma rede bifásica AC 220 V e originar uma saída controlada trifásica. Além disso, o inversor de frequência possibilita três características essenciais para o sistema: controle do sentido de rotação, controle da velocidade do motor consequentemente da esteira e alerta de falha, podendo ser falha no motor, como sobrecarga por exemplo, e falha no inversor como erro na comunicação.

Foi utilizado a função d1 do inversor de frequência. Nessa configuração o contato M0 é disponibilizado para *forward/stop* e M1 para *reverse/stop*. Em relação a frequência do inversor é controlado por um potenciômetro que varia a frequência do motor de 0 Hz à 60 Hz, para a aplicação do projeto foi utilizado a capacidade máxima (60 Hz).

### 3.3 CONFIGURAÇÃO DO *SERVO DRIVER*

Os servos drives foram programados no modo PR, como comentado na sessão 1.4.3 o CLP envia uma palavra binária que aponta para o endereço do registrador, via parâmetro, que se encontra o comando da posição alvo. O comando posição possui informação do valor da posição do servo motor e a forma de execução da rotina do servo motor. Todos esses parâmetros

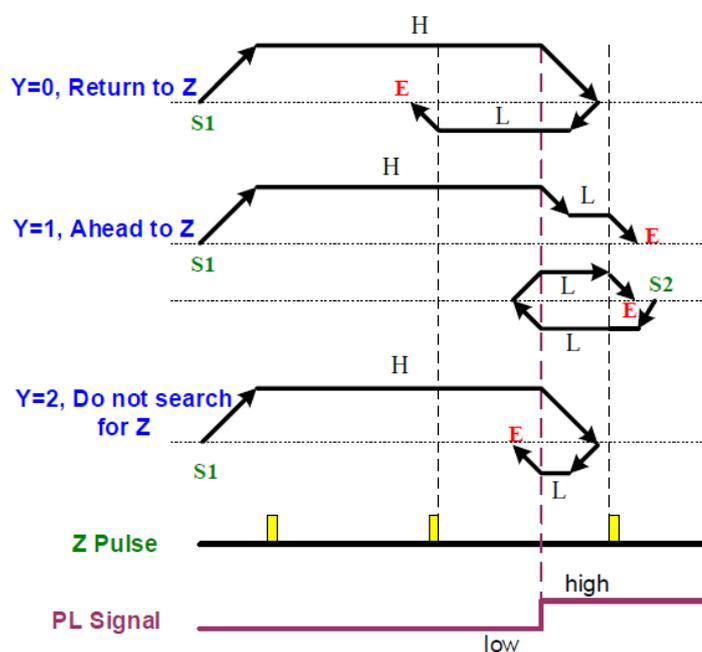
são possíveis definir via interface do fabricante utilizando o software ASDASoft. No projeto são utilizados dois *servos drives* o ASDA20721M para servo motor de 750 W (eixo Z) e o ASDA20221M para o servo motor de 200 W (eixo X). Dessa forma a parametrização é singular para cada dispositivo.

### 3.3.1 Servo motor: Eixo X

A primeira configuração a ser definida é a posição HOMING, a posição *homing* pode ser definida de 9 maneiras disponibilizada pelo fabricante. O *homing* é configurado com base em um sensor limite ou um sensor *homing*, quando esse sensor é acionado sinaliza a posição *homing*. Além disso, o servo motor por meio do encoder envia sinais de pulsos para indicar a posição do eixo, esses pulsos são chamados de pulso Z, a intenção do *homing* é alinhar o sinal Z do encoder com as coordenadas internas do *servo driver*.

O fabricante disponibiliza alguns modos de operação do *PR Homing*, configurando o parâmetro P5-04 é estabelecido se o sensor limite ou sensor *homing* será acionado quando o motor estiver rotacionado no sentido positivo (*Positive limit, PL*) ou sentido negativo (*Negative limit, NL*). Além disso é configurado a operação do servo motor quanto ao pulso Z. Havendo três opções em relação ao pulso Z: retornar para o Z (Y=0), seguir para o próximo Z (Y=1), não consultar Z (Y=2), conforme pode ser visto na Figura 40.

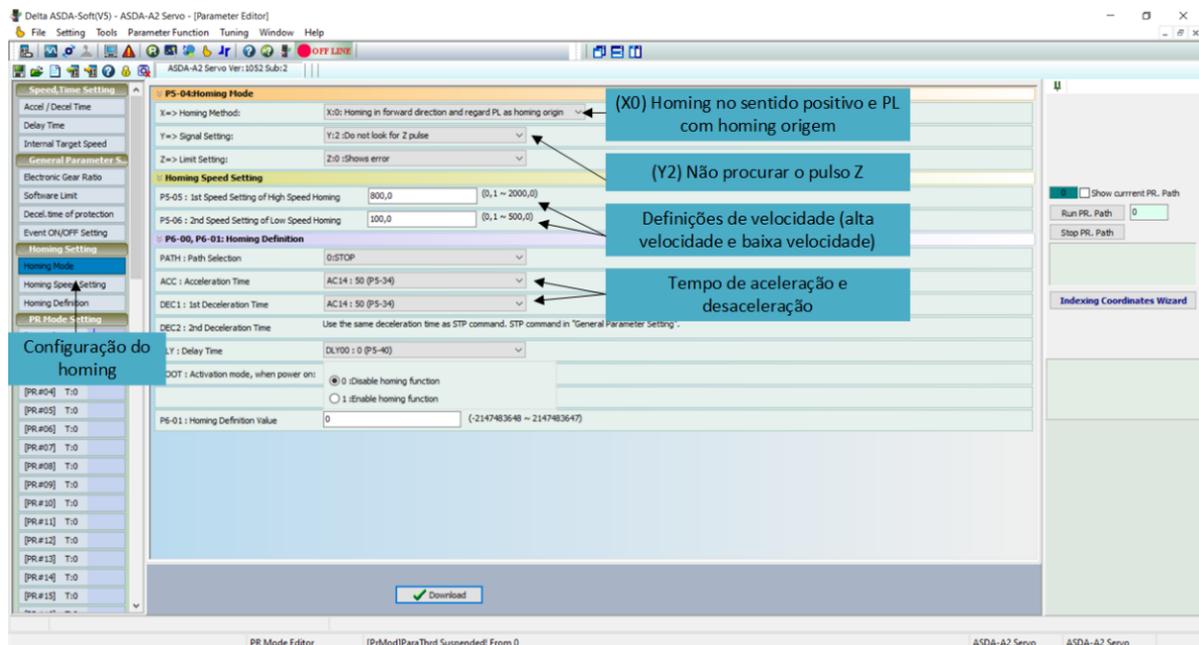
Figura 40 - PR Homing



Fonte: (DELTA ELECTRONICS, 2014)

Para configurar as opções de *homing* e os demais parâmetros do modo PR, utiliza-se a opção *Parameter Function* na barra de tarefas do ASDASoft e seleciona-se a opção *PR mode setup* e então nas guias laterais é selecionado a opção *Homing Mode*, para o projeto foi configurado a opção não consultar o home (Y=2), ou seja, após acionado a chave limite, no caso do projeto é a chave fim de curso, ele retorna para uma posição imediatamente anterior ao acionamento do pulso. Foi definido X=0, ou seja, acionamento do sensor limite será no sentido positivo do servo motor (PL). Ademais é configurado a alta velocidade do *homing* para 800 [0,1 rev/s] e em baixa velocidade para 20 [0,1 rev/s], por meio dos parâmetros P5-05 e P5-06, e o tempo de aceleração e desaceleração para 50 ms, por meio do parâmetro P5-34. A configuração desses parâmetros são mostrados na Figura 41.

Figura 41 - Configuração do *homing*



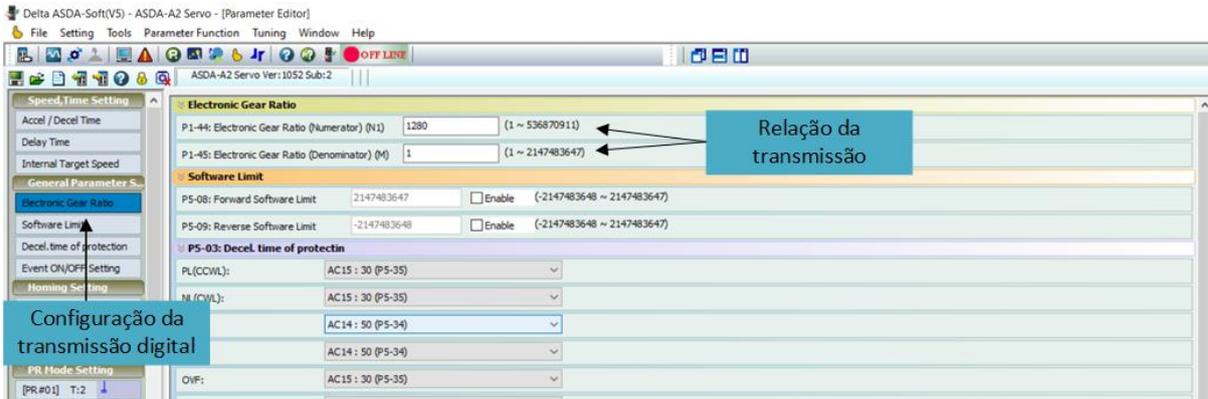
Fonte: PRÓPRIA

Após definir o *homing* é configurado os parâmetros referentes a posição do servo motor. A unidade de posição do modo PR é PUU. Ela é a unidade oriunda dos pulsos do encoder, pulsos Z, e então o *servo driver* pode converter em relação de transmissão digital. A resolução máxima dos servos motores utilizados no projeto é 1280000 pulsos/revolução, ou seja, durante uma revolução o encoder pode enviar até 1280000 pulsos onde cada pulso faz referência a uma posição que pode ser comandada a ele. No projeto a relação de transmissão digital para o projeto será 1280:1 ou seja:

$$PUU = 1280000 * \left(\frac{1}{1280}\right) = 1000 \text{ PUU}$$

A relação de transmissão digital é configurada nos parâmetros P1-44 e P1-45 por meio da interface Figura 42.

Figura 42 - Relação de transmissão

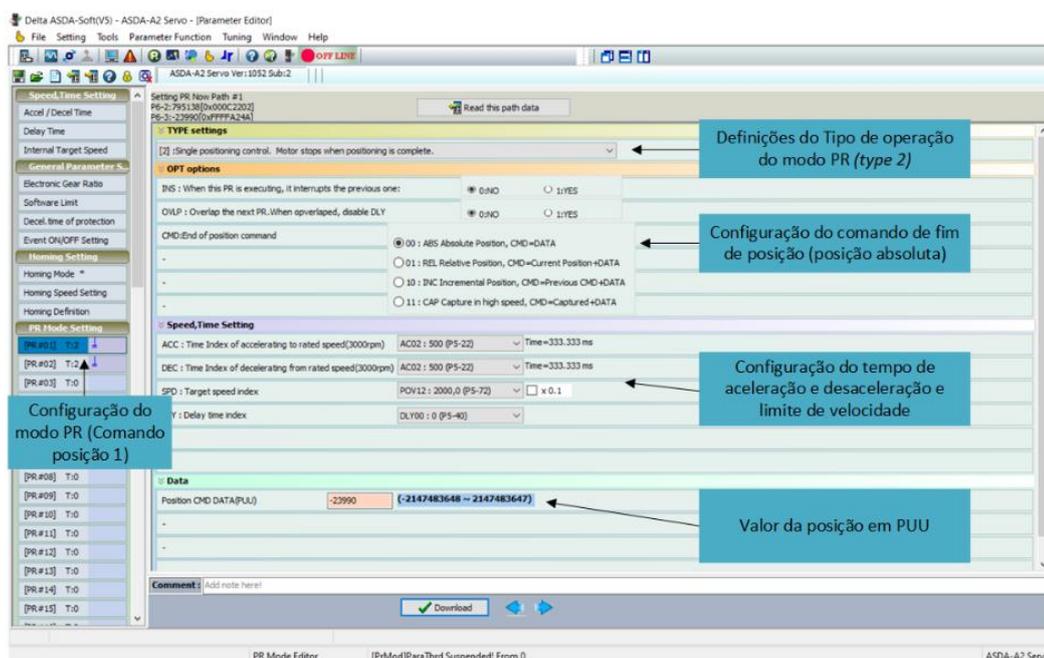


Fonte: PRÓPRIA

Próximo passo consiste em configurar a posição comando nos registradores do *servo driver* de cada rotina que o servo motor deverá efetuar e a forma que será feito a operação, para isso seleciona-se a guia *PR Mode setting* (Figura 43).

Primeiramente é configurado o tipo da operação, para aplicação do projeto é escolhido o *type 2* (controle de posicionamento simples, ou seja, motor para quando chegar na posição alvo). Posição alvo será comanda pelo modo de posição absoluta, então o exato valor da posição em PUU será exatamente onde o motor deverá finalizar sua operação, ademais é configurado tempo de aceleração e desaceleração para 500 ms e o limite de velocidade para 2000 rev/s, por fim é configurado uma possível posição para o servo motor, o ajuste fino dessa posição é feito na fase do projeto de ajustes e validação.

O servo motor no eixo X possui duas posições, as configurações entre as rotinas são iguais, alterando apenas a posição em PUU. A primeira posição (PR 01) consiste com o alinhamento no eixo X com o gabarito guia e outra posição (PR 02) alinhada com a caixa de papelão.

Figura 43 - Configuração dos comandos posição do *servo driver*

Fonte: PRÓPRIA

### 3.3.2 Servo motor: Eixo Z

Algumas configurações do servo motor do eixo X são replicadas no servo motor do eixo Z. Sobretudo, a relação de transmissão, mantendo uma relação de 1280:1 (1000 PUU). Já nas configurações de *homing* as definições do ‘método *homing*’ são iguais do servo motor eixo X, ou seja, não consultar o pulso Z (Y=2) e a origem do *homing* ser definido pelo sensor fim de curso quando o motor estiver no sentido positivo (X=0), porém as especificações de velocidade e tempo de desaceleração são diferentes, em alta velocidade o servo motor deve trabalhar em 1400 [0,1 rev/s], em baixa velocidade em 420 [0,1 rev/s] e o tempo de desaceleração passa para 30 ms.

No comando posição é configurado o *type 2* e comando fim de posição no modo absoluto. O tempo de aceleração e desaceleração para todas as rotinas são configurados para 200 ms e a posição em PUU é pré-configurada, no aguardo da integração com o sistema mecânico para o ajuste do valor exato das posições.

São configuradas 5 posições para o servo motor no eixo Z, a primeira posição consiste quando o carro do carregador de fitas está suspenso (PR 05), similar a posição *homing*, a segunda posição consiste na penetração dos pegadores de fitas no gabarito guia (PR 01), as últimas três rotinas refere-se a posição do depósito das três pilhas de fitas na caixa (PR 02, PR 03 e PR 04), respectivamente em ordem crescente.

A velocidade máxima também foi alterada para posição PR 01 a velocidade máxima é 800 rev/s, já PR 05 é 1500 rev/s e para as pilhas (PR 02, PR 03 e PR 04) a velocidade consiste em 2000 rev/s.

### 3.4 PROGRAMAÇÃO DO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

A programação do CLP é baseada na linguagem Ladder conforme abordado na 1.5.1, dentro dos blocos funcionais foi utilizado apenas de lógica e de temporizadores. A programação do Controlador Lógico programável foi feita a partir do software da fabricante Delta ISPSOft na função *Main program*.

Foi utilizado algumas estratégias de programação e utilização de funcionalidade para obter o resultado esperado. Uma das estratégias foi utilizar a memória do CLP para guardar algumas *flags* de sinalização estados da máquina. Em segundo, foi utilizado por todo o código fonte é a utilização de OTE *set* e *reset*. Dessa forma, não há necessidade de linha de código de intertravamento e apenas um pulso pode ser responsável pelo *set* e *reset* de uma bobina. Outra estratégia de programação utilizada foi de adotar máquina de estado para sinalizar o ciclo atual, próximo estado do equipamento e o gatilho para mudança.

O fluxograma do programa pode ser visto pelo fluxo sequencial da Figura 44. Esse fluxograma possui apenas a sequência das principais rotinas da máquina, omitindo tarefas de temporização e outras diversas *flags* e condições utilizadas para tornar o sistema confiável. O objetivo do fluxograma é ter conhecimento de maneira clara como o controlador irá atuar no maquinário para realizar o ciclo proposto pelo projeto.

Para melhor compreensão os dados das posições dos parâmetros do *servo driver* de cada motor é viável sintetizar, elencando a palavra binária com o comando que o motor deve atuar, como pode ser visto na Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2 - Posição comando Servo motor eixo Z

<b>Servo motor Z</b>			
<b>POS 2</b>	<b>POS 1</b>	<b>POS 0</b>	<b>Comando</b>
0	0	0	Homing
0	0	1	Gabarito guia
0	1	0	1º Pilha
0	1	1	2º Pilha
1	0	0	3º Pilha
1	0	1	Suspenso

Fonte: PRÓPRIA

Tabela 3 - Posição comando servo motor eixo X

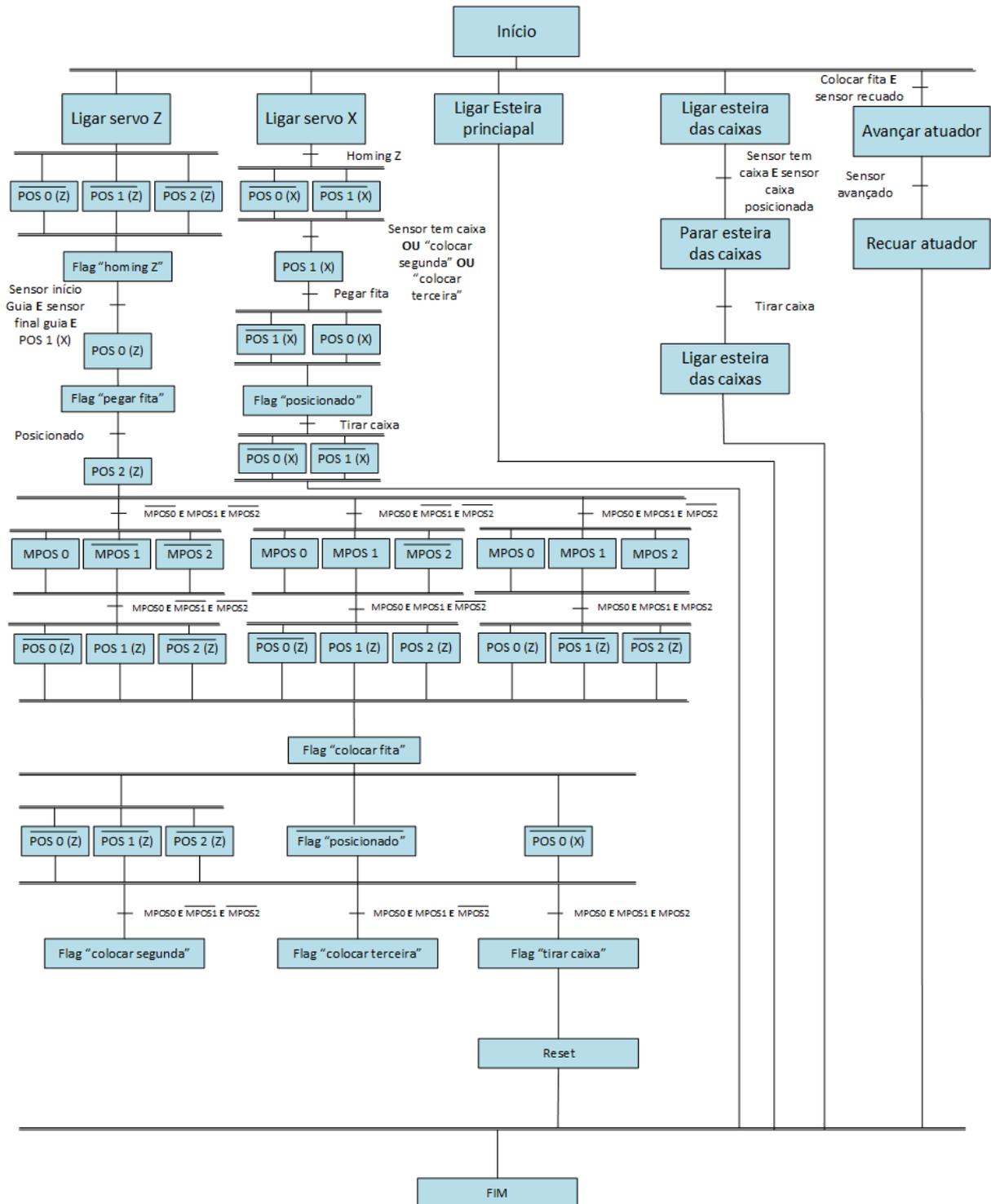
Servo motor X		
POS 1	POS 0	Comando
0	0	Homing
0	1	Caixa
1	0	Gabarito guia

Fonte: PRÓPRIA

Além da rotina prevista na Figura 44 , algumas premissas para programação devem ser consideradas, sendo elas:

- a) botão emergência finalizar todos os ciclos da máquina instantaneamente;
- b) botão *reset* deve reiniciar todas as posições dos servos motores e *flags*;
- c) após parada por emergência a máquina só reinicia após selecionar o botão *reset*;
- d) botão parada deve finalizar o ciclo e só então parar;
- e) piscar sinalização de Início ao apertar o botão *start*;
- f) acionar as sinalizações conforme o status da máquina;
- g) após um certo período que o sensor do início do gabarito guia está em alto que então é interpretado como gabarito guia completo;
- h) após finalizar o ciclo os servos motores devem ir para posição *homing*;
- i) após finalizar o ciclo deve ser reiniciado todas as flags incluso a máquina de estado;
- j) pequenos ciclos temporizados entre o comando posição e o *trigger*;
- k) os servos motores não podem trabalhar simultaneamente;
- l) o feedback do *servo driver* de velocidade zero atingida e sinalização de posição deve ser considerado no programa para as transições de rotinas.

Figura 44 - Fluxo sequencial das principais rotinas do programa do CLP



Fonte: PRÓPRIA

### 3.5 MONTAGEM DO PAINEL DE COMANDO

Após finalizar o diagrama elétrico é possível iniciar a montagem do painel elétrico, seguindo as ligações descritas no projeto. Algumas boas práticas devem ser levadas. Primeiramente é demarcado a localização de cada dispositivo no gabinete, criando o layout de

como os dispositivos ficarão dispostos, prevendo as canaletas (elemento fundamental para organização pois irá abrigar os cabos para não deixar expostos) e os trilhos que garante mobilidade e alocação dos componentes. No projeto já foi previsto a régua de borne que irá facilitar uma eventual manutenção, visto que não será necessário desacoplar as entradas e saídas diretamente do *socket* do CLP, apenas da régua, Figura 45.

Figura 45 - Posicionamento dos componentes



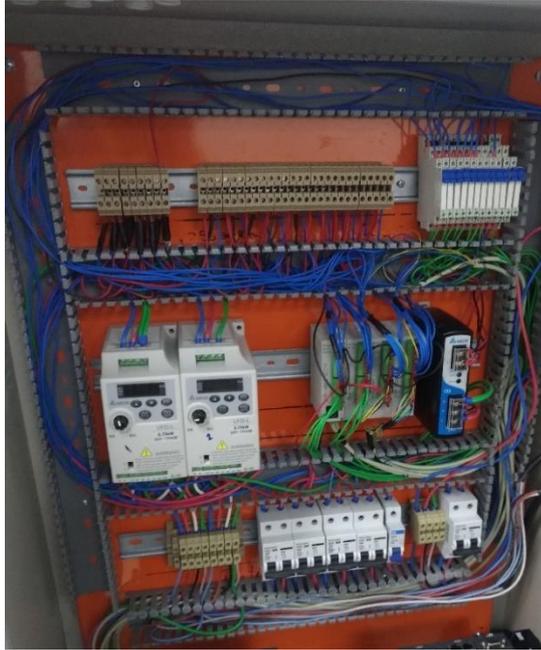
Fonte: PRÓPRIA

Após definir o posicionamento inicia-se o processo de cabeamento do painel, o painel é dividido em circuito de força e circuito de controle. O circuito de força consiste na alimentação de entrada do sistema elétrico, onde alimenta os servos drivers, inversores de frequência e alimentação da fonte CC. Faz parte também do circuito de força as saídas para os dois servos motores e os dois motores trifásico. Já o circuito de controle, consistem na alimentação do CLP e os seus dispositivos de entrada e saída (sensores e atuadores), incluso também no circuito de controle os contatos dos relés. Para o dimensionamento dos cabos do circuito de força foi utilizado o critério de seção mínima (2,5 mm) e para o circuito de controle foi utilizado cabos de 1 mm. As conexões foram feitas utilizando terminal tubular crimpados conforme a seção transversal dos cabos.

O padrão de cores utilizado segue a norma NBR 5410 (ABNT, 2014), sendo os condutores vermelho para fase, azul para o neutro, verde para a terra, positivo CC vermelho,

negativo CC preto. Para o padrão de entrada e saída do CLP foi utilizado cores distintas, sendo azul e verde, respectivamente, como pode ser verificado na Figura 46.

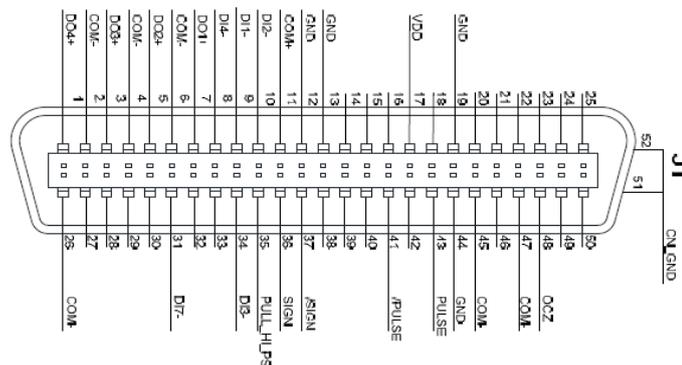
Figura 46 - Cabeamento do painel de comando



Fonte: PRÓPRIA

Posteriormente é necessário confeccionar os conectores para as ligações *servo driver* e servo motor, o próprio fabricante disponibiliza o conector para realizar a montagem. O conector CN1 (Figura 32) é o mais complexo devido a quantidade de pino, o fabricante disponibiliza o seguinte *pinout* (Figura 47) para a montagem do conector com os seus respectivos cabos, foi utilizado 3 cabos multipolares (4 polos) modelo CONM14NFS5 para conectar todos os pinos previstos para o controle.

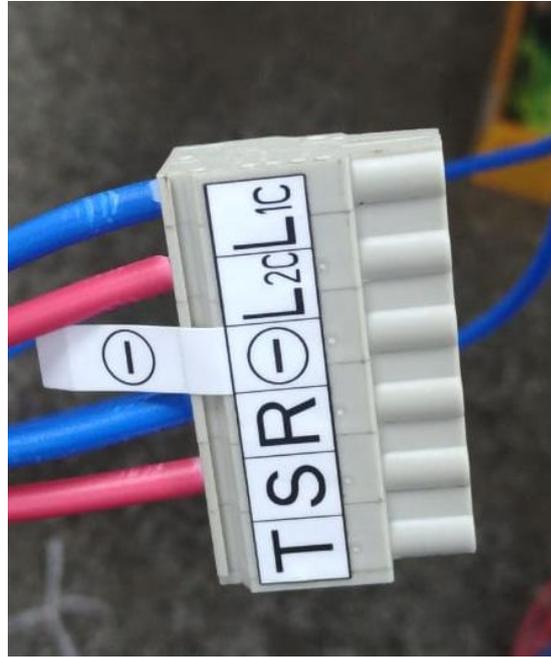
Figura 47 - Pinout CN1



Fonte: PRÓPRIA

Os conectores de força e do encoder do servo motor também possui conectores específicos, disponibilizado pelo fabricante, assim como os conectores de alimentação do *servo driver*, como pode ser visto na Figura 48.

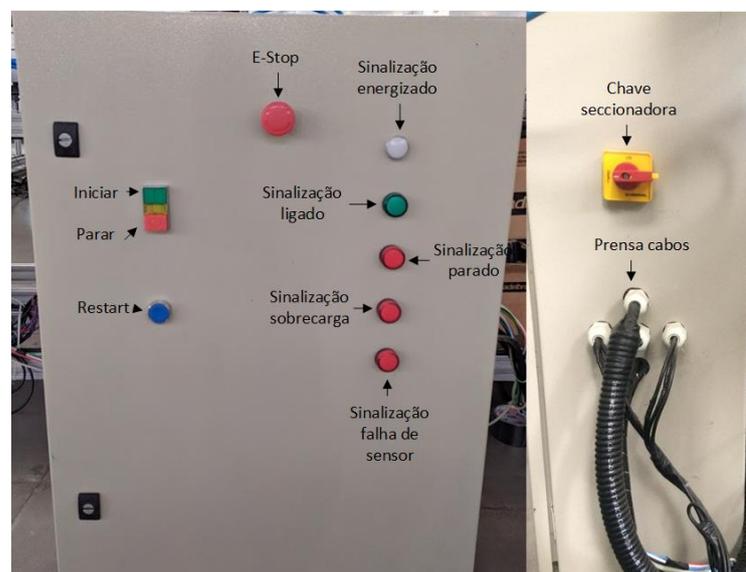
Figura 48 - Conector de alimentação do *servo driver*



Fonte: PRÓPRIA

Posteriormente é necessário adequar a parte externa do gabinete para alocar as botoeiras, sinalizações, chave seccionadora e prensa cabos e após a sua alocação realizar as conexões previstas no diagrama, Figura 49.

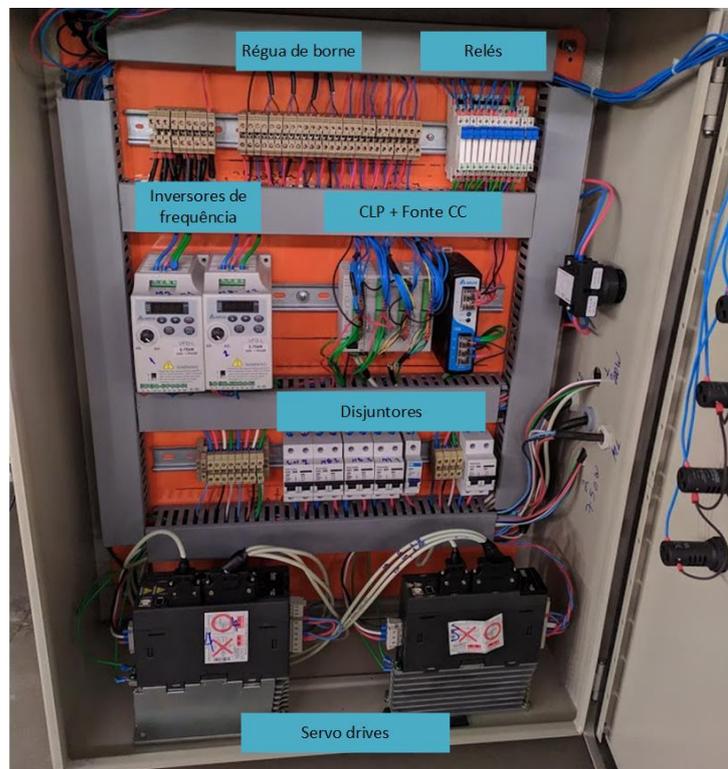
Figura 49 - Instalação elétrica dos elementos do gabinete



Fonte: PRÓPRIA

Por fim é possível fixar os *servos drives* na superfície do gabinete e finalizar a montagem do painel elétrico ligando os conectores dos *servos drives*, sempre identificando o cabeamento dos dispositivos externos, como os sensores e atuadores. O resultado da montagem do quadro de comando pode ser observado na Figura 50

Figura 50 - Montagem final do painel de comando



Fonte: PRÓPRIA

### 3.6 INTEGRAÇÃO COM A SOLUÇÃO MECÂNICA

Após finalizar a montagem do painel de comando é possível fazer a integração com a solução mecânica, a fim de obter o funcionamento da solução completa da máquina embaladora Guzzetti. Os periféricos que devem ser alocados na parte mecânica são os servos motores, motores trifásicos de indução, sensores óticos, chave fim de curso e o sistema pneumático.

Os servos motores são acoplados na polia dentada do carro do carregador de fitas que utiliza o princípio de correia e polia para realizar o deslocamento do carro no eixo x e eixo z, Figura 51.

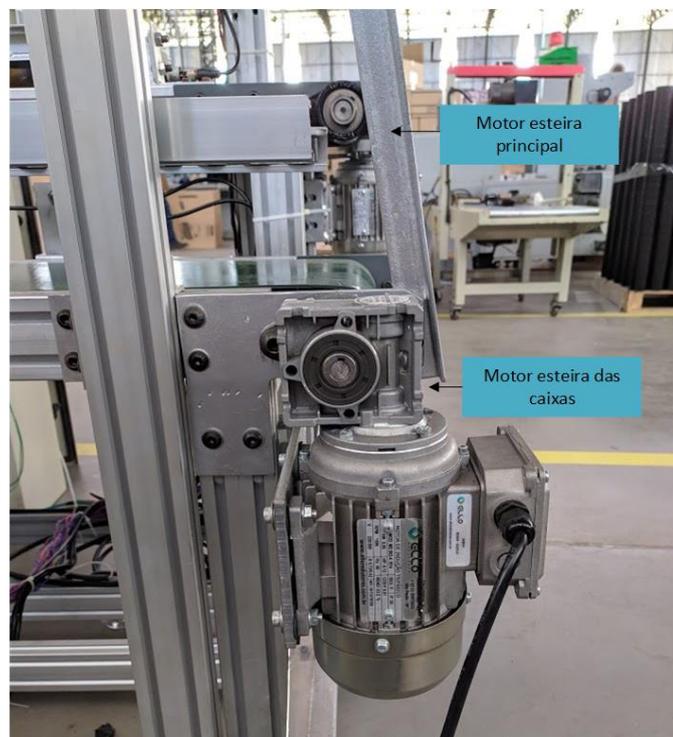
Figura 51 - Instalação dos servos motores



Fonte: PRÓPRIA

Próximo passo é a integração dos motores de indução trifásico no eixo das esteiras, os motores das esteiras (esteira das caixas e esteira principal) apresenta caixa redutora para aumentar o torque e pode ser observada na Figura 52

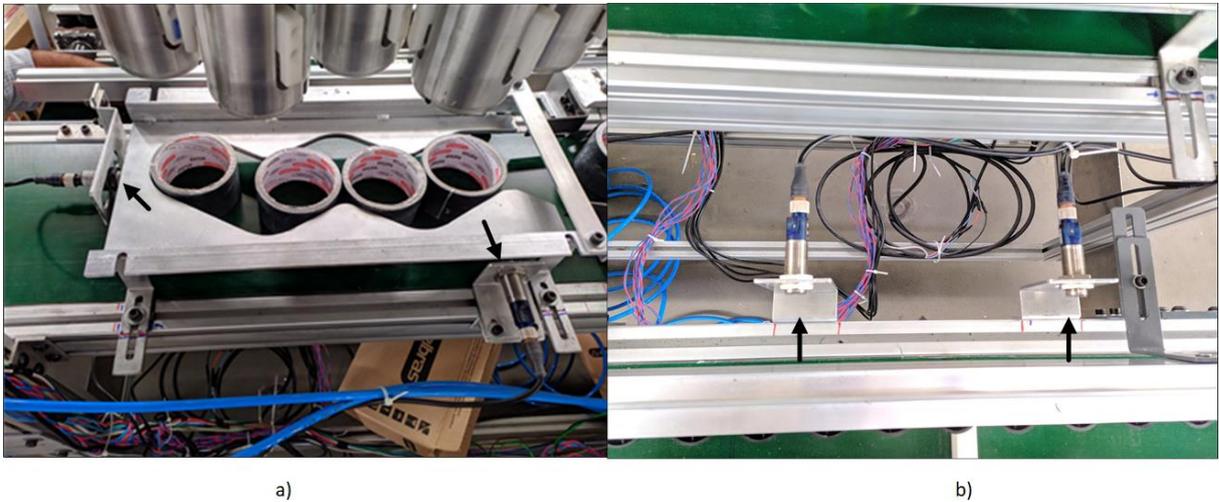
Figura 52 - Integração dos motores de indução nas esteiras



Fonte: PRÓPRIA

Próximo passo consiste na alocação dos sensores, iniciando com os dois sensores que detectam quando o gabarito guia está completo e o carro do carregador já pode iniciar a sua rotina de depósito. Posteriormente é instalado os dois sensores que detectam quando possui caixa pronta na esteira, Figura 53.

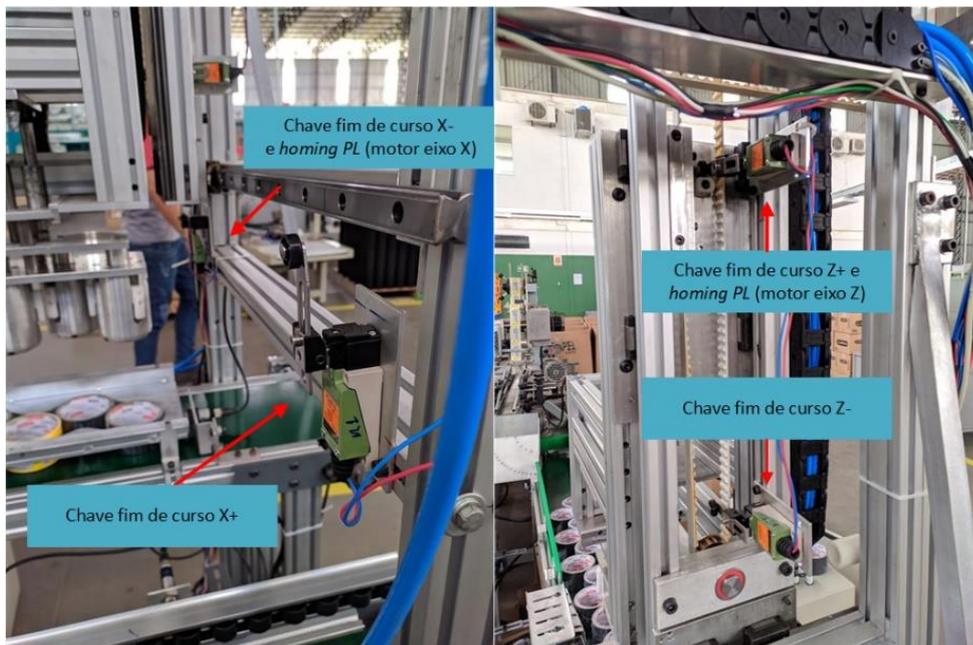
Figura 53 - Instalação dos sensores nas esteiras a) esteira principal b) esteira das caixas



Fonte: PRÓPRIA

A chave fim de curso é outro dispositivo que deve ser instalado na estrutura mecânica, ele fica localizado ao final do trilho do carro do carregador de fitas para sinalizar o limite da operação dos servos motores em seus respectivos eixos, Figura 54.

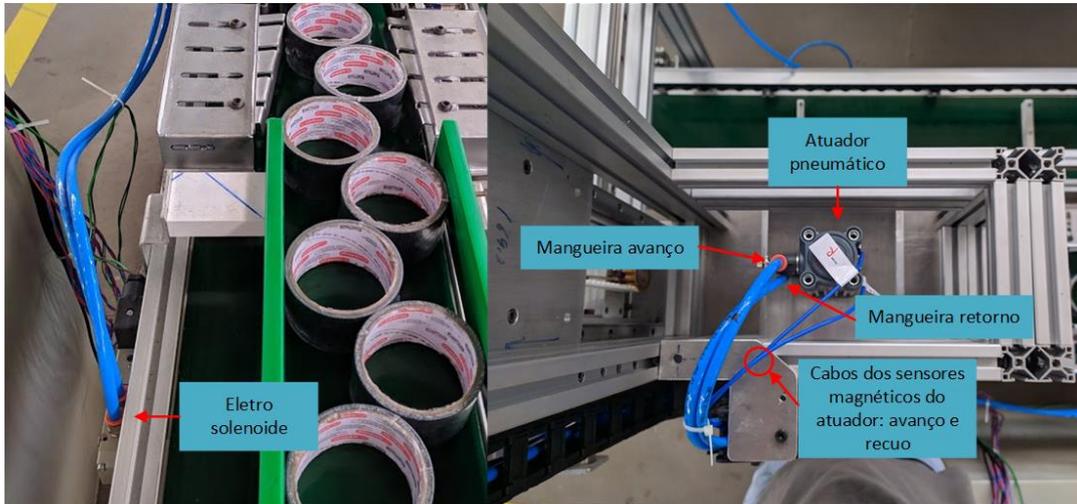
Figura 54 - Chaves fim de curso



Fonte: PRÓPRIA

Por fim, é instalado o sistema pneumático que consiste na integração do atuador pneumático com a válvula solenoide e o circuito pneumático.

Figura 55 - Instalação do circuito pneumático

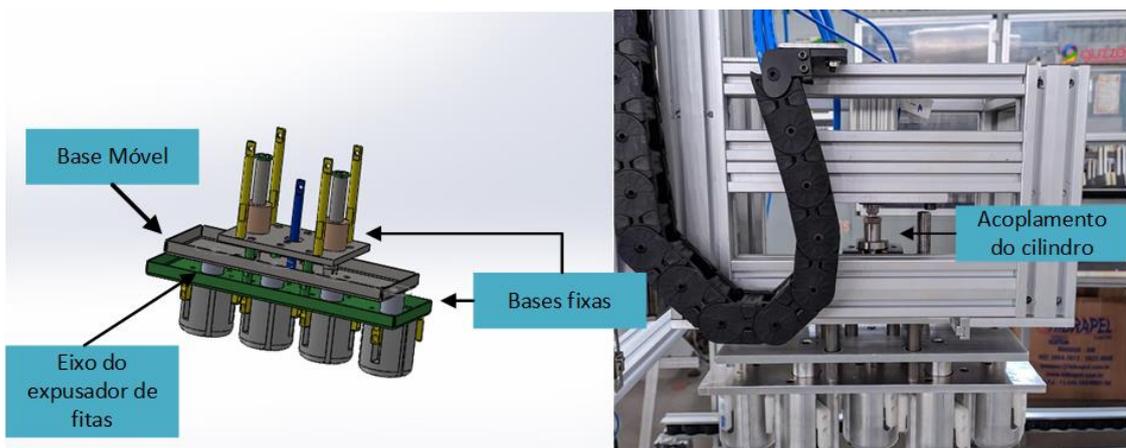


Fonte: PRÓPRIA

Na Figura 55 observa-se a saída dos cabos dos sensores que indica o estado do atuador pneumático (avanço ou recuo), notável também o circuito pneumático, visto que é um atuador de dupla ação, ele permite comando de avanço e retorno do ar comprimido por meio dos comandos da válvula eletro solenoide.

As informações da montagem do sistema pneumático ajuda compreender melhor o funcionamento do carregador de fitas, conforme a Figura 56, o eixo do cilindro é acoplado na base móvel, o eixo do expulsor de fitas é fixo na base móvel e quando o cilindro é acionado, a base móvel é deslocada para baixo, conseqüentemente a barra do expulsor (Figura 24) de fitas realiza o movimento de retirar as fitas do pegador.

Figura 56 - Funcionamento do carregador de fitas



Fonte: PRÓPRIA

Contudo, ao final de todas as etapas de integração é possível obter todo o sistema elétrico estruturado na embaladora Guzzetti, conforme ilustra a Figura 57

Figura 57 - Embaladora Guzzetti montada



Fonte: PRÓPRIA

### 3.7 VALIDAÇÃO E AJUSTES

Com o sistema elétrico integrado no sistema mecânico, o maquinário da embaladora Guzzetti está pronto para entrar em funcionamento, porém as primeiras operações da máquina são realizadas para efeito de ajustes, são feitos os seguintes ajustes:

- a) ajuste na posição do gabarito guia do carregador de fitas. O gabarito guia deve estar alinhado com o carregador de fitas;
- b) ajuste na intensidade, posição e alinhamento dos sensores do gabarito guia da esteira principal. Alguns sensores estavam desalinhados e não detectavam a primeira e a última fita do gabarito guia. A intensidade dos sensores óticos deve ser calibrada para não pegar outro objeto em sua direção que não seja as fitas, como o trilho da esteira, por exemplo;
- c) ajuste da intensidade, posição, alinhamento e distância dos sensores da esteira das caixas. A distância entre os sensores deve ser no máximo do comprimento da caixa e eles devem estar suspensos de forma que não detectem os separadores das caixas fixos na esteira. Eles devem estar alinhados e posicionados para detectar apenas as caixas e devem ser calibrados para não detectar algo além da caixa como a máquina em sua frente ou o próprio operador;

- d) configuração do *servo driver X* para as posições exatas, alinhando no eixo x com o gabarito guia e com a caixa. Fazendo método de tentativa e erro para o ajuste fino da posição PUU dos servos motores, ao fim dos ajustes, as posições finais do servo motor X foram para PR 01 (alinhada com a caixa) -23990 PUU e PR 02 (alinhada com o gabarito guia -360 PUU;
- e) configuração do *servo driver Z* para alinhar no eixo z com gabarito guia, com as posições das três pilhas de fitas da caixa e do carro em suspensão. A posição PR 01 (capturando fitas no gabarito guia) é -9880 PUU, PR 05 (carro suspenso) é configurada para -2400 PUU e as três pilhas são configuradas respectivamente: PR 02 (pilha 1) -16800 PUU, PR 03 (pilha 2) -14300 PUU e PR 04 (pilha 03) -11800 PUU.

Após esses ajustes é possível colocar a máquina para realizar a operação completa e verifica-se se o maquinário possui algum bug na programação do CLP ou algum dos dispositivos não está operando da forma desejada então analisa-se se há alguma anormalidade nas conexões ou necessidade de modificações no diagrama elétrico.

Com o funcionamento do maquinário esteja correto, inicia-se a fase de validação do sistema consiste em simular testes de situações reais e eventuais sinistros que o maquinário está susceptível, são elaborados casos de testes e posteriormente executados. Os casos de testes analisados estão comentados Tabela 4.

Tabela 4 - Teste de validação do sistema elétrico da embaladora Guzzetti

Teste	Classificação do teste	Descrição	Frequência do teste
1	Funcionalidade	Ao iniciar, o carro do carregador de fitas deve estar na posição <i>homing</i>	5
2	Funcionalidade	Ao iniciar, as duas esteiras devem iniciar a rotação (esteira da caixa e esteira principal)	5
3	Funcionalidade	Carro do carregador de fitas deve capturar as fitas apenas quando o gabarito guia estiver totalmente completo de fitas	60
4	Funcionalidade	Movimento preciso do carro do carregador de fitas de forma que o carregador de fitas deve penetrar em todas as fitas do guia sem danificá-las	60
5	Funcionalidade	As fitas não podem cair do pegador de fitas durante o transporte	60
6	Funcionalidade	O carro do carregador de fitas só deve iniciar o movimento na horizontal em direção a caixa apenas quando o carro estiver suspenso	20
7	Funcionalidade	A esteira das caixas deve parar quando os dois sensores (B4 e B5) detectarem a presença da caixa	20

8	Funcionalidade	A esteira das caixas não pode parar por nenhum outro motivo que não seja a presença da caixa ou comando manual	10
9	Funcionalidade	Carro do carregador de fitas deve iniciar seu movimento no eixo Z apenas quando estiver finalizado a rotina do servo motor no eixo X	20
10	Funcionalidade	O carregador de fitas deve depositar a primeira pilha sem danificar a caixa	20
11	Funcionalidade	Após terminar o movimento do carro no eixo Z para a primeira pilha o expulsador de fitas deve ser acionado	20
12	Funcionalidade	Após a primeira e segunda rotina de depósito o carro deve suspender (eixo Z) e só então ir para a posição inicial (alinhada com o guia)	40
13	Funcionalidade	Os testes de funcionalidade 2, 3, 4, 5, 6 e 9 devem ser válidos para a segunda rotina de depósito	20
14	Funcionalidade	O carregador de fitas deve depositar a segunda pilha sem danificar a caixa e a pilha abaixo dela	20
15	Funcionalidade	Após terminar o movimento do carro no eixo Z para a segunda pilha, o expulsador de fitas deve ser acionado	20
16	Funcionalidade	Os testes de funcionalidade 2, 3, 4, 5, 6 e 9 devem ser válidos para a terceira rotina de depósito	20
17	Funcionalidade	O carregador de fitas deve depositar a terceira pilha sem danificar a caixa e as pilhas abaixo dela	20
18	Funcionalidade	Após o término do movimento do carro no eixo Z para a terceira pilha, o expulsador de fitas deve ser acionado	20
19	Funcionalidade	O expulsador de fitas deve ser capaz de retirar todas as fitas do carregador de fitas quando for acionado	60
20	Funcionalidade	Ao final da terceira rotina o carro do carregador de fitas deve voltar para a posição <i>homing</i>	20
21	Funcionalidade	Ao final da terceira rotina, a esteira das caixas deve voltar a rotacionar	20
22	Funcionalidade	Quando for pressionado o botão stop ou emergência todas as rotinas devem ser interrompidas	10
23	Funcionalidade	Após apertar resetar e iniciar, o sistema deve retornar para a posição <i>homing</i>	10
24	Funcionalidade	Após apertar parar e posteriormente iniciar o sistema deve iniciar da rotina onde parou	10
25	Funcionalidade	As sinalizações devem indicar o status da máquina (energizado, iniciar, parar e falhas)	10
26	Confiabilidade	Apertar reset durante qualquer rotina do ciclo de operação não deve interferir na rotina atual	10
27	Confiabilidade	Apertar start durante qualquer rotina do ciclo de operação não deve interferir na rotina atual	10
28	Confiabilidade	Ao acionar emergência o carro do carregador deve parar instantaneamente	10
29	Confiabilidade	Ao acionar o botão de parada o maquinário termina a rotina atual e só então parar	10
30	Confiabilidade	Ao acionar emergência só é possível iniciar a máquina após o reset	5

Caso algum dos testes falhe são feitos os ajustes finais e após a máquina está funcionando para todos os testes propostos na tabela, inicia-se a fase de *rollout* onde ocorre o desvinculo da operação manual de embalagem de fitas, de forma gradual e controlada, para a nova solução da máquina embaladora Guzzetti. Nesse período é analisado o comportamento da máquina em operações de alto volume de produção, então o monitoramento é feito de forma constante e todos os sinistros são detectados e resolvidos durante esse período, com o propósito de entregar um produto robusto e confiável.

## **4 RESULTADOS OBTIDOS**

O desenvolvimento do projeto objetiva um maquinário funcional capaz de embalar fitas adesivas em caixa de papelão de forma automática, além de entregar resultados satisfatórios no âmbito ergonômico para saúde do operador, quando comparado com a operação antiga. O resultado é dividido em resultados funcionais e resultados ergonômicos.

### **4.1 RESULTADOS FUNCIONAIS**

O objetivo da embaladora Guzzetti consiste em realizar as atividades proposta na sessão 2.2.2, onde é comentado o princípio de funcionamento esperado do maquinário. Após realizar os ajustes ao integrar com o sistema mecânico e submeter a diversos testes práticos e correções, caso algum teste falhasse, após todas correções e ajustes necessários a Embaladora Guzzetti estava apta em todos os testes realizados da Tabela 4, relacionados a funcionalidade e confiabilidade do sistema. Dessa forma, a embaladora Guzzetti de estabeleceu de forma totalmente funcional e eficiente dentro da proposta do escopo. A Figura 58 demonstra um ciclo completo de embalagem, mostrando as principais rotinas da embaladora Guzzetti.

Figura 58 - Ciclo de operação da embaladora Guzzetti



Continuação



Elevação do carro (rotina de depósito 2)



Carro alinha com a caixa (rotina de depósito 2)



Segunda pilha de depósito



Caixa embalada



Terceira pilha de depósito



Terceira rotina de pick-up



Volta para posição homing

Fim de ciclo

Fonte: Própria

## 4.2 RESULTADOS ERGONÔMICOS

Para analisar os ganhos na nova operação que o operador precisa realizar para alimentar as caixas da embaladora Guzzetti, primeiramente é necessário compreender o movimento da operação de embalagem de fitas de forma manual.

O operador possui uma pilha de caixas ao lado da mesa e uma rampa a sua frente com as fitas já rotuladas. O operador então, precisa pegar a caixa da pilha, montar a caixa, posteriormente ele deposita as fitas da rampa na caixa, por meio do movimento de pinça com os dedos podendo pegar de uma a três fitas por movimento. Após preencher as três pilhas e a caixa estiver completa, ele afasta para o seu lado esquerdo para posteriormente finalizar o fechamento da caixa. Isso pode ser visto na Figura 59

Figura 59 - Operação manual de embalagem de fitas



Fonte: Própria

Com o advento do sistema automático de embalagem de fitas da Embaladora Guzzetti, ainda há necessidade do operador, porém sua atividade possui uma carga atenuada. Com o novo sistema o operador possui apenas a tarefa de montar as caixas e colocá-la na esteira (Figura 60). Dessa forma, ele está disponível para realizar outras operações do seu posto como fechar a caixa com fita adesiva e alimentar a máquina Guzzetti.

Figura 60 - Carregamento da esteira das caixas



Fonte: Própria

Para analisar os benefícios ergonômicos da operação será aplicado o método Sue Rodger, método comentado na sessão 1.9, comparando a operação manual de embalagem de fitas com a nova operação de alimentar a esteira das caixas. Sabendo que a produção de embalagem funciona apenas no turno comercial. Primeiramente será analisado o método manual, Figura 61.

Figura 61 – Método de análise ergonômica Sue Rodgers para operação manual de embalagem de fitas

MÉTODOS SUZANE RODGERS																																																																																										
DATA	27/11/2019	AVALIADOR	Ruan		TURNO	Comercial																																																																																				
SETOR	Embalagem		POSTO	Abertura da Caixa e colocação da fita																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">SCORE</th> <th rowspan="2">PRIORIDADE</th> </tr> <tr> <th>NÍVEL DE ESFORÇO (Tabela A)</th> <th>DURAÇÃO DO ESFORÇO</th> <th>FREQUÊNCIA DO ESFORÇO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 - Baixo</td> <td>0 - 5 seg = 1</td> <td>0 - 1/min = 1</td> <td>BAIXA</td> </tr> <tr> <td>2 - Moderado</td> <td>6 - 20 seg = 2</td> <td>2 - 5/min = 2</td> <td>MODERADA</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">3 - Pesado</td> <td>+20 - 30 seg = 3</td> <td>6 - 15/min = 3</td> <td>ALTA</td> </tr> <tr> <td>&gt; 30 seg = 4</td> <td>&gt; 15/min = 4</td> <td>CRÍTICA</td> </tr> </tbody> </table>							SCORE			PRIORIDADE	NÍVEL DE ESFORÇO (Tabela A)	DURAÇÃO DO ESFORÇO	FREQUÊNCIA DO ESFORÇO	1 - Baixo	0 - 5 seg = 1	0 - 1/min = 1	BAIXA	2 - Moderado	6 - 20 seg = 2	2 - 5/min = 2	MODERADA	3 - Pesado	+20 - 30 seg = 3	6 - 15/min = 3	ALTA	> 30 seg = 4	> 15/min = 4	CRÍTICA																																																														
SCORE			PRIORIDADE																																																																																							
NÍVEL DE ESFORÇO (Tabela A)	DURAÇÃO DO ESFORÇO	FREQUÊNCIA DO ESFORÇO																																																																																								
1 - Baixo	0 - 5 seg = 1	0 - 1/min = 1	BAIXA																																																																																							
2 - Moderado	6 - 20 seg = 2	2 - 5/min = 2	MODERADA																																																																																							
3 - Pesado	+20 - 30 seg = 3	6 - 15/min = 3	ALTA																																																																																							
	> 30 seg = 4	> 15/min = 4	CRÍTICA																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">MÉTODOS SUZANE RODGERS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4"><b>RISCO BAIXO</b></td> </tr> <tr> <td>111</td> <td>122</td> <td colspan="2">221</td> </tr> <tr> <td>112</td> <td>131</td> <td colspan="2">311</td> </tr> <tr> <td>113</td> <td colspan="3">211</td> </tr> <tr> <td>121</td> <td colspan="3">212</td> </tr> <tr> <td colspan="4"><b>RISCO MODERADO</b></td> </tr> <tr> <td>123</td> <td>213</td> <td colspan="2">232</td> </tr> <tr> <td>132</td> <td>222</td> <td colspan="2">233</td> </tr> <tr> <td>133</td> <td>231</td> <td colspan="2">312</td> </tr> <tr> <td colspan="4"><b>RISCO ALTO</b></td> </tr> <tr> <td>223</td> <td>321</td> <td colspan="2">333</td> </tr> <tr> <td>313</td> <td colspan="3">322</td> </tr> <tr> <td colspan="4"><b>RISCO ALTÍSSIMO</b></td> </tr> <tr> <td>114</td> <td>214</td> <td colspan="2">314</td> </tr> <tr> <td>124</td> <td>224</td> <td colspan="2">334</td> </tr> <tr> <td>134</td> <td>234</td> <td colspan="2">341</td> </tr> <tr> <td>141</td> <td>241</td> <td colspan="2">342</td> </tr> <tr> <td>142</td> <td>242</td> <td colspan="2">343</td> </tr> <tr> <td>143</td> <td>243</td> <td colspan="2">344</td> </tr> <tr> <td>144</td> <td colspan="3">244</td> </tr> </tbody> </table>							MÉTODOS SUZANE RODGERS				<b>RISCO BAIXO</b>				111	122	221		112	131	311		113	211			121	212			<b>RISCO MODERADO</b>				123	213	232		132	222	233		133	231	312		<b>RISCO ALTO</b>				223	321	333		313	322			<b>RISCO ALTÍSSIMO</b>				114	214	314		124	224	334		134	234	341		141	241	342		142	242	343		143	243	344		144	244		
MÉTODOS SUZANE RODGERS																																																																																										
<b>RISCO BAIXO</b>																																																																																										
111	122	221																																																																																								
112	131	311																																																																																								
113	211																																																																																									
121	212																																																																																									
<b>RISCO MODERADO</b>																																																																																										
123	213	232																																																																																								
132	222	233																																																																																								
133	231	312																																																																																								
<b>RISCO ALTO</b>																																																																																										
223	321	333																																																																																								
313	322																																																																																									
<b>RISCO ALTÍSSIMO</b>																																																																																										
114	214	314																																																																																								
124	224	334																																																																																								
134	234	341																																																																																								
141	241	342																																																																																								
142	242	343																																																																																								
143	243	344																																																																																								
144	244																																																																																									
PESCOÇO																																																																																										
OMBRO Direito	2	2	2	MODERADA																																																																																						
OMBRO Esquerdo	1	2	2	BAIXA																																																																																						
TRONCO																																																																																										
BRAÇO/ANTEBRAÇO Direito	2	2	2	MODERADA																																																																																						
BRAÇO/ANTEBRAÇO Esquerdo	1	2	2	BAIXA																																																																																						
MÃO/PUNHO/DEDOS Direito	2	2	3	ALTA																																																																																						
MÃO/PUNHO/DEDOS Esquerdo	2	2	2	MODERADA																																																																																						
PERNA/JOELHO Direito																																																																																										
PERNA/JOELHO Esquerdo																																																																																										
TORNOZELO/PÉ/DEDOS Direito																																																																																										
TORNOZELO/PÉ/DEDOS Esquerdo																																																																																										
<b>NÍVEL DE ESFORÇO - TABELA A</b>																																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>BAIXO ( 0 - 30% )</th> <th>MODERADO ( 30 - 70% )</th> <th>PESADO ( 70 - 100% )</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>PESCOÇO</b></td> <td>A cabeça gira parcialmente. A cabeça está ligeiramente para frente.</td> <td>A cabeça gira totalmente para o lado. A cabeça está totalmente para trás. A cabeça está para frente aprox. 20°.</td> <td>Igual ao moderado porém com aplicação de força. A cabeça está flexionada acima de 20°.</td> </tr> <tr> <td><b>OMBROS</b></td> <td>Braços ligeiramente abduzidos. Braços estendidos com algum suporte.</td> <td>Braços abduzidos sem suporte. Braços flexionados (nível do ombro).</td> <td>Aplica força ou sustenta pesos com os braços separados do corpo.</td> </tr> <tr> <td><b>TRONCO</b></td> <td>Inclina ligeiramente para o lado. Flexiona ligeiramente o tronco.</td> <td>Flexiona para frene sem carga. Levanta carga de peso moderado próximo ao corpo. Trabalha próximo ao nível da cabeça.</td> <td>Levantando ou aplicando força com rotação. Grande força com flexão do tronco.</td> </tr> <tr> <td><b>BRAÇOS ANTEBRAÇOS</b></td> <td>Braços ligeiramente afastados do corpo sem carga. Aplicação de pouca força ou levantando pequena carga próximo ao corpo (&lt; ou = 1 Kg).</td> <td>Rotação do brço, exigindo força moderada (1 &lt; F &lt; ou = 2,5 Kg).</td> <td>Aplicação de grande força com rotação. Levantamento de carga com os braços estendido (F &gt; 2 Kg).</td> </tr> <tr> <td><b>MÃOS PUNHOS DEDOS</b></td> <td>Aplicação de pequena força em objetos próximos ao corpo. Punho reto, com aplicação de força para agarre pequena (F &lt; ou = 1 Kg).</td> <td>Área de agarre graned ou estreita. Moderado ângulo do punho especialmente em flexão. Uso de luvas com força moderada (1 &lt; F &lt; ou = 2,5 Kg).</td> <td>Pinçamento com os dedos. Punho angulado com força (F &gt; 1 Kg). Superfície escorregadia (F &gt; 2 Kg).</td> </tr> <tr> <td><b>PERNAS JOELHOS</b></td> <td>Parado, caminhando sem flexionar-se. Peso do corpo sobre so dois pés.</td> <td>Flexão para frente. Inclinar-se sobre a mesa de trabalho. Peso do corpo sobre um pé. Girar o corpo sem exercer força.</td> <td>Exercendo grandes forças para levantamento de algum objeto. Agachar-se exercendo força.</td> </tr> <tr> <td><b>TORNOZELOS PÉS DEDOS</b></td> <td>Parado, caminhando sem flexionar-se. Peso do corpo sobre so dois pés.</td> <td>Flexão para frente Inclinar-se sobre a mesa de trabalho. Peso do corpo sobre um pé Girar o corpo sem exercer força.</td> <td>Exercendo grandes forças para levantamento de algum objeto. Agachar-se exercendo força.</td> </tr> </tbody> </table>								BAIXO ( 0 - 30% )	MODERADO ( 30 - 70% )	PESADO ( 70 - 100% )	<b>PESCOÇO</b>	A cabeça gira parcialmente. A cabeça está ligeiramente para frente.	A cabeça gira totalmente para o lado. A cabeça está totalmente para trás. A cabeça está para frente aprox. 20°.	Igual ao moderado porém com aplicação de força. A cabeça está flexionada acima de 20°.	<b>OMBROS</b>	Braços ligeiramente abduzidos. Braços estendidos com algum suporte.	Braços abduzidos sem suporte. Braços flexionados (nível do ombro).	Aplica força ou sustenta pesos com os braços separados do corpo.	<b>TRONCO</b>	Inclina ligeiramente para o lado. Flexiona ligeiramente o tronco.	Flexiona para frene sem carga. Levanta carga de peso moderado próximo ao corpo. Trabalha próximo ao nível da cabeça.	Levantando ou aplicando força com rotação. Grande força com flexão do tronco.	<b>BRAÇOS ANTEBRAÇOS</b>	Braços ligeiramente afastados do corpo sem carga. Aplicação de pouca força ou levantando pequena carga próximo ao corpo (< ou = 1 Kg).	Rotação do brço, exigindo força moderada (1 < F < ou = 2,5 Kg).	Aplicação de grande força com rotação. Levantamento de carga com os braços estendido (F > 2 Kg).	<b>MÃOS PUNHOS DEDOS</b>	Aplicação de pequena força em objetos próximos ao corpo. Punho reto, com aplicação de força para agarre pequena (F < ou = 1 Kg).	Área de agarre graned ou estreita. Moderado ângulo do punho especialmente em flexão. Uso de luvas com força moderada (1 < F < ou = 2,5 Kg).	Pinçamento com os dedos. Punho angulado com força (F > 1 Kg). Superfície escorregadia (F > 2 Kg).	<b>PERNAS JOELHOS</b>	Parado, caminhando sem flexionar-se. Peso do corpo sobre so dois pés.	Flexão para frente. Inclinar-se sobre a mesa de trabalho. Peso do corpo sobre um pé. Girar o corpo sem exercer força.	Exercendo grandes forças para levantamento de algum objeto. Agachar-se exercendo força.	<b>TORNOZELOS PÉS DEDOS</b>	Parado, caminhando sem flexionar-se. Peso do corpo sobre so dois pés.	Flexão para frente Inclinar-se sobre a mesa de trabalho. Peso do corpo sobre um pé Girar o corpo sem exercer força.	Exercendo grandes forças para levantamento de algum objeto. Agachar-se exercendo força.																																																				
	BAIXO ( 0 - 30% )	MODERADO ( 30 - 70% )	PESADO ( 70 - 100% )																																																																																							
<b>PESCOÇO</b>	A cabeça gira parcialmente. A cabeça está ligeiramente para frente.	A cabeça gira totalmente para o lado. A cabeça está totalmente para trás. A cabeça está para frente aprox. 20°.	Igual ao moderado porém com aplicação de força. A cabeça está flexionada acima de 20°.																																																																																							
<b>OMBROS</b>	Braços ligeiramente abduzidos. Braços estendidos com algum suporte.	Braços abduzidos sem suporte. Braços flexionados (nível do ombro).	Aplica força ou sustenta pesos com os braços separados do corpo.																																																																																							
<b>TRONCO</b>	Inclina ligeiramente para o lado. Flexiona ligeiramente o tronco.	Flexiona para frene sem carga. Levanta carga de peso moderado próximo ao corpo. Trabalha próximo ao nível da cabeça.	Levantando ou aplicando força com rotação. Grande força com flexão do tronco.																																																																																							
<b>BRAÇOS ANTEBRAÇOS</b>	Braços ligeiramente afastados do corpo sem carga. Aplicação de pouca força ou levantando pequena carga próximo ao corpo (< ou = 1 Kg).	Rotação do brço, exigindo força moderada (1 < F < ou = 2,5 Kg).	Aplicação de grande força com rotação. Levantamento de carga com os braços estendido (F > 2 Kg).																																																																																							
<b>MÃOS PUNHOS DEDOS</b>	Aplicação de pequena força em objetos próximos ao corpo. Punho reto, com aplicação de força para agarre pequena (F < ou = 1 Kg).	Área de agarre graned ou estreita. Moderado ângulo do punho especialmente em flexão. Uso de luvas com força moderada (1 < F < ou = 2,5 Kg).	Pinçamento com os dedos. Punho angulado com força (F > 1 Kg). Superfície escorregadia (F > 2 Kg).																																																																																							
<b>PERNAS JOELHOS</b>	Parado, caminhando sem flexionar-se. Peso do corpo sobre so dois pés.	Flexão para frente. Inclinar-se sobre a mesa de trabalho. Peso do corpo sobre um pé. Girar o corpo sem exercer força.	Exercendo grandes forças para levantamento de algum objeto. Agachar-se exercendo força.																																																																																							
<b>TORNOZELOS PÉS DEDOS</b>	Parado, caminhando sem flexionar-se. Peso do corpo sobre so dois pés.	Flexão para frente Inclinar-se sobre a mesa de trabalho. Peso do corpo sobre um pé Girar o corpo sem exercer força.	Exercendo grandes forças para levantamento de algum objeto. Agachar-se exercendo força.																																																																																							

Fonte: Própria

Com base nos dados da análise observa-se prioridade de mudança moderado e alto para mãos punhos e dedos, sobretudo dos membros do lado direito (risco alto). Ombros, braços e antebraço, também foram membros afetados, com mais evidência no lado direito, com prioridade moderado para esses membros.

O mesmo método é feito para a operação de carregamento da esteira das caixas, após a instalação da embaladora Guzzetti, Figura 62.

Figura 62 - Método de análise ergonômica Sue Rodgers para operação de carregamento da esteira das caixas

MÉTODOS SUZANE RODGERS																																																																														
DATA	27/11/2019	AVALIADOR	Ruan Teixeira		TURNO	Comercial																																																																								
SETOR	Embalagem		POSTO	Alimentação da esteira das caixas																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">SCORE</th> <th rowspan="2">PRIORIDADE</th> </tr> <tr> <th>NÍVEL DE ESFORÇO (Tabela A)</th> <th>DURAÇÃO DO ESFORÇO</th> <th>FREQUÊNCIA DO ESFORÇO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 - Baixo</td> <td>0 - 5 seg = 1</td> <td>0 - 1/min = 1</td> <td>BAIXA</td> </tr> <tr> <td>2 - Moderado</td> <td>6 - 20 seg = 2</td> <td>2 - 5/min = 2</td> <td>MODERADA</td> </tr> <tr> <td>3 - Pesado</td> <td>+20 - 30 seg = 3</td> <td>6 - 15/min = 3</td> <td>ALTA</td> </tr> <tr> <td></td> <td>&gt; 30 seg = 4</td> <td>&gt; 15/min = 4</td> <td>CRÍTICA</td> </tr> </tbody> </table>						SCORE			PRIORIDADE	NÍVEL DE ESFORÇO (Tabela A)	DURAÇÃO DO ESFORÇO	FREQUÊNCIA DO ESFORÇO	1 - Baixo	0 - 5 seg = 1	0 - 1/min = 1	BAIXA	2 - Moderado	6 - 20 seg = 2	2 - 5/min = 2	MODERADA	3 - Pesado	+20 - 30 seg = 3	6 - 15/min = 3	ALTA		> 30 seg = 4	> 15/min = 4	CRÍTICA	<b>MÉTODOS SUZANE RODGERS</b>  <b>RISCO BAIXO</b> 111 122 221 112 131 311 113 211 121 212																																																	
SCORE			PRIORIDADE																																																																											
NÍVEL DE ESFORÇO (Tabela A)	DURAÇÃO DO ESFORÇO	FREQUÊNCIA DO ESFORÇO																																																																												
1 - Baixo	0 - 5 seg = 1	0 - 1/min = 1	BAIXA																																																																											
2 - Moderado	6 - 20 seg = 2	2 - 5/min = 2	MODERADA																																																																											
3 - Pesado	+20 - 30 seg = 3	6 - 15/min = 3	ALTA																																																																											
	> 30 seg = 4	> 15/min = 4	CRÍTICA																																																																											
<table border="1"> <tr><td>PESCOÇO</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>OMBRO Direito</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>BAIXA</td><td></td></tr> <tr><td>OMBRO Esquerdo</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>BAIXA</td><td></td></tr> <tr><td>TRONCO</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>BRAÇO/ANTEBRAÇO Direito</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>BAIXA</td><td></td></tr> <tr><td>BRAÇO/ANTEBRAÇO Esquerdo</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>BAIXA</td><td></td></tr> <tr><td>MÃO/PUNHO/DEDOS Direito</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>BAIXA</td><td></td></tr> <tr><td>MÃO/PUNHO/DEDOS Esquerdo</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>BAIXA</td><td></td></tr> <tr><td>PERNA/JOELHO Direito</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>PERNA/JOELHO Esquerdo</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>TORNOZELO/PÉ/DEDOS Direito</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>TORNOZELO/PÉ/DEDOS Esquerdo</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>						PESCOÇO						OMBRO Direito	2	1	2	BAIXA		OMBRO Esquerdo	1	2	2	BAIXA		TRONCO						BRAÇO/ANTEBRAÇO Direito	2	1	2	BAIXA		BRAÇO/ANTEBRAÇO Esquerdo	1	2	2	BAIXA		MÃO/PUNHO/DEDOS Direito	2	1	2	BAIXA		MÃO/PUNHO/DEDOS Esquerdo	2	1	2	BAIXA		PERNA/JOELHO Direito						PERNA/JOELHO Esquerdo						TORNOZELO/PÉ/DEDOS Direito						TORNOZELO/PÉ/DEDOS Esquerdo						<b>RISCO MODERADO</b> 123 213 232 132 222 233 133 231 312
PESCOÇO																																																																														
OMBRO Direito	2	1	2	BAIXA																																																																										
OMBRO Esquerdo	1	2	2	BAIXA																																																																										
TRONCO																																																																														
BRAÇO/ANTEBRAÇO Direito	2	1	2	BAIXA																																																																										
BRAÇO/ANTEBRAÇO Esquerdo	1	2	2	BAIXA																																																																										
MÃO/PUNHO/DEDOS Direito	2	1	2	BAIXA																																																																										
MÃO/PUNHO/DEDOS Esquerdo	2	1	2	BAIXA																																																																										
PERNA/JOELHO Direito																																																																														
PERNA/JOELHO Esquerdo																																																																														
TORNOZELO/PÉ/DEDOS Direito																																																																														
TORNOZELO/PÉ/DEDOS Esquerdo																																																																														
<table border="1"> <tr><td>BRAÇO/ANTEBRAÇO Direito</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>BAIXA</td><td></td></tr> <tr><td>BRAÇO/ANTEBRAÇO Esquerdo</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>BAIXA</td><td></td></tr> <tr><td>MÃO/PUNHO/DEDOS Direito</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>BAIXA</td><td></td></tr> <tr><td>MÃO/PUNHO/DEDOS Esquerdo</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>BAIXA</td><td></td></tr> <tr><td>PERNA/JOELHO Direito</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>PERNA/JOELHO Esquerdo</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>TORNOZELO/PÉ/DEDOS Direito</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>TORNOZELO/PÉ/DEDOS Esquerdo</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>						BRAÇO/ANTEBRAÇO Direito	2	1	2	BAIXA		BRAÇO/ANTEBRAÇO Esquerdo	1	2	2	BAIXA		MÃO/PUNHO/DEDOS Direito	2	1	2	BAIXA		MÃO/PUNHO/DEDOS Esquerdo	2	1	2	BAIXA		PERNA/JOELHO Direito						PERNA/JOELHO Esquerdo						TORNOZELO/PÉ/DEDOS Direito						TORNOZELO/PÉ/DEDOS Esquerdo						<b>RISCO ALTO</b> 223 321 333 313 322																								
BRAÇO/ANTEBRAÇO Direito	2	1	2	BAIXA																																																																										
BRAÇO/ANTEBRAÇO Esquerdo	1	2	2	BAIXA																																																																										
MÃO/PUNHO/DEDOS Direito	2	1	2	BAIXA																																																																										
MÃO/PUNHO/DEDOS Esquerdo	2	1	2	BAIXA																																																																										
PERNA/JOELHO Direito																																																																														
PERNA/JOELHO Esquerdo																																																																														
TORNOZELO/PÉ/DEDOS Direito																																																																														
TORNOZELO/PÉ/DEDOS Esquerdo																																																																														
<table border="1"> <tr><td>MÃO/PUNHO/DEDOS Direito</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>BAIXA</td><td></td></tr> <tr><td>MÃO/PUNHO/DEDOS Esquerdo</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>BAIXA</td><td></td></tr> <tr><td>PERNA/JOELHO Direito</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>PERNA/JOELHO Esquerdo</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>TORNOZELO/PÉ/DEDOS Direito</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>TORNOZELO/PÉ/DEDOS Esquerdo</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>						MÃO/PUNHO/DEDOS Direito	2	1	2	BAIXA		MÃO/PUNHO/DEDOS Esquerdo	2	1	2	BAIXA		PERNA/JOELHO Direito						PERNA/JOELHO Esquerdo						TORNOZELO/PÉ/DEDOS Direito						TORNOZELO/PÉ/DEDOS Esquerdo						<b>RISCO ALTÍSSIMO</b> 114 214 314 124 224 334 134 234 341 141 241 342 142 242 343 143 243 344 144 244																																				
MÃO/PUNHO/DEDOS Direito	2	1	2	BAIXA																																																																										
MÃO/PUNHO/DEDOS Esquerdo	2	1	2	BAIXA																																																																										
PERNA/JOELHO Direito																																																																														
PERNA/JOELHO Esquerdo																																																																														
TORNOZELO/PÉ/DEDOS Direito																																																																														
TORNOZELO/PÉ/DEDOS Esquerdo																																																																														
<b>NÍVEL DE ESFORÇO - TABELA A</b>																																																																														
BAIXO ( 0 - 30% )		MODERADO ( 30 - 70% )		PESADO ( 70 - 100% )																																																																										
PESCOÇO	A cabeça gira parcialmente. A cabeça está ligeiramente para frente.	A cabeça gira totalmente para o lado. A cabeça está totalmente para trás. A cabeça está para frente aprox. 20°.	Igual ao moderado porém com aplicação de força. A cabeça está flexionada acima de 20°.																																																																											
OMBROS	Braços ligeiramente abduzidos. Braços estendidos com algum suporte.	Braços abduzidos sem suporte. Braços flexionados (nível do ombro).	Aplica força ou sustenta pesos com os braços separados do corpo.																																																																											
TRONCO	Inclina ligeiramente para o lado. Flexiona ligeiramente o tronco.	Flexiona para frente sem carga. Levanta carga de peso moderado próximo ao corpo. Trabalha próximo ao nível da cabeça.	Levantando ou aplicando força com rotação. Grande força com flexão do tronco.																																																																											
BRAÇOS ANTEBRAÇOS	Braços ligeiramente afastados do corpo sem carga. Aplicação de pouca força ou levantando pequena carga próximo ao corpo (< ou = 1 Kg).	Rotação do brço, exigindo força moderada (1 < F < ou = 2,5 Kg).	Aplicação de grande força com rotação. Levantamento de carga com os braços estendido (F > 2 Kg).																																																																											
MÃOS PUNHOS DEDOS	Aplicação de pequena força em objetos próximos ao corpo. Punho reto, com aplicação de força para agarre pequena (F < ou = 1 Kg).	Área de agarre grande ou estreita. Moderado ângulo do punho especialmente em flexão. Uso de luvas com força moderada (1 < F < ou 2,5 Kg).	Pinçamento com os dedos. Punho angulado com força (F > 1 Kg). Superfície escorregadia (F > 2 Kg).																																																																											
PERNAS JOELHOS	Parado, caminhando sem flexionar-se. Peso do corpo sobre so dois pés.	Flexão para frente. Inclinar-se sobre a mesa de trabalho. Peso do corpo sobre um pé. Girar o corpo sem exercer força.	Exercendo grandes forças para levantamento de algum objeto. Agachar-se exercendo força.																																																																											
TORNOZELOS PÉS DEDOS	Parado, caminhando sem flexionar-se. Peso do corpo sobre so dois pés.	Flexão para frente Inclinar-se sobre a mesa de trabalho. Peso do corpo sobre um pé Girar o corpo sem exercer força.	Exercendo grandes forças para levantamento de algum objeto. Agachar-se exercendo força.																																																																											

Fonte: Própria

Com a instalação da máquina, a nova operação se tornou menos nociva a saúde do operador, onde todas as operações apresentaram prioridade de mudança baixa. Os principais fatores para essa mudança são: a operação manual exigia alocação de 6800 a 10800 fitas nas caixas durante um turno, além do movimento de abertura da caixa, já a nova operação de apenas montar caixas e carregar a esteira são necessárias apenas 720 repetições por turno. Outro fator é que foi eliminado movimento de pinça com as mãos e dedos, que podem eventualmente levar à uma DORT, como cistos sinoviais e síndrome de túnel de carpo.

## CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos no desenvolvimento desse trabalho conclui-se que foi possível desenvolver e implementar o sistema elétrico de uma solução automática de embalagem de fitas adesiva, visto que o maquinário estava apto em todos os testes propostos de funcionalidade e confiabilidade. A solução de embalagem de fitas estava funcional e robusta para deslocar as fitas de fim de produção de uma esteira principal para caixas de papelão padrão, de forma totalmente autônoma. Ao fim, a máquina é capaz de trabalhar em regime de alto volume de produção e gradualmente está sendo implementada no ambiente fabril até substituir totalmente a operação manual de embalagem de fitas.

O sistema de embalagem de fitas automática também apresentou resultados satisfatórios na sua proposta de oferecer melhores condições de trabalho para o operador do posto de embalagem de fitas ao realocar da atividade de embalagem manual para uma atividade com menos ciclos e menos nocivo a fisiologia do trabalhador, que consiste em montar caixas de papelão e depositá-las em uma esteira. Isso pode ser comprovado ao ser feito o comparativo da análise ergonômica de Suzanne Rodgers da operação anterior e posterior à implementação da automação industrial, foi evidenciado uma atenuação significativa na prioridade de mudança da nova rotina de trabalho.

Foram encontradas algumas dificuldades no desenvolvimento do projeto, principalmente na programação do CLP, o programa precisa prever diversas situações que eventualmente podem ocorrer quando a solução estiver em produção, de forma que a máquina ofereça confiabilidade e não venha danificar a solução mecânica ou simplesmente não consiga realizar as rotinas previstas no escopo do projeto. A integração com o sistema mecânico também necessitou de um esforço particular, sobretudo, devido aos ajustes finais, visando conseguir realizar os ciclos de embalagem de forma exata.

O trabalho está sujeito a continuidade, principalmente, na parte no desenvolvimento de protocolos de comunicação. A solução possibilita trabalhar com protocolo RS-485, comunicando, por exemplo, com inversores de frequência ou com uma Interface Homem Máquina, que pode ser implementada futuramente para melhorar o controle e monitoramento do equipamento. Além disso é possível utilizar protocolos de rede para obter as informações da máquina em base de dados e possibilidade de controle da máquina de forma remota, podendo se adequar a arquiteturas da Indústria 4.0.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, 1996. **NBR 13759**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABNT, 2014. **ABNT NBR 5410**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABNT, 2014. **ABNT NBR IEC 60947-3**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABRAHÃO, J., SZNELWAR, L., SILVINO, A. & SARMET, M., 2009. *Introdução à Ergonomia da prática à teoria*. São Paulo: Blucher.

BERNARD, T. E., 2006. Rodgers Muscle Fatigue Analysis. 29 Dezembro, pp. 1-3.

CHAPMAN, S. J., 2013. *Fundamentos de Máquinas Elétricas*. 5° ed. Porto Alegre: AMGH.

CREDER, H., 2007. *Instalações Elétricas*. 15° ed. Rio de Janeiro: LTC.

DELTA ELECTRONIC, 2011. **VFD-L User Manual**. [Online] Available at: [www.delta.com.tw/industrialautomation](http://www.delta.com.tw/industrialautomation) [Acesso em Novembro 2019].

DELTA ELECTRONICS, 2014. **Delta High Resolution AC Servo Drive for Network Communication Applications ASDA-A2 Series User Manual**. [Online] Available at: [www.delta.com.tw/ia](http://www.delta.com.tw/ia) [Acesso em Novembro 2019].

ELETRONICSHUB, 2015. **Servo Motor – Types and Working Principle**. [Online] Available at: <https://www.electronicshub.org/servo-motors/> [Acesso em 26 05 2019].

FERRAZ, R., Iurinic, L., Filomena, A. & Bretas, A., 2012. **Park's transformation analytical approach of transient**. *2012 North American Power Symposium (NAPS)*, pp. 1-6.

FITZGERALD, A. & UMANS, S. D., 2006. *Máquinas Elétricas*. 6° ed. São Paulo: Bookman.

FRANCHI, C., 2013. *Inversores de frequência*. 2° ed. São Paulo: Érica.

FRANCHI, C. M., 2008. *Acionamento Elétricos*. São Paulo: Érica.

GROOVER, M. P., 2007. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing 3rd*. New Jersey: Prentice Hall Press Upper Saddle River.

HEDELING, M. & JACKSON, M., 2011. **How to improve the use of industrial robots in lean manufacturing systems**. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

HELFENSTEIN, J. M., 1998. *Lesão por esforços repetitivos (LER/ DORT) conceitos básicos*. 3 ed. São Paulo: Shering-Prough.

IEA, 2000. *International Ergonomics Association*. [Online] Available at: <https://www.iea.cc/> [Acesso em 12 Novembro 2019].

IEEE, 1997. *IEEE Recommended Practice for Applying Low-Voltage Circuit Breakers Used in Industrial and Commercial Power Systems*. Nova Iorc, ISBN.

JAMES, H. M. & NICHOLS, N. B., 1947. *THEORY OF SERVOMECHANISMS*. 1º ed. Nova York: McGraw -Hill.

KRAUSE, P. C., WASYNCZUK, O. & SUDROFF, S. D., 2002. *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*. New York: IEEE PRESS.

LONG, Z., XUEWEN, W., DENG, Z. & RAN, R., 2012. Design of AC Servo Motor Control System based on XC164CM Microcontroller. *2012 International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering*, pp. 1-3.

MT, 2015. *Secretaria de Trabalho Ministério da Economia*. [Online] Available at: [www.trabalho.gov.br](http://www.trabalho.gov.br) [Acesso em 15 Novembro 2019].

NEUMANN, W. P., KIHLEBERG, S., MEDBO, P. & WINKEL, J., 2010. **A case study evaluating the ergonomic and productivity impacts of partial automation strategies in the electronics industry**. *International Journal of Production Research*, pp. 1-15.

NICOLETTI, S., 1996. *LER. Lesão por esforço repetitivo: literatura técnica continuada*. São Paulo: Bristol-Myers Squibb.

OPENELECTRICAL, 2017. *Clarke Transform.* [Online]  
Available at: [https://wiki.openelectrical.org/index.php?title=Clarke\\_Transform](https://wiki.openelectrical.org/index.php?title=Clarke_Transform)  
[Acesso em 11 2019].

OPENELECTRICAL, 2017. *Dq0 Transform.* [Online]  
[Acesso em Novembro 2019].

PANASONIC, 2014. *Panasonic Electric works.* [Online]  
Available at: <https://www.panasonic-electric-works.com/eu/>  
[Acesso em 20 05 2019].

PETRUZELLA, D. F., 2014. *Controladores Lógicos Programáveis.* 4º ed. Porto Alegre: ABDR.

RODGERS, S. H., 1998. **Job evaluation in worker fitness determination.** *Occupational Medicine: Start of the Art Review.*

## **APÊNDICE A – PROGRAMA EM LADDER DO CLP**

O programa em Ladder do Controlador Lógico Programável utilizado no projeto poder ser encontrado no formato PDF e ISP (formato da plataforma do fabricante, ISPsoft) em repositório aberto conforme o endereço e o QR Code: <https://github.com/ruanteixeira/TCC.git>.

