

Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Blumenau  
Departamento de Engenharia de  
Controle e Automação e Computação



André Luiz Granemann

Desenvolvimento de um sistema robotizado de encaixotamento  
de potes para uma empresa de produtos lácteos

Blumenau  
2020

**André Luiz Granemann**

**Desenvolvimento de um sistema robotizado de  
encaixotamento de potes para uma empresa de  
produtos lácteos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Engenheiro de Controle e Automação.  
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Mejia Rincon

Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Blumenau  
Departamento de Engenharia de  
Controle e Automação e Computação

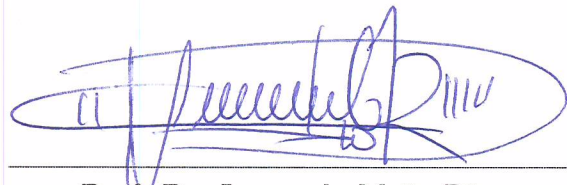
Blumenau  
2020

André Luiz Granemann

# Desenvolvimento de um sistema robotizado de encaixotamento de potes para uma empresa de produtos lácteos

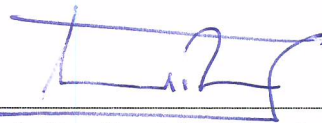
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Comissão Examinadora



---

Prof. Dr. Leonardo Mejia Rincon  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Orientador



---

Prof. Dr. Daniel Alejandro Ponce Saldías  
Universidade Federal de Santa Catarina



---

Prof. Dr. Ebrahim Samer El Youssef  
Universidade Federal de Santa Catarina

Blumenau, 28 de fevereiro de 2020

Dedico este trabalho a minha família, amigos, professores  
e todos que me ajudaram de alguma forma.

# Agradecimentos

Agradeço a Deus pela minha vida, a minha família, principalmente ao meu pai Giovani e à minha mãe Eliziane por serem meus exemplos e sempre me apoiarem até aqui e à minha madrinha Liliane por me acolher e me ajudar nos primeiros anos da graduação. Agradeço também ao meu orientador Leonardo Mejia Rincon pelo seu auxílio e seus ensinamentos, aos professores que puderam contribuir para o meu conhecimento e aos meus amigos pelos bons momentos dentro e fora da universidade e pelas grandes experiências compartilhadas. Finalmente, eu gostaria de agradecer a empresa Torfresma Industrial pela oportunidade de desenvolver este trabalho, especialmente pelo auxílio do Bruno Quaresma Leonardo e dos demais colegas da empresa e também agradecer a Universidade Federal de Santa Catarina Campus Blumenau pela sua excelente qualidade de ensino.

*"Ter um sonho grande dá o mesmo trabalho que ter um sonho pequeno"*  
(Jorge Paulo Lemann)

# Resumo

Nas últimas décadas a robótica passou a ser uma realidade no atual mercado produtivo, tornando-se o centro do que hoje conhecemos como células de trabalho robotizadas. Células de trabalho robotizadas são estruturas multifuncionais em que um ou vários robôs industriais interagem com outros equipamentos (esteiras, alimentadores, máquinas CNC, etc.) a fim de realizar operações, como soldagem, pintura ou operações de *pick & place*. A partir disso, o presente trabalho apresenta os principais resultados obtidos e os procedimentos realizados no projeto e implementação de uma célula de trabalho robotizada para o encaixotamento de produtos lácteos de acordo com uma receita de produção preestabelecida. Essa célula de encaixotamento robotizada é constituída de dois subsistemas para facilitar o seu funcionamento e operação. Os subsistemas que constituem a estrutura dela são a formadora de caixas e a encaixotadora. Um dos principais atores da célula é um robô industrial cuja tarefa é a de realizar a acomodação dos produtos dentro de caixas utilizando a capacidade de *pick & place* presente nos sistemas robotizados. O controle do sistema é realizado por vários Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) que determinam a lógica de funcionamento e coordenam todas as ações da célula de encaixotamento robotizado. Este documento apresenta também, as principais rotinas de programação de cada um desses controladores junto com as suas interfaces de usuário (IHM). A empresa de produtos lácteos para a qual foi projetada a célula de encaixotamento robotizada, e cujo nome será mantido sob sigilo, produz mais de 200 tipos de produtos diferentes, dentre eles o creme e a manteiga, produtos estes que foram selecionados para serem encaixotados pela célula projetada. Atualmente o processo de encaixotamento é executado manualmente por 12 operários e a uma velocidade muito inferior à velocidade de produção e envasamento dos produtos, motivo pelo qual pode se argumentar a grande relevância da implementação da solução proposta, já que esse sistema aumentará significativamente a produção e reduzirá o número de operários na tarefa manual, para que eles possam ser reposicionados e qualificados para tarefas mais importantes.

**Palavras-Chave:** 1. Célula de encaixotamento. 2. Automação. 3. Robótica. 4.

Controlador Lógico Programável.

# Abstract

In the last decades, robotics has become an reality in the current productive market, becoming the center of what we now know as robotic work cells. Robotic work cells are multifunctional structures in which one or more industrial robots interact with many other equipment (conveyors, feeders, CNC machines, etc.) in order to perform operations such as welding, painting or *pick & place*. From that, this work presents the main results obtained and the procedures carried out in the design and implementation of a robotic work cell aimed for the packaging of dairy products according to a pre-established production recipe. This robotic packing cell consists of two subsystems to facilitate its operation and operation. The subsystems that make up its structure are the box former and the boxer. One of the main actors in the cell is an industrial robot whose task is to carry out the accommodation of products inside boxes using the *pick & place* capacity present in robotic systems. The control of the system is carried out by several Programmable Logic Controllers (PLCs) that determine the operating logic and coordinate all the actions of the robotic boxing cell. This document also presents the main programming routines for each of these controllers together with their user interfaces (HMI). The dairy company for which the packaging robotic cell was designed, and whose name will be kept secret, produces more than 200 different types of products, including cream and butter, products that were selected to be boxed by projected cell. Currently, the boxing process is performed manually by 12 workers and at a much lower speed than the production and filling speed of the products, which is why it is possible to argue the great relevance of implementing the proposed solution, since this system will significantly increase production and it will reduce the number of workers in the manual task, so that they can be repositioned and qualified for more important tasks.

**Keywords:** 1. Packaging cell. 2. Automation. 3. Robotics. 4. Programmable Logic Controller



# Lista de figuras

Figura 1 – Componentes de um sistema robótico (Figura adaptada de [1]). . . . .	22
Figura 2 – Elos e juntas de um robô. . . . .	23
Figura 3 – Classificação de manipuladores seriais de acordo com a estrutura cinemática. . . . .	25
Figura 4 – Robô articulado ABB IRB 2600. . . . .	28
Figura 5 – Controlador IRC5. . . . .	29
Figura 6 – Unidade Central de Processamento de Um CLP. . . . .	31
Figura 7 – Exemplo de endereçamento de entradas e saídas de um CLP. . . . .	32
Figura 8 – Ciclo de varredura de um programa para um CLP (Adaptado de [2]). . . . .	33
Figura 9 – Programação linear e estruturada em um CLP. . . . .	35
Figura 10 – Sistema SIMATIC S7-1200 . . . . .	36
Figura 11 – Módulos de um CLP SIMATIC S7-1200: a) Módulos de comunicação, b) Modulo da UPC, c) Módulos de expansão de entradas e saídas . . . . .	37
Figura 12 – HMI Basic Panels. . . . .	37
Figura 13 – Interface gráfica TIA Portal. . . . .	38
Figura 14 – Piramide da Automação. . . . .	39
Figura 15 – a) Sensor fotoelétrico WTB11-2P2461; b) Sensor fotoelétrico VTB180-2F32412 . . . . .	40
Figura 16 – Chave de segurança magnética RE13-SAC. . . . .	40
Figura 17 – Motor elétrico SEW Eurodrive. . . . .	41
Figura 18 – Inversor de frequência SINAMICS G120C. . . . .	41
Figura 19 – Dimensões dos potes e caixas. . . . .	45
Figura 20 – Disposição dos potes nas caixas. . . . .	47
Figura 21 – Layout do sistema completo de encaixotamento. . . . .	48
Figura 22 – Garra de vácuo acoplada ao robô. . . . .	50
Figura 23 – Divisão da programação do sistema. . . . .	52
Figura 24 – Disposição dos componentes na rede. . . . .	56
Figura 25 – Fluxograma dos processos da entrada de produtos. . . . .	57
Figura 26 – Fluxograma da distribuição de produtos. . . . .	57
Figura 27 – Fluxograma do acúmulo de produtos. . . . .	58
Figura 28 – Fluxograma dos processos da entrada de caixas. . . . .	59
Figura 29 – Fluxograma da verificação da troca de caixas. . . . .	59
Figura 30 – Fluxograma da liberação das caixas. . . . .	60
Figura 31 – Fluxograma da liberação das caixas. . . . .	61
Figura 32 – Fluxograma dos processos da captura de produtos . . . . .	62

Figura 33 – Fluxograma da preparação da pré captura. . . . .	62
Figura 34 – Fluxograma da preparação da captura dos produtos. . . . .	63
Figura 35 – Fluxograma dos processos do encaixotamento. . . . .	64
Figura 36 – Fluxograma da verificação do pedido de troca de caixas. . . . .	65
Figura 37 – Fluxograma da liberação das caixas. . . . .	65
Figura 38 – Fluxograma da troca de caixas. . . . .	66
Figura 39 – Fluxograma dos processos da saída de caixa. . . . .	67
Figura 40 – Fluxograma da verificação de intertravamento da esteira de saída. . . .	67
Figura 41 – Fluxograma da verificação de intertravamento da esteira de espaçamento. .	68
Figura 42 – Fluxograma do espaçamento das caixas. . . . .	68
Figura 43 – Painel de operação 1 da encaixotadora. . . . .	69
Figura 44 – Painel de operação 2 da encaixotadora. . . . .	69
Figura 45 – Exemplo dos blocos de um programa. . . . .	72
Figura 46 – Blocos do programa da encaixotadora. . . . .	73
Figura 47 – Tela de gerenciamento das receitas da encaixotadora. . . . .	75
Figura 48 – Tela de edição das receitas da encaixotadora. . . . .	75
Figura 49 – Sequência de navegação nas telas. . . . .	76
Figura 50 – Sequência das telas de operação dos dispositivos da encaixotadora. . . .	77
Figura 51 – Fluxograma dos processos de movimentação do robô. . . . .	79
Figura 52 – Fluxograma da captura e entrega do robô. . . . .	79
Figura 53 – Fluxograma da verificação de caixas cheias. . . . .	80
Figura 54 – Componentes da rede da formadora. . . . .	82
Figura 55 – Diagrama de estados da formadora de caixas. . . . .	83
Figura 56 – Passo 1 da formadora de caixas. . . . .	84
Figura 57 – Passo 2 da formadora de caixas. . . . .	84
Figura 58 – Continuação do passo 2 da formadora de caixas. . . . .	85
Figura 59 – Passo 3 da formadora de caixas. . . . .	85
Figura 60 – Continuação do passo 3 da formadora de caixas. . . . .	86
Figura 61 – Passo 4 da formadora de caixas. . . . .	86
Figura 62 – Passo 5 da formadora de caixas. . . . .	87
Figura 63 – Continuação do passo 5 da formadora de caixas. . . . .	87
Figura 64 – Painel de operação da formadora. . . . .	88
Figura 65 – Blocos do programa da formadora. . . . .	90
Figura 66 – Tela de gerenciamento das receitas da formadora . . . . .	90
Figura 67 – Tela de edição das receitas da formadora . . . . .	91
Figura 68 – Sequência de navegação nas telas da formadora. . . . .	92
Figura 69 – Sequência das telas de operação dos dispositivos da formadora. . . . .	92
Figura 70 – Estoque de caixas da formadora. . . . .	95
Figura 71 – Ventosas e pistões de dobra da formadora. . . . .	96

Figura 72 – Caixa esquadrejada na formadora. . . . .	96
Figura 73 – Abas dobradas da caixa na formadora. . . . .	97
Figura 74 – Caixa pronta na saída da formadora. . . . .	97
Figura 75 – Entrada das caixas formadas. . . . .	98
Figura 76 – Caixas na esteira de encaixotamento. . . . .	98
Figura 77 – Zona de captura e pré captura. . . . .	99
Figura 78 – Zona de captura dos produtos. . . . .	99
Figura 79 – Zona de entrega 1. . . . .	100
Figura 80 – Zona de entrega 2. . . . .	100
Figura 81 – Saída das caixas na encaixotadora. . . . .	101

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Principais linguagens de programação de robôs industriais por fabricante	27
Tabela 2 – Classificação de linguagens de programação de CLPs . . . . .	33
Tabela 3 – Dados de cada pote no processo manual. . . . .	45
Tabela 4 – Dados de cada pote com a implementação da célula. . . . .	46
Tabela 5 – Ferramentas de programação usadas. . . . .	52
Tabela 6 – Informações enviadas do manipulador ao controlador. . . . .	55
Tabela 7 – Informações enviadas do controlador ao manipulador. . . . .	55
Tabela 8 – Lista de entradas do relé. . . . .	92
Tabela 9 – Lista de saídas do relé. . . . .	93

# Lista de Siglas e Abreviaturas

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IFR	<i>International Federation of Robotics</i>
CLP	<i>Controlador Lógico Programável</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
UCP	<i>Unidade Central de Processamento</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
E/S	<i>Entrada/Saída</i>
IL	<i>Instruction List</i>
ST	<i>Structured Text</i>
LD	<i>Ladder Diagram</i>
FBD	<i>Function Block Diagram</i>
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
IHM	<i>Interface Homem-Máquina</i>
CM	<i>Communication Module</i>
SM	<i>Signal Module</i>
DC	<i>Direct Current</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
CA	<i>Corrente Alternada</i>
CC	<i>Corrente Contínua</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
TIA	<i>Totally Integrated Automation</i>
FB	<i>Function Block</i>
DB	<i>Data Block</i>
FC	<i>Function</i>
OB	<i>Organization Block</i>

# Sumário

1	INTRODUÇÃO . . . . .	16
1.1	Motivação e contexto . . . . .	16
1.2	Objetivos . . . . .	18
1.2.1	Objetivo Geral . . . . .	18
1.2.2	Objetivos Específicos . . . . .	18
1.3	Estrutura do documento . . . . .	19
2	REVISÃO DA LITERATURA . . . . .	20
2.1	Robótica Industrial . . . . .	20
2.1.1	Componentes de um robô industrial . . . . .	21
2.1.2	Estrutura mecânica de um manipulador . . . . .	23
2.1.2.1	Elos e juntas . . . . .	23
2.1.2.2	Mobilidade . . . . .	23
2.1.2.3	Espaço de trabalho . . . . .	24
2.1.3	Classificação dos robôs industriais . . . . .	24
2.1.3.1	Classificação por graus de liberdade . . . . .	24
2.1.3.2	Classificação por estrutura cinemática . . . . .	24
2.1.3.3	Classificação por espaço de trabalho . . . . .	25
2.1.4	Programação dos robôs . . . . .	26
2.1.4.1	Ensinar mostrando . . . . .	27
2.1.4.2	Linguagens de programação explícitas . . . . .	27
2.1.4.3	Linguagens de programação em nível de tarefa . . . . .	27
2.1.5	Robô industrial IRB 2600 . . . . .	28
2.2	Controlador Lógico Programável . . . . .	30
2.2.1	Arquitetura de um Controlador Lógico Programável . . . . .	31
2.2.2	Programação de CLPs . . . . .	33
2.2.2.1	Programação linear e estruturada . . . . .	35
2.2.3	Sistema de automação SIMATIC S7-1200 . . . . .	36
2.3	A pirâmide da automação . . . . .	38
2.3.1	Dispositivos de automação utilizados . . . . .	40
3	VISÃO GERAL DO PROJETO . . . . .	44
3.1	Identificação do problema . . . . .	44
3.2	Descrição do processo manual . . . . .	44
3.3	Solução proposta pela empresa contratada . . . . .	46

3.3.1	Formadora de caixas . . . . .	47
3.3.2	Encaixotadora . . . . .	49
3.4	Desenvolvimento do TCC . . . . .	51
4	METODOLOGIA . . . . .	52
4.1	Programação da encaixotadora . . . . .	53
4.1.1	Comunicação da encaixotadora . . . . .	54
4.1.2	Funcionamento da encaixotadora . . . . .	56
4.1.2.1	Entrada de produtos . . . . .	56
4.1.2.2	Entrada de caixas . . . . .	59
4.1.2.3	Captura de produtos . . . . .	62
4.1.2.4	Encaixotamento . . . . .	64
4.1.2.5	Robô . . . . .	66
4.1.2.6	Saída de caixas . . . . .	66
4.1.3	Operação da encaixotadora . . . . .	69
4.1.4	Verificação de falhas da encaixotadora . . . . .	70
4.1.5	Estrutura do programa da encaixotadora . . . . .	71
4.1.6	Receitas da encaixotadora . . . . .	74
4.1.7	IHM da encaixotadora . . . . .	76
4.1.8	Sistema de segurança da encaixotadora . . . . .	77
4.2	Programação do robô . . . . .	78
4.2.1	Rotina de movimentação do robô . . . . .	78
4.2.2	Operação do robô . . . . .	80
4.2.3	Receita do robô . . . . .	81
4.3	Programação da formadora . . . . .	81
4.3.1	Comunicação da formadora . . . . .	82
4.3.2	Funcionamento da formadora . . . . .	83
4.3.3	Operação da formadora . . . . .	88
4.3.4	Verificação de falhas da formadora . . . . .	89
4.3.5	Estrutura do programa da formadora . . . . .	89
4.3.6	Receitas da formadora . . . . .	90
4.3.7	IHM da formadora . . . . .	91
4.3.8	Relé de segurança da formadora . . . . .	92
5	RESULTADOS . . . . .	94
5.1	Testes e validações . . . . .	94
6	CONCLUSÕES . . . . .	102
6.1	Considerações finais . . . . .	102
6.2	Principais Contribuições . . . . .	103

6.3	Trabalhos Futuros . . . . .	103
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .	104
A	LISTAS DE DISPOSITIVOS DA ENCAIXOTADORA . . . . .	106
A.1	Lista de entradas/saídas digitais da encaixotadora . . . . .	106
A.2	Lista de motores da encaixotadora . . . . .	107
B	VARIÁVEIS DO STANDARD TELEGRAM 111 . . . . .	108
B.1	<i>Words</i> de controle do <i>Standard Telegram 111</i> . . . . .	108
B.2	<i>Words</i> de estado do <i>Standard Telegram 111</i> . . . . .	108
C	LISTA DE ENTRADAS E SAÍDAS DO CLP DE SEGU- RANÇA DA ENCAIXOTADORA . . . . .	109
D	LISTAS DE DISPOSITIVOS DA FORMADORA . . . . .	110
D.1	Lista de entradas e saídas digitais da formadora . . . . .	110
D.2	Lista de motores da formadora . . . . .	110



# 1 Introdução

## 1.1 Motivação e contexto

Desde o início da revolução industrial, tem havido uma crescente busca pela melhoria da qualidade dos produtos e pela redução dos custos de fabricação. Anteriormente, a maioria dos produtos eram fabricados manualmente por artesãos. A qualidade do produto dependia muito da habilidade do trabalhador, o custo do produto era alto e o processo era lento. Esse método é conhecido como produção manual.

No início do século XX, Henry Ford instituiu o conceito de produção em massa, em que a maioria dos processos de fabricação é executada por máquinas que realizam tarefas específicas. Esse método de produção reduz drasticamente o custo de fabricação e torna os produtos industriais mais acessíveis para o mercado consumidor. Entretanto, devido ao fato de que cada máquina executa uma tarefa predeterminada, toda vez que um novo produto é implantado, a linha de produção deve ser desativada e reestruturada. Reestruturar uma linha de produção pode ser um processo complexo e custoso. Esse tipo de processo é chamado de automação rígida [1].

Nas últimas décadas, a falta de flexibilidade e o alto custo da automação rígida trouxe uma abordagem totalmente nova em que robôs manipuladores têm sido introduzidos nas indústrias de manufatura a fim de executar certas tarefas de produção, como montagem, soldagem, pintura e manipulação de materiais perigosos. Em razão dos robôs possuírem a vantagem de serem facilmente reprogramados para executar diferentes tarefas, não há necessidade de substituí-los a cada mudança de produto. Esse tipo de automação é chamado de automação flexível [1].

Existe um certo grau de comprometimento entre a produção manual, a automação rígida e a automação flexível. Em geral, a produção manual tende a ser lenta e dificulta a obtenção de qualidade constante do produto. Por outro lado, a automação rígida é rápida e mais precisa do que os outros dois métodos, porém o custo para reestruturar uma linha de produção é alto. Finalmente, na automação flexível é necessário menos tempo para montar uma linha de produção pelo fato dos robôs serem facilmente adquiridos no mercado. Além disso, os manipuladores podem ser programados previamente fora da linha e são virtualmente imunes à obsolescência.

Habitualmente, quando o volume de produção é muito pequeno, a produção manual é economicamente mais viável. À medida que o volume de produção aumenta, a automação flexível torna-se a solução com melhor custo benefício. Quando o volume de produção é muito maior e contínuo, a automação rígida se torna o método de produção mais eficiente.

Na Automação flexível, que é o foco principal do presente trabalho, deve ser consi-

derado que, embora o principal elemento de manipulação são os robôs industriais, estes raramente trabalham como elementos isolados, mas como parte constitutiva de um processo maior que inclui muitos outros equipamentos. Assim, os robôs industriais, parte principal da denominada célula de trabalho robotizada, devem interagir com outras máquinas, formando parte de uma estrutura funcional superior.

As células de trabalho robotizadas, devido à sua própria natureza, são multifuncionais, isto é, podem ser usadas, a princípio, em um número ilimitado de funções. Contudo, na prática a sua adaptação tem demonstrado bons resultados nos processos em que os robôs industriais são, sem dúvida, a solução mais rentável. Alguns dos processos industriais mais representativos, em que historicamente as células de trabalho robotizadas têm atuado, são a fundição, a soldagem, a pintura, a usinagem, a inspeção, a montagem, a paletização e as operações de *pick & place*.

O projeto e implementação de uma célula de trabalho robotizada implica não só na caracterização funcional do robô, mas também na consideração de um grande número de fatores, que vão desde o possível reprojeto do produto até a definição detalhada do *layout* ou plano de implementação do sistema.

Junto com a seleção mais adequada do robô para a tarefa selecionada, deve-se definir também, ou inclusive projetar, os elementos periféricos passivos (mesas, alimentadores, acessórios, etc.) e ativos (manipuladores sequenciais, máquinas CNC, etc.) que intervêm na célula e localizá-los fisicamente no sistema. Da mesma maneira, é necessário definir e selecionar a arquitetura de controle, tanto hardware quanto software, que todo sistema flexível deve incluir.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta os principais resultados obtidos e os procedimentos realizados no projeto e implementação de uma célula de trabalho robotizada projetada para o encaixotamento de objetos em uma empresa de produtos lácteos de acordo com uma receita de produção preestabelecida. Como o leitor poderá ver, o principal componente deste sistema é um robô cuja tarefa é realizar a acomodação dos produtos dentro de caixas destinadas para o armazenamento e transporte dos mesmos utilizando a capacidade intrínseca de *pick & place* presente nos sistemas robotizados. Adicionalmente, os elementos periféricos da célula de trabalho robotizada que permitem alimentar o robô são apresentados. A partir deste momento, e a fim de simplificar a leitura, a célula de trabalho robotizada para operações de encaixotamento será descrita como Célula de Encaixotamento Robotizada (CER).

A empresa de produtos lácteos para a qual foi projetada a CER, e cujo nome será mantido sob sigilo, produz mais de 200 tipos de produtos diferentes, dentre eles o creme e a manteiga, produtos estes que foram selecionados para serem encaixotados pela célula projetada. Atualmente o processo de encaixotamento é executado manualmente por 12 operários e a uma velocidade muito inferior à velocidade de produção e envasamento dos produtos, motivo pelo qual pode se argumentar a grande relevância da implementação da

solução proposta.

A empresa responsável pelo projeto, construção e implementação da célula de encaixotamento robotizada foi a Torfresma Industrial, onde o autor do presente documento realizou seu estágio obrigatório e executou as atividades correspondentes ao Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). A Torfresma Industrial é uma empresa que atua no mercado de soluções para a agroindústria, robótica e automação industrial desenvolvendo equipamentos para a indústria da carne, sistemas de embalagem e selagem, sistemas de encaixotamento, logística de caixas e sistemas de paletização. Além disso, são fornecidos também serviços de análise, treinamento, suporte e assistência técnica dos equipamentos. Foi fundada em 1993 pelo seu diretor, Claudimar Bortolin, e está localizada na cidade de São Miguel do Oeste, no estado de Santa Catarina [3].

O nome dado à empresa, Torfresma, surgiu das iniciais de TOR (Torneria), FRES (Fresagem), MA (Manutenção). As primeiras atividades desenvolvidas pela empresa. Atualmente ela possui aproximadamente 330 colaboradores e também atua no mercado internacional, principalmente na América Latina. Em 2017, a Torfresma recebeu o prêmio Outstanding Performance AsiBB, por ter se tornado a maior integradora de robôs ABB das Américas. O Prêmio é avaliado a partir do crescimento e o volume de vendas obtidos no ano.

## 1.2 Objetivos

Nesta seção são apresentados os objetivos geral e específicos planteados para a execução do presente Trabalho de Conclusão de Curso.

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste projeto é desenvolver a programação de uma Célula de Encaixotamento Robotizada (CER) para uma empresa de produtos lácteos respeitando as receitas de produção preestabelecidas pela empresa e as normas de segurança.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Levando em conta o que foi apresentado até aqui, para que o desenvolvimento desse sistema siga seu propósito é necessário que os seguintes objetivos específicos sejam alcançados.

1. Levantar os requisitos funcionais e não funcionais do sistema.
2. Desenvolver o programa para o controlador da encaixotadora.
3. Elaborar a interface gráfica para operação e supervisão da encaixotadora.

4. Criar o sistema de segurança para a encaixotadora.
5. Desenvolver o programa para o controle dos movimentos do robô.
6. Desenvolver o programa para o controlador da formadora de caixas.
7. Elaborar o programa da interface gráfica para operação e supervisão da formadora de caixas.
8. Realizar testes, corrigir problemas e validar o projeto antes da sua entrega.

### 1.3 Estrutura do documento

O presente documento foi dividido em seis capítulos a fim de apresentar a base teórica, os materiais e métodos utilizados e os resultados obtidos. No Capítulo 1, uma breve introdução e caracterização do problema é apresentada, neste capítulo também são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho. No Capítulo 2 é realizada a revisão bibliográfica necessária para o entendimento dos capítulos seguintes. O Capítulo 3 apresenta uma visão geral do projeto incluindo a descrição dos processos de interesse. No Capítulo 4, o autor apresenta a metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos. Finalmente, os Capítulos 5 e 6 apresentam os principais resultados e conclusões obtidos, descrevendo o que foi obtido com o desenvolvimento do trabalho e quais foram as maiores dificuldades encontradas.

## 2 Revisão da literatura

Nas últimas cinco décadas a robótica deixou de ser um mito, característico da imaginação de alguns autores literários, e passou a ser uma realidade imprescindível no atual mercado produtivo. Após um tímido começo e uma grande incerteza sobre o futuro, a robótica experimentou um crescimento notável nas décadas de 70 e 80, chegando a uma etapa de considerável maturidade na década de 90, caracterizada pela estabilização da sua demanda, e por um pleno reconhecimento e aceitação, tornando-se o centro do que hoje conhecemos como células de trabalho robotizadas [4].

A engenharia envolvida no projeto e fabricação de células de trabalho robotizadas possui um reconhecido carácter interdisciplinar, envolvendo diferentes disciplinas básicas e tecnologias, como a teoria de controle, a automação, a mecânica, a eletrônica, a informática, a álgebra e outras [4]. No presente capítulo, são introduzidos conceitos fundamentais relacionados com o projeto de células de trabalho robotizadas que permitirão ao leitor ter um embasamento teórico que facilite a leitura e compreensão dos capítulos subsequentes.

Desta maneira, a Seção 2.1 apresenta conceitos fundamentais sobre robótica industrial, a Seção 2.2 introduz elementos teóricos relacionados com os controladores lógicos programáveis (CLPs), e finalmente a Seção 2.3 traz informações relacionadas à pirâmide da automação e os dispositivos de campo, de comunicação e segurança nela contida e associadas ao projeto de célula de encaixotamento robotizada.

### 2.1 Robótica Industrial

Historicamente, o termo "*robot*" foi derivado do termo "*robota*", que significa trabalho forçado nas línguas eslavas. A palavra *robot* (robô, em português) foi usada pela primeira vez na peça de ficção científica (*Rossum's Universal Robots*) *R.U.R.*, criada pelo escritor tcheco Karel Capek, em 1920, para denotar um autômato fictício [5].

Embora Capek tenha usado pela primeira vez a palavra robô em 1920, o desenvolvimento dos robôs manipuladores começou apenas na década de 1940. O surgimento de robôs industriais no começo foi devido à necessidade de lidar com materiais perigosos e na exploração do espaço. No final da década de 1940, os Laboratórios Nacionais de Oak Ridge e Argonne, dos Estados Unidos, começaram o desenvolvimento dos manipuladores *master-slave* para o manuseio de materiais radioativos, onde o manipulador mestre era guiado por um operador e o manipulador escravo duplicava o movimento feito pelo mestre de forma remota.

Em 1952, a primeira máquina com controle numérico foi construída no MIT (Massachusetts Institute of Technology). Poucos anos depois, George Devol criou um manipula-

dor mecânico programável. Já nos anos 60, a GM (General Motors) instala seu primeiro robô, e George Devol e Engelberger fundam a Unimation, uma companhia de robótica. O SAIL (Stanford Artificial Intelligence Laboratory) e o MIT começam a desenvolver um manipulador com sensores táteis e visão computacional. Em 1974, a Cincinnati Milacron lançou o robô modelo T3, que se tornou muito popular na indústria. A Unimation apresentou uma nova série de robôs chamada PUMA, inicialmente desenvolvida para a GM. Outros países também iniciaram a pesquisa e desenvolvimento de robôs nesse período.

Na década de 80 se iniciou um grande avanço na indústria de robótica em razão da enorme demanda da automação flexível na indústria automotiva. Em 1982, a General Motors junta-se com a Fanuc em um acordo, chamado GMFanuc, para produzir robôs principalmente para a indústria automotiva. Nos anos seguintes houve mais avanços e a robótica já era um assunto popular, tanto na indústria quanto na academia.

Atualmente, os robôs são elementos muito poderosos na indústria. Sendo eles capazes de realizar múltiplas tarefas e operações, são muito precisos e não requerem os elementos comuns de segurança e conforto que um operador humano precisa. No entanto, é preciso muito esforço e muitos recursos pra fazer um robô funcionar corretamente. A maioria das empresas da década de 1980 se foram, e com poucas exceções, apenas as empresas que fabricam robôs industriais de qualidade se mantiveram no mercado (como Adept, Fanuc, Kuka, Epson, Motoman, Denso, Fuji e ABB).

Robôs industriais podem ser vistos e definidos de maneiras distintas por pessoas e instituições diferentes. Por exemplo, para os japoneses um robô industrial é qualquer dispositivo mecânico dotado de articulações móveis e destinado ao manuseio de peças *pick & place*. Já para os ocidentais, a definição de um robô industrial é mais restritiva, sobretudo nos aspectos de controle e reprogramação.

Uma das definições mais aceita pelo mercado ocidental é usada pela *International Federation of Robotics (IFR)* e se baseia na norma ISO 8373. Segundo esta norma, "um robô industrial é um manipulador programável em três ou mais eixos, controlado automaticamente, reprogramável e multifuncional, que pode ser fixado em um local ou ser móvel, e cuja finalidade é a utilização em aplicações de automação industrial" [6]. Desta definição podemos abstrair alguns elementos que são de grande valia na compreensão das capacidades de um robô industrial, sendo estas a sua capacidade de manipulação do ambiente, a sua reprogramabilidade e a sua multifuncionalidade.

### 2.1.1 Componentes de um robô industrial

Um robô industrial compõe-se tipicamente por um manipulador mecânico, um efetador final, um sistema de atuação, um sistema sensorial, e um sistema de controle, que são integrados para formar um todo. O corpo do robô consiste em elos articulados e de outros elementos estruturais.

O efetuator final é um dispositivo que é acoplado ao elo de saída do manipulador mecânico e que pode ser usado para pegar, segurar ou manipular peças. Podemos pensar no efetuator final como sendo um dispositivo especializado para manipular objetos de tamanho, forma e peso semelhante em uma operação repetitiva.

A fim de que o manipulador mecânico possa realizar uma ação, é necessário um sistema de atuação para mover as partes mecânicas do manipulador. O controle desses movimentos é feito através de atuadores, como servomotores, motores de passo e acionamentos hidráulicos e pneumáticos. A habilidade de percepção é feita através do sistema sensorial que adquire dados da posição do manipulador e do ambiente de trabalho. *Encoders* podem fazer a leitura interna da posição do robô, enquanto câmeras, sensores fotoelétricos e sensores táteis obtêm o estado do ambiente externo.

A ligação entre a atuação e a percepção é feita pelo sistema de controle que comanda a execução das tarefas de acordo com os objetivos desejados e os limites do espaço de trabalho. Os sensores enviam sinais de resposta ao controlador, que os processa e manipula para o controle dos atuadores. O controlador funciona através de um programa, que está sendo executado em um computador e possui todas as atividades a serem realizadas pelo manipulador. Em alguns sistemas o controlador e o processador (computador) do robô estão juntos em uma única unidade [5][7]. A Figura 1 mostra uma configuração típica de um sistema robótico industrial.

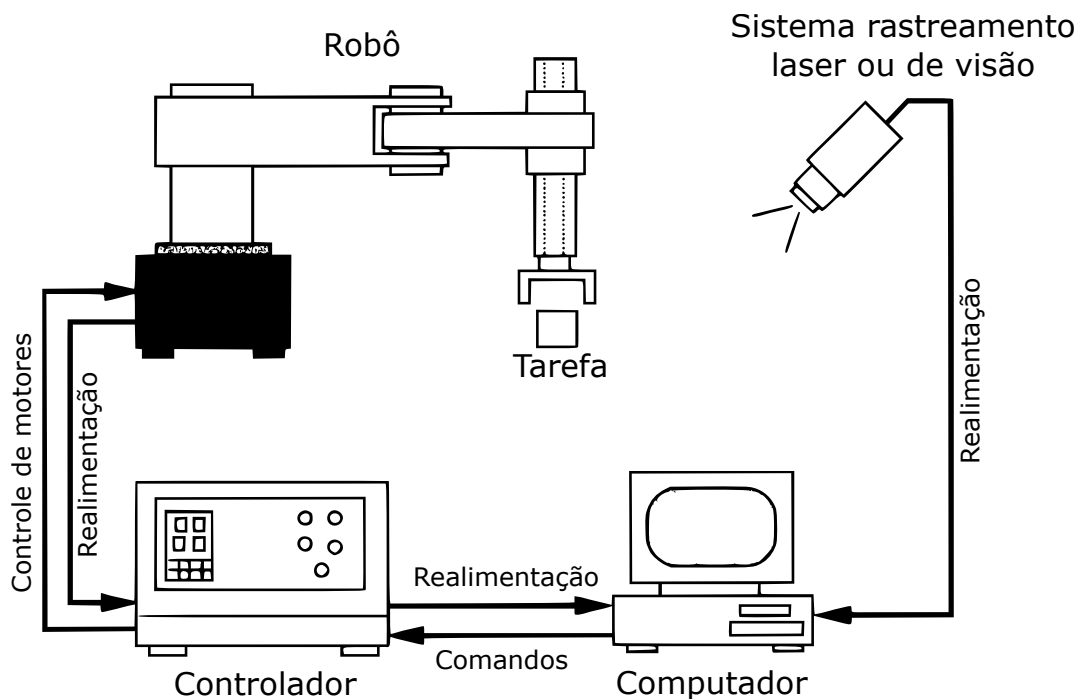


Figura 1 – Componentes de um sistema robótico (Figura adaptada de [1]).

## 2.1.2 Estrutura mecânica de um manipulador

A estrutura mecânica de um manipulador, constituída de vários corpos rígidos conectados por juntas, é conhecida como cadeia cinemática (Figura 2). O comportamento funcional de uma cadeia cinemática depende do número e do tipo de de elos e juntas nela. Na sequência são apresentados alguns parâmetros funcionais de uma cadeia cinemática.

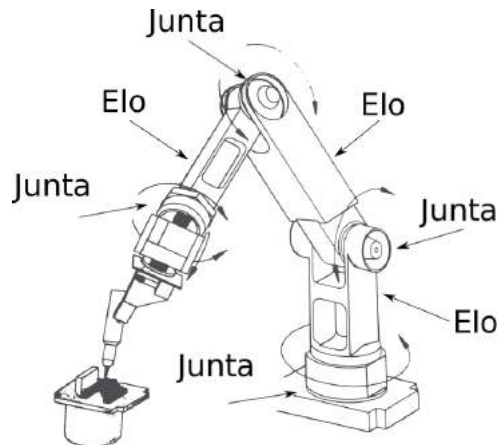


Figura 2 – Elos e juntas de um robô.  
[8]

### 2.1.2.1 Elos e juntas

Em uma cadeia cinemática, as juntas possibilitam o movimento relativo entre dois corpos rígidos chamados de elos. O movimento relativo entre dois elos é determinado pelo tipo de contato entre eles e é chamado de par cinemático. A realização física de um par cinemático é chamado de junta, e, para fins práticos, é muito comum usar como sinônimos os termos par cinemático e junta [1].

Os principais representantes dos pares cinemáticos usados em robótica, são basicamente seis tipos diferentes, sendo estes, a junta rotativa ou de revolução (R), a junta prismática ou de translação (P), a junta esférica (S), a junta cilíndrica (C), a junta plana (E) e finalmente a junta helicoidal (H) [1].

### 2.1.2.2 Mobilidade

A mobilidade (M) ou número de graus de liberdade (DoF) de um sistema mecânico é formalmente conceituada como o número de variáveis independentes que definem univocamente o comportamento do mesmo. De maneira prática, podemos pensar na mobilidade como sendo o número de variáveis de posição independentes necessárias para localizar todas as partes do sistema mecânico ou ainda como o número total de movimentos independentes que um dispositivo pode realizar. No caso de robôs industriais, que geralmente possuem uma cadeia cinemática aberta, o número de juntas atuadas é igual ao número de graus de liberdade [9].



### 2.1.2.3 Espaço de trabalho

O espaço de trabalho representa as posições no espaço que o efetuador final do manipulador pode alcançar. Sua forma e volume dependem da estrutura e dos limites mecânicos das juntas do manipulador. Em geral é usado o termo área de trabalho para se referir ao espaço de trabalho de manipuladores planares, enquanto se usa o termo volume de trabalho para manipuladores espaciais. Em um típico robô industrial, o braço é usado para posicionar o punho, que orienta o efetuador final para realizar uma tarefa. O tipo e a sequência das juntas e as dimensões dos elos de um manipulador podem alterar o seu espaço de trabalho [1].

## 2.1.3 Classificação dos robôs industriais

Robôs industriais podem ser classificados de acordo com vários critérios, tais como graus de liberdade, estrutura cinemática, tecnologia de atuação, geometria do espaço de trabalho e características do movimento. Na sequência são discutidas cada uma destas categorias.

### 2.1.3.1 Classificação por graus de liberdade

Uma maneira tradicional de classificar os robôs industriais é de acordo com o número de graus de liberdade (DoF) da cadeia cinemática. Idealmente, um manipulador deveria ter seis graus de liberdade para mover um objeto livremente no espaço tridimensional, sendo três DoF para o posicionamento e três DoF para a orientação do objeto de acordo com o sistema de referência. Desde esse ponto de vista, podemos chamar de robô de propósito geral aquele que possui seis graus de liberdade, enquanto um robô redundante será aquele que possui mais de seis graus de liberdade e de robô sub-atuado aquele que possui menos de seis graus de liberdade.

Um robô redundante tem mais liberdade para se mover entre os obstáculos e trabalhar em espaços pequenos. No entanto, em algumas aplicações de montagem, por exemplo, um robô de quatro graus de liberdade seria suficiente [1].

### 2.1.3.2 Classificação por estrutura cinemática

Outra maneira de classificar os robôs industriais é de acordo com a topologia estrutural da sua cadeia cinemática. Assim, um manipulador com cadeia cinemática aberta é chamado de robô serial e um manipulador com cadeia cinemática fechada é chamado de robô paralelo. Além disso, existem os robôs híbridos, que possuem sub-cadeias cinemáticas abertas e fechadas em sua topologia simultaneamente.

### 2.1.3.3 Classificação por espaço de trabalho

Os manipuladores seriais são classificados de acordo com a configuração e o tipo de suas juntas, que possibilitam diferentes espaços de trabalho. Com base nisso, os manipuladores podem ser classificados como cartesiano, cilíndrico, esférico, SCARA e articulado.

Um robô cartesiano possui três juntas prismáticas (PPP) que permitem que o efetuador seja posicionado nas três coordenadas cartesianas através do movimento linear dentro de um volume de trabalho cúbico. Um robô cilíndrico por sua vez, é composto por uma junta rotacional e duas juntas prismáticas (RPP), combinando movimentos rotacionais com lineares dentro de um volume de trabalho cilíndrico como o seu nome o indica.

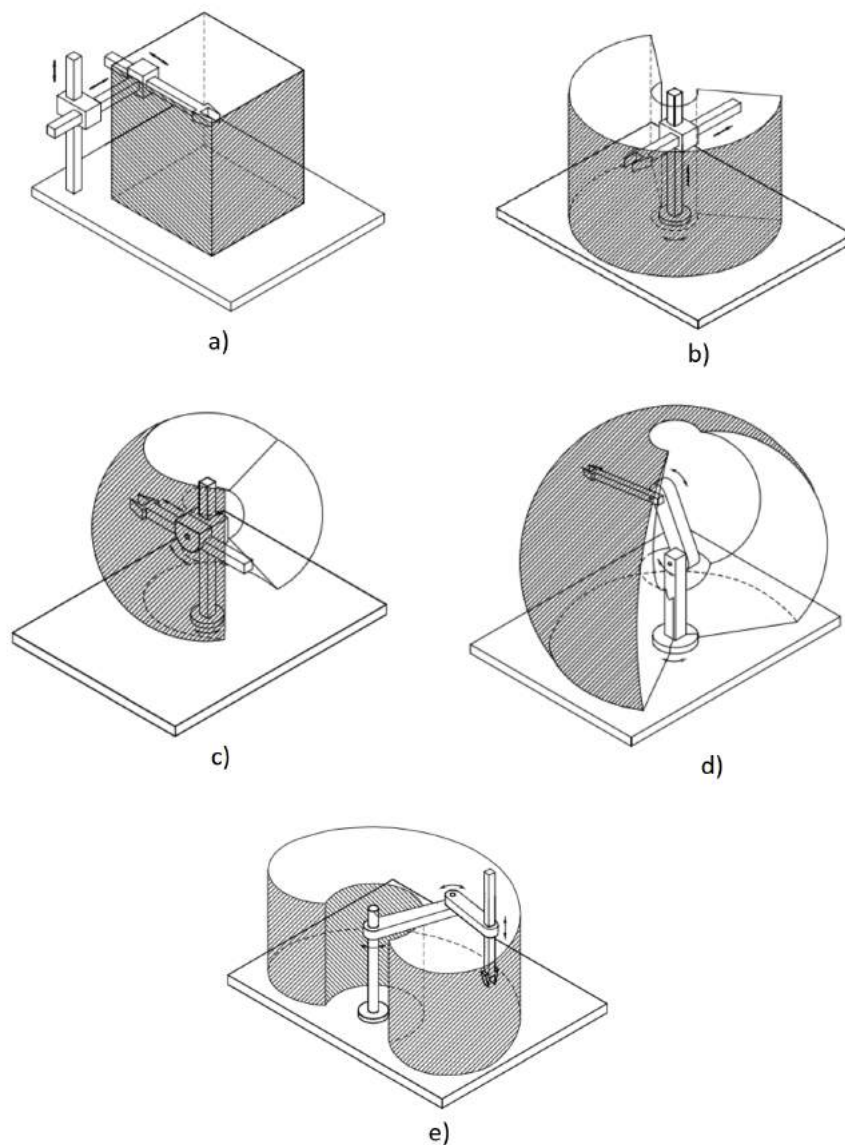


Figura 3 – Classificação de manipuladores seriais de acordo com a estrutura cinemática: a). Manipulador cartesiano, b). Manipulador Cilíndrico, c). Manipulador Esférico, d). Manipulador Antropomórfico, e). Manipulador SCARA.

Um robô esférico, por sua vez, é formado por duas juntas rotacionais e uma junta prismática (RRP), resultando em um volume de trabalho esférico que coincide com o nome dado a este tipo de manipulador. Robôs do tipo SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) são formados por duas juntas de rotação e uma prismática (RRP) e são muito utilizados em tarefas de montagem. Os SCARA também são caracterizados por uma estrutura mecânica que oferece alta rigidez às cargas verticais e conformidade às cargas horizontais.

Finalmente, Robôs Articulados ou Antropomórficos possuem três juntas rotativas (RRR), sendo muito similares ao braço humano (motivo principal pelo qual recebe o seu nome). Seu espaço de trabalho é maior que o de todos os outros tipos de robô, porém tem uma baixa rigidez mecânica e um controle de movimentação mais complexo. Este é o tipo mais comum de robô industrial existente no mercado e resulta de especial interesse no presente documento devido que, a célula de encaixotamento robotizada, objeto do presente TCC, utilizou um robô deste tipo com seis DoF como principal elemento de manipulação de produtos. Na Figura 3 são apresentados os principais manipuladores seriais de acordo com a configuração do seu espaço de trabalho.

#### 2.1.4 Programação dos robôs

Sistemas de automação flexíveis diferenciam-se dos sistemas de automação rígida pela facilidade de se adaptar à novos cenários, implicando necessariamente na facilidade de serem reprogramados. A flexibilidade destes sistemas está presente não só na possibilidade de reprogramar os movimentos de robô, mas também na possibilidade de adaptar os processos da tarefa com outras automações do processo produtivo. Ao considerar a programação de um manipulador, é importante lembrar que eles são apenas uma pequena parte de um processo automatizado que pode incluir outros manipuladores, alimentadores de peças e esteiras transportadoras dentre outros.

Antes do avanço dos microcomputadores na indústria, os controladores dos robôs eram iguais aos sequenciadores simples. Atualmente, as abordagens focam na programação dos robôs através de computadores, e os problemas na programação dos robôs incluem todos os problemas enfrentados na programação geral [9].

Hoje em dia existem muitos tipos de interface de usuário para a programação de robôs, contudo três abordagens típicas no processo de programação de robôs industriais podem ser identificadas na literatura, sendo estas: a programação usando dispositivos de ensino (*teach pendant*), a programação usando linguagens de programação explícitas, e a programação usando linguagens de programação em nível de tarefa. Estas abordagens são discutidas brevemente na sequência.

### 2.1.4.1 Ensinar mostrando

Ensinar mostrando é um método que move o robô para um ponto desejado e armazena sua posição em uma memória do controlador. O usuário orientaria o robô manualmente ou através de um *teach pendant*. Os *teach pendant* são caixas de botões portáteis que permitem o controle de cada junta do manipulador ou de cada movimento no plano cartesiano. Alguns desses controladores permitem testes com programas de lógicas simples. Esse método, onde o *teach pendant* está ligado diretamente ao controlador do robô, se trata da programação *on-line*. Essa programação exige a presença do usuário na área de trabalho e permite executar a movimentação física do robô [9].

### 2.1.4.2 Linguagens de programação explícitas

Nos últimos anos a tendência tem sido cada vez maior em relação à programação de robôs através de programas escritos em linguagens de programação de computadores. As linguagens de programação dos computadores têm recursos que se aplicam aos problemas da programação de manipuladores e são chamadas de RPLs (*Robot Programming Languages*), que significa linguagens de programação de robôs [9]. Apesar dos sistemas atuais terem uma linguagem de programação de robô, eles ainda mantêm uma interface para o *teach pendant*. A utilização dessas linguagens para programar o robô através de um programa de computador é chamada de programação *off-line*.

Hoje em dia, ainda não existe um consenso em relação à estrutura e sintaxe de programação de robôs industriais, sendo que em geral cada fabricante cria a sua própria linguagem e interface de programação. A Tabela 1 apresenta de maneira sucinta os principais fabricantes de robôs industriais junto com a linguagem de programação usada nos seus produtos.

Tabela 1 – Principais linguagens de programação de robôs industriais por fabricante

Fabricante	Linguagem
ABB	RAPID
Kuka	KRL (Kuka Robot Language)
Comau	PDL2
Yaskawa Motoman	Inform
Kawasaki	AZ
Fanuc	TP, Karel
Universal Robots	URScript

### 2.1.4.3 Linguagens de programação em nível de tarefa

Essas linguagens permitem ao usuário comandar subobjetivos desejados da tarefa, em vez de especificar cada passo que o robô deve executar. Um sistema de programação de robôs no nível da tarefa deve ter a capacidade de executar várias tarefas de planejamento

automaticamente. Por exemplo, dada uma instrução para o robô, o sistema deve elaborar um caminho para que o manipulador percorra sem colidir com nenhum obstáculo e execute a tarefa da melhor forma possível. Esse tipo de programação ainda não é comercial, mas há pesquisas para o seu desenvolvimento [9].

### 2.1.5 Robô industrial IRB 2600

Como descrito no Capítulo 1, o desenvolvimento do presente TCC foi baseado na programação de uma célula de encaixotamento robotizada para a indústria de lácteos. Sendo assim, nesta seção é apresentado um dos principais atores do sistema, o Robô industrial IRB 2600 da ABB Robotics. Este é um robô industrial serial do tipo articulado que possui seis juntas rotativas, portanto, seis graus de liberdade. Projetado para aumentar a produtividade em alimentação de máquinas, manuseio de materiais, soldagem a arco elétrico e outras aplicações, este manipulador também oferece uma ótima precisão e aceleração, garantindo alta produtividade e baixas taxas de desperdício [10].

Devido ao fato de ser um robô do tipo articulado, o IRB 2600 tem um amplo espaço de trabalho. As várias possibilidades flexíveis de montagem e o espaço de trabalho tornam esse robô adequado para diversas aplicações industriais. Para poder controlar ferramentas, manipuladores e se comunicar com outros equipamentos de processo, o IRB 2600 inclui conectores para os padrões de comunicação Fieldbus PROFINET, EtherNet/IP e DeviceNet [11]. Resultando em uma simplificação dos cabos e uma confiabilidade maior na comunicação. A posição e configuração dos eixos do IRB 2600 são detalhadas conforme a Figura 4.

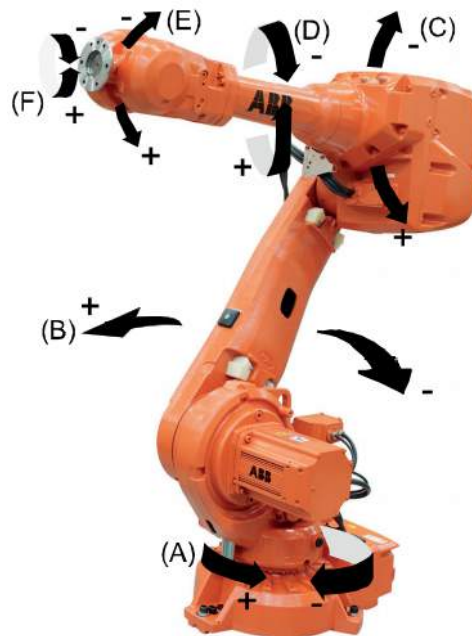


Figura 4 – Robô articulado ABB IRB 2600.  
[12]

O IRB 2600 utiliza o controlador IRC5 da ABB, que contém todas as funções necessárias para o seu controle. O controlador IRC5 padrão, mostrado na Figura 5, pode ser encontrado comercialmente em um gabinete único (**Single Cabinet Controller**), ou também dividido em dois gabinetes (**Dual Cabinet Controller**), ou ainda, integrado em um gabinete externo, (**Panel Mounted Controller**). Um controlador consiste em dois módulos, o Módulo de Controle e o Módulo de potência. Ao colocar mais de um robô com um controlador, será preciso acrescentar mais um **Drive Module** para cada robô adicional [13]. Entretanto, apenas um **Control Module** é utilizado neste trabalho.

- O Módulo de Controle contém todos os componentes eletrônicos de controle, como o computador principal, entradas e saídas e memória flash. Este módulo executa todo o software necessário para operar o robô (o sistema **RobotWare**).
- O Módulo de Potência tem todos os sistemas eletrônicos de alimentação para os motores do robô. Este módulo pode conter nove unidades de acionamento e manipular seis eixos internos, e ainda dois ou mais eixos, dependendo do modelo do robô.



Figura 5 – Controlador IRC5.  
[13]

O robô IRB 2600 da ABB Robotics ainda dispõe de uma unidade de operação portátil usada para efetuar várias tarefas envolvidas em sua operação. Esta unidade de operação portátil também é conhecida como **FlexPendant**, TPU (*Teach Pendant Unit*) ou unidade de programação. Através do **FlexPendant** é possível executar programas, manobrar o manipulador, modificar os programas do robô, etc. O **FlexPendant** (Figura 5) foi projetado para um funcionamento contínuo em um ambiente industrial exigente. Possui uma tela sensível ao toque fácil de limpar e resistente à água, óleo e pingos de solda.

Como citado na Tabela 1, a linguagem RAPID é usada pela ABB para programar os controladores dos seus robôs. Um programa feito na linguagem RAPID contém instruções e dados que controlam o robô de maneira especificada. Normalmente, o programa tem três partes diferentes: rotina principal, Sub-rotinas e Dados do programa.

A rotina principal é a rotina a partir da qual a execução do programa é iniciada. Já as sub-rotinas são usadas para dividir o programa em partes menores, a fim de fazer um programa fácil de ler. Elas são chamadas a partir da rotina principal ou de outra rotina. Quando uma rotina é totalmente executada, a execução do programa é retomada na próxima instrução, na rotina de chamada. Os dados são usados para definir posições, valores numéricos (registradores, contadores), sistemas de coordenadas e outros. Os dados podem ser alterados manualmente, mas também podem ser alterados pelo programa, por exemplo, para redefinir uma posição ou atualizar um contador.

## 2.2 Controlador Lógico Programável

Um Controlador Lógico Programável (CLP) é um computador que realiza o controle em diversos níveis de complexidade. Ele pode ser programado e utilizado por pessoas sem um grande conhecimento no uso do computador. Além de tudo, este controlador é projetado para trabalhar em ambientes industriais, com mudanças de temperatura, umidade, vibrações, perturbação elétrica e outras variações no ambiente. A sua composição inclui memórias programáveis ou não programáveis contendo dados e programas a fim de ler e executar instruções, interagindo com o sistema que deve ser controlado através de dispositivos de entrada e saída analógicos ou digitais [14]. as principais características de um CLPs são:

- Linguagem de programação de alto nível, para que o operador tenha uma relação amigável com o sistema.
- Simplificação nos painéis elétricos, onde toda a fiação fica em um conjunto de entradas e saídas, de forma que qualquer alteração se torna mais rápida e barata.
- Confiabilidade operacional, de forma que as alterações podem ser realizadas através do programa no computador, reduzindo a alteração da fiação elétrica, minimizando erros e garantindo sucesso nas implementações.
- Funções avançadas, para que os controladores possam realizar várias tarefas de controle, controle de qualidade e informações para relatórios.
- Comunicação em rede, onde os controladores e computadores conseguem trocar grande quantidade de dados.

### 2.2.1 Arquitetura de um Controlador Lógico Programável

Um CLP é constituído basicamente por uma fonte de alimentação, uma Unidade Central de Processamento (UCP), memórias fixas e voláteis, dispositivos de entrada e saída e um terminal de programação [2]. Na Figura 6 é possível ver a representação da Unidade Central de Processamento de um CLP. Na sequência, os principais elementos constitutivos de um CLP são descritos.

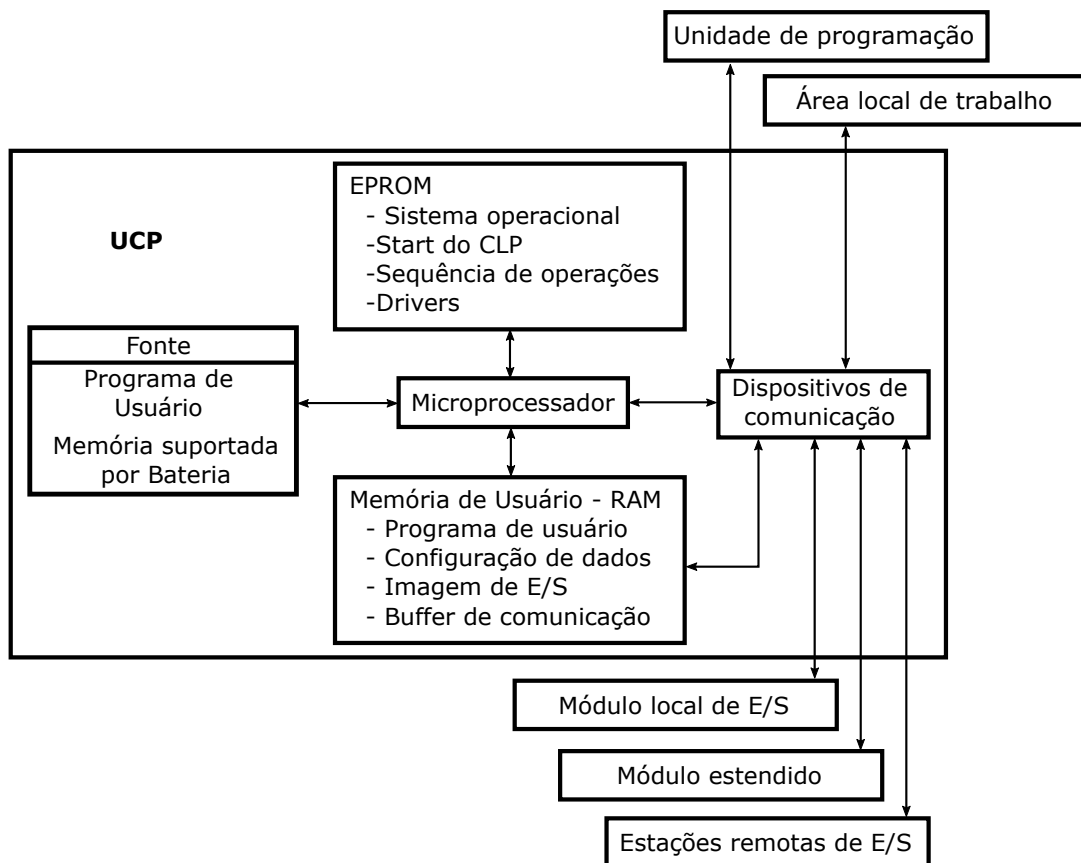


Figura 6 – Unidade Central de Processamento de Um CLP.

**Fonte de alimentação:** converte corrente alternada em corrente contínua para a alimentação do controlador. Se faltar energia, o controlador possui uma bateria que impede a perda do programa do usuário, que reinicia ao retornar a energia.

**Unidade Central de Processamento:** a UCP, ou CPU (Central Process Unit), é responsável pela execução do programa do usuário e da atualização da memória de dados e da memória-imagem das entradas e saídas (E/S).

**Memórias voláteis e não voláteis:** em um CLP se destacam quatro tipos básicos de memória, a memória EPROM, a memória de usuário e a memória de dados e a memória-imagem das entradas e saídas. A memória EPROM contém o programa monitor feito pelo fabricante que faz o *start-up* do controlador, armazena dados e gerencia as opera-



ções. Por sua vez, a memória de usuário armazena o programa aplicativo do usuário, a CPU processa esse programa e atualiza a memória de dados internos e a de imagem E/S. Em relação à memória de dados, esta é a encarregada de armazenar as informações referentes ao processamento do programa do usuário em uma tabela de valores manipuláveis. Finalmente, a memória-imagem das entradas e saídas representa o estado dos periféricos de entrada e saída, sendo que os circuitos das entradas são oriundos das chaves, botoeiras e sensores e os circuitos das saídas são destinados a dar partida em motores, solenoides e acionar válvulas.

**Módulos de entrada (E) e saída (S) de um CLP:** controladores lógicos programáveis são caracterizados pela presença de módulos de entrada e saída, apresentando cada um deles componentes eletrônicos específicos que ditam o seu comportamento. Os módulos de entrada dos CLPs contêm opto-isoladores em cada um dos circuitos associados à memória-imagem das entradas. Quando um circuito externo é fechado através do sensor, um diodo emissor de luz (LED) sensibiliza o componente da base, fazendo passar corrente interna no circuito de entrada [2]. O acionamento dos módulos de saída do CLP pode ser realizado através de três métodos clássicos, sendo estes a relé, a TRIAC (*Triode for Alternating Current*) e a transistor.

Para acessar os módulos de entrada e saída de um CLP, é usada uma estratégia de endereçamento com três elementos de acordo com: I:P/B ou O:P/B. Nos elementos supracitados, a primeira letra (I ou O) se refere à variável como sendo entrada, I (*input*), ou saída, O (*output*). O endereço de entrada é diferente do endereço de saída, ou seja, I:12/04 é diferente de O:12/4. O elemento “P” após os dois-pontos (:) representa a localização que o módulo de entrada ou saída ocupada no CLP. Finalmente o elemento “B” após a barra (/) se refere ao endereço do bit da imagem de entrada ou saída. Assim por exemplo o endereço I:12/4 representa o bit 4 da porta 12 do módulo de entrada, e, o endereço O:02/6 representa o bit 6 do porta 02 do módulo de saída. Este exemplo pode ser visto graficamente na Figura 7.

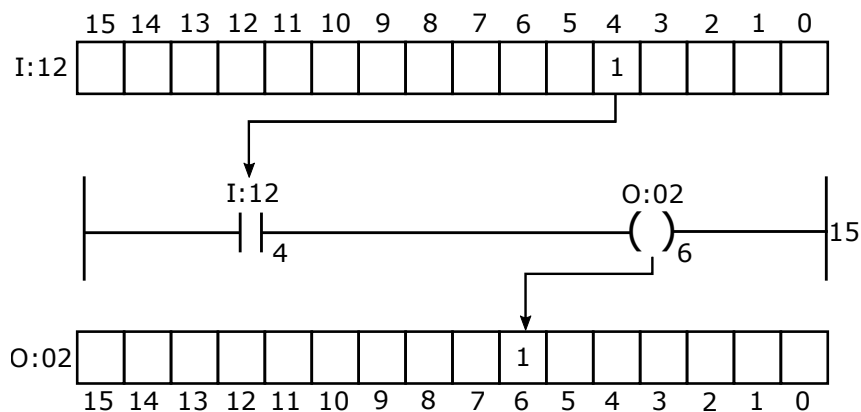


Figura 7 – Exemplo de endereçamento de entradas e saídas de um CLP.

**Terminal de programação:** é um periférico com a finalidade de fazer a comunicação entre o usuário e o controlador durante a implementação do software no controlador [2]. Normalmente é utilizado um computador para essa comunicação. Após a instalação, é possível fazer autodiagnóstico, alterações *on-line*, programação de instruções, monitoração e gravação e limpeza da memória no controlador.

## 2.2.2 Programação de CLPs

Controladores lógicos programáveis são projetados para executar os seus programas dentro de um ciclo contínuo chamado de varredura. No ciclo de varredura, o controlador lê a porta de entrada e grava a informação na imagem de entrada, logo após, o controlador processa as instruções e, finalmente, escreve a imagem de saída na porta de saída. O ciclo de varredura é processado em um ciclo fechado, como representa a Figura 8

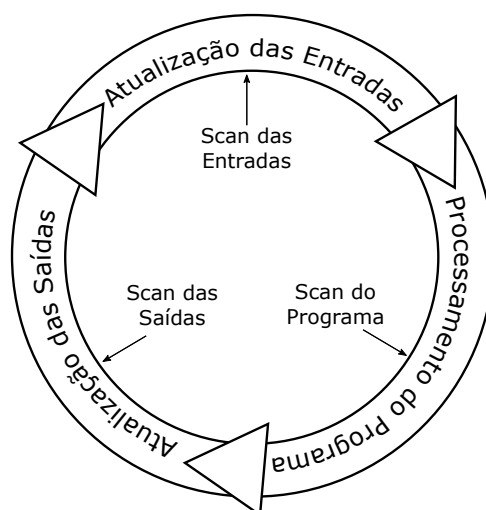


Figura 8 – Ciclo de varredura de um programa para um CLP (Adaptado de [2]).

Existem várias linguagens de programação utilizadas em CLPs. A padronização dessas linguagens é feita de acordo com a norma IEC 61131-3. É possível separar as linguagens em três grandes categorias, como visto na Tabela 2. Uma breve descrição de cada um das principais linguagens de programação é apresentada na sequência.

Tabela 2 – Classificação de linguagens de programação de CLPs

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

**Linguagem de programação Tabulares/Tabela de decisão:** consiste em uma Tabela verdade em que para cada linha há um conjunto de colunas que definem em lógica binária uma condição do sistema físico; outras colunas da mesma linha definem as consequências lógicas da condição. Esse tipo de linguagem é atualmente pouco utilizado devido ao aparecimento de linguagens mais avançadas

**Linguagem de programação textual:** essa categoria de programação é um pouco mais complexa e provém do setor eletrônico e informático, deste modo, constitui uma verdadeira linguagem de programação [14]. Fazem parte dessa categoria as linguagens: Lista de Instruções (IL – *Instruction List*) e Texto Estruturado (ST – *Structured Text*).

- **Lista de instruções (IL):** é uma linguagem de máquina muito parecida com a linguagem Assembler. É uma linguagem pouco prática e pouco intuitiva, não possui representação gráfica e requer muito tempo para a pesquisa de falhas no programa.
- **Texto estruturado (ST):** essa linguagem é de alto nível, assim como as linguagens Pascal, Basic e C++, e pode ser indispensável em algumas aplicações ou nas redes de comunicação. É a linguagem de programação mais potente para CLP, pois oferece possibilidades inexequíveis em outras linguagens.

**Linguagem de programação gráfica:** a linguagem de programação gráfica é apresentada como um esquema elétrico ou um esquema de blocos [14]. Nessa categoria estão as linguagens: Diagrama Ladder (LD – *Ladder Diagram*), Diagrama de Blocos Funcionais (FBD – *Function Block Diagram*) e Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC – *Sequential Function Chart*).

- **Linguagem Ladder (LD):** é a linguagem de programação mais utilizada para a programação do CLP. É composta de uma série de sinais gráficos e provém da lógica de relés e contatos. O esquema do Ladder é composto de uma linha vertical esquerda, denominada de barra de alimentação, uma linha vertical direita, nomeada de retorno comum ou massa, que conecta as variáveis de saída (output) e uma zona de ação, ou output, que representa as variáveis de saída.
- **Diagrama de Blocos Funcionais (FBD):** é uma linguagem composta por símbolos gráficos de lógica booleana, com comandos padronizados. É muito utilizada nos sistemas de controle de grandes instalações de processos.
- **Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC):** nesta linguagem são representadas sequencialmente as etapas do programa. Dessa forma, é possível ter uma visualização objetiva por passos de um processo automático. Cada bloco (P) representa um estado do processo e cada transição (T) é uma condição para mudar o estado.

### 2.2.2.1 Programação linear e estruturada

Duas abordagens clássicas na programação de CLPs são a a programação linear e a programação estruturada. Na programação linear o programa é gravado em um bloco e é executado da primeira até a última instrução. Na programação estruturada o programa pode ser dividido em vários blocos e ligados de forma hierárquica. Assim, cada bloco compõe uma parte do processo. Na programação estruturada deve haver pelo menos um bloco principal na estrutura e esse bloco pode ser dividido em outros blocos secundários, que executam certas funções e são chamados e retornam através do bloco principal.

A programação estruturada tem algumas vantagens sobre a programação linear, como por exemplo: os programas maiores podem ser programados de forma mais clara; Pode-se padronizar as partes mais utilizadas no programa; A organização do programa é Simplificada; O programa pode ser testado em partes e; Existe uma grande facilidade na modificação do programa. Um exemplo da programação linear e estruturada é mostrado na Figura 9

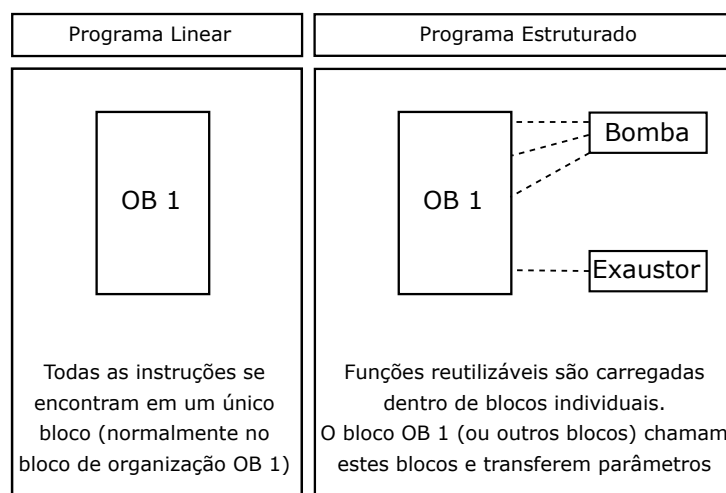


Figura 9 – Programação linear e estruturada em um CLP.

Na célula de encaixotamento robotizada descrita neste documento, foram usados CLPs da família SIMATIC S7-1200 da SIEMENS GA. As CPUs S7-1200 permitem programação linear e estruturada. A programação estruturada na linguagem SIMATIC se chama programação de blocos. Existem alguns tipos de blocos fundamentais que podem ser usados pela linguagem SIMATIC na programação dos CLPs, como mostrado a seguir:

- **Organization Block (OB):** os blocos OB executam a estrutura do programa. Eles são a interface entre o sistema operacional da CPU e o programa aplicativo.
- **Function Block (FB):** os blocos FB são blocos com memória programável do usuário.
- **Function (FC):** os blocos FC são como uma sub rotina.

- **Data Block (DB):** os blocos DB são utilizados para armazenar dados do usuário em qualquer ponto do programa.
- **Instance Data Block (DB):** as Instance Data Block fornece um bloco de memória associado aos blocos FB. São gerados de forma automática depois da criação do bloco FB para armazenar os dados.

Cada CPU da família SIMATIC S7-1200 da SIEMENS GA permite um número máximo de cada tipo de bloco. O bloco mais importante e indispensável é o bloco OB, que contém a lógica principal do programa.

### 2.2.3 Sistema de automação SIMATIC S7-1200

Devido ao crescente número de empresas de engenharia elétrica e eletrônica das últimas décadas, hoje no mercado é possível encontrar uma grande variedade de sistemas de automação diferentes, com características de eficiência e integrabilidade distintas. Um dos principais atores do mercado é a SIEMENS AG, com o seu sistema SIMATIC S7-1200 que permite executar tarefas de automação com flexibilidade e eficiência. Na Figura 10 é mostrado o sistema completo SIMATIC S7-1200.



Figura 10 – Sistema SIMATIC S7-1200

O sistema SIMATIC S7-1200 é um sistema de automação da Siemens constituído de três elementos, sendo estes: os CLPs da família S7-1200, as interfaces de visualização IHM (Interface Homem-Máquina) e uma plataforma de programação chamada de STEP 7 Basic, usada para programar e configurar os CLPs e as IHMs. Na sequência são apresentados e descritos cada um destes elementos constitutivos.

**CLPs da família S7-1200:** os CLPs SIMATIC S7-1200 são controladores lógicos programáveis, capazes de fazer o controle de uma enorme quantidade de sistemas de automação. Esta família de CLPs possui quatro tipos de CPU, sendo estes: S7-1211C, S7-1212C, S7-1214C e S7-1215C. Cada tipo de CPU possui características diferentes em relação ao desempenho. Em uma configuração estandar de CLPs da família SIMATIC S7-1200, encontram-se à esquerda da CPU o módulo de comunicação (CM) e à direita estão os módulos de entrada e saída discretos ou analógicos (SM). A Figura 11 mostra esta configuração típica.

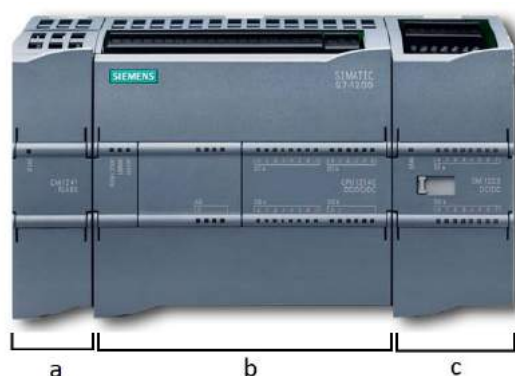


Figura 11 – Módulos de um CLP SIMATIC S7-1200: a) Módulos de comunicação, b) Modulo da UPC, c) Módulos de expansão de entradas e saídas

**Interfaces de visualização IHM (Interface Homem-Máquina):** a palavra HMI (*Human Machine Interface*) é derivada do inglês, porém em português é utilizado o termo IHM (Interface Homem-Máquina), e é constituída de interfaces ou painéis de operação para controle, visualização e monitoramento das variáveis do sistema de automação. Os SIMATIC HMI Basic Panels são interfaces básicas da Siemens para aplicações simples. Os painéis dessa linha estão disponíveis com os *displays widescreen* de alta resolução de 4” a 12” (Figura 12) [15]. Possuem tela sensível ao toque e tecla tátil. Além disso, possibilitam comunicação através dos protocolos PROFINET E PROFIBUS e podem ser configurados através do software TIA Portal (*Totally Integrated Automation*).



Figura 12 – HMI Basic Panels.

[15]

**STEP 7 Basic:** é a plataforma de software usada para configuração, programação e gerenciamento de todos os dispositivos do sistema SIMATIC S7-1200 e HMI. Isso pode ser feito através do software TIA Portal. A Figura 13 mostra uma visão geral da plataforma TIA Portal.

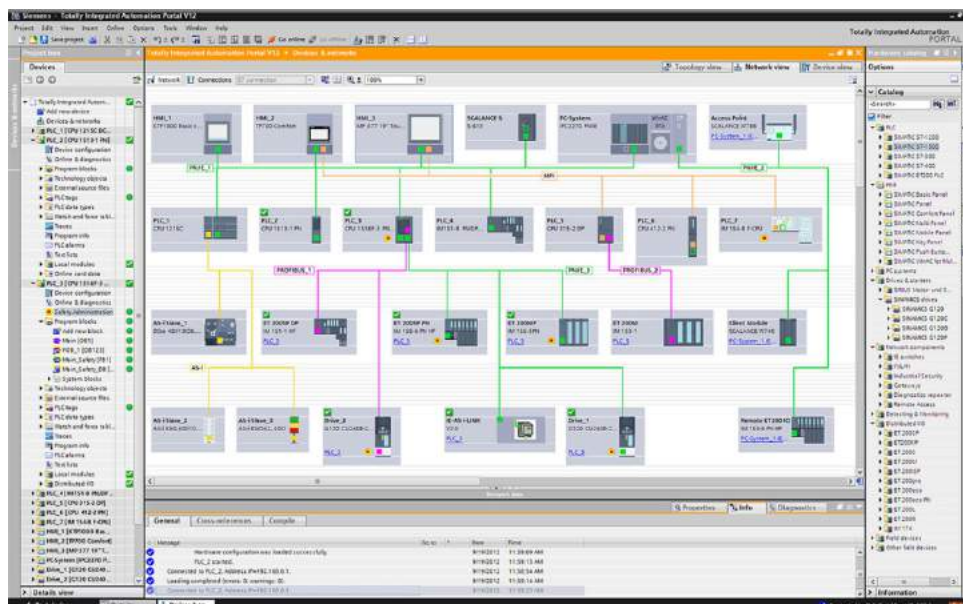


Figura 13 – Interface gráfica TIA Portal.

## 2.3 A pirâmide da automação

Do ponto de vista organizacional e hierárquico, uma ferramenta amplamente usada e aceita para agrupar todos os elementos constitutivos de um sistema de automação é a chamada pirâmide da automação que apresenta os diferentes níveis de controle de automação industrial, desde os equipamentos e dispositivos em campo até o gerenciamento corporativo da empresa. Nesta seção é apresentada de maneira sucinta a pirâmide da automação e são mostrados os principais dispositivos de automação que foram usados na célula de encaixotamento robotizada, objeto de estudo do presente TCC.

A Pirâmide da Automação Industrial é um diagrama que representa de forma hierárquica os 5 diferentes níveis de controle e trabalho em Automação Industrial. O objetivo de organizar a hierarquia da automação industrial visualmente em forma de pirâmide, reside em mostrar a interdependência de cada um dos níveis de controle e de trabalho existentes no setor industrial. A Figura 14 mostra a pirâmide da automação e os seus 5 níveis. Na sequência, cada um desses níveis é brevemente discutido. Também, na Seção 2.3.1 serão listados de maneira genérica os principais dispositivos de automação usados na célula de encaixotamento robotizada e que podem ser encontrados nos primeiros três níveis da pirâmide da automação.

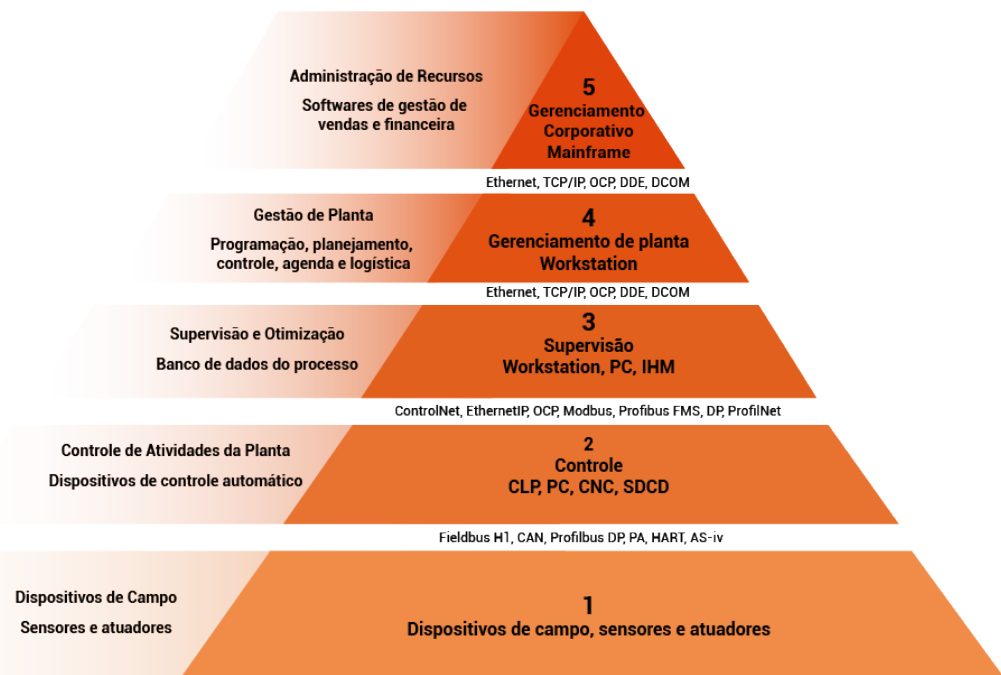


Figura 14 – Pirâmide da Automação.

**Nível 1 – Dispositivo de Campo, Sensores e Atuadores:** encontramos neste nível os atuadores, sensores, transmissores e outros componentes presentes na planta.

**Nível 2 – Controle Individual:** este nível compreende equipamentos que realizam o controle automatizado das atividades da planta. Aqui se encontram CLP's (Controlador Lógico Programável), SDCD's (Sistema Digital de Controle Distribuído) e relés.

**Nível 3 – Controle de Célula, Supervisão e Otimização do Processo:** este nível destina-se a supervisão dos processos executados por uma determinada célula de trabalho em uma planta. Na maioria dos casos, também obtém suporte de um banco de dados com todas as informações relativas ao processo.

**Nível 4 – Controle Fabril Total, Produção e Programação:** o quarto nível é responsável pela parte de programação e também do planejamento da produção. Auxilia tanto no controle de processos industriais quanto também na logística de suprimentos. Podemos encontrar o termo Gerenciamento da Planta para este nível.

**Nível 5 – Planejamento Estratégico e Gerenciamento Corporativo:** este último nível da pirâmide da automação industrial se encarrega da administração dos recursos da empresa. Neste nível encontram-se softwares para gestão de venda, gestão financeira e BI (Business Intelligence) para ajudar na tomada de decisões que afetam a empresa como um todo.



### 2.3.1 Dispositivos de automação utilizados

Nesta seção são apresentados de maneira sucinta os principais dispositivos de campo usados na célula de encaixotamento robotizada, agrupados em quatro grupos que representam os sensores, os atuadores, os sistemas de comunicação e o controlador de segurança.

#### Sensores

Sensores são dispositivos amplamente utilizados na automação industrial que transformam variáveis físicas em variáveis convenientes. Entre os sensores mais amplamente usados em automação, destacam-se duas classes: sensores de contato mecânico e sensores de proximidade. Sensores de proximidade podem ser classificados em: sensores óticos, sensores indutivos, sensores capacitivos, sensores ultrassônicos e sensores de efeito Hall.

Na célula de encaixotamento robotizada foram utilizados dois tipos de sensores óticos de reflexão difusa da marca SICK. O primeiro foi o WTB11-2P2461 que possui um alcance de detecção entre 30mm e 1.100mm, o segundo foi o VTB180-2F32412 com um alcance de detecção entre 10mm e 350mm. Ambos os sensores possuem saída de comutação PNP. Estes sensores podem ser vistos conforme a Figura 15.

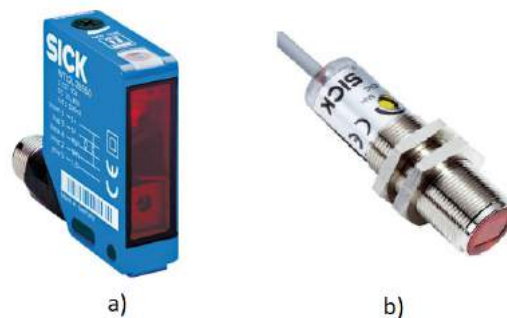


Figura 15 – a) Sensor fotoelétrico WTB11-2P2461; b) Sensor fotoelétrico VTB180-2F32412

Também foram utilizados alguns sensores magnéticos que serviram como chaves de segurança. As chaves de segurança magnética usadas para a segurança nas portas do sistema de encaixotamento foram as RE13-SAC, da marca SICK. A Figura 16 mostra uma imagem deste sensor.



Figura 16 – Chave de segurança magnética RE13-SAC.  
[16]

## Atuadores

Os principais atuadores usados na célula de encaixotamento robotizada foram motores elétricos. O motor elétrico é um dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica. Os motores elétricos são divididos em duas grandes categorias de acordo com o tipo de tensão: corrente contínua e corrente alternada. Os motores utilizados no projeto são CA assíncronos trifásicos com rotor gaiola de esquilo da marca SEW Eurodrive [17]. Foram utilizados modelos com 0.37kW, 0.55kW e 0.75kW. Todos esses modelos são muito semelhantes, como ilustrado na Figura 17.



Figura 17 – Motor elétrico SEW Eurodrive.

O controle da velocidade de rotação de um motor elétrico é normalmente realizado usando um dispositivo eletrônico chamado inversor de frequência. Inversores de frequência controlam a velocidade de rotação de um motor elétrico trifásico através do controle da frequência entregue pela rede elétrica [18]. Com estes dispositivos, o usuário pode configurar e visualizar parâmetros de velocidade, frequência do motor e tempos de rampa de aceleração, além de poder monitorar os dados do motor em tempo real e armazená-los. Neste projeto foram utilizados inversores SINAMICS G120C da SIEMENS GA, que permitem a comunicação através do protocolo PROFINET ou EtherNet/IP e cujo o comissionamento (configuração dos parâmetros para funcionamento) pode ser feito através do TIA Portal considerando apenas as características do motor utilizado, a aplicação do motor no sistema e a rede elétrica. O inversor de frequência SINAMICS G120C pode ser visto conforme a Figura 18.



Figura 18 – Inversor de frequência SINAMICS G120C.

## Sistemas de comunicação na indústria

A medida que a indústria cresce, os processos tornam-se mais complexos e variáveis, necessitando um elevado grau de controle e regulação. O desenvolvimento industrial está diretamente ligado ao mecanismo de conexão entre dados. Caso ele não seja eficiente, a produção ficará estagnada. A comunicação entre um conjunto de dispositivos é feita através de uma rede. Um dispositivo na rede pode ser qualquer equipamento capaz de enviar e receber dados, como sensores, computadores, atuadores, controladores, entre outros [20]. As redes industriais são uma forma de automação de indústria, que consistem em protocolos de comunicação usados para supervisionar e controlar processos na indústria, de modo que os dispositivos troquem informações de forma confiável e ágil.

Um protocolo de comunicação pode ser entendido como o conjunto de regras necessárias para a realização da comunicação de dados entre dois dispositivos. Os principais protocolos de comunicação encontrados na indústria são mencionados na sequência junto com uma breve descrição de cada um deles.

- Profinet: é um padrão de automação normalizado pela associação PROFIBUS internacional para implementação e integração de soluções baseadas em Ethernet industrial. O PROFINET suporta a integração de um simples dispositivo de campo a aplicações de tempo crítico (real time), bem como a integração de automação de sistemas baseados em componentes.
- Profibus (*Process Field Bus*): foi criado em 1989 e vem sendo amplamente utilizado na indústria devido ao fato de ser um protocolo aberto [2]. O Profibus pode ser usado em várias aplicações como: automação industrial, automação de processos, sistema de segurança e sistemas relacionados a controle de movimento.
- Modbus: foi criado em 1979 e até hoje ainda é um dos protocolos mais utilizados em CLPs. Possui dois modos de transmissão: o RTU e o ASCII [21].
- Ethernet/IP: a Ethernet foi desenvolvida pelo centro de desenvolvimento da Xerox Palo Alto nos anos 70. Em 1980 foi publicada a primeira especificação da Ethernet e posteriormente a especificação da Ethernet foi transferida ao IEEE (Institute for Electrical and Electronic Engineers). O Ethernet/IP se baseia no protocolo CSMA/CD para acesso ao meio, no TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) e no protocolo CIP (*Control and Information Protocol*) [2].
- CAN (*Controller Area Network*): foi desenvolvido pela Bosch AG para aplicações em tempo real. Este protocolo tem sido muito usado na indústria automotiva. Muitos fabricantes adotaram o CAN também para aplicação na automação industrial e predial [2]. O protocolo CAN tem diversas propriedades, entre elas: priorização de mensagens, flexibilidade de configuração, consistência larga de dados do sistema, detecção e sinalização de erro.

- DeviceNet: é um dos principais protocolos de rede industrial utilizados no mundo. Foi desenvolvido nos anos 90 pela então Allen Bradley (comprada posteriormente pela Rockwell Automation). O DeviceNet é baseado no protocolo CAN, portanto possui algumas características desta rede, como seu protocolo aberto e capacidade de operar com diversos dispositivos.

### Controlador de segurança

Células de trabalho robotizadas em geral precisam de um sistema de segurança com itens específicos. Esses itens podem ser botões de emergência, chaves, scanners e relés de segurança. Entretanto, um dos principais itens é o CLP de segurança. O controlador para segurança proporciona mais economia, praticidade e velocidade do que os tradicionais relés, além de ser programável e flexível.

Quando o sistema possui poucos dispositivos que precisam ter um controle de segurança pode, na maioria das vezes, usar relés. Entretanto, quando há um número maior de dispositivos o uso do CLP de segurança passa a ser necessário. Assim como um CLP comum, o controlador destinado à segurança permite um controle de todos os dispositivos de proteção das máquinas com eficiência. Além disso, é uma solução mais barata do que utilizar muitas ligações com relés.

Este equipamento possui todos os benefícios de um controlador lógico programável comum e dedica-se às aplicações de segurança. É possível programá-lo, assim como um controlador comum, e ele permite que programas padrão e de segurança sejam executados no mesmo rack controlador. Isso proporciona flexibilidade na programação e um ambiente de uso simples para os programadores.

Na célula de encaixotamento robotizada foi utilizado o controlador de segurança FX3-CPU0 da marca SICK. Neste controlador de segurança, os dispositivos e sensores de segurança (como, *scanners* a laser, interruptores, sensores, codificadores, botão de parada de emergência) são conectados ao controlador de segurança modular Flexi Soft e também são adicionados na lógica do controlador. Os atuadores das máquinas ou sistemas podem ser desligados com segurança através das saídas do controlador de segurança.

Para as entradas e saídas desse CLP é necessário utilizar módulos de expansão, pois o mesmo não possui conexão para entrada e saída. Além disso, é necessário um módulo para comunicação para que esse controlador troque informações com o controlador principal da planta. A configuração para o controlador de segurança Flexi Soft é feita através da ferramenta de configuração Flexi Soft Designer. A configuração é elaborada em apenas três passos (configuração do hardware, elaboração da parte lógica e transmitir e verificar). Por meio da condução simples do usuário na ferramenta de configuração, são disponibilizadas as informações de módulos e elementos, bem como um plano gráfico da fiação para uma colocação em operação rápida e documentação completa.

## 3 Visão geral do projeto

### 3.1 Identificação do problema

O aumento da demanda de grande parte dos produtos industriais, principalmente produtos alimentícios, fez com que as empresas produzissem mais a cada ano. Os avanços tecnológicos, especialmente dos controladores, robôs e dispositivos inteligentes, possibilitaram o desenvolvimento de sistemas automatizados e robotizados cada vez mais eficientes e seguros para que as empresas conseguissem atender essas demandas. Com isso, esses sistemas, além de aumentar a capacidade produtiva, também auxiliam as empresas a reduzir custos, esforços físicos e o número de pessoas realizando tarefas de baixo nível.

Nesse contexto, uma empresa de produtos lácteos que opera principalmente no sul do Brasil, produzindo mais de 200 produtos e que terá o seu nome sob sigilo, percebeu que poderia aumentar a produção de alguns de seus produtos alimentícios e evitar a tarefa de encaixotar manualmente esses produtos. Essa tarefa manual exige movimentos repetitivos, esforços físicos e uma postura inadequada. Buscando mais produtividade, lucratividade e redução de riscos ergonômicos a empresa de produtos lácteos (denominada empresa contratante) contratou a Torfresma (denominada empresa contratada) para o desenvolvimento de um sistema robotizado de encaixotamento de potes.

O sistema robotizado para o encaixotamento de potes evita o trabalho manual de um grupo de colaboradores e otimiza o processo. O encaixotamento pode ser padronizado, de forma que os produtos são encaixotados sempre da mesma forma e com mais eficiência. Assim, é possível diminuir o número de pessoas envolvidas no encaixotamento, já que o sistema precisa apenas de poucos colaboradores para operá-lo e supervisioná-lo, permitindo que os funcionários, que executam manualmente essa tarefa, possam passar a fazer tarefas de mais alto nível e mais importantes dentro da empresa.

### 3.2 Descrição do processo manual

No processo manual de encaixotamento, a empresa contratante utiliza colaboradores para o trabalho manual de encaixotamento. Além dos riscos ergonômicos aos colaboradores que executam essa tarefa, a eficiência do processo manual é menor, levando em conta a possibilidade de erros e o tempo de encaixotamento. A empresa contratante trabalha durante três turnos por dia. Em cada turno a empresa utiliza aproximadamente quatro pessoas para realizar o encaixotamento manual, onde duas pessoas colocam os produtos dentro das caixas, uma monta as caixas e uma fecha as caixas cheias. Portanto, os três turnos totalizam doze colaboradores envolvidos no processo de encaixotamento.

A envasadora de produtos da empresa contratante, que leva os produtos da linha de produção para o encaixotamento, não opera com velocidade máxima pois o encaixotamento manual não atende a demanda. A implementação da célula de encaixotamento robotizada busca atender uma demanda muito maior de produtos. Portanto, a envasadora poderá operar com velocidade máxima após a instalação do sistema. Os produtos que são encaixotados manualmente são os mesmos que serão encaixotados pelo sistema robotizado nessa linha. São dois os tipos de produtos produzidos na linha e que podem ser envasados em dois tipos de potes diferentes. Para cada tipo de pote usado, também é utilizado um tipo de caixa diferente. Na Figura 19 é possível ver os tipos de potes e caixas e suas respectivas dimensões.

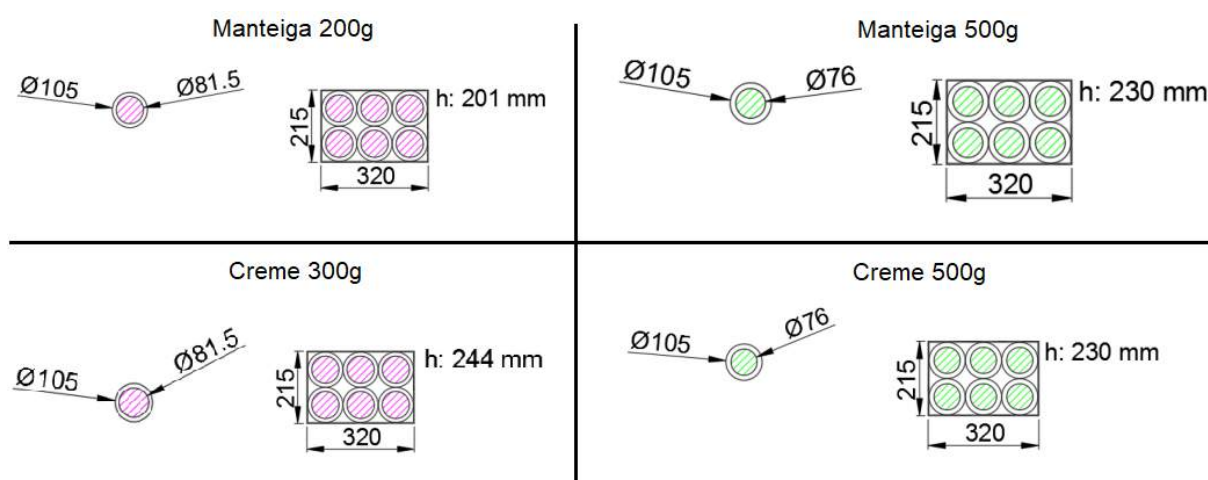


Figura 19 – Dimensões dos potes e caixas.

A Tabela 3 mostra as velocidades de envase de produtos no encaixotamento manual e a quantidade de potes por caixa. Nesta tabela é possível observar que, embora sejam encaixotados quatro produtos diferentes, são usados apenas três tipos diferentes de potes, já que os potes de 500 gramas de ambos os produtos são iguais. Além disso, a caixa usada para colocar esse tipo de pote também é a mesma para os dois produtos.

Tabela 3 – Dados de cada pote no processo manual.

Pote	Dados
Manteiga 200g	4.000 potes/hora 24 potes/caixa
Manteiga 500g	3.500 potes/hora 12 potes/caixa
Creme 300g	3.500 potes/hora 18 potes/caixa
Creme 500g	3.500 potes/hora 12 potes/caixa

### 3.3 Solução proposta pela empresa contratada

Com base em sua experiência no desenvolvimento de soluções para encaixotamento, a empresa contratada propôs um sistema robotizado de encaixotamento específico para a empresa contratante que busca atender uma velocidade de encaixotamento de produtos muito maior do que a velocidade obtida no processo manual. A tabela 4 mostra as velocidades de envase buscadas. A quantidade e disposição de potes dentro das caixas no processo de encaixotamento proposto pode ser vista na Figura. 20.

Tabela 4 – Dados de cada pote com a implementação da célula.

Pote	Dados
Manteiga 200g	10.000 potes/hora 24 potes/caixa
Manteiga 500g	8.000 potes/hora 12 potes/caixa
Creme 300g	8.000 potes/hora 18 potes/caixa
Creme 500g	8.000 potes/hora 12 potes/caixa

Através da implementação desse sistema robotizado, a automação flexível torna-se a melhor solução devido à quantidade de produtos que será encaixotado e o modo como será realizada essa tarefa. Além disso, esse sistema pode ser facilmente reprogramado para encaixotar mais tipos de potes futuramente.

A célula de encaixotamento é composta por dois subsistemas: a encaixotadora e a formadora de caixas. Ambos possuem quatro tipos de configuração, chamadas de receitas, de acordo com os tipos de potes e de caixas que estão sendo utilizados. Portanto, sempre que houver a troca de produto, deverá ser alterada a receita do sistema.

A Figura 21 mostra que a encaixotadora recebe as caixas, montadas na formadora de caixas, e as posiciona para receber os produtos. A medida que os produtos chegam ao manipulador, ele as encaixota, ou seja, coloca os produtos dentro das caixas posicionadas. As caixas são liberadas quando o robô termina de colocar os produtos e as mesmas se dirigem para outra parte da linha, onde serão fechadas.

A célula de encaixotamento robotizada projetada compreende apenas os subsistemas da encaixotadora e da formadora de caixas, sendo que o sistema fechador de caixas e a envasadora de produtos pertencem a linha de produção da empresa contratante, isto é, não faz parte do projeto desenvolvido pela Torfresma.

Nas seções 3.3.1 e 3.3.2 são descritos com maior detalhe os dois subsistemas que constituem a célula de encaixotamento robotizada.

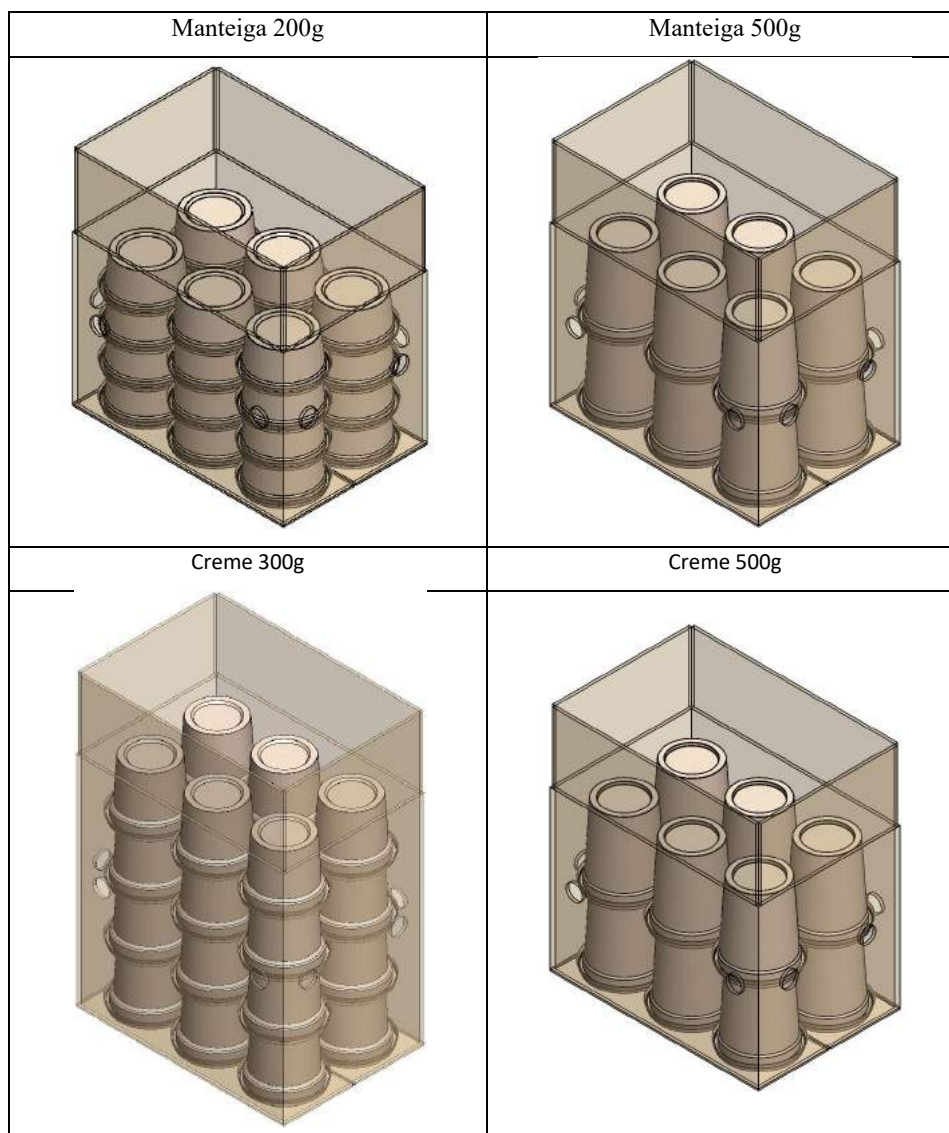


Figura 20 – Disposição dos potes nas caixas.

### 3.3.1 Formadora de caixas

A formadora de caixas monta e prepara as caixas utilizadas no processo de encaixotamento. Esse subsistema possui um CLP e uma IHM dedicados que trabalham em conjunto com os seus próprios dispositivos de campo. A segurança do sistema é realizada através de um relé dedicado para tal fim, que trabalha em conjunto com um botão de emergência e uma série de chaves magnéticas de segurança.

As caixas são montadas de acordo com uma sequência de passos preestabelecidos e que tem como condição inicial a existência de caixas desmontadas no estoque de caixas. No estoque, as caixas estão dobradas e são colocadas juntas e em sequência, como se fossem folhas de papelão. Ao fim do processo de montagem a caixa é transportada até a encaixotadora, onde receberá os produtos.



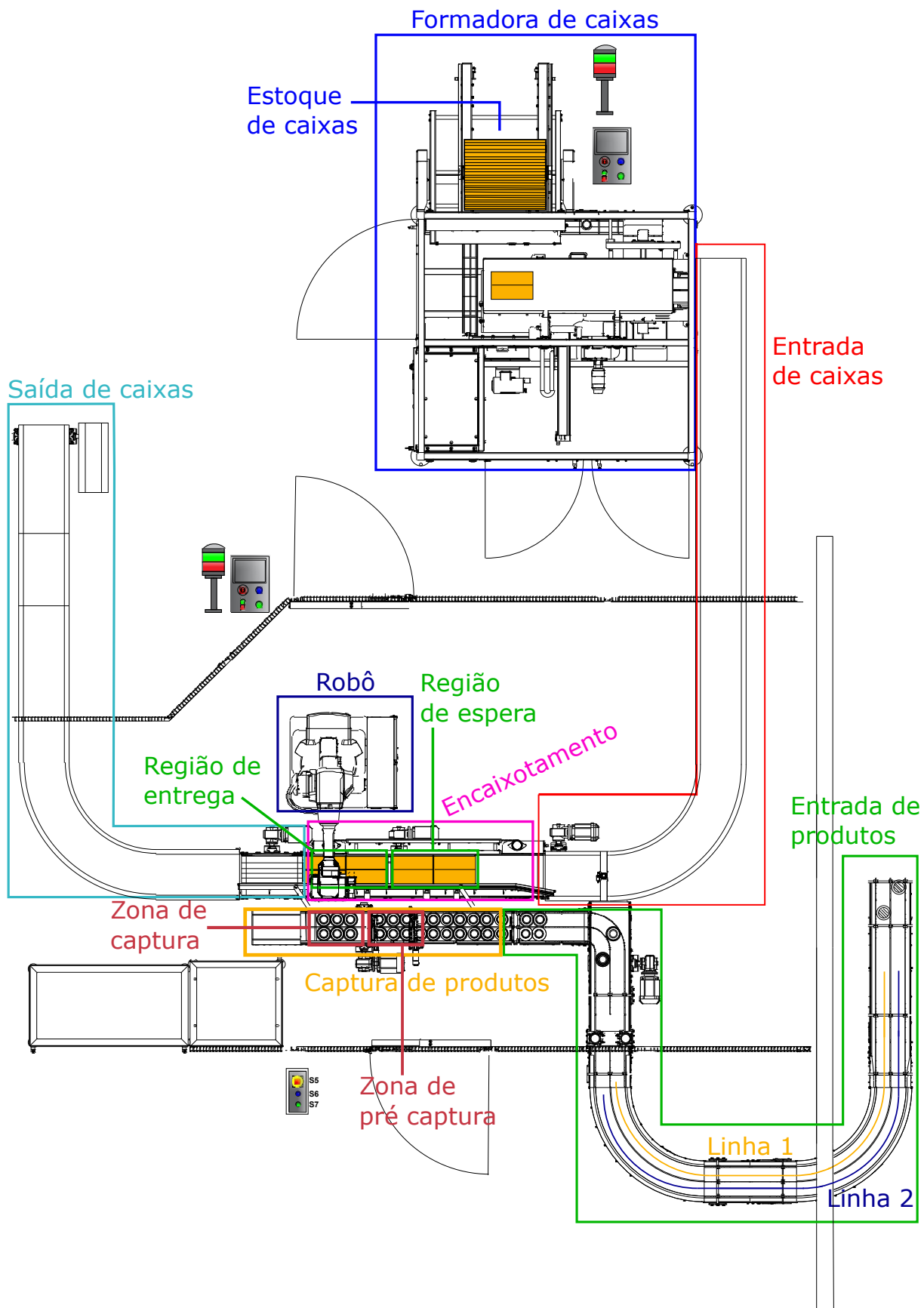


Figura 21 – Layout do sistema completo de encaixotamento.

### 3.3.2 Encaixotadora

No processo de encaixotamento, um Robô articulado ABB IRB 2600 de seis eixos é utilizado para executar uma operação de *pick & place*, ou seja, pegar os produtos de uma esteira e depositá-los dentro das caixas.

Este subsistema da célula de encaixotamento possui um controlador principal (CLP) e uma IHM que se encarregam da troca de informações com o robô e com os dispositivos da célula. A comunicação entre os dispositivos é realizada através de um protocolo de rede específico.

Há ainda um CLP próprio para o sistema de segurança da encaixotadora e que também troca informações com o controlador principal. Dispositivos de segurança, como chaves magnéticas de segurança e botões de emergência são ligados diretamente nesse controlador de segurança. As chaves magnéticas ficam acopladas às portas de acesso da célula para garantir o acionamento da emergência caso elas sejam abertas. Os botões de emergência ficam nos painéis de operação da encaixotadora.

O sistema da encaixotadora é composto por módulos independentes que trabalham em conjunto para que o encaixotamento seja executado de forma simples e eficiente, como mostrado na Figura 21. Os módulos são: entrada de produtos, entrada de caixas, captura de produtos, encaixotamento, robô e saída de caixas. Uma breve descrição de cada um desses módulos é apresentada na sequência.

**Entrada de produtos:** o módulo de entrada de produtos é constituído principalmente por uma esteira transportadora que leva os produtos desde a envasadora até a esteira de captura. Essa esteira controla a entrada de produtos de cada linha. Há duas linhas na entrada de produtos. Esse módulo deve garantir que sempre existam produtos nas duas linhas no momento da captura e deve verificar o acúmulo de produtos na entrada.

**Entrada de caixas:** é composto por uma esteira transportadora, que traz as caixas montadas na formadora, e controla a entrada das mesmas no sistema. O controle de caixas é feito de acordo com o pedido de caixas feito pelo módulo de encaixotamento e pela confirmação de que as caixas chegaram na região de espera.

**Captura de produtos:** o módulo de captura de produtos é constituído por uma esteira transportadora que posiciona os produtos para a sua posterior captura pelo robô. Essa esteira está colocada após a esteira de entrada de produtos. Independentemente do tipo de pote, o robô sempre pega seis potes por vez, sendo três em cada linha da esteira. Para isso, os seis potes são preparados em uma zona de captura e outros seis ficam esperando na zona de pré captura, logo atrás. Os potes em espera ficam preparados para a próxima captura. Nesse módulo, a comunicação com o manipulador é importante, pois o contro-

lador deve saber se a captura foi feita e se o manipulador não está na zona de captura.

**Módulo de encaixotamento:** é formado por uma esteira transportadora que posiciona as caixas para o encaixotamento. Essa esteira está localizada após a esteira da entrada de caixas no sistema. Quatro caixas ficam posicionadas ao longo da esteira de encaixotamento. Duas ficam prontas para receber os produtos, na região de entrega, e as outras duas ficam em espera na sequência. O robô deve ser comunicado quando as caixas estiverem posicionadas para receber os produtos. Quando o robô termina de colocar os produtos nas duas caixas é realizada a troca de caixas. Na troca, as caixas cheias são liberadas e as caixas em espera são posicionadas para receber novos produtos. A partir disso, mais duas caixas são solicitadas pela esteira de entrada para ficarem em espera.

**Robô:** esse módulo compreende apenas a comunicação com o robô e os comandos do controlador para o robô. Para realizar a captura dos produtos é utilizada uma garra de vácuo, conforme a Figura 22. O robô solicita ao controlador para acionar o vácuo da garra para pegar os produtos e também solicita o comando de sopro para soltar os produtos. O manipulador sempre pega os produtos que estão prontos para a captura, enche a primeira caixa da esteira de encaixotamento e, em seguida, a segunda. O manipulador realiza todos os movimentos a partir da troca de informações com o controlador.

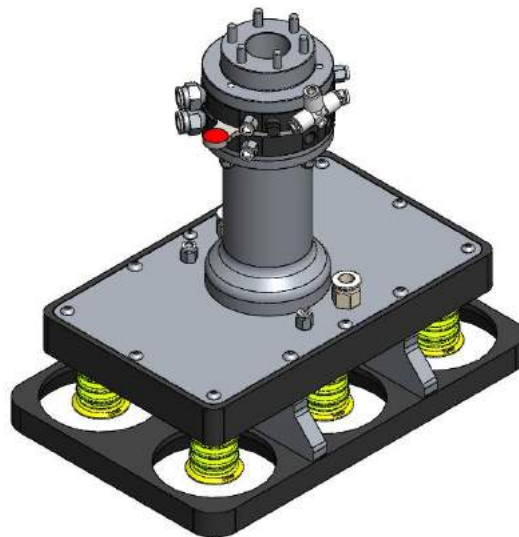


Figura 22 – Garra de vácuo acoplada ao robô.

**Saída de caixas:** a saída de caixas é composto por uma esteira para o espaçamento das caixas e uma esteira para transportar as caixas para a fechadora. A esteira de espaçamento serve para criar um espaço entre as duas caixas liberadas pelo encaixotamento. A primeira caixa passa para a esteira de saída e a segunda fica parada na esteira de espaçamento durante um curto período. A partir disso, cria-se um espaço entre as caixas e a segunda caixa passa para a esteira de saída logo após.

## 3.4 Desenvolvimento do TCC

O projeto e construção de uma célula de trabalho robotizada é um processo de engenharia complexo e altamente interdisciplinar, que reúne habilidades de diversos profissionais a fim de executar um leque enorme de tarefas que vão desde o levantamento das especificações do projeto até a implementação física da célula dentro do processo fabril. No projeto específico da célula de encaixotamento robotizada (CER) construído pela Torfresma, diversas equipes trabalharam em conjunto na criação dos documentos técnicos, fabricação da estrutura física e na programação e integração dos subsistemas da célula.

Dentro da equipe de programação e integração de sistemas no setor de automação, o autor do presente trabalho desenvolveu, principalmente, atividades de programação, comunicação e integração dos elementos do sistema de encaixotamento robotizado. Em particular, foram amplamente executadas atividades de programação das interfaces gráficas, dos controladores e do robô industrial. A fim de alcançar os objetivos desse trabalho, a colaboração e auxílio de todos os profissionais da empresa, durante todas as etapas do projeto, foram indispensáveis.

## 4 Metodologia

Projetos de automação industrial devem seguir uma série de procedimentos rigorosos com o intuito de atingir o seu objetivo final. Para tal, os projetistas devem estruturar e documentar todos os procedimentos técnicos necessários no processo de automação. O processo de estruturação e documentação deve incluir elementos tais como listas de entradas e saídas dos controladores, desenhos técnicos detalhando a posição de peças e dispositivos e, ainda, diagramas e especificações dos equipamentos. Esse conteúdo é essencial para que a equipe de automação possa dar início a programação e integração do sistema.

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos executados a fim de programar os principais componentes da célula de encaixotamento robotizada. Esses procedimentos serão divididos em três seções, sendo uma seção para a programação da encaixotadora (incluindo a programação do controlador, da interface gráfica e do controlador de segurança), outra para a programação dos movimentos do robô e uma última seção para a programação da formadora de caixas (incluindo a programação do controlador e da interface gráfica). A Figura 23 mostra como está dividida a programação dos principais componentes da célula de encaixotamento robotizada.

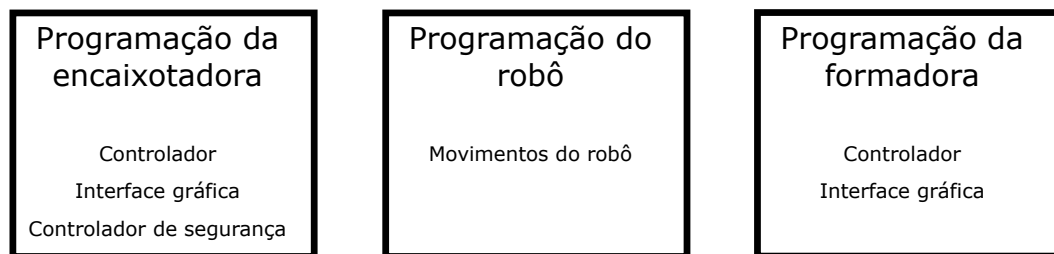


Figura 23 – Divisão da programação do sistema.

Diferentes ferramentas são utilizadas para fazer a programação dos principais componentes da célula de encaixotamento robotizada. Cada ferramenta é utilizada para programar uma parte do sistema de encaixotamento. A Tabela 5 mostra a ferramenta de programação usada em cada uma das divisões.

Tabela 5 – Ferramentas de programação usadas.

<b>Divisão</b>	<b>Componente da divisão</b>	<b>Ferramenta</b>
Programação da encaixotadora	Controlador	TIA Portal
	Interface gráfica	
	Controlador de segurança	Flexi Soft Designer
Programação do robô	Movimentos do robô	RobotStudio
Programação da formadora	Controlador	TIA Portal
	Interface gráfica	

## 4.1 Programação da encaixotadora

A programação da encaixotadora é baseada nas informações e documentos técnicos apresentados pelo setor de projetos. A encaixotadora utiliza o CLP SIMATIC S7-1200 da Siemens para o controle do processo. Tal controlador foi escolhido devido às suas características, confiança e experiência no seu uso em outros projetos e a preferência da contratante pelo uso da marca. Os principais dispositivos da encaixotadora, que fazem parte do funcionamento do processo e devem trocar informações com o controlador a todo momento, são citados na sequência.

- **Sensores fotoelétricos:** se comunicam com o controlador através de sinais digitais. Para detectar apenas a presença das caixas é usado um sensor menos robusto e de menor precisão. Já, para detectar a passagem de produtos, é usado um sensor com maior precisão e qualidade. Ambos são da marca Sick.
- **Pistões pneumáticos:** são acionados pelas válvulas solenoides. Essas válvulas estão ligadas às saídas digitais do controlador. Os pistões são usados nas cancelas da saída de caixas e da captura de produtos e na distribuição da entrada de produtos. Os pistões e válvulas utilizadas são da marca SMC.
- **Botões:** são ligadas às entradas digitais do controlador. Essas botoeiras estão distribuídas em dois painéis de operação na encaixotadora.
- **Torre de sinalização:** fica junto com o painel de operação 1 e possui duas lâmpadas e uma sirene. A torre é ligada na saída digital do CLP.
- **Chaves magnéticas de segurança:** são conectadas diretamente nas entradas digitais do controlador de segurança. Elas ficam acopladas nas portas para garantir a segurança do sistema.
- **Motores elétricos:** são utilizados para mover as esteiras. Cada motor é ligado a um inversor de frequência. O inversor é usado para controlar o motor e comunica-se com o controlador através de um protocolo de comunicação.
- **Servo motor:** possui um drive para controlar seus movimentos. Esse drive recebe as informações do controlador através de um protocolo de comunicação. Esse motor é usado para mover uma fita com taliscas que posiciona as caixas no módulo de encaixotamento.

Todas as entradas e saídas utilizadas no sistema são digitais. As listas contendo todos os dispositivos da encaixotadora são mostradas no Apêndice A. Nesse apêndice há uma lista com as entradas/saídas digitais ligadas ao CLP da encaixotadora e uma lista com todos os motores da encaixotadora. Esses motores são conectados na rede do controlador.

### 4.1.1 Comunicação da encaixotadora

O controlador da encaixotadora é o principal controlador de todo o sistema. Portanto, ele deve se comunicar com todas as partes. Essa troca de informações é feita através do protocolo PROFINET. O controlador de segurança da encaixotadora também pode ser integrado utilizando esse protocolo. Com isso, os modelos dos dispositivos e do robô foram escolhidos para utilizar PROFINET. Esse protocolo foi escolhido para o projeto devido a experiência da equipe com a sua utilização, a confiabilidade e a facilidade de implementação em equipamentos da marca Siemens. Ainda, é o único protocolo em comum entre o controlador da Siemens e o manipulador da ABB. Na sequência, uma breve descrição do processo de comunicação com os motores, com a IHM, com o robô e com o controlador de segurança é apresentada. Também é apresentada a topologia de comunicação usada.

**Comunicação com os motores:** a maioria dos dispositivos do sistema trocam informações com o controlador através de sinais digitais. Entretanto, os inversores de frequência e os servo drives escolhidos utilizam o protocolo PROFINET para trocar dados sobre os motores. A Siemens usa o padrão PROFIdrive para o controle e acionamento dos movimentos dos motores. Esse padrão pode ser aplicado pelo protocolo PROFINET. A Siemens possibilita o uso de alguns tipos de estrutura de dados com base nesse padrão. Tais estruturas são chamadas de *Standard Telegram*.

A comunicação entre o servo drive e o controlador é feita através do *Standard Telegram 111*. Essa estrutura é escolhida durante o comissionamento do drive. O *Standard Telegram 111* é dividido em duas partes, sendo que cada parte possui doze variáveis do tipo *word* contendo informações. Uma parte se refere às *words* de controle e a outra são as *words* de estado. Ambas as partes dessa estrutura estão no Apêndice B.

**Comunicação com a IHM:** a comunicação entre o CLP e a IHM é feita utilizando o protocolo PROFINET. A IHM é criada usando a mesma ferramenta de programação do controlador, o TIA Portal, e por isso ela consegue acessar todas as variáveis globais criadas no programa do controlador.

**Comunicação com o robô:** a comunicação entre o CLP da encaixotadora e o manipulador é feita utilizando PROFINET. O controlador é configurado para usar até 64 bytes de informações recebidas do robô e 64 bytes enviadas ao robô, porém as informações trocadas não utilizam toda essa capacidade. A Tabela 6 mostra todas as informações enviadas do manipulador ao controlador e a Tabela 7 indica as informações enviadas do controlador ao manipulador. As mensagens com tamanho de 1 bit podem ter apenas valor 0 ou 1, ou seja, verdadeiro ou falso. As mensagens de 8 bits são informações numéricas e são tratadas conforme o valor recebido.

Tabela 6 – Informações enviadas do manipulador ao controlador.

Tipo de dado	Tamanho	Descrição
Byte	1 bit	Robô está ligado
	1 bit	Robô está na posição inicial
	1 bit	Robô está em ciclo
	1 bit	Garra está vazia
	1 bit	Robô está na região de entrega
	1 bit	Robô está na região de captura
	1 bit	Caixas estão cheias
Byte	1 bit	Robô capturou o produto
	1 bit	Solicitar o vácuo na garra
Byte	1 bit	Solicitar o sopro na garra
Byte	8 bits	Estado do robô
Byte	8 bits	Falha do robô

Tabela 7 – Informações enviadas do controlador ao manipulador.

Tipo de dado	Tamanho	Descrição
Byte	1 bit	Limpar a garra
	1 bit	Ligar o robô
	1 bit	Desligar o robô
	1 bit	Restabelecer o robô
	1 bit	Carregar a receita
	1 bit	Salvar a receita
	1 bit	Módulo de encaixotamento operando
	1 bit	Módulo de captura de produtos operando
Byte	1 bit	Produtos prontos para captura
	1 bit	Caixas estão em posição
	1 bit	Novas caixas
Byte	8 bits	Receita atual

**Comunicação com o controlador de segurança:** a comunicação entre o CLP da encaixotadora e o CLP de segurança utiliza o protocolo PROFINET. A troca de dados é feita de forma simples, pois são poucas informações.

Essa informação usa apenas 1 bit de um dado do tipo byte. Se a segurança não estiver normalizada (valor 0), a encaixotadora não consegue operar, caso contrário (valor 1), ela pode operar normalmente.

A informação que o CLP principal envia para o CLP de segurança é dos botões de rearme de emergência. Se um dos botões forem pressionados o rearme é feito. O sinal de cada botão também usa somente 1 bit de um dado do tipo byte. Se o valor enviado é 0, o botão não foi pressionado, e se é 1, o botão foi pressionado. Esse sinal recebido é tratado na lógica do CLP de segurança.



**Topologia de comunicação da encaixotadora:** a comunicação da encaixotadora é feita através de uma rede montada em topologia estrela. Essa topologia utiliza um nó central, através de um *switch*, onde todos os dispositivos estão conectados. Cada dispositivo na rede possui um endereço PROFINET e um nome diferentes para identificá-los. A Figura 24 mostra a disposição de todos os componentes ligados nessa rede. É possível perceber que todos os equipamentos estão ligados no *switch*, porém os inversores são conectados entre si com uma topologia em linha.

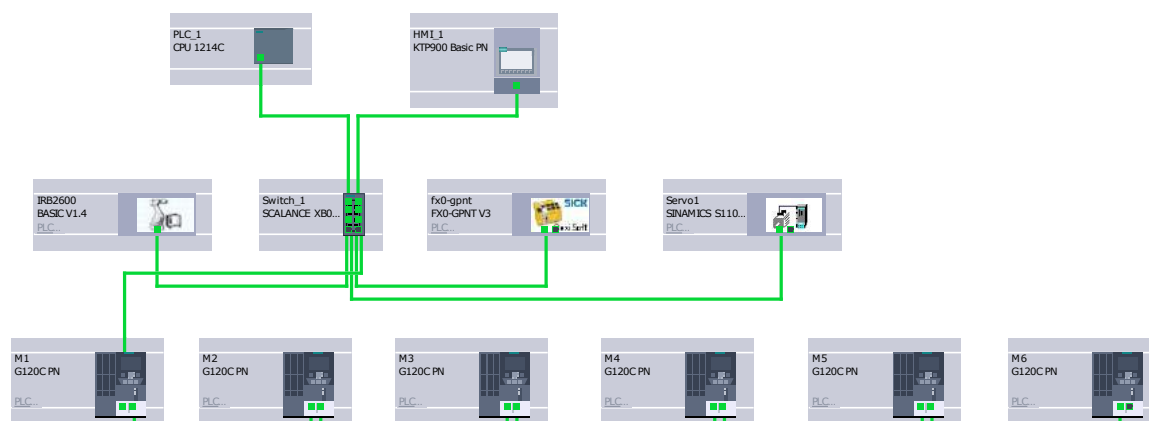


Figura 24 – Disposição dos componentes na rede.

A topologia em estrela é usada na maioria dos sistemas desenvolvidos pela Torfresma e garante que se um dos equipamentos tiver alguma falha, os demais não serão afetados. Contudo, essa topologia necessita de um comprimento de cabos maior e um número suficiente de portas do dispositivo central (*switch*) para todos os equipamentos. Como o dispositivo central não possui portas suficientes, os inversores são ligados em linha. A topologia em linha conecta os inversores em sequência e não necessita grande comprimento de cabos, porém a falha de um deles pode causar interrupção na comunicação dos demais. Para essa rede, a aplicação dessa topologia não teria problemas, já que é utilizada apenas para os inversores.

## 4.1.2 Funcionamento da encaixotadora

O sistema é dividido em seis módulos a para que o programa apresente organização e facilite sua operação. Portanto, cada módulo possui uma sequência lógica de funcionamento. Os seis módulos operando em conjunto permitem o funcionamento da encaixotadora.

### 4.1.2.1 Entrada de produtos

Este módulo controla a entrada de produtos na encaixotadora e é dividido em dois processos: verificação de distribuição e verificação de acúmulo. A Figura 25 detalha o laço de repetição dos dois processos em sequência dentro desse módulo.

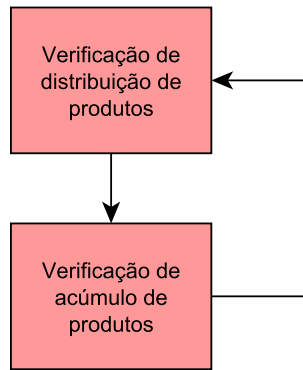


Figura 25 – Fluxograma dos processos da entrada de produtos.

Na verificação de distribuição mostrada no fluxograma da Figura 26 é possível verificar se os produtos precisam ser distribuídos de acordo com o fluxo de cada linha. Há dois sensores que detectam a passagem de produtos em cada linha e dois pistões para desviar os produtos entre as linhas. O pistão da linha 1, quando acionado, desvia produtos para a linha 2 e o da linha 2 para a linha 1.

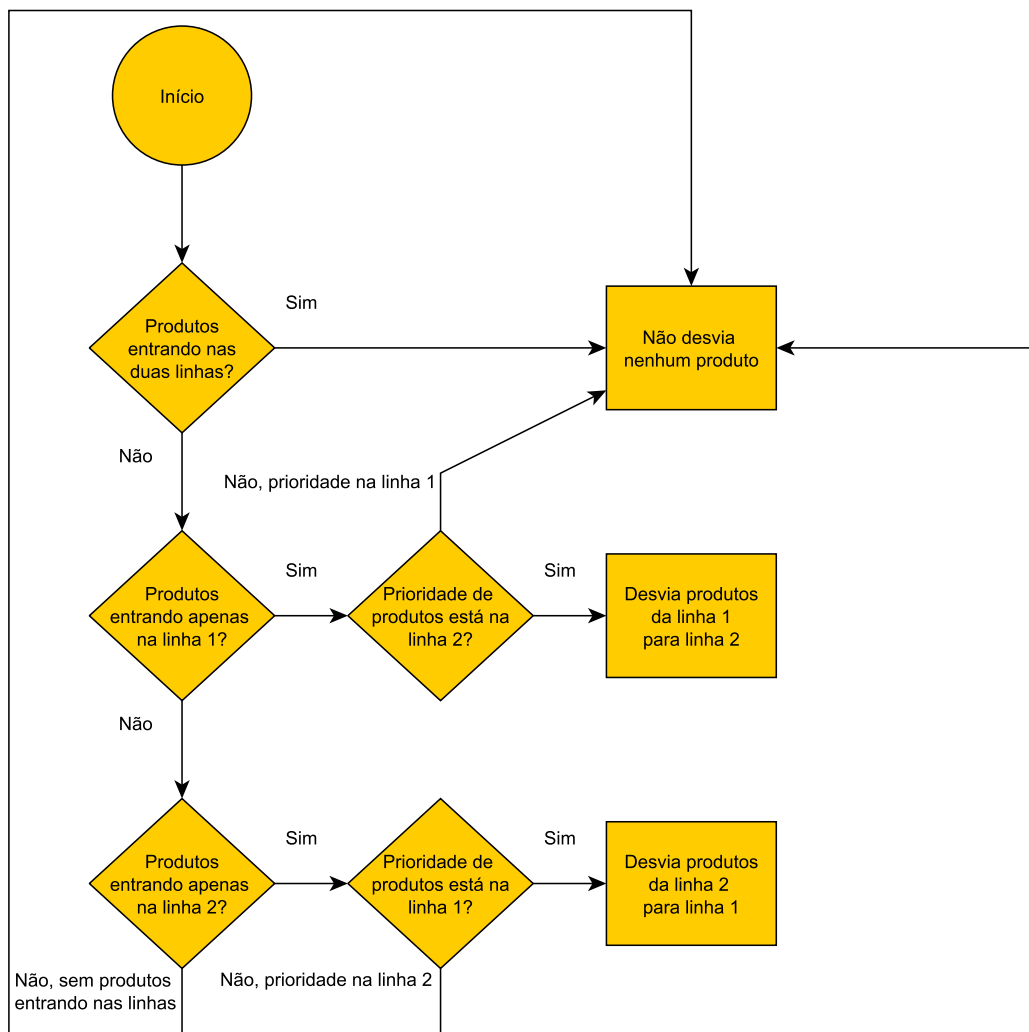


Figura 26 – Fluxograma da distribuição de produtos.

Se não há produtos chegando ou há produtos chegando nas duas linhas, nenhum pistão desvia produtos. Se existem produtos entrando em apenas uma das linhas, deve-se distribuí-los entre as duas linhas. Para isso, usa-se uma prioridade de produtos, que fica alternando entre as linhas durante certo período de tempo. Com isso, se os produtos estão entrando na linha enquanto ela tem a prioridade, o pistão da mesma não desvia. Caso os produtos estiverem entrando na linha enquanto ela não tem prioridade, seu pistão desvia para a outra linha.

Essa sequência lógica garante que sempre se encontrarão produtos na duas linhas no momento da captura feita pelo manipulador.

A verificação de acúmulo de produtos é apresentada conforme a Figura 27 e trata das condições de parada da esteira de entrada de produtos. Dois sensores são utilizados para verificar o acúmulo de produtos em cada linha. Para ambos é configurado um tempo máximo de permanência do produto na frente sensor. Se o produto ainda estiver na frente do sensor após o esgotamento do tempo, então o mesmo encontra-se parado, ou seja, há um acúmulo na linha.

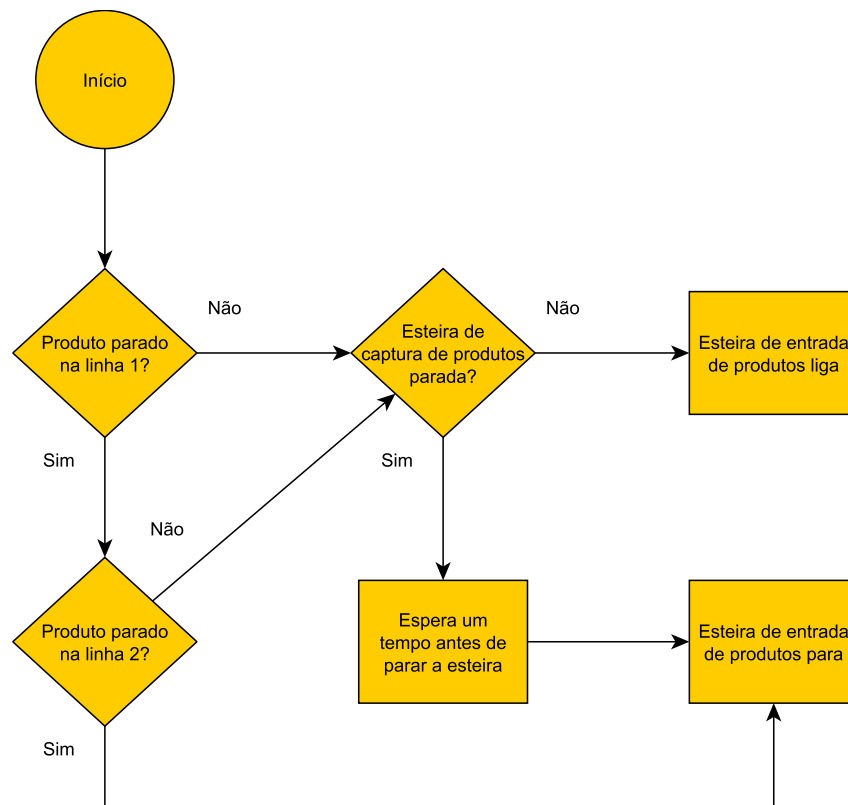


Figura 27 – Fluxograma do acúmulo de produtos.

A esteira de entrada é parada somente se houver acúmulo nas duas linhas. Desta forma, caso exista acúmulo em apenas uma das linhas, a esteira continua girando. Além disso, outra condição para que a esteira de entrada de produtos pare é se a esteira de captura de produtos esteja parada também.

#### 4.1.2.2 Entrada de caixas

Esse módulo é responsável pelo controle das caixas que vão para a esteira de encaixotamento. A Figura 28 mostra a rotina dos três processos para realizar essa operação: a verificação da troca de caixas, a liberação das caixas e a confirmação das caixas liberadas.

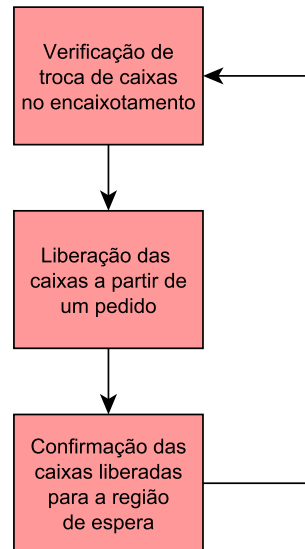


Figura 28 – Fluxograma dos processos da entrada de caixas.

A verificação da troca de caixas funciona de forma simples, como indicado na Figura 29. Se o módulo de encaixotamento está fazendo a troca de caixas, então a região de espera irá precisar de duas caixas.

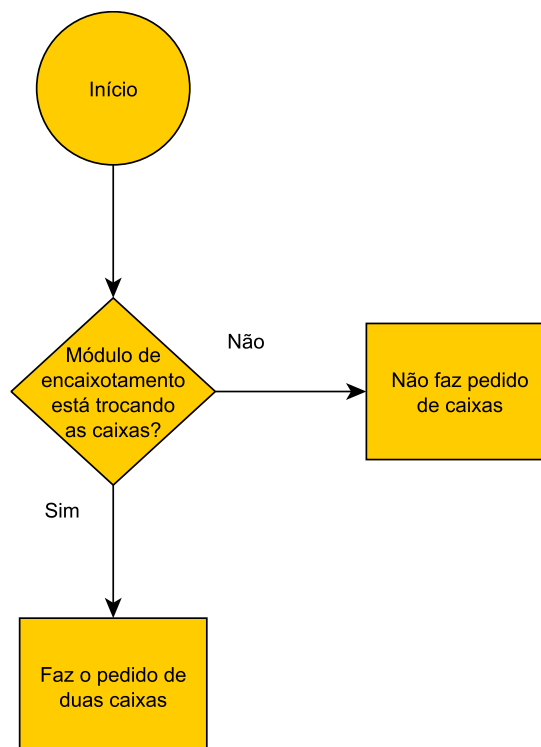


Figura 29 – Fluxograma da verificação da troca de caixas.

A liberação das caixas, vista conforme a Figura 30, é executada a partir de um pedido de caixas. Nesse processo, é verificado a todo momento se há algum pedido, se está chegando uma caixa, se ela está bloqueada pela cancela ou se já foi liberada.

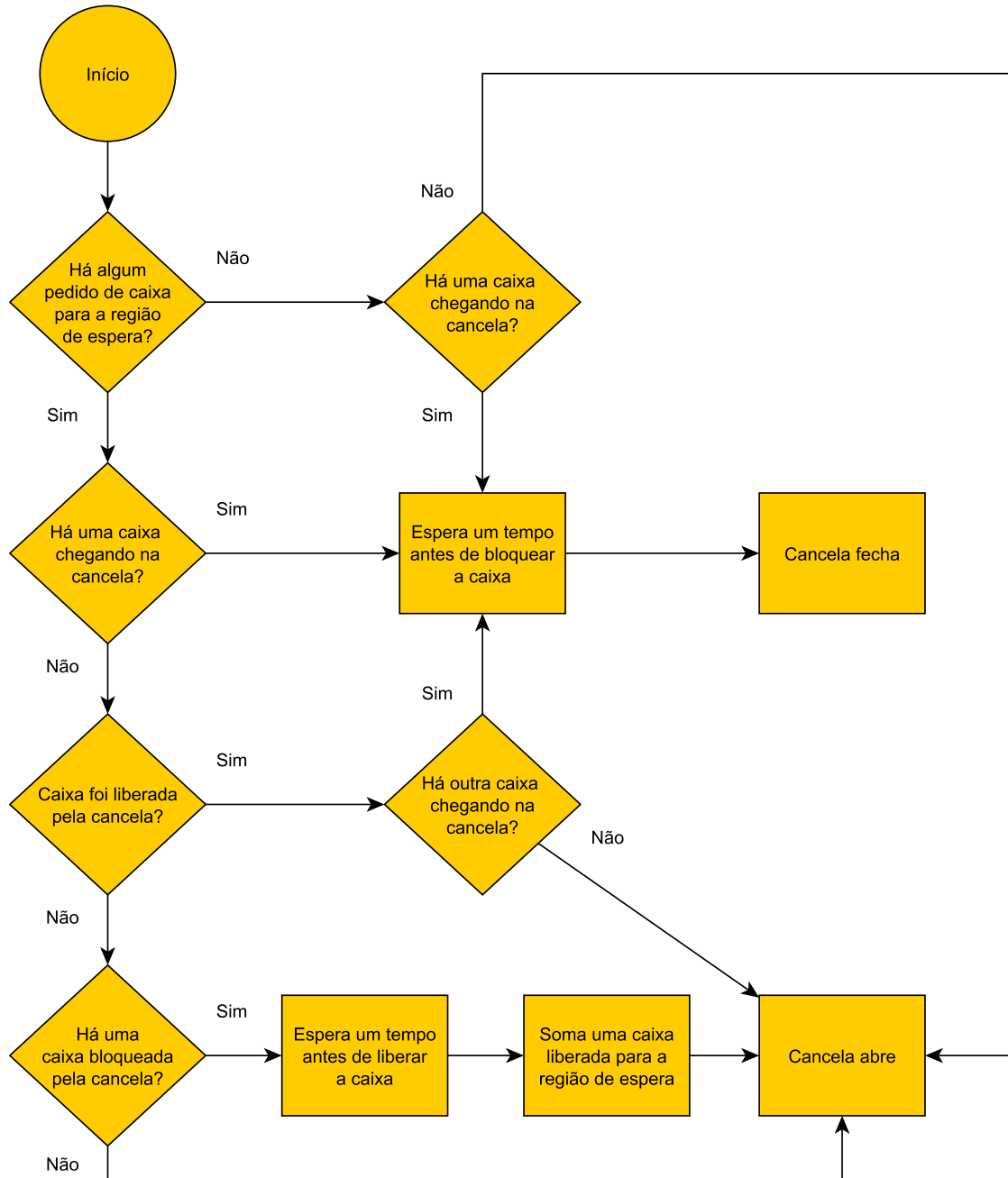


Figura 30 – Fluxograma da liberação das caixas.

Um sensor e um pistão são empregados para a tarefa de liberação. Sempre que o sensor detecta a chegada de uma caixa, a cancela fecha. Se houver um pedido de caixa enquanto a caixa estiver bloqueada, a mesma é liberada. Caso contrário, ela permanece bloqueada pela cancela. Sempre que a cancela libera uma caixa, é somada uma caixa a mais para a região de espera. Após isso, a cancela fecha somente se houver outra caixa chegando na sequência, senão ela permanece aberta esperando uma caixa chegar.

No funcionamento normal o módulo de encaixotamento pede duas caixas para a região de espera, porém existem condições em que é necessário liberar apenas uma caixa. Essas condições são verificadas no processo de confirmação das caixas liberadas. Se as caixas pedidas foram liberadas, é verificado se elas chegaram na região de espera do encaixotamento, como mostrado na Figura 31. Essa verificação é realizada utilizando dois sensores para identificar a presença das caixas. Caso as duas caixas cheguem antes de 10 segundos a partir da liberação, não é feito um novo pedido. Se apenas uma caixa chegou antes desse período, é pedido uma caixa. Se nenhuma caixa chegou, então é feito o pedido de duas caixas novamente. A confirmação é útil quando a caixa, por algum motivo, não conseguiu chegar até a região de espera após ser liberada ou o operador precisou retirar a caixa dessa região.

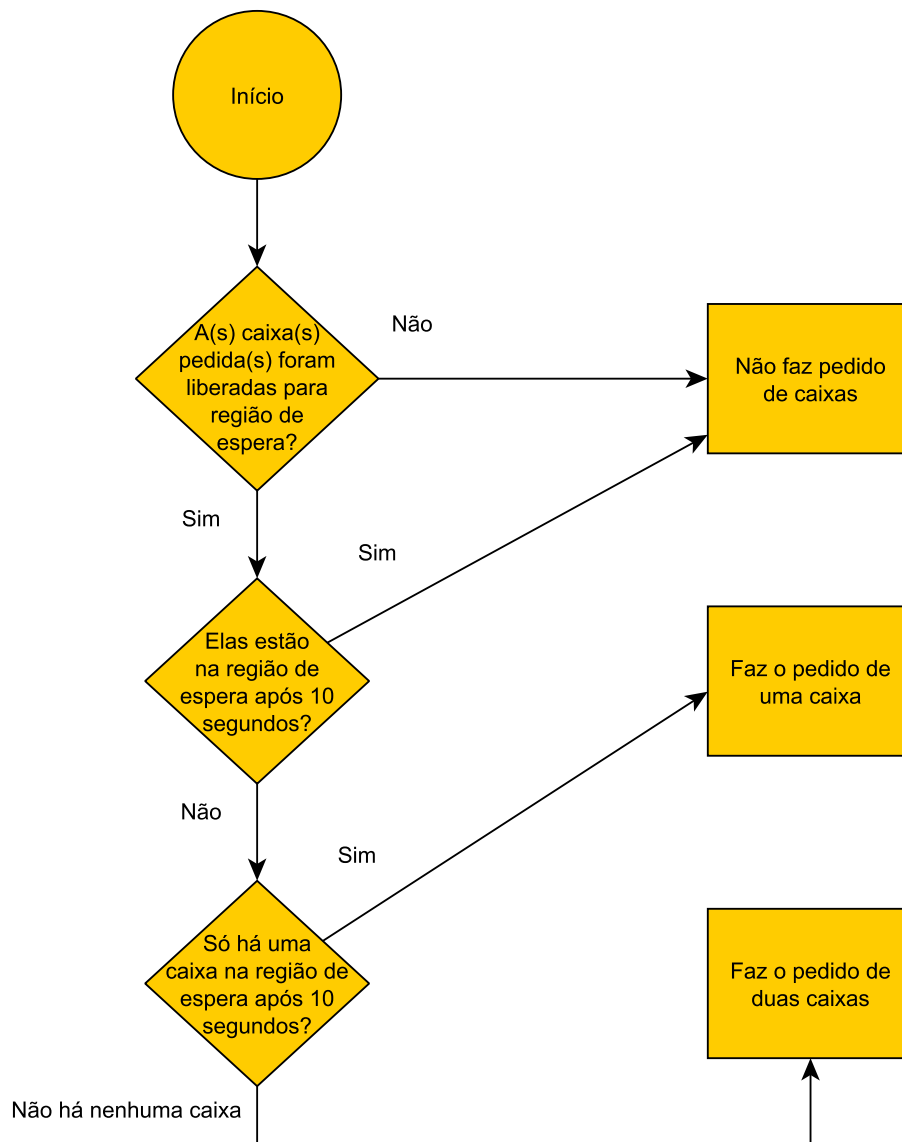


Figura 31 – Fluxograma da liberação das caixas.

### 4.1.2.3 Captura de produtos

O módulo de captura de produtos posiciona os potes, que vem da esteira de entrada, para que o manipulador os capture e coloque-os nas caixas. Nessa tarefa, uma rotina de dois processos é implementada. Os processos são: preparação da pré captura e preparação da captura, conforme ilustra a Figura 32.

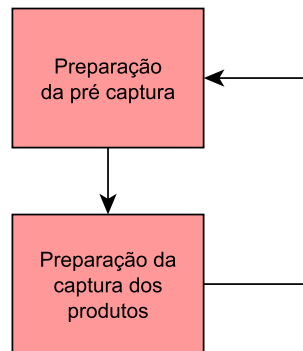


Figura 32 – Fluxograma dos processos da captura de produtos

O robô apanha os seis potes na região de captura, enquanto outros seis potes ficam esperando na região de pré captura, logo atrás. É importante que o controlador possua a informação da posição do robô para que possa preparar os potes e liberar a captura. Na preparação da pré captura, mostrada no fluxograma da Figura 33, a cancela de pré captura sempre fica aberta esperando os produtos chegarem. Quando os sensores detectam que a região de pré captura está cheia, a cancela é fechada e abre somente quando essa região estiver vazia novamente.

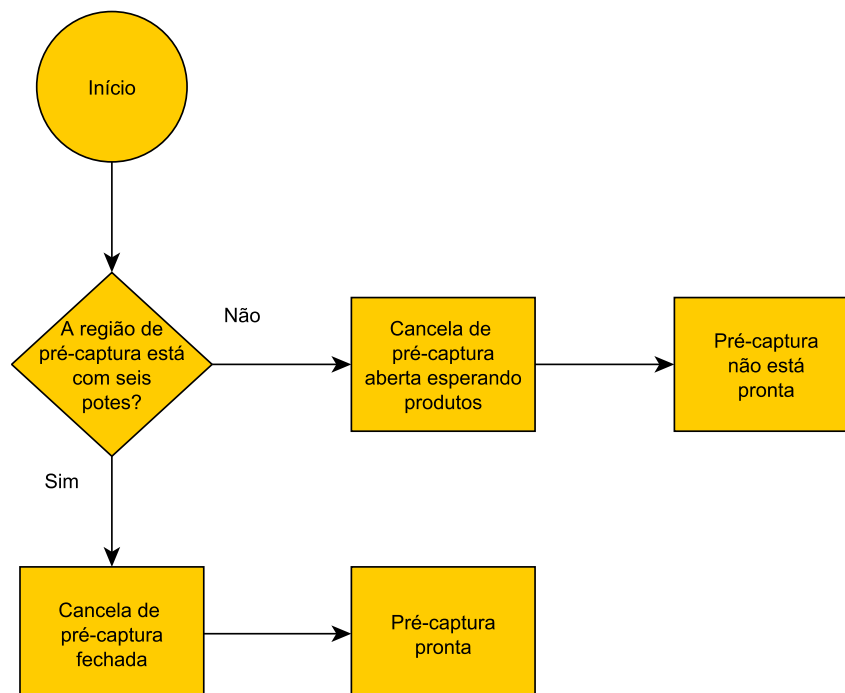


Figura 33 – Fluxograma da preparação da pré captura.

A verificação da captura é executada de acordo com a Figura 34 . Nesse processo, os produtos só podem ser preparados para captura se a pré captura está pronta e se o robô não está capturando os produtos. Para preparar os produtos, a cancela de captura abre durante um tempo suficiente para que os produtos passem para a região de captura e fecha logo em seguida. O controlador comunica ao robô toda vez que os produtos estiverem prontos para a captura. Quando o robô captura os produtos ele informa ao controlador e a captura deve ser preparada novamente.

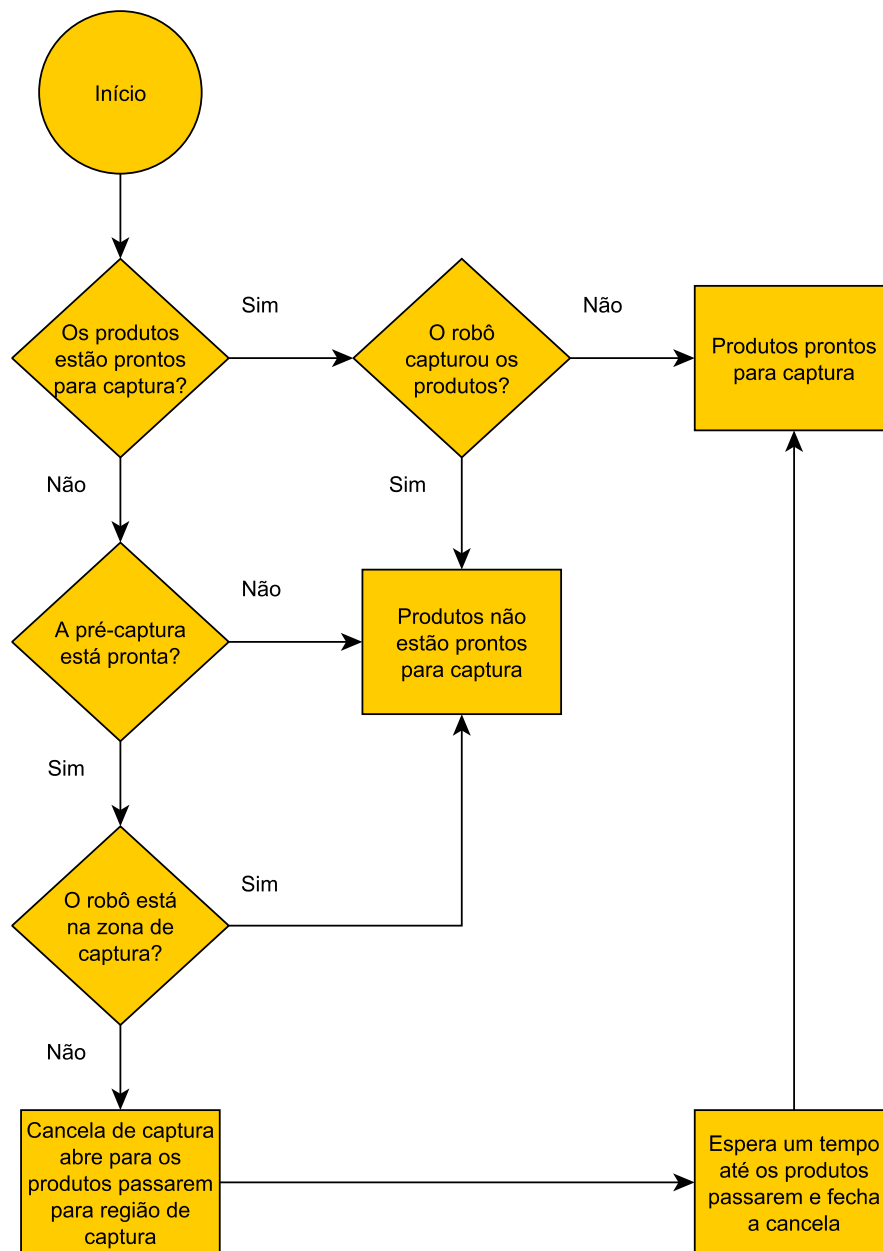


Figura 34 – Fluxograma da preparação da captura dos produtos.



#### 4.1.2.4 Encaixotamento

O módulo do encaixotamento controla o posicionamento das caixas que irão receber os produtos e as caixas em espera. Para tal há uma rotina com três processos, os quais são a verificação do pedido de troca de caixas, a liberação das caixas cheias e a troca de caixas. Os três processos são visíveis na Figura 35.

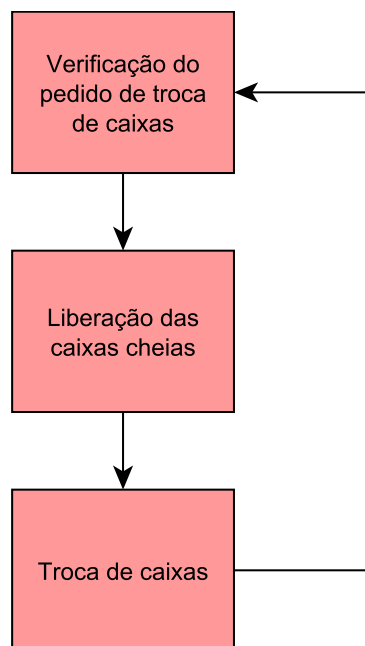


Figura 35 – Fluxograma dos processos do encaixotamento.

O pedido de troca de caixas pode ser feito de três formas diferentes. O robô pede a troca quando termina de encher as duas caixas, um comando de troca é dado através da IHM ou não há caixas para receber os produtos. Essas três possibilidades são mostradas no fluxograma da Figura 36.

A liberação das caixas cheias é feita a partir de um pedido de troca de caixas (Figura 37). Se as caixas estão na esteira, o robô não está na zona de entrega e foi feito um pedido para troca, então a cancela de saída libera as caixas. Senão, ela permanece fechada. Para cada caixa da esteira de encaixotamento há um sensor detectando sua posição e com isso o módulo consegue a informação de que as caixas estão posicionadas.

A partir da cancela aberta, o servo motor empurra as caixas e posiciona outras duas para receber os produtos. Para empurrar as caixas o servo gira uma fita com taliscas de metal que ficam entre as caixas e que podem ser vista nas imagens do Capítulo 5. O fluxograma para a troca de caixas é apresentado na Figura 38.

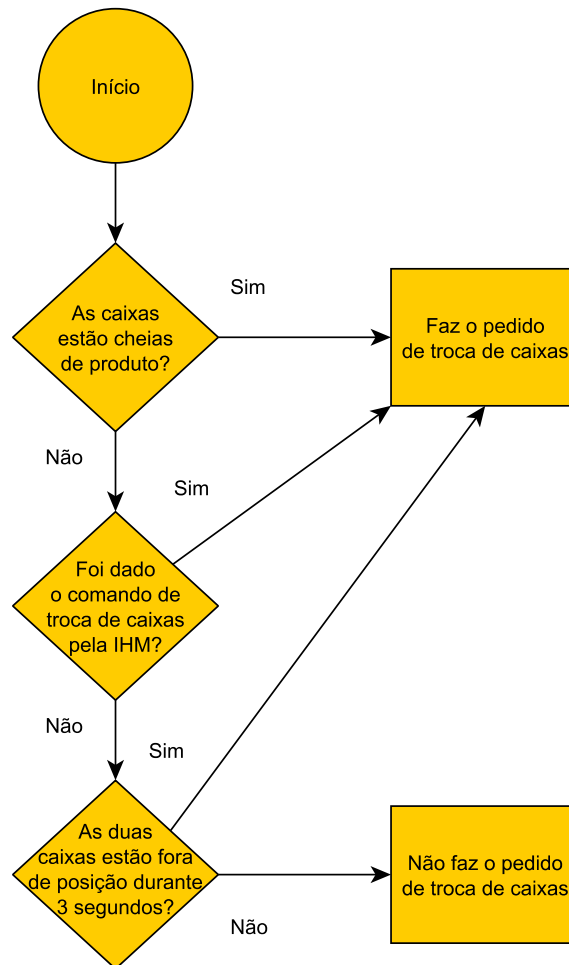


Figura 36 – Fluxograma da verificação do pedido de troca de caixas.

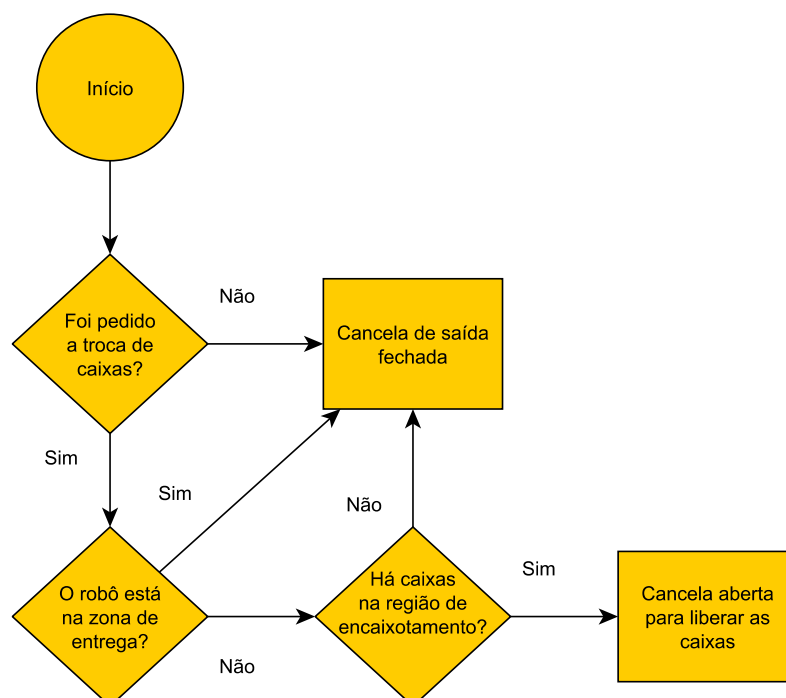


Figura 37 – Fluxograma da liberação das caixas.

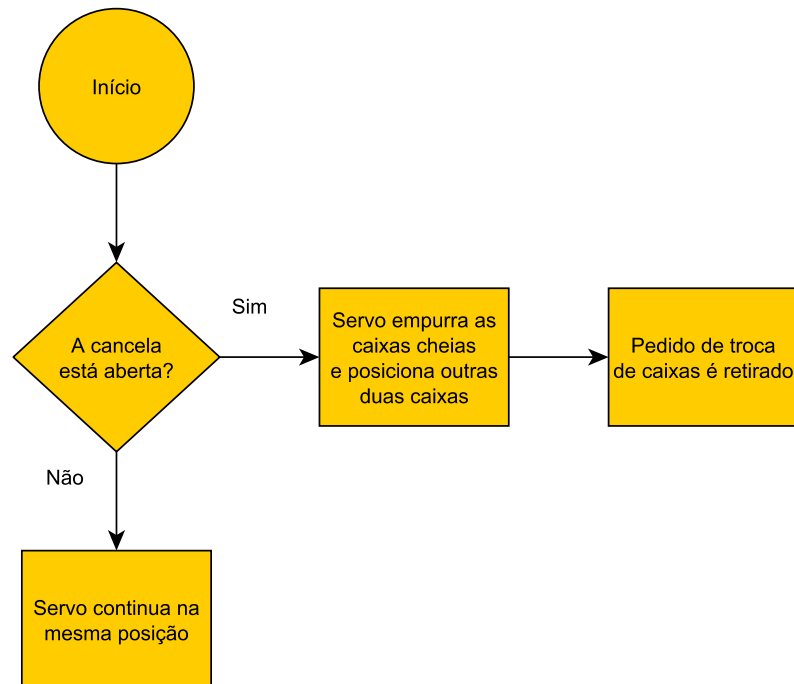


Figura 38 – Fluxograma da troca de caixas.

#### 4.1.2.5 Robô

Esse módulo da encaixotadora é responsável pela comunicação com o robô e os comandos que o controlador envia para o robô. Se o robô realizará a captura dos produtos, ele deve solicitar ao controlador o desligamento da válvula de sopro e o acionamento da válvula de vácuo.

Se o robô irá entregar os produtos na caixa, ele deve solicitar o desligamento da válvula de vácuo e o acionamento da válvula de sopro. Tais solicitações são feitas através desse módulo. Isso ocorre, pois as válvulas estão ligadas no módulo de saída do controlador.

Esse módulo representa o robô para o controlador, ou seja, tudo que acontece no robô é informado ao controlador por meio desse módulo usando as mensagens mostradas anteriormente. Os comandos dados ao robô também passam por esse módulo.

#### 4.1.2.6 Saída de caixas

O módulo de saída de caixas transporta as caixas cheias para serem fechadas. Uma rotina com três processos é usada nesse módulo. Os processos são as verificações de intertravamento das duas esteiras e o espaçamento entre as duas caixas na saída, conforme apresentado na Figura 39.

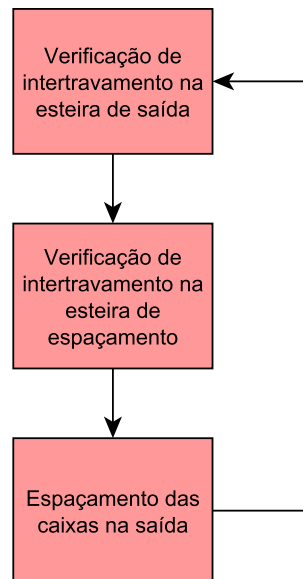


Figura 39 – Fluxograma dos processos da saída de caixa.

A esteira de saída só é interrompida caso a fechadora esteja parada e tenha alguma caixa saindo, como apresentado no fluxograma da Figura 40 . Caso isso não ocorra, a esteira permanecerá ligada. O sinal de intertravamento da fechadora é recebido por uma entrada digital do controlador da encaixotadora. O intertravamento da esteira de espaçamento também é muito simples. Essa esteira é travada caso tenha uma caixa nela e a esteira de saída esteja parada (Figura 41)

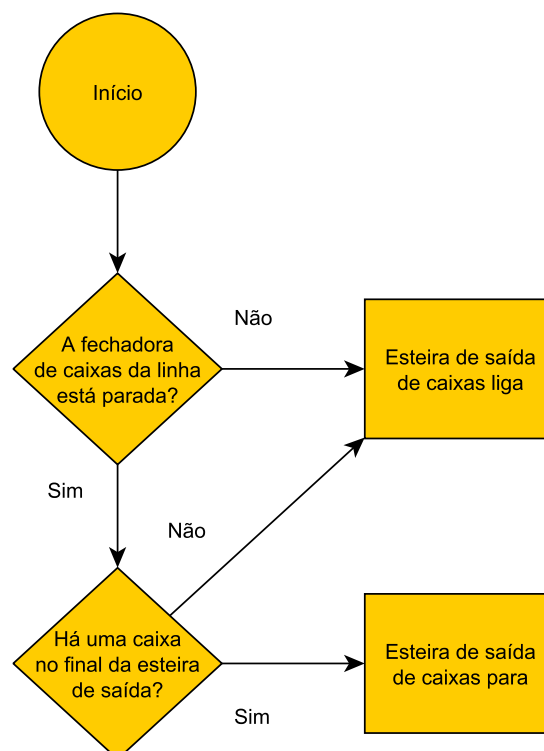


Figura 40 – Fluxograma da verificação de intertravamento da esteira de saída.

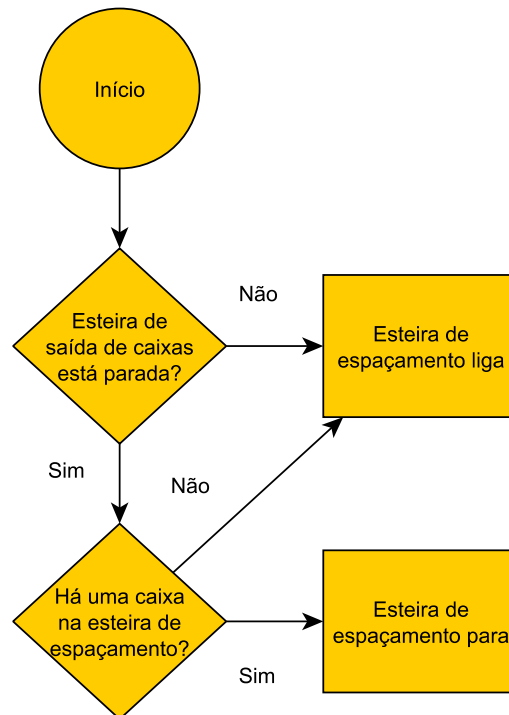


Figura 41 – Fluxograma da verificação de intertravamento da esteira de espaçamento.

O processo de espaçamento entre as caixas é exibido no fluxograma da Figura 42 e utiliza um sensor para detectar a passagem das duas caixas. A primeira caixa passa diretamente para a esteira de saída e segunda a segunda caixa fica parada em cima da esteira de espaçamento durante um curto período. Esse período é suficiente para criar uma distância entre as duas caixas e evitar o acúmulo na fechadora.

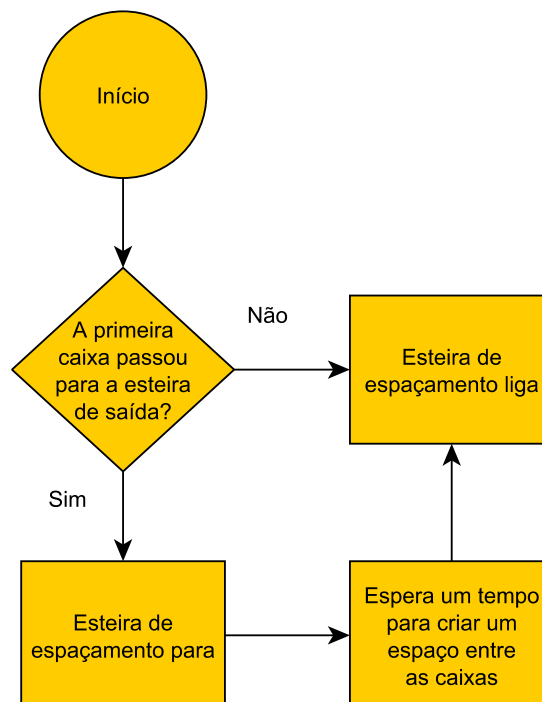


Figura 42 – Fluxograma do espaçamento das caixas.

### 4.1.3 Operação da encaixotadora

Através do painel de operação é possível operar e supervisionar o sistema. Nesse sistema há dois painéis de operação. Um contém a IHM e botões de comandos e outro contém apenas três botões de comando. Na Figura 43 são ilustrados o painel de operação 1 com a IHM e os botões de comando. Os botões de comando são de liga/desliga, limpar falha, emergência e rearme de emergência. Na IHM também é possível dar os mesmos comandos desses botões.

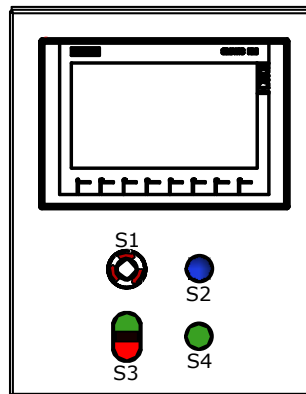


Figura 43 – Painel de operação 1 da encaixotadora.

O painel de operação 2 é ilustrado conforme a Figura 44 e possui um botão de emergência, um botão de rearme de emergência e um botão para abertura de porta.

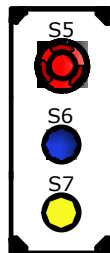


Figura 44 – Painel de operação 2 da encaixotadora.

Para operar o sistema é necessário seguir uma sequência lógica de acordo com o estado em que ela se encontra. O estado do sistema é representado pelo estado de todos os módulos juntos e são mostrados na IHM. Para ligar o sistema, não podem haver falhas e a emergência não pode estar acionada. Quando o sistema recebe o comando para ligar, todos os módulos mudam para o estado automático e o sistema passa a operar normalmente. Os módulos também podem ser ligados individualmente, caso necessário.

O sistema pode parar se ela for desligada, se houverem falhas ou se a emergência for acionada. Quando o sistema é desligado, todos os módulos alternam para o estado de

desligado, assim como os dispositivos. Se houver uma parada devido à alguma falha, o sistema passa para o estado de falha. Para ligar o sistema novamente, deve-se pressionar primeiramente o botão limpar falha uma vez. Se não houver mais falhas, ao pressionar esse botão o sistema deve transitar do estado de falha para o desligado.

Quando a emergência é acionada, o sistema para imediatamente. Para ligar o sistema novamente, o botão de emergência deve estar destravado e o botão de rearme de emergência deve ser pressionado uma vez. Se todos os equipamentos estiverem normalizados, o sistema passa do estado de emergência para o desligado ao pressionar o rearme. Além disso, a IHM permite colocar qualquer módulo no modo manual. Nesse modo é possível operar cada dispositivo individualmente utilizando as telas de operação. Para colocar qualquer módulo em manual a encaixotadora deve estar desligada.

O modo de referenciamento é selecionado também pela interface, porém está disponível apenas para o módulo de encaixotamento, onde o servo motor é usado. Caso haja algum problema mecânico que necessite referenciar o servo, deve-se primeiramente selecionar o modo de referenciamento. Esse modo só poder ser selecionado se o sistema estiver desligada. Após o servo executar o referenciamento, esse módulo volta automaticamente para o estado de desligado.

O botão de abertura de porta, presente no painel de operação secundário, funciona de forma simples. Se o botão é pressionado, é solicitado a abertura de porta ao controlador de segurança, o sistema termina o ciclo atual e entra em emergência. Com isso, as portas de segurança podem ser abertas.

#### 4.1.4 Verificação de falhas da encaixotadora

Apenas os motores e o robô comunicam ao controlador a existência de falhas. Para os motores, essa verificação é feita em cada módulo de forma simples. Se o motor comunica ao controlador que está com alguma falha, então o módulo deste deve parar e, conseqüentemente, a encaixotadora também é interrompida. A falha ocorrida é mostrada na interface gráfica.

Quando o robô envia ao controlador a existência de uma falha, o módulo do robô na encaixotadora é parado e todo o sistema é interrompido. As falhas que o robô pode comunicar são:

- Falha na execução do programa;
- Colisão detectada;
- Programa do robô parou de executar;
- Robô não está na posição inicial ao dar o comando ligar;
- Falha na comunicação com o controlador;

- Falha de receita não selecionada;
- Robô estava em uma posição inválida ao iniciar o movimento de espera;
- Robô estava em uma posição inválida ao iniciar o movimento de captura;
- Robô estava em uma posição inválida ao iniciar o movimento de entrega;
- Receita carregada no robô está diferente do controlador;
- Falha no vácuo da garra para realizar a captura;
- Falha no sopro da garra para realizar a entrega.

#### 4.1.5 Estrutura do programa da encaixotadora

Com base em todas as informações sobre o sistema mostradas até aqui, foi desenvolvido o programa para o controlador da encaixotadora. O programa é desenvolvido inteiramente utilizando a linguagem ST (Structure Text). A linguagem ST é a mais utilizada pela equipe de automação da Torfresma no desenvolvimento de sistemas de encaixotamento. Isso ocorre devido à ampla experiência e a facilidade no uso da mesma.

A programação de toda a encaixotadora utiliza o método da programação estruturada em blocos. No programa da encaixotadora são usados três tipos de blocos que estão disponíveis no TIA Portal. Os blocos são do tipo OB, FB e DB. O bloco principal é do tipo OB e é usado para chamar todos os outros blocos do programa para que eles sejam executados. Os blocos do tipo FB são utilizados para fazer a lógica de funcionamento dos dispositivos e do sistema. Cada bloco FB possui um bloco do tipo DB associado a ele para que seus dados sejam armazenados. Além de existir um bloco DB para cada FB, há um bloco DB, chamado de GVL, com variáveis globais. Essas variáveis armazenam dados de todos os blocos, entradas e saídas do controlador e podem ser chamadas em qualquer bloco do programa, conforme mostra o exemplo da Figura 45. Além disso, são usadas também para que a IHM consiga acessar as informações do controlador.

Na sequência são descritos brevemente cada um dos blocos contidos no programa do controlador da encaixotadora e a sua inter-relação é mostrada na Figura 46. Além dos blocos já mencionados, os blocos onde as entradas (InputMapping) e saídas (OutputMapping) do controlador são declaradas, assim como o bloco de entradas (InputSafety) e saídas (OutputSafety) de dados trocados com o controlador de segurança também são mostrados na Figura 46.



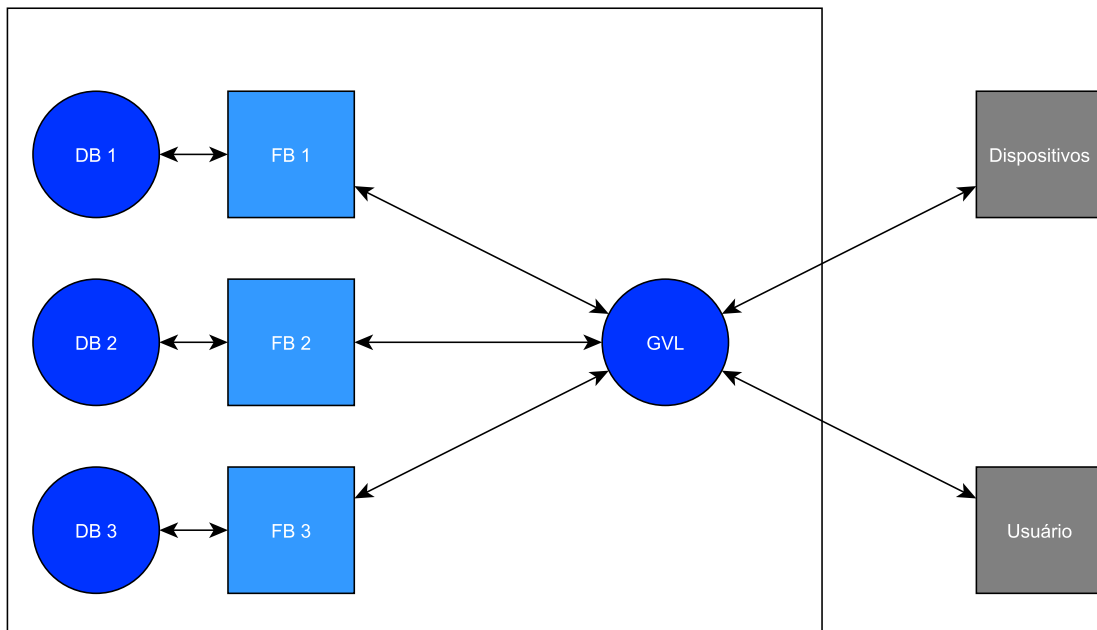


Figura 45 – Exemplo dos blocos de um programa.

**Bloco principal da encaixotadora:** esse bloco executa todos os blocos desse programa chamando apenas o bloco de dados (DB) de cada um. Com isso, a cada ciclo de varredura as informações dos blocos de dados são atualizadas de acordo com as operações feitas no seu respectivo bloco de função (FB).

**Blocos de cada módulo:** cada um dos seis módulos possui três blocos. O módulo robô nesse controlador possui apenas os blocos de comando, falhas, e entradas (InputRobot) e saídas (OutputRobot). As entradas e saídas do robô são as informações trocadas com o controlador da encaixotadora. Os três blocos são:

- **Bloco de comando (Cmd):** nesse bloco é feita a associação dos botões de comando de operação sistema com o bloco C\_Panel. Os botões configurados são o de liga/desliga, limpar falha e rearme de emergência e os modos manual e referenciamento. O bloco de controle C\_Panel, que trata das operações do sistema, altera os estados de cada módulo de acordo com o comando dado.
- **Bloco de lógica (Logic):** no bloco de lógica é programado a lógica de funcionamento dos módulos. Isso é feito chamando as variáveis globais de cada bloco de controle para utilizar as funções dos dispositivos. O módulo do robô não possui esse bloco, pois toda sua rotina de movimentação é feita na ferramenta de programação RobotStudio.
- **Bloco de falhas (Faults):** esse bloco é usado para verificação de falhas nos motores de cada módulo. O módulo robô não possui motores, portanto no bloco desse módulo

é feita a verificação de falhas que o robô envia para o controlador e que foram listadas anteriormente.

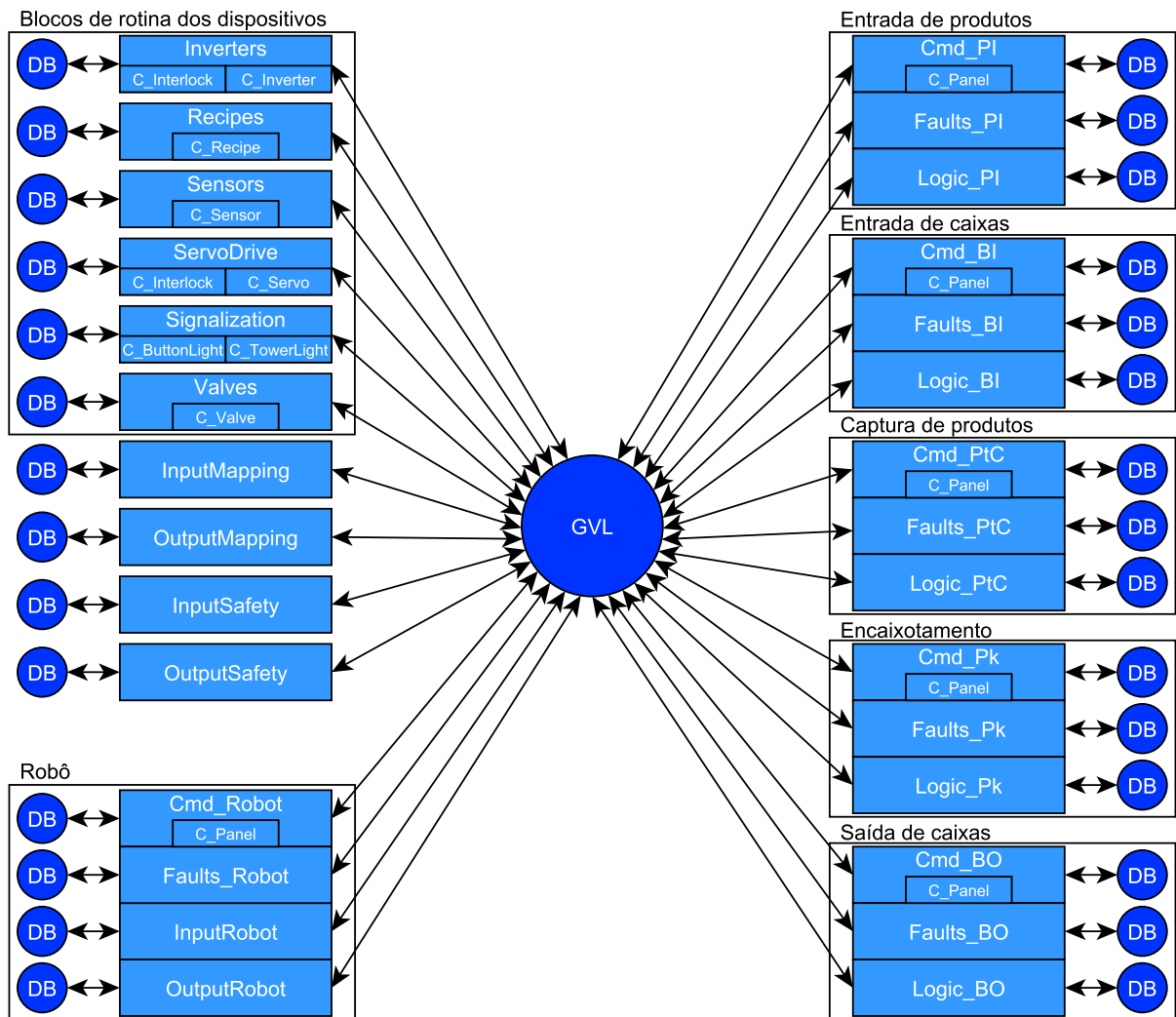


Figura 46 – Blocos do programa da encaixotadora.

**Blocos de rotina dos dispositivos:** são usados para associar as variáveis de entrada e saídas dos blocos de controle às variáveis globais do mesmo tipo. Desse modo, os dispositivos podem ser chamados nos blocos de lógica do funcionamento dos módulos.

**Blocos de controle da encaixotadora:** para controlar as funções dos dispositivos são utilizados blocos padrões. Esses blocos são utilizados pela equipe de automação em diversos outros sistemas que possuem controladores da Siemens. Portanto, são blocos prontos e não foi necessário desenvolvê-los para este projeto. Esses blocos possuem variáveis de entrada e saída para manipular os dispositivos. A função de cada bloco é:

- **C\_Interlock:** faz a lógica de intertravamento dos motores elétricos e dos servo motores. Para isso, as entradas recebem as condições em que o travamento é acionado e a saída mostra o estado do intertravamento.

- **C\_Inverter:** controla o motor elétrico de acordo com as informações trocadas com o inversor. As entradas desse bloco são os comandos, parâmetros de velocidade e aceleração e modo de operação para o motor. As saídas são o estado e informações atuais do motor.
- **C\_TowerLight:** é usado para tratar as condições em que as lâmpadas e sirene da torre de sinalização são ligadas. O bloco só possui variáveis de saída, onde cada variável representa uma lâmpada e também a sirene.
- **C\_Panel:** trata os comandos recebidos do painel de operação do sistema. Cada módulo possui um bloco desses. As entradas são os comandos dados pelos botões, os modos de operação, estado de segurança e falhas dos dispositivos. As saídas indicam o estado do módulo e qual o tipo de falha.
- **C\_Recipe:** é responsável por gerenciar as receitas do sistema. As entradas desse bloco são os comandos de salvar, carregar e selecionar a receita e a saída é a confirmação de que a receita foi salva ou carregada.
- **C\_Sensor:** controla o funcionamento do sensor fotoelétrico. As entradas recebem o valor de filtro e de atraso configuradas e o sinal de entrada do sensor. A saída mostra o estado e o sinal de leitura do sensor.
- **C\_Servo:** realiza o controle do servo motor a partir da comunicação entre o controlador e o drive. As entradas são os comandos, parâmetros de velocidade e posição e modo de operação para o motor. As saídas são o estado e informações atuais do motor.
- **C\_ButtonLight:** trata das condições em que as lâmpadas das botoeiras ligam. As entradas devem ser o estado da segurança do sistema, o estado do sistema e o estado de falhas. As saídas são os sinais para acender a lâmpada de cada botão.
- **C\_Valve:** tem o objetivo de controlar as válvulas que acionam os pistões pneumáticos. As entradas são o comando de acionamento e os tempos de filtro e de falha. As saídas são o estado e a falha da válvula.

#### 4.1.6 Receitas da encaixotadora

Na encaixotadora há quatro receitas diferentes, cada qual para cada tipo de pote. As configuração das receitas são feitas para que a encaixotadora, em conjunto com o robô, consiga realizar corretamente o encaixotamento do produto selecionado. Na Figura 47 é apresentada a tela de gerenciamento das receitas. É possível selecionar a receita, carregá-la e editá-la.



Figura 47 – Tela de gerenciamento das receitas da encaixotadora.

O nome da receita selecionada aparece logo acima da área de seleção e a receita carregada (receita atual) aparece logo abaixo. Para carregar uma nova receita, a encaixotadora não pode estar operando. Se o operador tentar carregar uma receita com o sistema ligado, a receita não será carregada e uma mensagem de alerta irá aparecer na tela. Contudo, as receitas podem ser editadas com o sistema operando. Ao selecionar uma receita e clicar no botão 'editar', a interface irá direcionar para a tela de edição de receita indicada conforme a Figura 48.

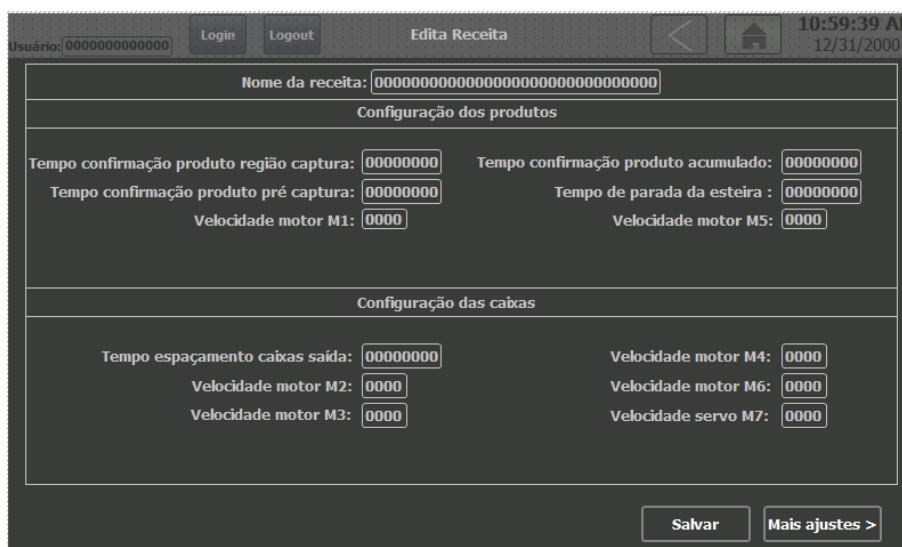


Figura 48 – Tela de edição das receitas da encaixotadora.

Nas configurações das receitas da encaixotadora é possível ajustar as velocidades dos motores das esteiras. Além disso, há alguns ajustes de tempos utilizados para o atender as velocidades de encaixotamento. Esses tempos mostrados na tela de edição de receitas são:

- Tempo que a cancela de captura fica aberta para que os produtos passem para região de captura;
- Tempo de confirmação que a região de pré captura está cheia;
- Tempo de confirmação do acúmulo caso os produtos fiquem parados na esteira de entrada;
- Tempo de parada da esteira de entrada de produtos em caso de intertravamento.
- Tempo que a esteira de espaçamento deve ficar parada para criar um espaço entre as caixas.

#### 4.1.7 IHM da encaixotadora

A IHM do painel de operação da encaixotadora é uma HMI KTP900 Basic da Siemens. Essa interface possui uma tela de 9 polegadas sensível ao toque e com 8 botões tácteis para auxílio da navegação nas telas. A Figura 49 apresenta a sequência de navegação de todas as telas presentes nessa interface. Sempre que o sistema é ligado, a interface mostra a tela inicial.

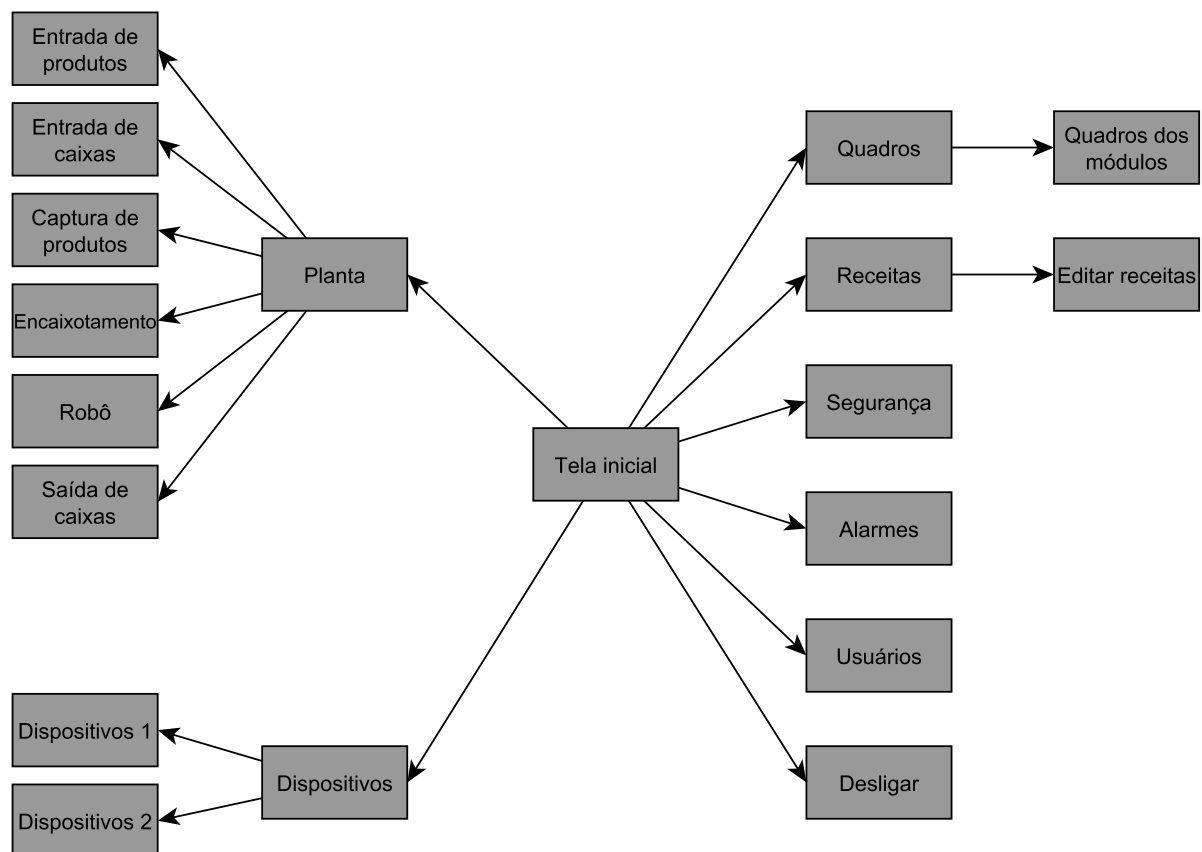


Figura 49 – Sequência de navegação nas telas.

Na tela inicial são apresentados os ícones para acessar as telas da planta do sistema, dispositivos, quadros de operação, receitas, segurança, alarmes, usuários, e um comando desligar a IHM.

A tela da planta é utilizada para acessar todos os módulos da encaixotadora, monitorar o estado de cada um deles e realizar comandos de operação. Nas telas de cada módulo é possível visualizar o estado dos dispositivos e dar comandos diretamente para o módulo.

Na tela de dispositivos é possível acessar as telas para operar cada dispositivo do sistema individualmente, conforme a Figura 50. Nas telas de operação dos inversores e servo motor podem ser configuradas e visualizadas as informações que são comunicadas ao controlador. Para o sensor e para a válvula é possível configurar tempos de atraso, dar comandos e verificar seus estados.

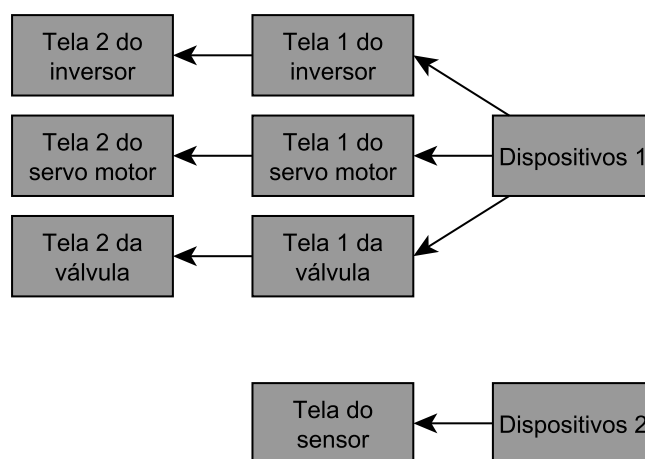


Figura 50 – Sequência das telas de operação dos dispositivos da encaixotadora.

As demais telas possuem funções simples, de acordo com o seu título: quadros de operação, gerenciamento de receitas, monitorar estado de segurança, visualizar alarmes ou falhas, gerenciar usuários e desligar a interface.

#### 4.1.8 Sistema de segurança da encaixotadora

Devido ao número de dispositivos atuadores e à exigência da empresa contratante, um controlador foi empregado para garantir a segurança desse sistema. O controlador utilizado é o FX3-CPU0 da SICK e foi programado em sua própria ferramenta de programação. São usados blocos próprios dessa ferramenta para construir a lógica do sistema de segurança. Para isso, tal controlador deve ter uma lista de entradas e saídas digitais. As entradas e saídas desse controlador estão no Apêndice C.

O controlador de segurança disponibiliza entradas com dois canais para cada dispositivos de segurança. Essa estrutura é usada para garantir que o sinal de emergência irá chegar ao controlador. Os motores também possuem dois canais para receber o sinal de saída de segurança de parada imediata. Além disso, as válvulas de segurança e o robô

recebem o sinal de saída de segurança em duas portas diferentes. As válvulas de segurança são colocadas antes das válvulas dos pistões para que, em caso de emergência, o ar seja cortado e os pistões sejam desativados.

Além dos dispositivos de segurança, a emergência pode ser acionada pelas válvulas de segurança ou pelo botão de emergência do robô. Quando a emergência é acionada por alguma entrada de segurança, um sinal de emergência é enviado para o controlador principal e os atuadores interrompem seu funcionamento. Se a emergência não estiver mais acionada, o rearme de emergência pode ser feito, senão ela permanece acionada. Com o rearme feito, o sinal de segurança normalizado é enviado ao controlador e os atuadores podem funcionar novamente quando o sistema estiver ligado.

Uma torre de sinalização indica se o sistema está operando ou está em emergência. Essa torre possui duas lâmpadas (uma verde e uma vermelha) e uma sirene. A lâmpada verde fica acesa quando o sistema está operando e a vermelha acende quando a emergência é acionada. A sirene toca em certos intervalos de tempo quando a emergência está acionada.

## 4.2 Programação do robô

A programação dos movimentos do robô foi desenvolvida considerando o funcionamento do processo de encaixotamento apresentado no Capítulo 3, onde o robô deve capturar produtos em um local e entregá-los em duas caixas. Além disso, toda a sua movimentação depende da comunicação com o controlador da encaixotadora.

### 4.2.1 Rotina de movimentação do robô

A rotina de captura e entrega (*pick & place*) do manipulador não é considerada uma tarefa complexa, pois envolve apenas a verificação das informações recebidas do controlador e uma movimentação repetitiva. Os movimentos utilizam pontos marcados de acordo com os locais de captura, espera e entrega. Entre cada ponto é realizado um movimento linear ou rotativo.

Os locais de captura, espera e entrega são constituídos por um conjunto de pontos que formam uma zona, ou seja, uma área cúbica. O robô comunica ao controlador em qual das zonas ele está. Dessa forma, o controlador é informado sobre a posição do robô, permitindo comandar o funcionamento dos módulos de encaixotamento e captura de produtos do sistema. Essas zonas são visíveis nas figuras expostas no Capítulo 5.

Para representar a lógica de movimentação do robô são utilizados dois processos. O processo de captura e entrega dos produtos e a verificação de caixas cheias. A rotina desses processos é mostrada, brevemente, no fluxograma da Figura 51.

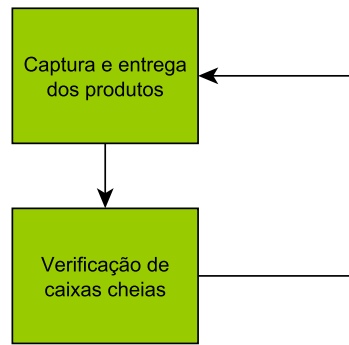


Figura 51 – Fluxograma dos processos de movimentação do robô.

Na captura e entrega dos produtos, mostrado no fluxograma da Figura 52, o robô recebe as informações dos produtos prontos para a captura e das caixas posicionadas. Sempre que a garra não estiver com produtos, o robô tenta realizar a captura. Se os produtos estão prontos o robô faz a captura, caso contrário, ele fica em uma zona de espera. Se a garra estiver com produtos e as caixas estão posicionadas na esteira, o robô tenta colocá-los na caixa, senão ele aguarda em uma zona de espera (acima das caixas). O robô enche uma caixa e depois a outra em seguida antes de liberá-las.

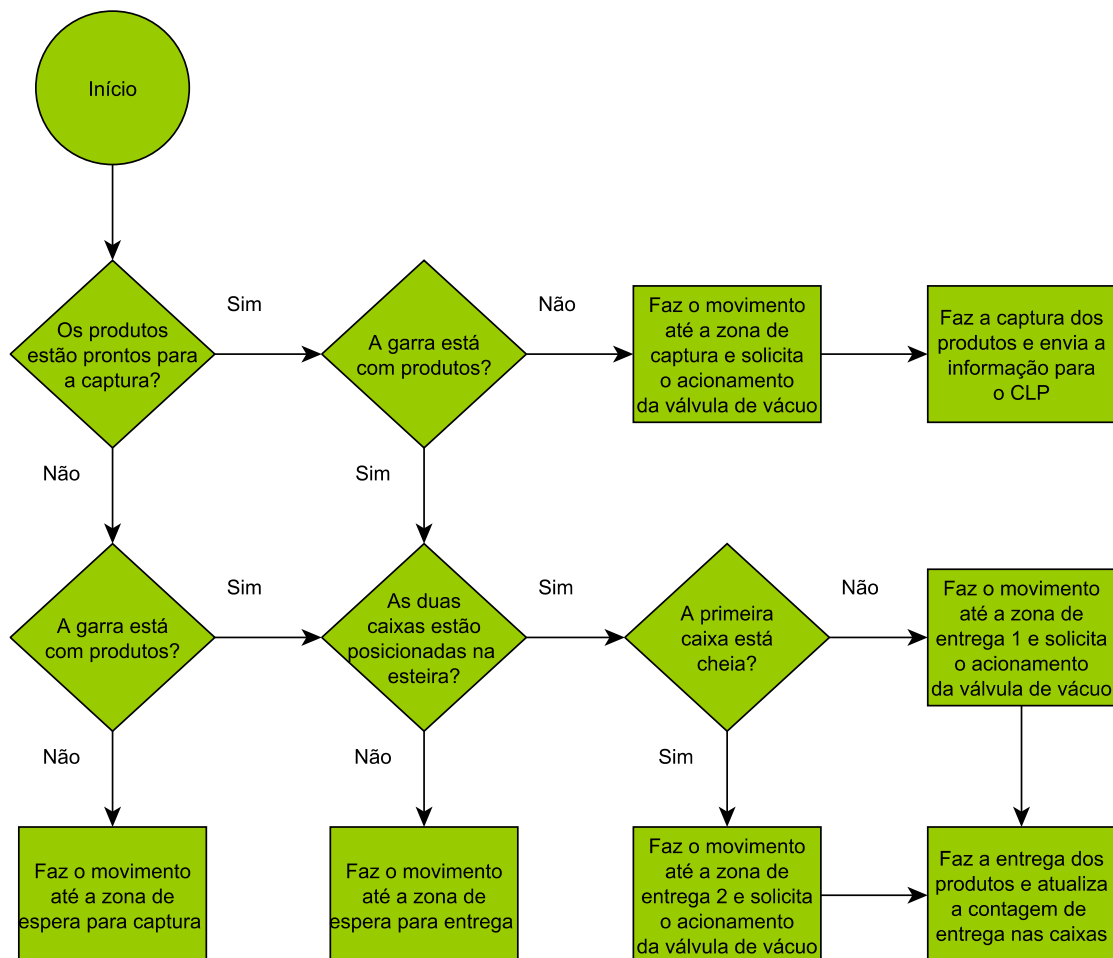


Figura 52 – Fluxograma da captura e entrega do robô.



A verificação de caixas cheias depende da contagem de entregas feitas pelo manipulador em cada caixa. Essa contagem varia de acordo com a receita atual do manipulador, ou seja, a receita do produto que está sendo encaixotado. O manipulador pode fazer duas ou quatro entregas em cada caixa, dependendo da receita. Assim, é realizada a contagem de entregas e quando as duas caixas estiverem cheias, o robô envia uma informação para o controlador, conforme o fluxograma da Figura 53. O controlador usa tal informação para fazer a troca de caixas e comandar o manipulador para a contagem de entregas ser zerada.

### 4.2.2 Operação do robô

Os comandos de ligar, desligar e reestabelecer o robô são recebidos através do controlador. Da mesma forma, o sinal de saída de segurança é proveniente diretamente do controlador de segurança quando a emergência é acionada. Sempre que o sistema é ligado o robô deve estar na posição inicial (posição *home*) antes de iniciar o ciclo de trabalho.

O robô também possui uma opção para realizar a limpeza da garra, que pode ser realizado pela interface da encaixotadora. Para isso, o robô deve ter finalizado a entrega dos produtos e, posteriormente, ir para a posição definida para a limpeza. Após essa operação, o robô se posicionará em *home* quando o sistema for reacionado.

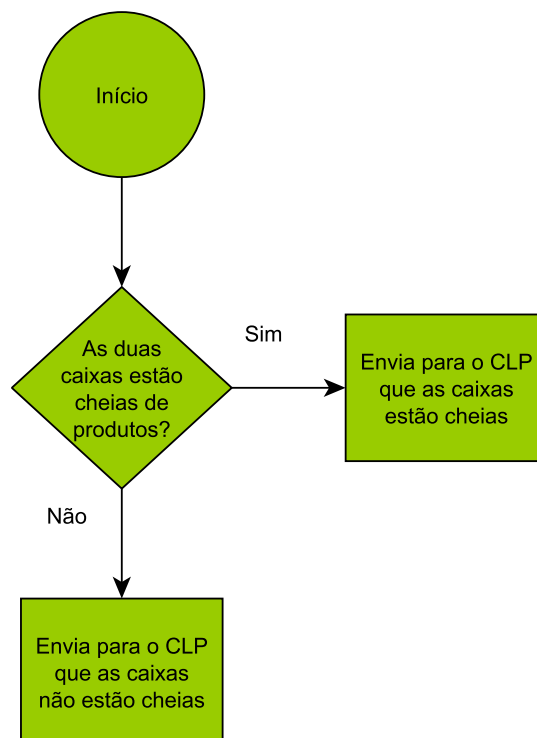


Figura 53 – Fluxograma da verificação de caixas cheias.

O robô possui dois botões de emergência. Um está localizado no FlexPendant e o outro no módulo do controlador. Ambos acionam a emergência e interrompem o sistema

quando pressionados.

### 4.2.3 Receita do robô

Assim como a encaixotadora, o manipulador também possui quatro receitas diferentes, que correspondem aos tipos de potes que podem ser encaixotados. A receita atual no manipulador é sempre a mesma receita selecionada na encaixotadora e condiz com o tipo de produto que será encaixotado. Para garantir que as receitas no manipulador e na encaixotadora serão as mesmas, sempre que houver o comando para gerenciar a receita da encaixotadora, essa informação é transmitida ao manipulador. Portanto, o manipulador recebe as informações de receita salva, carregada e receita atual da encaixotadora.

No robô, cada receita contém um vetor de pontos que correspondem às posições para formar as zonas em que o robô deve capturar e entregar cada tipo de pote. Além disso, a receita deve conter o número de entregas que o robô deve realizar nas caixas de acordo com o tipo de pote encaixotado.

## 4.3 Programação da formadora

A formadora de caixas também utiliza o CLP SIMATIC S7-1200 para o controle de suas tarefas. Assim como a encaixotadora, esse controlador empregado devido às suas características e as especificações do projeto. Os principais dispositivos da encaixotadora que fazem parte do funcionamento do processo e devem trocar informações com o controlador a todo momento são citados na sequência.

- **Sensores fotoelétricos:** os sensores fotoelétricos são responsáveis por detectar a presença da caixa no estoque, na formação e na saída do sistema e verificar o nível de fita,
- **Pistões pneumáticos:** os pistões pneumáticos são acionados pelas válvulas solenoides. São usados para dobrar as abas da caixa, pegar a caixa e empurrar as caixas do estoque.
- **Botoeiras:** as botoeiras estão localizadas no painel de operação da formadora e servem para os comandos de operação.
- **Torre de sinalização:** a torre de sinalização fica no painel de operação e também possui duas lâmpadas e uma sirene.
- **Chaves magnéticas de segurança:** as chaves magnéticas são conectadas no relé de segurança da formadora. Elas ficam acopladas nas portas para garantir a segurança do sistema.

- **Motor elétrico:** um dos motores elétricos é utilizado para mover a esteira lateral do corredor e está ligado a um inversor. O outro é ligado diretamente na rede elétrica e serve para gerar o vácuo da ventosa que puxa a caixa do estoque.
- **Servo motor:** o servo motor está ligado ao seu drive e é empregado para deslocar a caixa até o corredor onde a mesma receberá a fita.

Todas as entradas e saídas utilizadas no sistema são digitais. As listas com os dispositivos da formadora de caixas estão no Apêndice D. Nesse apêndice existe uma lista com as entradas/saídas digitais conectadas ao CLP da formadora de caixas e uma lista com todos os motores da formadora. Esses motores são conectados na rede do controlador.

### 4.3.1 Comunicação da formadora

O controlador da formadora comunica-se apenas com seus dispositivos. Essa comunicação é feita com o protocolo PROFINET. O inversor e o servo drive utilizam o mesmo padrão PROFIdrive da encaixotadora e a IHM é ligada da mesma forma. Para a comunicação, é criada uma rede entre o controlador e os dispositivos da formadora de caixas, conforme a Figura 54. A topologia utilizada também é a estrela, com um *switch* conectando todos os equipamentos. Como há apenas um inversor, a topologia em linha não é utilizada.

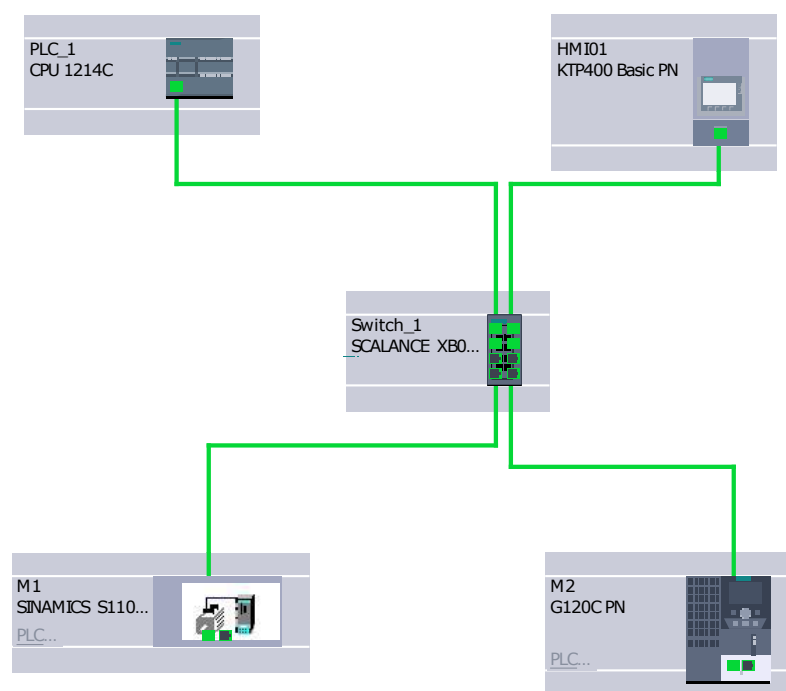


Figura 54 – Componentes da rede da formadora.

### 4.3.2 Funcionamento da formadora

A formadora de caixas segue uma sequência de passos para montar e preparar as caixas que serão usadas encaixotadora. Esse sistema não é subdividido, possuindo um único módulo, diferentemente da encaixotadora. Portanto, a lógica de funcionamento pode ser representada por um diagrama de estados. A Figura 55 apresenta este diagrama de estados contendo todos os passos da formadora de caixas. Cada passo é realizado sob algumas condições, caso contrário, o processo é interrompido.

O passo 1 condiz com a captura da caixa utilizando as ventosas. Dois pistões avançam, o vácuo é acionado e as ventosas prendem na caixa. Ainda, o pistão de esquadrejamento é desativado. A condição para que esse passo seja realizado é de que o servo esteja na posição inicial, o vácuo esteja desligado, nenhum pistão de dobra das abas esteja acionado e a caixa a ser montada esteja na posição correta no estoque. A Figura 56 mostra esse primeiro passo da formadora de caixas. Todas as imagens da formadora de caixas são da vista superior dela.

O passo 2 (Figuras 57 e 58) consiste em abrir a caixa e formá-la. Para isso, os dois pistões recuam com a caixa presa na ventosa, abrindo-a. Logo após, ela é esquadrejada por um pistão. O passo 2 só ocorre se o primeiro passo for concluído, se o servo estiver na posição inicial, se nenhum pistão de dobra das abas estiver acionado e o pistão de esquadrejamento estiver desativado.

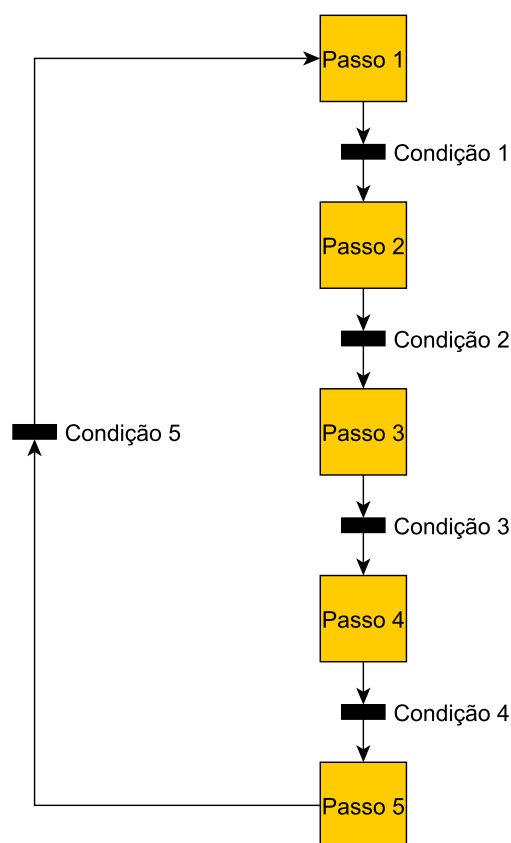


Figura 55 – Diagrama de estados da formadora de caixas.

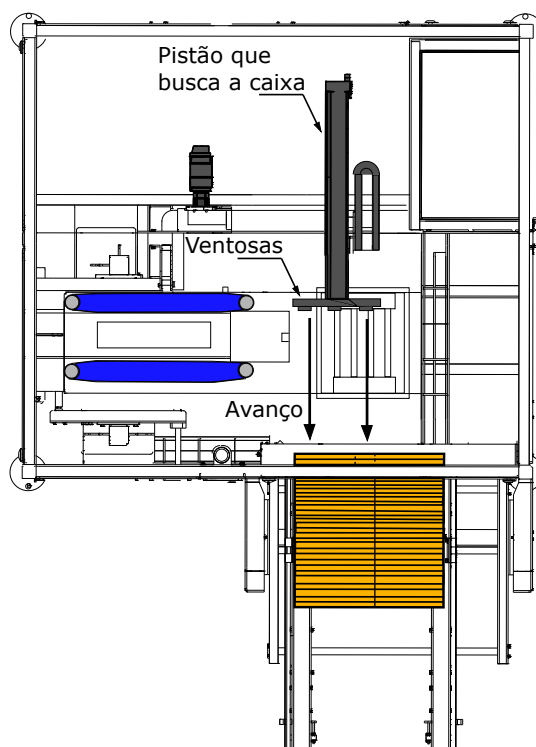


Figura 56 – Passo 1 da formadora de caixas.

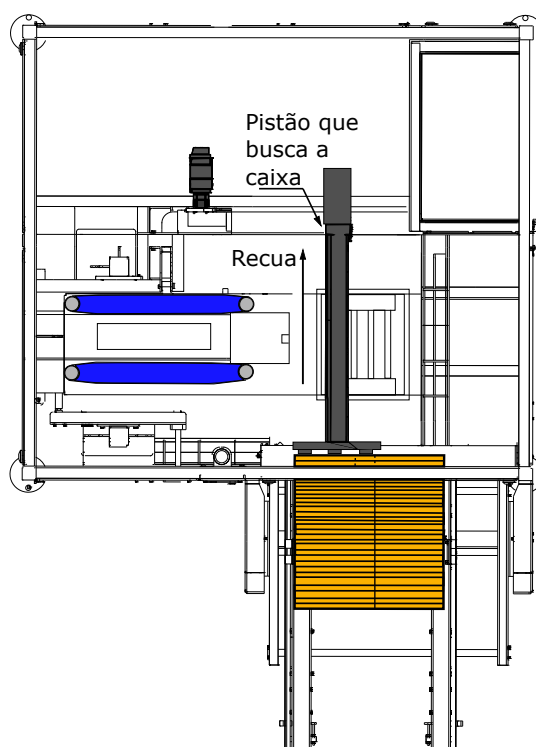


Figura 57 – Passo 2 da formadora de caixas.

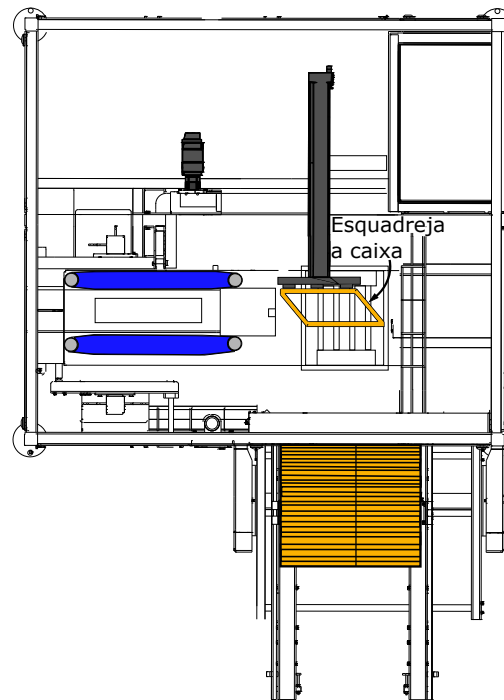


Figura 58 – Continuação do passo 2 da formadora de caixas.

No passo 3 ocorre a dobra das abas dianteira e traseira inferiores da caixa, como indicado nas Figuras 59 e 60. Para tal, são usados dois pistões enquanto as ventosas seguram a caixa. Ainda, dois pistões empurram o restante das caixas do estoque para que a próxima caixa fique posicionada para a montagem. Para realizar essa etapa, o passo 2 deve ser concluído, o servo deve estar na posição inicial e um sensor deve confirmar que a caixa foi esquadrejada.

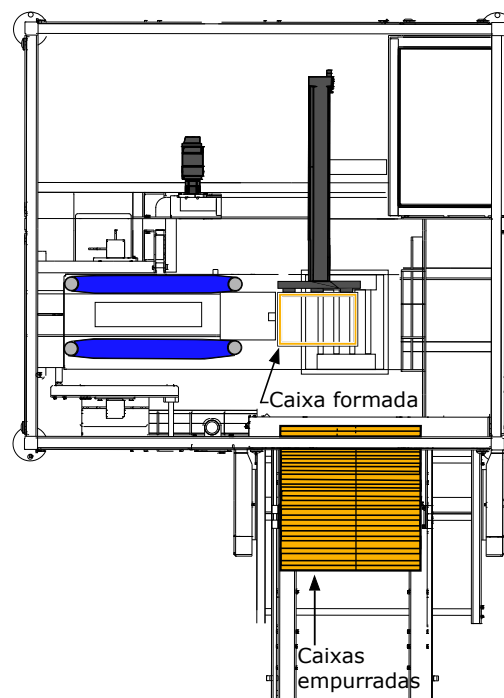


Figura 59 – Passo 3 da formadora de caixas.

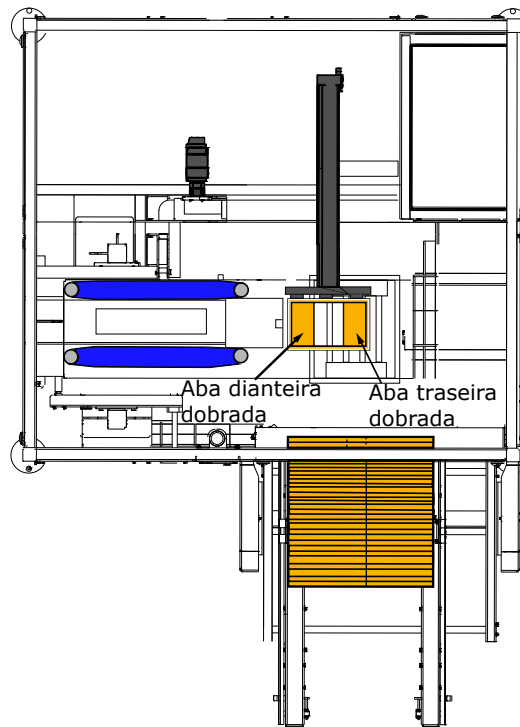


Figura 60 – Continuação do passo 3 da formadora de caixas.

O passo 4 se refere à dobra das abas laterais inferiores da caixa, de acordo com a Figura 61. Para isso, mais dois pistões são utilizados e apenas o pistão de dobra da aba dianteira é desligado. O passo 4 só ocorre se o passo anterior estiver concluído, o servo estiver na posição inicial e o sensor ainda estiver confirmando a caixa formada (esquadrejada).

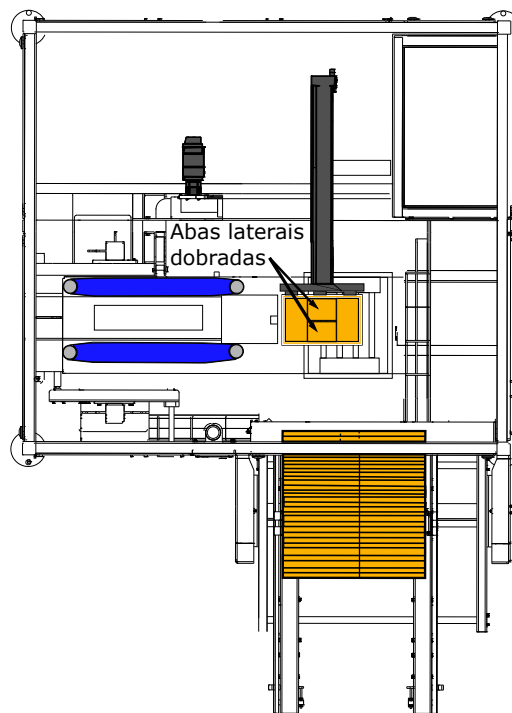


Figura 61 – Passo 4 da formadora de caixas.

No último passo as abas dobradas são coladas e a caixa sai da formadora, conforme demonstra as Figuras 62 e 63. Nesse passo, o servo desloca o pistão com a caixa para um corredor, o vácuo é desligado e as ventosas liberam a caixa. Nesse corredor há duas esteiras laterais que empurram a caixa até a saída da formadora, de modo que um mecanismo simples coloca uma fita adesiva para colar as abas inferiores da caixa.

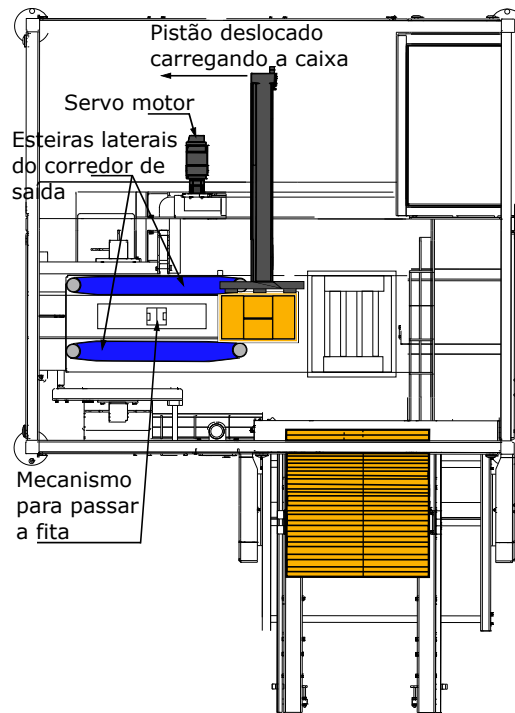


Figura 62 – Passo 5 da formadora de caixas.

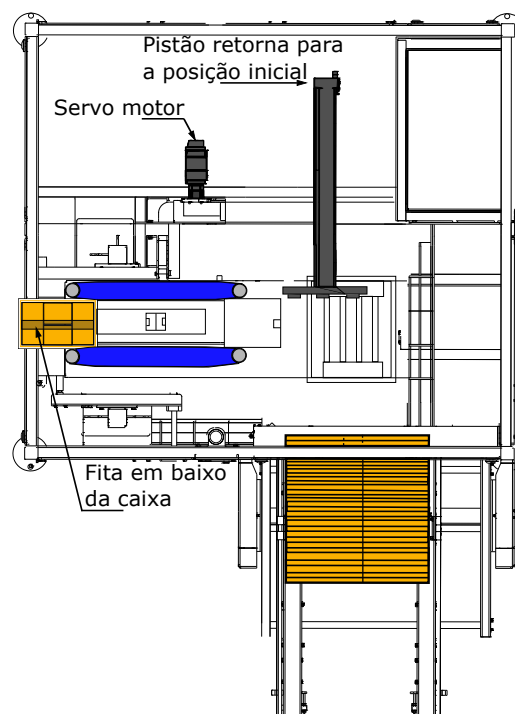


Figura 63 – Continuação do passo 5 da formadora de caixas.



Após isso, o servo retorna à posição inicial e os pistões de dobra das abas são desativados. A condição para que esse passo seja realizado é que o passo 4 seja concluído, o servo esteja na posição inicial, o sensor confirme a formação da caixa e o pistão de dobra da aba dianteira esteja desativado. O processo de montagem pode ser interrompido a qualquer momento por falha, emergência, acúmulo de caixas na saída da formadora, caixa parada no corredor de saída ou sinal de intertravamento vindo da encaixotadora. Esse sinal de intertravamento é usado para que a formadora tenha a informação de que a encaixotadora está operando ou não.

### 4.3.3 Operação da formadora

A Figura 64 apresenta um desenho do painel de operação da formadora de caixas contendo a IHM e os botões de comando. Esse painel é semelhante ao da encaixotadora com os botões de liga/desliga, limpar falha, emergência e rearme de emergência. A IHM também pode ser usada para fazer os mesmos comandos desses botões. A operação desse painel segue a mesma sequência lógica descrita para a encaixotadora na Seção 4.1, pois possui os mesmo botões de comando.

A IHM da formadora permite colocar o sistema nos modos manual, referenciamento, e simulação. O modo manual é usado para operar os dispositivos individualmente e o referenciamento é usado quando é necessário referenciar o servo motor, assim como na encaixotadora. O modo simulação é usado com a finalidade de testar a formadora sem a presença das caixas. Nesse modo, é possível dar um passo da montagem de cada vez usando um botão na IHM. Com isso, é possível corrigir os tempos e garantir o funcionamento correto da formadora antes de ligá-la.

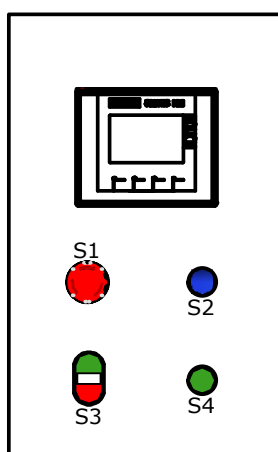


Figura 64 – Painel de operação da formadora.

### 4.3.4 Verificação de falhas da formadora

A verificação de falhas da formadora inclui as falhas existentes nos motores e uma sequência de verificações de acordo com os passos de formação da caixa. Todos os tipos de falhas são mostrados na interface da formadora.

As falhas durante o processo de formação da caixa interrompem o sistema, e o operador deve verificá-las. Essas falhas são listadas a seguir:

- Processo interrompido durante um passo;
- Caixa não foi bem formada;
- Caixa a ser montada não está posicionada;
- Baixo nível de caixas no estoque;
- Baixo nível de fita adesiva;
- Servo motor ultrapassou os limites de avanço;
- Servo motor não está na posição em que foi colocado.

### 4.3.5 Estrutura do programa da formadora

O programa do controlador da formadora de caixas é semelhante ao programa da encaixotadora. A programação é estruturada em vários blocos e eles também são do tipo OB, FB e DB. A programação utiliza somente a linguagem ST.

O bloco principal é do tipo OB e chama apenas os blocos de dados para atualizar as informações a cada ciclo de varredura do controlador. Além de usar os mesmos blocos padrões de controle citados anteriormente, esse programa usa um bloco para fazer a partida do motor da bomba de vácuo. Esse bloco se chama C\_Direct e é responsável por fazer a lógica de partida direta do motor elétrico. Esse bloco tem como entradas os comandos e modos de operação do motor e o estado da segurança do sistema. A saída é o estado do motor de acordo com o comando.

A formadora possui blocos para as entradas e saídas do controlador, para os comandos de operação, lógica de funcionamento e a verificação de falhas do sistema. A Figura 65 apresenta todos os blocos que constituem o programa da formadora de caixas.

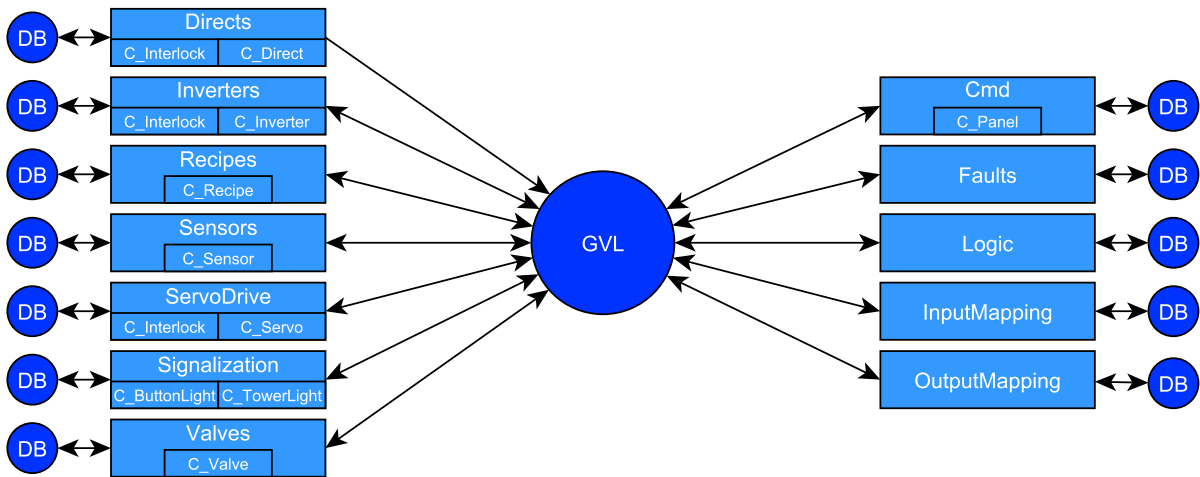


Figura 65 – Blocos do programa da formadora.

### 4.3.6 Receitas da formadora

A formadora de caixas possui uma receita para cada tipo de caixa. Os potes de 500g de cada produto utilizam a mesma caixa, portanto o sistema forma três tipos de caixas diferentes. A configuração das receitas deve ser feita para que a formadora consiga atingir as velocidades de formação de caixas mencionadas conforme o Capítulo 3. A Figura 66 ilustra a tela usada para gerenciar as receitas.

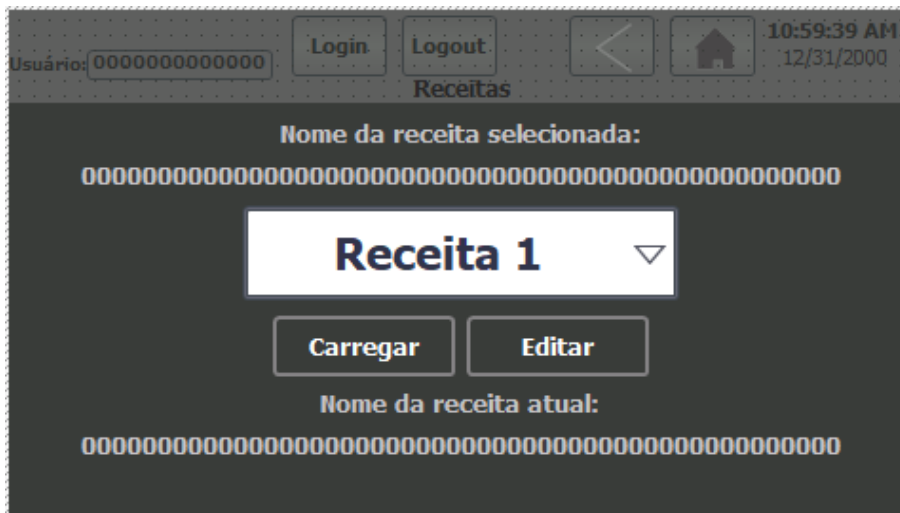


Figura 66 – Tela de gerenciamento das receitas da formadora

A receita selecionada é disposta acima da área de seleção e a receita carregada aparece abaixo. Para carregar uma nova receita, a formadora não pode estar operando. Se o operador tentar carregar alguma receita enquanto a formadora estiver ligada, aparecerá um alerta visual na interface gráfica. Todavia, as receitas podem ser editadas com a formadora operando. Para isso, uma receita deve ser selecionada e o botão 'editar' pressionado.



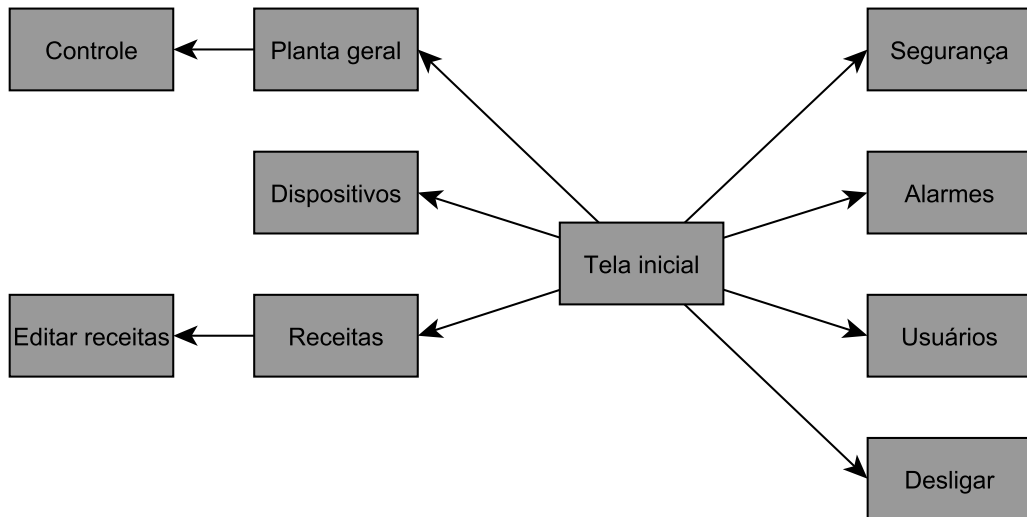


Figura 68 – Sequência de navegação nas telas da formadora.

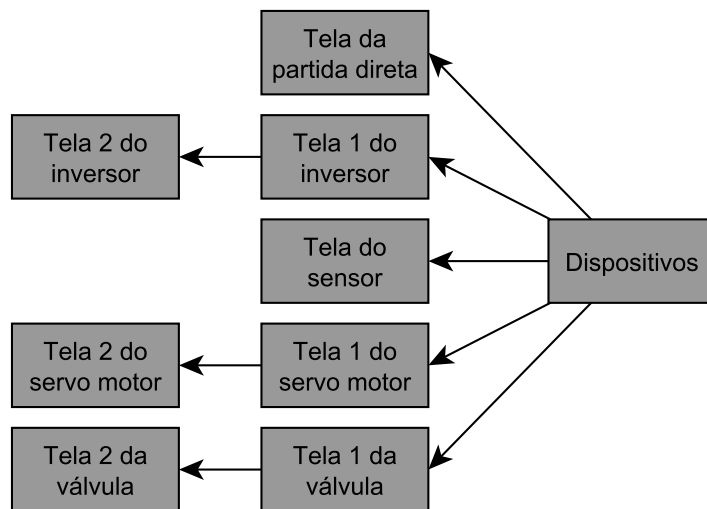


Figura 69 – Sequência das telas de operação dos dispositivos da formadora.

### 4.3.8 Relé de segurança da formadora

O relé de segurança é usado para garantir a segurança de operação na formadora. Nesse sistema não foi necessário usar um controlador para o mesmo fim, pois possui poucos dispositivos. Portanto, os dispositivos de segurança ligados na entrada do relé são listados conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Lista de entradas do relé.

Tag	Função	I/O nº
S1_BS	Botão de emergência e chaves magnéticas em série (C1)	S11-S12
S1_BS	Botão de emergência e chaves magnéticas em série (C2)	S11-S22
S2	Rearme de emergência	X1-X2

Os dispositivos de segurança (botão de emergência e chaves magnéticas) são ligados no relé por dois canais para garantir a chegada do sinal de emergência. Além disso, todos esses dispositivos são ligados em série, pois o contato de entrada está normalmente fechado. Caso algum dos dispositivos abra o contato, a emergência é acionada.

O relé possui uma entrada específica para o rearme. Por esse motivo, o botão de rearme de emergência pode ser ligado diretamente nessa entrada.

Na saída do relé devem estar conectados os atuadores que devem parar com o acionamento da emergência. A Tabela 9 apresenta a lista de saídas do relé.

Tabela 9 – Lista de saídas do relé.

<b>Tag</b>	<b>Função</b>	<b>I/O nº</b>
YS	Saída de segurança para as válvulas YS1 e YS2	14
STO	Saída de segurança para o drive e o inversor	24
FS1	Saída do estado do relé para o controlador	Y1

As válvulas de segurança, o inversor e o servo drive são ligados na saída e recebem o valor 0 quando a emergência é acionada e 1 quando a segurança está normalizada. A saída de estado do relé funciona da mesma forma e o sinal é enviado ao controlador.

## 5 Resultados

Diante de toda a montagem da estrutura do sistema de encaixotamento, foi possível realizar testes e validar o funcionamento da máquina. Durante os testes no sistema físico foram desenvolvidas várias versões dos programas para obter o melhor resultado final.

### 5.1 Testes e validações

A estrutura física do projeto compreendeu a formadora de caixas e a encaixotadora. Contudo, vale ressaltar que a encaixotadora não pôde ser totalmente montada durante a realização dos testes. O módulo de entradas de produtos não foi montado e, portanto, não foi testado. Para testar a entrada de produtos havia apenas uma esteira simples para que pudessem ser colocados os produtos para o encaixotamento. Apesar disso, foi possível testar o processo com os quatro tipos de produtos e a montadora das caixas.

Para que os movimentos do robô fossem realizados durante o processo de teste do encaixotamento, ele precisou ser devidamente calibrado. Além disso, todos os pontos necessários para entrega e captura dos produtos de cada receita precisaram ser adicionados. Esses pontos foram ajustados diversas vezes para que o robô conseguisse pegar os produtos e entregá-los da melhor e mais ágil maneira possível.

Durante os testes, a maior dificuldade foi configurar os tempos disponíveis nas receitas e as velocidades dos motores para que o sistema atingisse a velocidade de encaixotamento proposta. O robô estava com a velocidade de movimentação máxima e muitas vezes aguardava o processo de preparação dos produtos para captura ou de troca das caixas, ou seja, durante um ciclo inteiro o robô ficava muito tempo ocioso e o sistema não atingia a velocidade de encaixotamento desejada.

Para acelerar o processo da troca de caixas, foi ajustada uma velocidade maior no servo motor, além do aumento da velocidade da esteira de encaixotamento e a redução do tempo de espera da cancela de saída de caixas.

Na preparação dos produtos para captura, foi utilizado o mecanismo com duas cancelas (cancela de captura e de pré captura), que inicialmente não havia sido projetado, para que esse processo ganhasse agilidade. Foi ajustada a velocidade da esteira da captura de produtos e configurado o menor tempo possível para abertura e fechamento dessas duas cancelas.

Para garantir que o sistema atingisse a velocidade de encaixotamento proposta com eficiência, algumas funcionalidades foram modificadas. Um pistão para o auxílio da abertura das abas superiores da caixa durante a entrega dos produtos foi retirado e o robô passou a realizar um movimento com um grau de inclinação para depositar os produtos

sem colidir com as abas. Outros dois pistões para o auxílio da preparação da captura dos produtos foram descartados, pois havia um atraso muito grande em seu acionamento e recuo. Todo o projeto mostrado anteriormente já considera essas modificações.

Na formadora de caixas, todos os tempos configurados nas receitas também foram escolhidos para que a montagem das caixas atendesse a demanda da encaixotadora.

As imagens do cenário da montagem física do sistema para os testes são mostradas a seguir. Na Figura 70 é possível ver o estoque da formadora de caixas.



Figura 70 – Estoque de caixas da formadora.



As ventosas usadas para puxar a caixas do estoque e os pistões usados para dobrar as aba são mostrados na Figura 71.

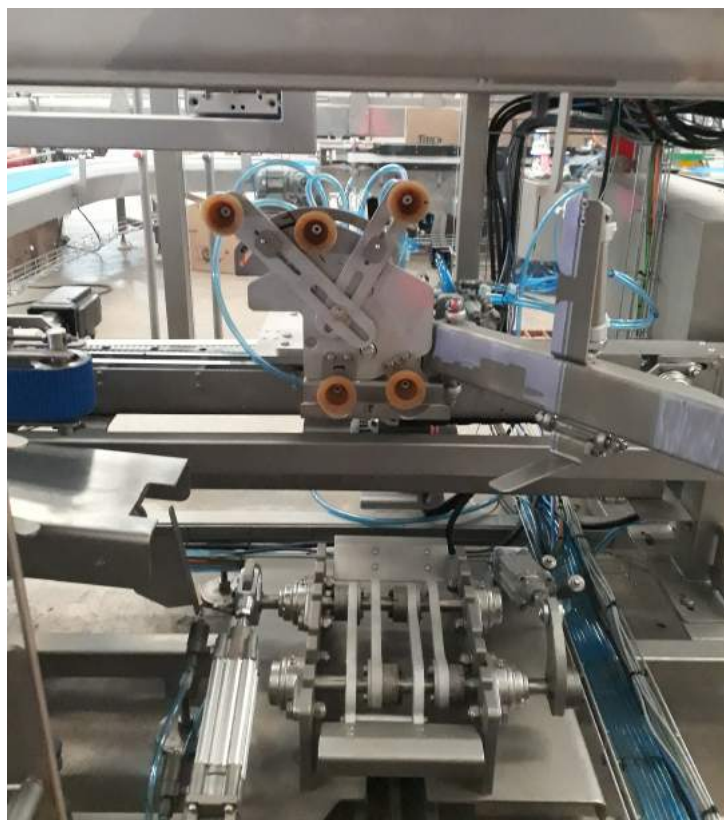


Figura 71 – Ventosas e pistões de dobra da formadora.

O segundo passo da encaixotadora, em que a caixa é esquadrejada, é mostrada na Figura 72



Figura 72 – Caixa esquadrejada na formadora.

O quarto passo, em que já está dobrado as quatro abas inferiores da caixa é mostrado na Figura 73



Figura 73 – Abas dobradas da caixa na formadora.

A Figura 74 exibe o último passo da formadora, em que a caixa é colocada no corredor de saída e uma fita adesiva cola as abas inferiores dobradas.

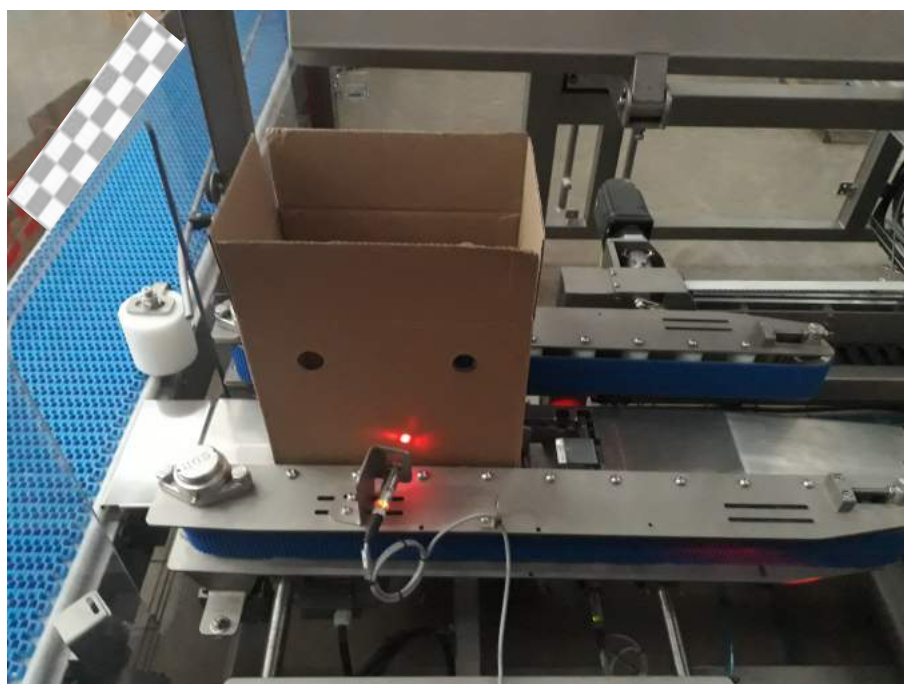


Figura 74 – Caixa pronta na saída da formadora.

As caixas formadas entrando na encaixotadora e o pistão que faz o controle da entrada das caixas são vistos na Figura 75.



Figura 75 – Entrada das caixas formadas.

De um outro ângulo é possível visualizar na Figura 76 as duas caixas posicionadas para receber os produtos e outras duas caixas na região de espera na esteira de encaixotamento.



Figura 76 – Caixas na esteira de encaixotamento.

Os seis produtos prontos para captura e os produtos em espera na sequência podem ser vistos na Figura 77.



Figura 77 – Zona de captura e pré captura.

Na Figura 78 é ilustrado o momento em que o robô faz a captura dos produtos prontos.



Figura 78 – Zona de captura dos produtos.

Para encher a primeira caixa o robô deposita os produtos na zona de entrega 1, conforme ilustra a Figura 79.



Figura 79 – Zona de entrega 1.

Com a primeira caixa já cheia de produtos, o robô passa a capturá-los e colocá-los na segunda caixa. Para isso, ele se posiciona na zona de entrega 2 (Figura 80) e deposita os produtos.



Figura 80 – Zona de entrega 2.

As caixas liberadas para a saída são mostradas na Figura 81. É possível notar que a primeira já está na esteira de saída e a segunda caixa fica primeiramente parada na esteira de espaçamento.



Figura 81 – Saída das caixas na encaixotadora.

## 6 Conclusões

O objetivo deste projeto foi o desenvolvimento e programação de uma Célula de Encaixotamento Robotizada (CER) para uma empresa de produtos lácteos respeitando as receitas de produção preestabelecidas pela empresa e algumas normas de segurança.

Após o desenvolvimento e finalização do projeto, concluíram-se alguns aspectos, que são citados abaixo.

- O sistema robotizado para o encaixotamento de potes funcionou como esperado, portanto pode substituir o trabalho manual, reduzindo o tempo de operação e tornando o processo padronizado, de forma que os produtos são encaixotados sempre da mesma forma e com mais eficiência.
- A substituição do trabalho manual no processo de encaixotamento apresenta como principal característica o aumento de eficiência no processo, auxiliando implicitamente na redução de interrupções por erros humanos ou cansaço físico e na redução de acidentes ocupacionais e esforços físicos;
- A implementação deste tipo de células de trabalho aumentou notoriamente a visibilidade do potencial que a automação industrial oferece, motivando discussões para a implementação de novas células de trabalho robotizadas e automação de processos em outras tarefas realizadas pela empresa futuramente;
- O desenvolvimento de células de trabalho robotizadas permite o aprimoramento das tecnologias envolvidas devido ao crescente interesse contínuo em sistemas robóticos observado nas últimas décadas, a fim de abranger cada vez mais áreas da indústria;
- O desenvolvimento de células de trabalho robotizadas estimula o aumento do número de sistemas robotizados no Brasil através da divulgação dos resultados positivos de sistemas já implementados;

### 6.1 Considerações finais

O desenvolvimento das atividades relacionadas à programação da célula de encaixotamento robotizada, objeto do presente documento, foi possível graças ao apoio incondicional recebido pela Torfresma, que ofereceu as ferramentas, equipamentos, espaços e suporte técnico necessários para alcançar tal fim.

O Conhecimento adquirido e gerado ao longo do processo projetivo a célula de encaixotamento robotizada, constituíram uma base sólida para a solução de problemas similares e com potencial de inserir sistemas automatizados ou robotizados.

O autor do presente documento não participou da instalação final da célula de encaixotamento robotizada na planta de produção da empresa de produtos lácteos.

## 6.2 Principais Contribuições

A principal contribuição deste foi a programação e integração dos controladores dos módulos da célula de encaixotamento robotizada. O desenvolvimento das telas e programas das IHM também foram uma importante contribuição durante o desenvolvimento do projeto.

O uso de bibliotecas para múltiplos módulos e processos da célula de encaixotamento robotizada representa um aspecto vantajoso na lógica de funcionamento do sistema, pois podem ser realizadas adaptações para outros fluxos semelhantes de maneira simples. Tal fato permite que a solução obtida possa ser utilizada como modelo para futuros clientes que possuam um processo similar e também desejam implementar algum tipo de automação em seus processos.

## 6.3 Trabalhos Futuros

Após o desenvolvimento do trabalho dentro da Torfresma, ainda restaram alguns aspectos para serem concluídos, principalmente no que tange à implementação do sistema na fábrica de produtos lácteos.

No processo de instalação e start-up do sistema algumas tarefas ainda deverão ser executadas, dentre elas destacam-se a verificação e calibração das conexões de todos os dispositivos de campo (sensores e atuadores) para que funcionem corretamente, a realização de testes da célula de encaixotamento robotizada utilizando produtos vindos das etapas produtivas prévias, e o acompanhamento e ajustes finais do sistema.

Algumas tarefas adicionais que poderiam ser acrescentadas ao desenvolvimento do presente trabalho são a criação de sistemas de gestão automáticos (gestão e criação de relatórios) e a modificação dinâmica do comportamento do sistema.

Em etapas futuras, poderia ainda ser realizada a automatização de processos e/ou etapas anteriores ou posteriores que alimentam ou são alimentadas pela célula de encaixotamento e que ainda são manuais. Outros projetos podem ser anexados à este, permitindo uma expansão da fábrica ou ainda alterando o fluxo de produção para melhorar a qualidade dos produtos.



# Referências Bibliográficas

- 1 TSAI, L. W. *Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators*. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc, 1999. ISBN 0-471-32593-7. 8, 16, 22, 23, 24
- 2 MORAES, C. C. de; CASTRUCCI, P. de L. *Engenharia de automação industrial*. [S.l.]: LTC, 2013. ISBN 978-85-216-1532-3. 8, 31, 32, 33, 42
- 3 INSTITUCIONAL - TORFRESMA INDUSTRIAL. <<https://www.torfresma.com.br/institucional/>>. Acessado em 16 Out. 2019. 18
- 4 BARRIENTOS, A. *Fundamentos de robótica*. [S.l.]: McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2007. ISBN 978-8448156367. 20
- 5 SICILIANO, B. et al. *Robotics: Modelling, Planning and Control*. [S.l.]: Springer, 2009. ISBN 978-1-84628-641-4. 20, 22, 25
- 6 ISO 8373. <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>>. Acessado em 16 Out. 2019. 21
- 7 NIKU, S. B. *Introduction to robotics: Analysis, Control, Applications*. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2011. ISBN 978-0-470-60446-5. 22
- 8 VERTULO, R. *Robôs de classe*. <<http://labdeeletronica.com.br/robos-de-classe/>>. Acessado em 07 Dez. 2019. 23
- 9 CRAIG, J. J. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. [S.l.]: Pearson Education, 2014. ISBN 978-1-292-04004-2. 23, 26, 27, 28
- 10 IRB 2600. [S.l.]: ABB. <<https://new.abb.com/products/robotics/pt/robos-industriais/irb-2600>>. Acessado em 07 Dez. 2019. 28
- 11 O ROBÔ QUE ALCANÇA MAIS LONGE. [S.l.]: ABB. <<https://library.e.abb.com/public/7a4f05425e45dcbc48257c9e0052fcc5/Artigo-IRB-2600.pdf>>. Acessado em 07 Dez. 2019. 28
- 12 PRODUCT SPECIFICATION IRB 2600. [S.l.]: ABB. <<https://library.e.abb.com/public/8112f5d578f94639b721f5740a04ee8b/3HAC035959%20PS%20IRB%202600-en.pdf>>. Acessado em 07 Dez. 2019. 28
- 13 MANUAL DE OPERAÇÃO COMEÇAR, IRC5 E ROBOTSTUDIO. [S.l.]: ABB. <<https://docente.ifsc.edu.br/rafael.grebogi/MaterialDidatico/Mecatronica/Robotica/Material%20Robot%20ABB/pt/3HAC027097-pt.pdf>>. Acessado em 07 Dez. 2019. 29
- 14 PRUDENTE, F. *PLC S7-1200: teoria e aplicações: curso introdutório*. [S.l.]: LTC, 2014. ISBN 978-85-216-2514-8. 30, 34
- 15 SIMATIC HMI PANELS. [S.l.]: SIEMENS. <[https://www.smartec-automacao.com.br/wp-content/uploads/2017/06/Smartec\\_Cat%C3%A1logo\\_IHMS\\_pt.pdf](https://www.smartec-automacao.com.br/wp-content/uploads/2017/06/Smartec_Cat%C3%A1logo_IHMS_pt.pdf)>. Acessado em 17 Dez. 2019. 37

- 16 RE13-SAC RE1 CHAVES DE SEGURANÇA SEM CONTATO. [S.l.]: SICK. <[https://cdn.sick.com/media/pdf/9/69/669/dataSheet\\_RE13-SAC\\_1059503\\_pt.pdf](https://cdn.sick.com/media/pdf/9/69/669/dataSheet_RE13-SAC_1059503_pt.pdf)>. Acessado em 19 Dez. 2019. 40
- 17 DADOS TÉCNICOS E DIMENSIONAIS DOS MOTORES CA SÉRIE DR. [S.l.]: SEW EURODRIVE. <[https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11690798\\_G14.pdf](https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11690798_G14.pdf)>. Acessado em 19 Dez. 2019. 41
- 18 FRANCHI, C. M. *Inversores de Frequência: Teorias e Aplicações*. [S.l.]: Érica, 2009. ISBN 978-85-365-0561-9. 41
- 19 SINAMICS G120C INVERSOR DE FREQUÊNCIA. [S.l.]: SIEMENS. <[https://www.snumam.com.br/template/pw-pdf/24-G120C\\_Getting%20Started\\_pt\\_rev2.pdf](https://www.snumam.com.br/template/pw-pdf/24-G120C_Getting%20Started_pt_rev2.pdf)>. Acessado em 17 Dez. 2019. 41
- 20 STEMMER, M. R. *Redes Locais Industriais*. [S.l.]: UFSC, 2010. 42
- 21 MODBUS. <<http://modbus.org/>>. Acessado em 14 Dez. 2019. 42

# A Listas de dispositivos da encaixotadora

## A.1 Lista de entradas/saídas digitais da encaixotadora

Tag	Função	I/O nº
S2	Botão rearme de emergência do painel 1	DI 0/00
S3	Botão ligar do painel 1	DI 0/01
S3.1	Botão desligar do painel 1	DI 0/02
S4	Botão limpar falha do painel 1	DI 0/03
S6	Botão rearme de emergência do painel 2	DI 0/04
S7	Botão para abertura de porta do painel 2	DI 0/05
B1	Sensor da cancela da entrada de caixas	DI 0/06
B2	Sensor 1 da região de espera do encaixotamento	DI 0/07
B3	Sensor 2 da região de espera do encaixotamento	DI 0/08
B4	Sensor 1 da região de entrega	DI 0/09
B5	Sensor 2 da região de entrega	DI 0/10
B6	Sensor da esteira de espaçamento da saída de caixas	DI 0/11
B7	Sensor de referenciamento do servo motor	DI 0/12
B9	Sensor da linha 1 da região de captura	DI 0/13
B10	Sensor da linha 2 da região de captura	DI 1/00
B11	Sensor de acúmulo de produtos da linha 1	DI 1/01
B12	Sensor de acúmulo de produtos da linha 2	DI 1/02
B13	Sensor medidor de pressão (pressostato) do sistema	DI 1/03
B16	Sensor medidor de vácuo (vácuostato) da garra do robô	DI 1/06
B17	Sensor da saída de caixas para a fechadora	DI 1/07
B18	Sensor para distribuição de produtos da linha 2	DI 1/08
B19	Sensor para distribuição de produtos da linha 1	DI 1/09
SE1	Sinal de intertravamento da fechadora de caixas da linha	DI 1/10
H4	Lâmpada do botão limpar falha do painel 1	DO 0/02
H5	Lâmpada do botão rearme de emergência do painel 2	DO 0/03
H6	Lâmpada do botão para abertura de porta do painel 2	DO 0/04
X3_H7	Lâmpada vermelha da torre de sinalização	DO 0/05
X3_H8	Lâmpada verde da torre de sinalização	DO 0/06

X3_H9	Sirene da torre de sinalização	DO 0/07
Y1	Válvula do pistão da cancela da entrada de caixas	DO 0/08
Y2	Válvula do pistão da cancela da saída de caixas	DO 0/09
Y5	Válvula do pistão distribuidor de produtos da linha 1	DO 1/02
Y6	Válvula do pistão distribuidor de produtos da linha 2	DO 1/03
Y7	Válvula do pistão da cancela de captura	DO 1/04
Y8	Válvula de vácuo da garra do robô	DO 1/05
Y9	Válvula de sopro da garra do robô	DO 1/06
BS2	Sinal para liberar porta do sensor BS2	DO 1/07
BS4	Sinal para liberar porta do sensor BS4	DO 1/08
Y11	Válvula do pistão da cancela de pré captura	DO 1/09
H2	Lâmpada do botão rearme de emergência do painel 1	DO 1/10
H3	Lâmpada do botão liga/desliga do painel 1	DO 1/11
SS1	Sinal intertravamento enviado à formadora	DO 2/12

## A.2 Lista de motores da encaixotadora

Tag	Função	Tipo
M1	Motor da esteira de entrada de produtos	Motor elétrico
M2	Motor da esteira da entrada de caixas	Motor elétrico
M3	Motor da esteira de encaixotamento	Motor elétrico
M4	Motor da esteira de espaçamento	Motor elétrico
M5	Motor da esteira de captura de produtos	Motor elétrico
M6	Motor da esteira de saída de caixas	Motor elétrico
M7	Motor da fita para posicionamento das caixas	Servo motor

## B Variáveis do Standard Telegram 111

### B.1 *Words* de controle do *Standard Telegram 111*

PZD (Dado)	Referência	Descrição
PZD 1	STW1	<i>Word</i> de controle 1
PZD 2	POS_STW1	<i>Word</i> de controle do posicionamento 1
PZD 3	POS_STW2	<i>Word</i> de controle do posicionamento 2
PZD 4	STW2	<i>Word</i> de controle 2
PZD 5	OVERRIDE	Velocidade de referência
PZD 6	MDI_	Ajuste da posição alvo
PZD 7	TARPOS	
PZD 8	MDI_	Ajuste da velocidade
PZD 9	VELOCITY	
PZD 10	MDI_ACC	Rampa de aceleração
PZD 11	MDI_DEC	Rampa de desaceleração
PZD 12	USER	Reservado

### B.2 *Words* de estado do *Standard Telegram 111*

PZD (Dado)	Referência	Descrição
PZD 1	ZSW1	<i>Word</i> de estado 1
PZD 2	POS_ZSW1	<i>Word</i> de estado do posicionamento 1
PZD 3	POS_ZSW2	<i>Word</i> de estado do posicionamento 2
PZD 4	ZSW2	<i>Word</i> de estado 2
PZD 5	MELDW	Estado do drive
PZD 6	XIST_A	Valor atual da posição
PZD 7		
PZD 8	NIST_B	Valor atual da velocidade
PZD 9		
PZD 10	FAULT_CODE	Código de falha
PZD 11	WARN_CODE	Código de alarme
PZD 12	USER	Reservado

## C Lista de entradas e saídas do CLP de segurança da encaixotadora

Tag	Função	I/O nº
S1	Botão de emergência do painel 1 C1	AIS1/I01
S1	Botão de emergência do painel 1 C2	AIS1/I02
BS3_BS4	Chaves magnéticas em série da porta de segurança C1	AIS1/I03
BS3_BS4	Chaves magnéticas em série da porta de segurança C2	AIS1/I04
S5	Botão de emergência do painel 2 C1	AIS1/I05
S5	Botão de emergência do painel 2 C2	AIS1/I06
BS1_BS2	Chaves magnéticas em série da porta de segurança C1	AIS2/I01
BS1_BS2	Chaves magnéticas em série da porta de segurança C2	AIS1/I08
YS1_YS2	Sinal de emergência das válvulas de segurança	AIS2/I01
F6/F7	Botão de emergência do robô C2	AIS2/I02
F13	Saída de segurança para o Robô	AQS1/Q01
F14	Saída de segurança para o Robô	AQS1/Q02
YS1	Válvula de segurança do painel de válvulas	AQS1/Q03
YS2	Válvula de segurança do painel de válvulas	AQS1/Q04
STO	Saída de segurança para os motores e o servo motor C1	AQS2/Q01
STO	Saída de segurança para os motores e o servo motor C2	AQS2/Q02

## D Listas de dispositivos da formadora

### D.1 Lista de entradas e saídas digitais da formadora

Tag	Função	I/O nº
FS1	Confirmação de segurança do relé	DI 0/00
S3	Botão ligar do painel	DI 0/01
S3.1	Botão desligar do painel	DI 0/02
S4	Botão limpar falha do painel	DI 0/03
B1	Sensor do nível do estoque de caixas	DI 0/04
B2	Sensor 1 para detectar caixa posicionada para montagem	DI 0/05
B3	Sensor 2 para detectar caixa posicionada para montagem	DI 0/06
B4	Sensor de confirmação da caixa esquadrejada	DI 0/07
B5	Sensor de nível de fita	DI 0/08
B6	Sensor de saída de caixas	DI 0/09
B9	Sensor para acúmulo de caixas	DI 0/12
H2	Lâmpada do botão rearme de emergência do painel	DO 0/00
H3	Lâmpada do botão liga/desliga do painel	DO 0/01
H4	Lâmpada do botão limpar falha do painel	DO 0/02
X2_H5	Lâmpada verde da torre de sinalização	DO 0/03
X2_H6	Lâmpada vermelha da torre de sinalização	DO 0/04
Y1	Válvula do pistão 1 para buscar a caixa	DO 0/05
Y2	Válvula do pistão 2 para buscar a caixa	DO 0/06
Y3	Válvula do pistão 1 que empurra caixas no estoque	DO 0/07
Y4	Válvula do pistão 2 que empurra caixas no estoque	DO 0/08
Y6	Válvula do pistão para esquadrear a caixa	DO 1/00
Y7	Válvula do pistão para dobrar a aba traseira	DO 1/01
Y8	Válvula do pistão para dobrar a aba dianteira	DO 1/02
Y9	Válvula do pistão para dobrar a aba lateral esquerda	DO 1/03
Y10	Válvula do pistão para dobrar a aba lateral direita	DO 1/04
Y11	Válvula de vácuo para ventosa	DO 1/05
X2_H7	Sirene da torre de sinalização	DO 1/06
AC_M3	Acionamento do motor de vácuo	DO 1/07

### D.2 Lista de motores da formadora

Tag	Função	Tipo
M1	Motor para deslocar o pistão com a caixa	Servo motor
M2	Motor da es teira lateral do corredor	Motor elétrico
M3	Motor para gerar vácuo	Motor elétrico