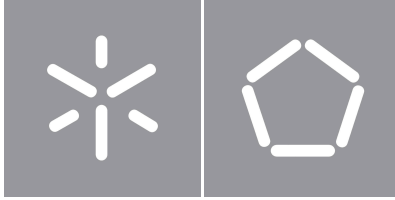


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco José Alves Silva

Reengenharia de uma Máquina de Extrusão de Solas



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco José Alves Silva

Reengenharia de uma Máquina de Extrusão de Solas

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Mecânica
Área de especialização em Sistemas Mecatrónicos

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor José Mendes Machado
Professor Doutor Filipe Alexandre Sousa Pereira

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero expressar a minha profunda gratidão aos meus pais e à minha irmã, pelo apoio incondicional demonstrado durante todo o meu percurso académico. Sem eles, nada disto teria sido possível.

Um agradecimento especial à minha namorada, pelo suporte constante, sobretudo nos momentos mais difíceis. Esteve sempre ao meu lado e foi uma fonte contínua de motivação, tornando-se uma presença essencial ao longo deste trajeto e, certamente, continuará a sê-lo para o resto da minha vida.

Aos amigos que a universidade me trouxe: Alberto, Diogo, Eduardo, Luís, Malheiro, Marco e Veiga, pela amizade e companheirismo. Sem dúvida, o percurso académico não teria sido o mesmo sem eles.

Agradeço também à empresa *JFROSMAQ, Unipessoal Lda*, pela oportunidade de realizar este projeto e pelo apoio prestado ao longo do seu desenvolvimento.

Manifesto ainda a minha gratidão ao Professor Doutor José Mendes Machado, meu orientador, e ao Professor Doutor Filipe Alexandre Sousa Pereira, coorientador, cuja orientação, dedicação e disponibilidade foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

Dirijo também um agradecimento ao Professor Doutor José Gomes e ao Professor Doutor Filipe Gomes, pela disponibilidade em esclarecer dúvidas relevantes ao projeto.

Por fim, agradeço à empresa */S/ Soles* pela visita proporcionada e pela oportunidade de acompanhar de perto as etapas do processo de produção de solas, uma experiência enriquecedora e valiosa.

A todos, o meu sincero obrigado!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

STATEMENT OF INTEGRITY

I declare that I have acted with integrity in the preparation of this academic work and confirm that I have not engaged in plagiarism or any form of misuse or falsification of information or results at any stage of its development. Furthermore, I declare that I am aware of and have adhered to the Code of Ethical Conduct of the University of Minho.

Universidade do Minho, 28 de janeiro de 2025

RESUMO

Este documento descreve o processo de reengenharia realizado numa máquina de extrusão de solas para calçado, que permite a produção de solas bicolores. Originalmente projetada nos anos noventa, a máquina sofreu degradação ao longo dos anos de operação, estando desatualizada em comparação com soluções de mercado mais recentes. Para dar uma nova vida ao equipamento e restaurar a sua competitividade, foram implementadas melhorias significativas. Estas melhorias visaram resolver tanto o desgaste acumulado ao longo do tempo, como as características desatualizadas da máquina, garantindo que esta pudesse competir novamente no mercado.

Seguindo este contexto, foi desenvolvido um novo sistema de comando para o equipamento, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela norma VDI 2206. A implementação de um PLC e de um HMI possibilitou a criação de um sistema mais seguro, confiável e económico, viabilizando a monitorização e o controlo de variáveis essenciais para o processo de produção de solas, resultando na melhoria da qualidade do produto final. Adicionalmente, a instalação de um variador de velocidade permitiu ajustar a velocidade de extrusão do fuso, tornando o equipamento mais versátil, mas também mais eficiente, com uma considerável redução no consumo de energia.

No que diz respeito à segurança, foram realizadas alterações no equipamento para garantir a conformidade com os requisitos definidos pelas normas europeias. Para tal, foram aplicadas barreiras de proteção, dispositivos de comando bimanual, botão de emergência e válvula de sustentação de carga.

Os resultados finais obtidos através da avaliação do equipamento permitiram concluir que o mesmo cumpria os requisitos estabelecidos inicialmente para o projeto, garantindo a satisfação das necessidades do cliente. Assim, obteve-se um equipamento mais seguro, eficiente e fiável.

PALAVRAS-CHAVE: AUTOMAÇÃO, MECATRÓNICA, PLC, SEGURANÇA, SOLAS.

ABSTRACT

This document outlines the reengineering process undertaken for a shoe outsole extrusion machine, which enables the production of two-color outsoles. Originally designed in the nineties, the machine experienced degradation over years of operation and had become outdated compared to newer market solutions. To breathe new life into the machine and restore its competitiveness, significant improvements were implemented. These enhancements aimed to address both the wear and tear accumulated over time and the machine's outdated features, ensuring it could once again compete effectively in the market.

In line with this context, a new control system was developed for the equipment, in compliance with the guidelines established by the VDI 2206 standard. The implementation of a PLC and an HMI enabled the creation of a safer, more reliable, and cost-effective system, facilitating the monitoring and control of essential variables for the shoe outsole production process, resulting in an improvement in the quality of the final product. Additionally, the installation of a speed controller allowed for the adjustment of the screw extrusion speed, making the equipment more versatile and efficient, with a significant reduction in energy consumption.

In terms of safety, changes were made to the equipment to ensure compliance with the requirements set by European standards. To achieve this, protective barriers, two-hand control devices, an emergency stop button, and a load-holding valve were implemented.

The results obtained through the evaluation of the equipment allowed to conclude that it met the requirements established initially for the project, ensuring customer satisfaction. Thus, a safer, more efficient, and reliable equipment was obtained.

KEY WORDS: AUTOMATION, MECHATRONICS, PLC, OUTSOLES, SAFETY.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Índice.....	vi
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas	xiv
Lista de Símbolos	xv
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e Motivação.....	1
1.2. Apresentação do Parceiro do Projeto.....	2
1.3. Objetivos	3
1.4. Estrutura da Dissertação.....	3
2. Estado de Arte e Conceitos Fundamentais	5
2.1. Teoria do Projeto	5
2.1.1. Projeto Mecatrónico.....	6
2.1.2. VDI 2206 – Metodologia de Projeto Para Sistemas Mecatrónicos.....	8
2.2. Segurança e Normalização.....	10
2.2.1. Avaliação de Riscos	10
2.2.2. Redução de Riscos	13
3. Processo de Produção de Solas.....	20
3.1. Produção de Solas por Extrusão.....	20
3.1.1. Matéria-Prima.....	20
3.1.2. Processo de Extrusão	21
3.1.3. Moldagem da Sola.....	22

3.1.4.	Acabamento	23
4.	Equipamento a Automatizar	24
4.1.	Finalidade e Princípios Básicos de Funcionamento	24
4.1.1.	Processo de Produção de Solas	25
4.1.2.	Desempenho da Máquina	28
4.1.3.	Funcionamento Pretendido	30
4.1.4.	Considerações Gerais Sobre Segurança	30
4.2.	Requisitos do Projeto	31
4.3.	Estudo de Mercado	32
5.	Seleção de Componentes	33
5.1.	Circuito de Potência	33
5.1.1.	Chave Seccionadora	33
5.1.2.	Fonte de Alimentação	34
5.2.	Circuito de Comando	36
5.2.1.	Controlador Lógico Programável (PLC)	36
5.2.2.	Relés	39
5.2.3.	Interface Homem-Máquina	41
5.3.	Sistema de Afinação dos Extrusores	44
5.3.1.	Contactores para Afinação do extrusor	44
5.3.2.	Disjuntor Magnetotérmico de Proteção dos Motores de Afinação	45
5.4.	Sistema de Aquecimento dos Extrusores	47
5.4.1.	Resistências	47
5.4.2.	Termopares	48
5.4.3.	Relés Estáticos	48
5.4.4.	Carta de Controlo da Temperatura	49
5.5.	Controlo da Velocidade e Variador de Frequência	51
5.5.2.	Disjuntor de Proteção ao Variador	53

5.5.3.	Módulo de saída analógica.....	54
5.6.	Circuito de Segurança.....	55
5.6.1.	Controlo do Botão de Emergência e Portas de segurança Laterais.....	55
5.6.2.	Comando Bimanual.....	57
5.6.3.	Relé de Segurança para Controlo da Proteção Móvel.....	58
5.7.	Desenvolvimento do Quadro Elétrico do Equipamento.....	60
5.7.1.	Alteração do Reservatório Hidráulico.....	61
5.7.2.	Desenvolvimento do Quadro Elétrico.....	63
6.	Sistema de Comando do Equipamento.....	65
6.1.	Caracterização do Sistema de Comando Existente.....	65
6.2.	Especificação do Sistema de Comando Desenvolvido.....	66
6.2.1.	Coordenação dos Modos de Funcionamento.....	67
6.2.2.	Modo Manual.....	68
6.2.3.	Modo Automático.....	69
6.2.4.	Modo de Paragem de Emergência.....	71
6.3.	Variáveis de Entrada e Saída do Sistema.....	72
6.3.1.	Variáveis de Entrada.....	72
6.3.2.	Variáveis de Saída.....	73
6.4.	Programação do PLC.....	73
6.4.1.	Programação da Saída Analógica.....	74
6.4.2.	Programação do Controlo da Temperatura.....	76
6.5.	Programação da Consola.....	77
6.6.	Considerações de Segurança.....	82
6.7.	Implementação e Testes.....	82
7.	Normalização e Segurança.....	84
7.1.	Medidas Técnicas de Proteção.....	84
7.1.1.	Identificação das Zonas Perigosas.....	84

7.1.2.	Dispositivos de Proteção Necessários.....	85
7.1.3.	Condicionar o Acesso às Zonas Perigosas	86
7.1.4.	Dispositivo de Comando Bimanual.....	90
7.1.5.	Botão de Paragem de Emergência	92
7.1.6.	Válvula de Sustentação de Carga	93
7.2.	Arquitetura do Sistema de Segurança.....	95
7.2.1.	Controlo dos Dispositivos de Paragem de Emergência.....	95
7.2.2.	Controlo do Estado da Proteção Móvel	96
7.2.3.	Controlo do Comando Bimanual	97
8.	Reengenharia da Componente Mecânica	99
8.1.	Diagnóstico Inicial.....	99
8.1.	Reparação da Folga nos Extrusores.....	100
8.1.1.	Avaliação Inicial e Definição das Folgas.....	100
8.1.2.	Reparação das Camisas	101
8.1.3.	Reparação dos Fusos	101
8.1.4.	Resultados Obtidos.....	102
8.2.	Fadiga Mecânica no Sistema de Fecho.....	103
8.2.1.	Solução Desenvolvida pela Empresa	105
8.3.	Problemas de Posicionamento e Afição no Sistema de Rotação do Cabeçote	107
8.3.1.	Cálculo da Força Necessária para Rodar o Cabeçote.....	108
8.3.2.	Sistema de Rotação do Cabeçote Desenvolvido	110
8.4.	Substituição dos Casquilhos do Cabeçote.....	113
8.4.1.	Diagnóstico e Identificação do Problema	113
8.4.2.	Determinação das Folgas Máximas e Ideais	113
8.4.3.	Fabricação dos Casquilhos	115
8.5.	Aplicação de Raspador nas Hastes.....	116

9. Considerações finais	118
9.1. Conclusões.....	118
9.2. Perspetivas e Trabalhos Futuros.....	119
Bibliografia	120
Apêndice A – Lista de Peças	122
Apêndice B – Esquema Hidráulico	125
Apêndice C – Esquema Pneumático	126
Apêndice D – Esquema Elétrico	127
Apêndice E – Variáveis do Sistema de Automação.....	140
Apêndice F – Especificação do Comando do Sistema	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fluxograma de um modelo descritivo de quatro etapas. Adaptado de [5].	5
Figura 2.2 - Modelo de desenvolvimento de soluções da norma VDI 2221. Adaptado de [27].	6
Figura 2.3 – Simbiose entre as diferentes engenharias presentes na Mecatrónica. Adaptado de [31].	7
Figura 2.4 – Estrutura Básica de um Sistema Mecatrónico. Adaptado de [31].	7
Figura 2.5 – Modelo em V sugerido pela Norma VDI 2206 para o projeto de Sistemas Mecatrónicos. Adaptado de [26].	8
Figura 2.6 – Processo de avaliação de riscos (conforme EN ISO 12100). Adaptado de [11].	11
Figura 2.7. – Exemplos de perigos mecânicos em máquinas/sistemas. Adaptado de [26].	12
Figura 2.8 – Método dos três passos para redução de riscos (conforme EN ISO 12100). Adaptado de [11; 26].	13
Figura 2.9 – Exemplos de como reduzir perigos na construção mecânica [26].	14
Figura 2.10 – Acesso a zona de perigo através da passagem por cima da barreira de proteção [26].	17
Figura 2.11 – Exemplos de sinalética de segurança [26].	19
Figura 3.1 – Matéria-prima com diferentes colorações [30].	20
Figura 3.2 – Unidade de Extrusão. Adaptado de [21].	21
Figura 3.3 – Exemplo de um fuso utilizado no processo de extrusão.	21
Figura 3.4 – Exemplo de uma sola produzida numa máquina de extrusão [14].	23
Figura 3.5 – Pintura de uma sola e produto final [14].	23
Figura 4.1 – Equipamento de produção de solas a automatizar.	24
Figura 4.2 – Representação da unidade energética.	25
Figura 4.3 – Unidade de extrusão.	26
Figura 4.4 – Sistema de afinação dos extrusores.	27
Figura 4.5 – Unidade de moldagem.	27
Figura 4.6 – Sistema de troca do molde.	28
Figura 4.7 – Árvore de objetivos desenvolvida para o equipamento desejado.	31
Figura 4.8 – Máquina de extrusão de solas Pietrella BE 150 Tris [22].	32
Figura 5.1 – Chave seccionadora Schneider Electric VCF5 [24].	34
Figura 5.2 – Fonte de alimentação OMRON S8VK-G24024 [20].	35
Figura 5.3 – Esquema da estrutura de um PLC [16].	36

Figura 5.4 – PLC Mitsubishi FX3G 40MR-DS [18].....	38
Figura 5.5 – Relé Finder 40.31.9.024.0000 [7].	40
Figura 5.6 – Porta-relés Finder 95.03 [7].	40
Figura 5.7 – HMI Weintek MT8051iE [33].	41
Figura 5.8 – Disposição dos botões e da consola no equipamento.	44
Figura 5.9 – Contactor Stromberg OK00.	45
Figura 5.10 – Disjuntor magnetotérmico Schneider Electric TeSys GV2ME [25].	46
Figura 5.11 – Zonas de aquecimento.....	47
Figura 5.12 – Termopar para leitura da temperatura.....	48
Figura 5.13 – Relé estático CøG SSR-25DA [35].	49
Figura 5.14 – Módulo de controlo de temperatura Mitsubishi FX3U-4LC [18].	50
Figura 5.15 – Variador de velocidade Mitsubishi FR-E840-0440-4-60 [19].	52
Figura 5.16 – Disjuntor ABB SH203-C63 [1].	53
Figura 5.17 – Mitsubishi FX3G-1DA-BD [17].	54
Figura 5.18 – Relé de segurança SICK RLY3-EMSS100 [30].	56
Figura 5.19 – Relé de segurança SICK UE42-2HD [28].	58
Figura 5.20 – Relé de segurança SICK UE48-2OS2D2 [29].	59
Figura 5.21 – Localização do quadro elétrico do sistema de automação antigo.....	60
Figura 5.22 – Localização do reservatório hidráulico.	61
Figura 5.23 – Alteração do reservatório hidráulico para implementação do quadro elétrico.	63
Figura 5.24 – Vista explodida do quadro elétrico.	63
Figura 5.25 – Configuração dos componentes no quadro elétrico.....	64
Figura 6.1 – Fluxograma relativo à coordenação dos modos de funcionamento.	67
Figura 6.2 – Fluxograma do modo manual.....	68
Figura 6.3 – Fluxograma do modo automático.	70
Figura 6.4 – Fluxograma do modo de paragem de emergência.	71
Figura 6.5 – Instalação da carta analógica FX3G-1DA-BD na série FX3G [17].	74
Figura 6.6 – Relação entre o valor digital inserido e a saída analógica [17].	75
Figura 6.7 – Localização da consola no equipamento.....	78
Figura 6.8 – Ecrã correspondente ao menu principal.	78
Figura 6.9 – Ecrã que permite definir o tipo de produção.	79
Figura 6.10 – Ecrã para o controlo da temperatura dos extrusores.	79

Figura 6.11 – Ecrã que permite ajustar tempos associados ao processo.	80
Figura 6.12 – Ecrã relativo à injeção.	80
Figura 6.13 – Ecrã para alterar as velocidades de rotação dos extrusores.	81
Figura 6.14 – Ecrã que permite controlar a insuflação durante a injeção e a manual.	81
Figura 6.15 – Pop-up correspondente à paragem de emergência.	82
Figura 7.1 – Identificação da zona perigosa do equipamento.	85
Figura 7.2 – Área a cobrir pelas proteções, de forma a respeitar a norma ISO13857:2019.	87
Figura 7.3 – Área necessária para realizar a rotação livremente e torre frontal antiga.	88
Figura 7.4 – Implementação das barras frontais na máquina.	88
Figura 7.5 – Proteção móvel aberta e fechada, respetivamente.	89
Figura 7.6 – Proteção lateral.	90
Figura 7.7 – Distância mínima para dispositivos de comando bimanual [27].	91
Figura 7.8 – Botões correspondentes ao comando bimanual.	92
Figura 7.9 – Localização do botão de emergência.	93
Figura 7.10 – Esquema hidráulico do bloco de sustentação de carga implementado.	94
Figura 7.11 – Esquema de ligações do relé que controla a paragem de emergência.	96
Figura 7.12 – Esquema de ligações do controlo da proteção móvel.	97
Figura 7.13 – Arquitetura de ligações do controlo do comando bimanual.	98
Figura 8.1 – Desgaste no fuso.	100
Figura 8.2 – Processo de retificação da camisa.	101
Figura 8.3 – Soldadura dos filetes para recuperação da folga desejada.	102
Figura 8.4 – Sistema antigo de fecho do molde.	103
Figura 8.5 – Parafusos da tampa superior que quebram (a vermelho).	103
Figura 8.6 – Mapa de forças existente no sistema de fecho.	104
Figura 8.7 – Alteração do sistema de fecho do molde.	105
Figura 8.8 – Mapa dos esforços sentidos no fecho do molde, com a inversão das tampas.	106
Figura 8.9 – Sistema de rotação do cabeçote antigo.	107
Figura 8.10 – Aproximação do cabeçote a um prisma retangular.	109
Figura 8.11 – Sistema de rotação do cabeçote desenvolvido.	111
Figura 8.12 – Sistema de guiamento das hastes.	116
Figura 8.13 – Acumulação de resíduos e desgaste nas hastes, respetivamente.	116
Figura 8.14 – Aplicação do raspador nas hastes.	117

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Significado das cores na sinalização do equipamento [26].	15
Tabela 2.2 – Altura necessária das proteções para casos com baixo potencial de perigo. Adaptado de [13].	17
Tabela 2.3 - Altura necessária das proteções para casos com alto potencial de perigo. Adaptado de [13].	17
Tabela 5.1 – Principais características da chave seccionador escolhida [24].	34
Tabela 5.2 – Características relevantes da fonte de alimentação escolhida [20].	35
Tabela 5.3 – Características relevantes do PLC <i>Mitsubishi</i> FX3G 40MR-DS [18].	39
Tabela 5.4 – Características relevantes do conjunto escolhido [7].	40
Tabela 5.5 – Características mais relevantes do HMI selecionado [33].	42
Tabela 5.6 – Botões a utilizar no equipamento.	43
Tabela 5.7 – Principais características do contactor de afinação do extrusor.	45
Tabela 5.8 – Características relevantes do disjuntor magnetotérmico escolhido [25].	46
Tabela 5.9 – Características das zonas de aquecimento.	47
Tabela 5.10 – Principais características do relé estático selecionado [35].	49
Tabela 5.11 – Principais características do módulo de controlo de temperatura [18].	50
Tabela 5.12 – Características principais do variador escolhido [19].	52
Tabela 5.13 – Características principais do disjuntor escolhido [1].	54
Tabela 5.14 Características principais da carta analógica FX3G-1DA-BD [17].	54
Tabela 5.15 – Características relevantes do relé de segurança RLY3-EMSS100 [30].	57
Tabela 5.16 – Características relevantes do relé de segurança <i>S/CK</i> UE42-2HD [28].	58
Tabela 5.17 – Características relevantes do relé de segurança <i>S/CK</i> UE48-2OS [29].	59
Tabela 5.18 – Características da bomba hidráulica dupla.	62
Tabela 7.1 – Elementos que constituem o bloco de sustentação de carga.	94
Tabela 8.1 Características do cilindro de rotação do cabeçote.	112
Tabela 8.2 – Descrição de ajustes preferenciais utilizando o sistema de furo básico [4].	114

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas, abreviaturas e acrónimos

AC	Corrente Alternada
CAD	Conceção Assistida por Computador
DC	Corrente Contínua
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EPROM	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EVA	Espuma Vinílica Acetinada
FDB	<i>Function Block Diagram</i>
FLASHRAM	<i>Flash Random Access Memory</i>
HMI	<i>Human-Machine Interface</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IL	<i>Instruction List</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LD	<i>Ladder Diagram</i>
PID	Proporcional Integral Derivativo
PLC	Controlador Lógico Programável
PVC	Policloreto de Vinilo
RAM	<i>Random Access Memory</i>
SSR	<i>Solid State Relay</i>
ST	<i>Structured Text</i>
TPR	Borracha Termoplástica
TPU	Poliuretano Termoplástico
UE	União Europeia
VDI	<i>Verein Deutscher Ingenieure</i>

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, com um mercado cada vez mais competitivo, existe uma crescente procura pela industrialização e automação das linhas de produção, visando elevar a competitividade das empresas e a cadência das linhas de produção. Nesse sentido, é essencial para as empresas otimizar os seus sistemas de produção, em busca do aumento das quantidades produzidas, mas sem comprometer o padrão de exigência e qualidade do produto final.

Este nível de competitividade exigido às empresas impulsiona o desenvolvimento tecnológico, uma vez que exige investimentos na criação de produtos inovadores, mas também na procura de processos de fabrico mais eficientes e económicos. Este progresso contínuo apenas é viável através da simbiose entre a Engenharia Mecânica, Engenharia Eletrónica e as Tecnologias de Informação, que constituem a Mecatrónica.

No entanto, nem todas as empresas têm possibilidades de assumir este compromisso de constante melhoria e inovação, principalmente devido a fatores económicos. Como tal, os projetistas devem ser capazes de estabelecer um compromisso entre a funcionalidade e o custo, seguindo as exigências definidas pelo cliente. Por vezes, torna-se até necessário abdicar de algumas soluções mais eficientes em detrimento de outras menos eficientes, mas mais económicas, que permitem a viabilidade do projeto.

1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

Portugal é conhecido como um país de referência na indústria do calçado, mais concretamente na região norte, com um elevado número de empresas que se dedicam a este ramo. Em 2021, segundo a *BPstat*, existiam 1864 empresas relacionados ao setor do calçado em Portugal, com um total de 2175 milhões de euros movimentados [2].

Devido ao elevado número de empresas a apostarem neste setor, são vários os equipamentos de produção de solas existentes em Portugal. Porém, muitas empresas possuem equipamentos obsoletos, que não permitem cumprir as demandas do mercado da forma mais eficiente e rentável. De forma a resolver este problema, as empresas poderiam apostar na obtenção de máquinas novas, ou na alteração dos equipamentos que possuem, permitindo uma redução considerável nos investimentos. Desta forma, foi proposta a reengenharia de uma máquina de produção de solas, com o intuito de conseguir um equipamento capaz de colmatar as necessidades da indústria.

A sola é o elemento do calçado responsável pelo contacto direto com o solo e, como tal, deve ser capaz de absorver os choques, bem como possuir elevada resistência à abrasão, de forma a ser um elemento durável. As solas podem ser fabricadas por uma variedade de materiais, desde termoplásticos (TPR, TPU), borracha, poliuretano, EVA, entre outros. Dependendo do tipo de material, o processo de produção da sola pode variar.

A máquina utiliza o processo de extrusão para a produção das solas, com possibilidade de produzir solas até duas cores. Esta foi produzida na década de 90, pela antiga empresa portuguesa *Girão*. Desde então, existiu um avanço tecnológico que pode ser implementado no equipamento, permitindo que o mesmo volte a ser competitivo no mercado. Assim, será realizado um novo sistema de automação no equipamento, que torne a máquina mais fiável e produtiva. Por outro lado, no que diz respeito à segurança do equipamento, existem atualmente normas de segurança mais restritas, pelo que também terão de ser realizadas alterações a este nível. Por último, serão analisados os sistemas mecânicos, com substituição/reparação dos componentes que apresentarem desgaste e alteração de alguns sistemas que apresentam algumas falhas.

1.2. APRESENTAÇÃO DO PARCEIRO DO PROJETO

A *JFROSMAQ, Unipessoal LDA* é uma empresa especializada no comércio, fabrico, reparação e manutenção de máquinas industriais. Sediada na freguesia de Ponte, no concelho de Guimarães, a maior parte do seu trabalho incide na indústria do calçado, devido à forte presença desta indústria na zona do Vale do Ave.

Apesar da especialização na indústria do calçado, a empresa também efetua os mais diversos serviços de serralharia, através de equipamentos de torneamento, fresagem, soldadura, entre outros, que permitem a realização de qualquer serviço mecânico. Além da componente mecânica, são também efetuados serviços de eletrónica, onde se inclui a programação de autómatos.

Em termos de estrutura, a *JFROSMAQ* é uma empresa de pequena dimensão, composta por apenas 4 colaboradores. Esta equipa reduzida permite um ambiente de trabalho mais próximo e ágil, onde as decisões podem ser tomadas com maior flexibilidade e eficiência. A pequena escala da empresa não só facilita a personalização dos serviços, mas também promove uma colaboração direta entre os membros da equipa, favorecendo a implementação de soluções rápidas e adaptadas às necessidades específicas de cada projeto.

1.3. OBJETIVOS

A presente dissertação tem como objetivo geral a reengenharia de uma máquina de extrusão de solas. O objetivo inicial do projeto resume-se ao estudo e análise do funcionamento da máquina, com a realização de um estudo de mercado, a fim de conseguir perceber que tipo de melhorias podem ser aplicadas no equipamento. Depois, será idealizado o sistema de comando da máquina, com a implementação de um PLC e de um HMI para controlo e monitorização dos parâmetros do processo.

De uma forma geral, devem ser atingidos os seguintes objetivos:

- Estudar o processo de produção de solas;
- Realizar o processo de engenharia inversa no equipamento, fazendo a documentação dos componentes do equipamento;
- Automatizar o equipamento, desenvolvendo um novo sistema de comando, mais fiável e produtivo;
- Incorporação de um HMI, que permita a monitorização e alteração de parâmetros de processo;
- Aplicação de um variador de velocidade, de forma a permitir a alteração da velocidade de extrusão, bem como aumentar a eficiência energética da máquina;
- Estudar as normas de segurança aplicáveis, de forma a implementar sistemas de segurança que permitem obter um equipamento seguro e fiável;
- Desenvolver um novo sistema de troca de molde, que seja mais preciso e exato;
- Desenvolver um sistema que permita uma utilização simples, rápida e intuitiva.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este documento apresenta de forma clara e organizada todo o trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação, estruturado em capítulos, cuja introdução breve é descrita a seguir:

Capítulo 1: Introduz o tema, apresenta o enquadramento e a motivação para a realização do trabalho. Também são mencionados os parceiros do projeto e definidos os objetivos iniciais.

Capítulo 2: Explora o estado da arte, abordando os conceitos necessários para o desenvolvimento do projeto. Inclui a metodologia adotada no projeto e os requisitos de segurança para garantir a conformidade normativa.

Capítulo 3: Descreve detalhadamente o processo de produção de solas por extrusão, desde a receção da matéria-prima até à obtenção do produto final.

Capítulo 4: Apresenta a máquina a automatizar, destacando os diferentes componentes relevantes para o projeto.

Capítulo 5: Detalha o processo de seleção dos componentes necessários para o sistema de comando, com uma fundamentação técnica para cada escolha.

Capítulo 6: Expõe o comando desenvolvido para o controlador, descrevendo o funcionamento previsto para o equipamento.

Capítulo 7: Foca-se na construção de uma máquina segura, apresentando as modificações realizadas para garantir a conformidade com as normas de segurança aplicáveis.

Capítulo 8: Propõe correções mecânicas no equipamento, visando melhorias no desempenho e na fiabilidade do sistema.

Capítulo 9: Apresenta as considerações finais sobre o projeto desenvolvido, com sugestões para futuras melhorias e aperfeiçoamentos.

2. ESTADO DE ARTE E CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Antes da concepção e desenvolvimento de um equipamento é importante estabelecer-se um ponto de partida para o estudo proposto. Como tal, é importante estudar o conhecimento científico existente em relação aos diversos conceitos presentes no projeto. Desta forma, foi realizado um estudo sobre as etapas necessárias para a realização de um projeto, com particular atenção para a norma VDI 2206, seguido de um estudo às normalizações associadas à segurança e saúde para certificação de máquinas. Por último, estudou-se o processo de produção de solas.

2.1. TEORIA DO PROJETO

Ao longo dos anos foram desenvolvidas metodologias para guiar o projetista na concepção de novos equipamentos. De uma forma geral, são definidos dois tipos de modelos: descritivos e prescritivos [5].

Modelos descritivos

Os modelos descritivos realçam, geralmente, a importância da geração de uma solução concetual no início do projeto. Esta solução inicial é depois sujeita a quatro etapas distintas, das quais: exploração, concepção, avaliação e comunicação (ver Figura 2.1). A fase de exploração corresponde à análise e definição do problema. Segue-se a geração de uma solução conceptual capaz de responder às necessidades expostas na definição do problema. Depois, faz-se a avaliação das soluções em função dos requisitos definidos inicialmente. Caso a solução não seja satisfatória, ou seja, não se encontre de acordo com os parâmetros definidos, recomeça-se o processo de geração de solução. Por último, a solução obtida é comunicada ao cliente [5].

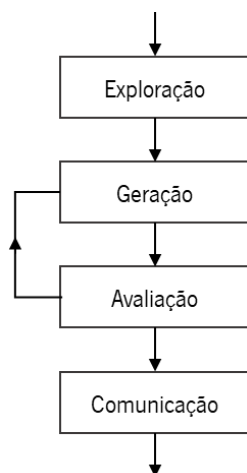


Figura 2.1 - Fluxograma de um modelo descritivo de quatro etapas. Adaptado de [5].

Modelos prescritivos

Por outro lado, os modelos prescritivos têm como objetivo promover um trabalho mais detalhado durante a geração de soluções, de forma a garantir que nenhum elemento importante é esquecido nesta análise, através da adoção de procedimentos sistemáticos e algorítmicos.

O organismo alemão VDI elaborou uma série de documentos que sugerem metodologias para a resolução de projetos, nos quais se inclui a VDI 2221 – “*Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products*” [27]. Esta norma sugere uma abordagem sistemática na conceção de um projeto (Figura 2.2) através da subdivisão do problema geral em vários subproblemas, com posterior solução de cada um deles. A solução final para o problema geral corresponderá a uma combinação das subsoluções obtidas anteriormente.

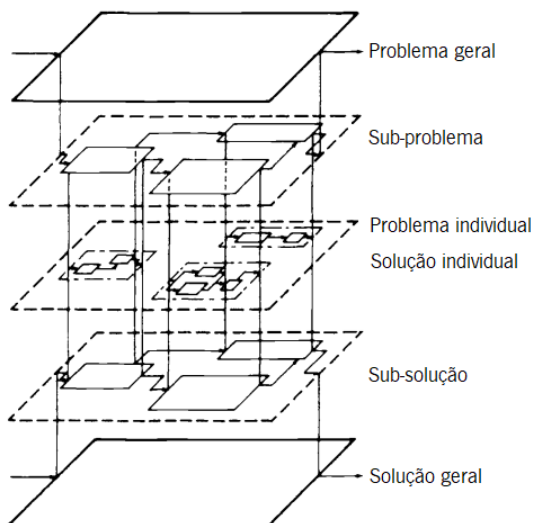


Figura 2.2 - Modelo de desenvolvimento de soluções da norma VDI 2221. Adaptado de [27].

Esta mesma organização foi autora de outra norma específica para sistemas mecatrónicos, a VDI 2206 – “*Design methodology for mechatronic systems*” [26], que será abordada num subcapítulo seguinte.

2.1.1. PROJETO MECATRÓNICO

Com o avanço da tecnologia e com a implementação da Indústria 4.0, existe a procura constante de melhorias tecnológicas que permitam a otimização dos sistemas de produção. Como tal, o uso da Mecatrónica é indispensável, de forma a promover a automatização das indústrias, bem como conseguir aumentar os níveis de produção.

A Mecatrónica tem como base a simbiose entre a Engenharia Mecânica, Engenharia Eletrónica e as Tecnologias de Informação, tal como demonstra a Figura 2.3.

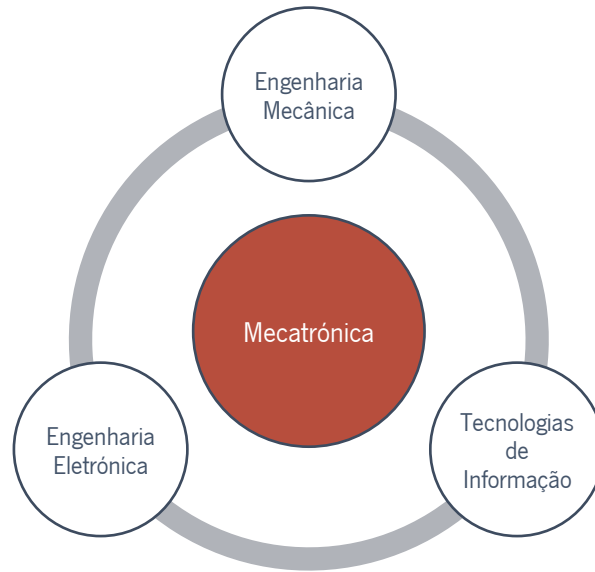


Figura 2.3 – Simbiose entre as diferentes engenharias presentes na Mecatrônica. Adaptado de [31].

Esta simbiose tem como objetivo melhorar o comportamento de um sistema através do uso de sensores, de modo a obter informações sobre o ambiente e o sistema. Através da incorporação das tecnologias de informação, é possível a realização de sistemas técnicos adaptativos, que são capazes de responder às mudanças na sua vizinhança, detetando estados operacionais críticos e otimizando sequências que dificilmente poderiam ser controladas sem o uso destas tecnologias de controlo [31].

A Figura 2.4 mostra a estrutura básica de um Sistema Mecatrónico. Esta é composta por um sistema, sensores, atuadores e dispositivos responsáveis pelo processamento da informação. A vizinhança onde o Sistema Mecatrónico opera também é importante. A monitorização do sistema é realizada através de sensores que comunicam com o controlador. O processamento desta informação determina quais as ações necessárias a realizar para afetar as variáveis do sistema. A implementação de ações é realizada através dos atuadores [31].

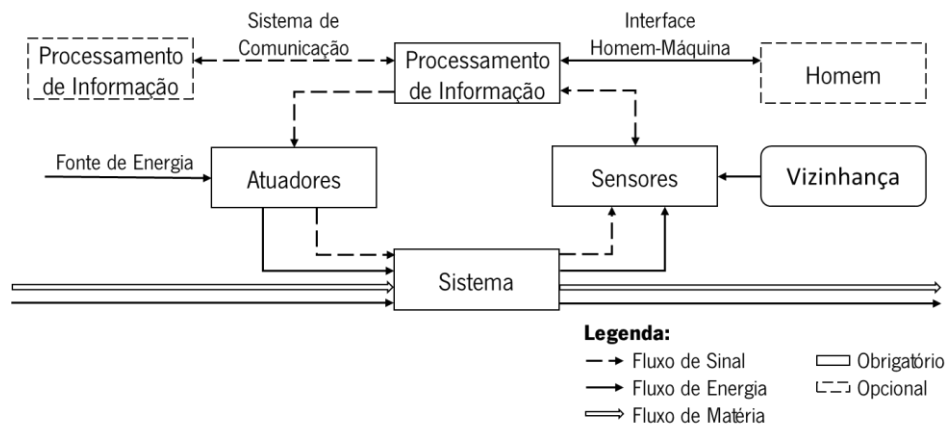


Figura 2.4 – Estrutura Básica de um Sistema Mecatrónico. Adaptado de [31].

As inter-relações entre o sistema, os sensores, o processamento de informação e os atuadores podem ser realizadas através de fluxos. Consideram-se três tipos de fluxos: fluxo de Sinal, fluxo de Energia e fluxo de Matéria [31].

Em relação a Sistemas inteiramente Mecânicos, os Sistemas Mecatrônicos permitem obter sistemas com melhores desempenhos, aumentar as funcionalidades dos sistemas, bem como alcançar melhorias no desempenho [31].

2.1.2. VDI 2206 – METODOLOGIA DE PROJETO PARA SISTEMAS MECATRÔNICOS

A Norma VDI 2206 propõe o desenvolvimento sistemático de um projeto mecatrónico através de um modelo em V, que descreve uma sequência lógica de passos a seguir durante o desenvolvimento do produto (Figura 2.5 – Modelo em V sugerido pela Norma VDI 2206 para o projeto de Sistemas Mecatrônicos. Adaptado de [26].Figura 2.5). Este modelo auxilia no desenvolvimento multidisciplinar de sistemas mecatrônicos, através da simbiose entre componentes mecânicos, eletrônicos e as tecnologias de informação [31].

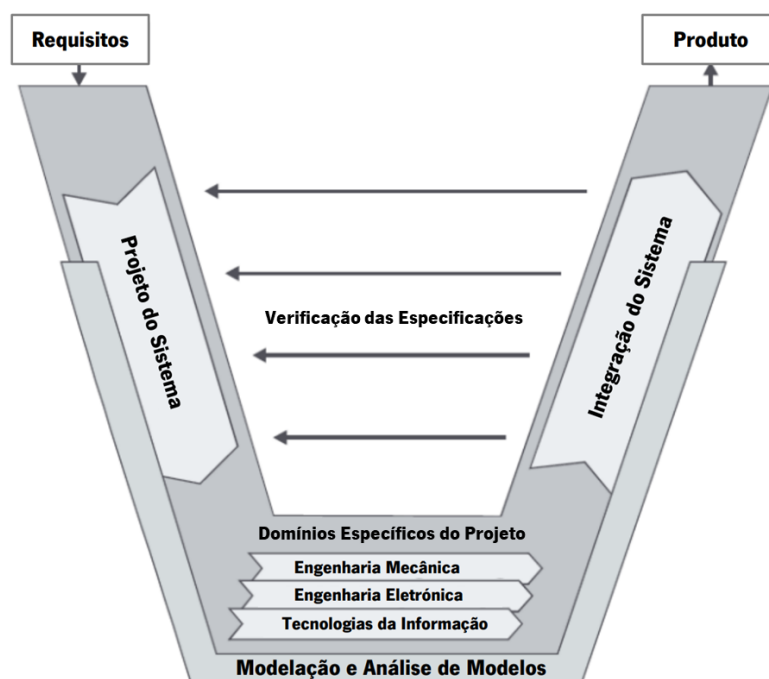


Figura 2.5 – Modelo em V sugerido pela Norma VDI 2206 para o projeto de Sistemas Mecatrônicos. Adaptado de [26].

O modelo sugerido está dividido em quatro etapas principais: projeto do sistema, domínios específicos do projeto, integração do sistema e a verificação das especificações. A sequência de passos a seguir encontra-se apresentada de seguida [31]:

1. **Identificação dos Requisitos** – trata-se do ponto de partida do projeto e consiste na descrição do sistema a obter sob a forma de requisitos. É importante que a voz do cliente seja reconhecida, pois é ele que define as condições que deverão ser seguidas ao longo do projeto.
2. **Projeto do Sistema** – permite criar um conceito de solução multidisciplinar que obedeça às características exigidas pelo sistema a obter. Para tal, é necessário realizar uma divisão da função geral do sistema em subfunções, que são resolvidas individualmente. O desempenho destas soluções será depois avaliado no contexto do sistema, de forma a encontrar uma solução global.
3. **Projeto Específico do Sistema** – etapa onde ocorre a concretização das soluções obtidas anteriormente, através da utilização dos vários domínios da Mecatrónica, nomeadamente a Engenharia Mecânica, Eletrónica e Tecnologias de informação.
4. **Integração** – após a análise das diversas soluções obtidas anteriormente, estas são integradas num único sistema, no sentido de se obter a solução global para o mesmo.
5. **Verificação das Especificações** – consiste na comparação das propriedades do sistema desenvolvido com os requisitos do mesmo. Esta etapa encontra-se diretamente associada aos conceitos de verificação e validação. A verificação vem sempre antes da validação, sendo definida como a análise do sistema de forma a verificar se este cumpre os requisitos especificados no início do projeto. Esta deve ser realizada continuamente ao longo do projeto, de forma a perceber se este está a ser devidamente executado. Já a validação ocorre no final do projeto, ou até no final de um certo módulo do mesmo, focando-se em assegurar que o produto desenvolvido está de acordo com os requisitos do projeto.
6. **Modelação e Análise de Modelos** – consiste na utilização de modelos e/ou ferramentas computadorizadas para verificação das propriedades do sistema, sendo, portanto, realizada ao longo do desenvolvimento do projeto.

O projeto a desenvolver centra-se na automatização de um equipamento já desenvolvido, não podendo ser tratado como um projeto multidisciplinar. Como tal, o modelo em V apresentado não será seguido na sua totalidade, sendo descartadas as etapas de “Projeto de Sistema” e “Integração do Sistema”.

2.2. SEGURANÇA E NORMALIZAÇÃO

Qualquer sistema desenvolvido deve garantir a segurança, preservando a integridade física do operador e do próprio equipamento. Como tal, durante o projeto e fabricação de máquinas, o fabricante deve identificar e avaliar todos os possíveis perigos e pontos perigosos, através da realização de uma avaliação de risco. Baseado nestas avaliações, o fabricante deve adotar medidas de projeto adequadas para eliminar ou reduzir o risco. Caso este não possa ser totalmente eliminado pelas medidas de projeto ou o risco remanescente não possa ser tolerado, o fabricante deve selecionar e aplicar dispositivos de proteção adequados, bem como providenciar informações sobre os riscos residuais, se necessário [26].

Um dos princípios fundamentais da Comunidade Europeia é a proteção da saúde dos seus cidadãos, bem como a criação de um único mercado com livre movimentação de mercadorias. Como tal, existe a necessidade de manter as tecnologias neutras em todos os países. Assim, no Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia, foram aprovadas várias diretivas com o objetivo de alcançar a livre circulação de mercadorias e a proteção dos cidadãos, que devem ser implementadas por todos os países. Estas definem objetivos e requisitos essenciais de segurança e saúde, bem como requerimentos para a produção de equipamentos.

As seguintes diretivas foram publicadas na área da saúde e segurança no trabalho e na segurança das máquinas:

- A Diretiva Máquina, que aborda os fabricantes de Máquinas;
- A Diretiva de Equipamentos de Trabalho, que aborda os usuários de máquinas;
- Diretivas adicionais.

Por outro lado, existem organizações que se dedicam ao desenvolvimento de normas internacionais. Estas são acordos celebrados entre várias associações que visam descrever o estado atual da técnica na data da sua redação. Com o intuito de realizar uma implementação harmonizada dos objetivos e requisitos das diretivas europeias, as normas técnicas devem descrever e comprovar esses requisitos. Assim, uma norma com o prefixo “EN” é reconhecida e aplicável em todos os Estados Membros da UE. Isto significa que, ao selecionar e aplicar as normas corretas para a máquina ou equipamento, pode-se assumir que são cumpridos todos os requisitos legais.

2.2.1. AVALIAÇÃO DE RISCOS

Ao projetar uma máquina, devem-se analisar os possíveis riscos associados e, caso necessário, tomar medidas adicionais de proteção, de forma a proteger o operador de quaisquer perigos que possam existir. Para auxiliar neste processo, as normas definem e descrevem o processo de avaliação de riscos,

que consiste numa série de passos lógicos que facilitam a análise e avaliação sistemática de riscos. Após a avaliação dos riscos, devem ser tomadas medidas para redução dos mesmos, caso seja possível. A aplicação de medidas de redução de riscos não deve resultar na criação de novos riscos [26]. O processo de avaliação de riscos está representado na Figura 2.6, de acordo com a norma EN ISO 12100:2010.

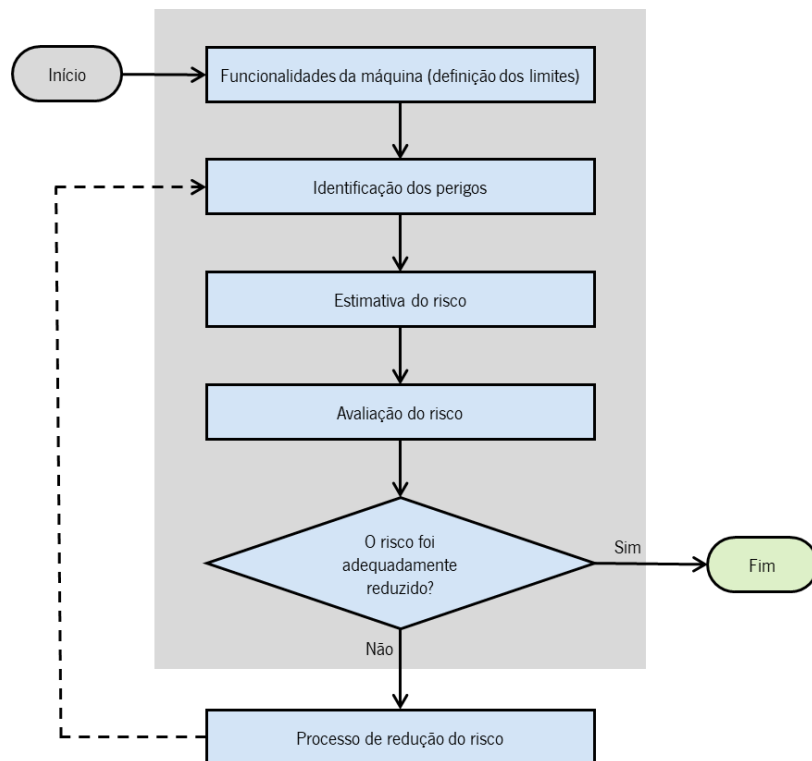


Figura 2.6 – Processo de avaliação de riscos (conforme EN ISO 12100). Adaptado de [11].

O processo de avaliação de riscos começa com a definição das funções da máquina. Estas devem incluir [26]:

- Especificações da máquina (o que é produzido, rendimento máximo de produção, material usado, entre outras);
- Limitações de espaço e lugar expectável de uso;
- Vida útil prevista;
- As funções e os modos de funcionamento previstos;
- O funcionamento incorreto e as perturbações previsíveis;
- Produtos relacionados com a máquina;
- Uso pretendido, mas também as ações não intencionais do operador ou o uso indevido previsível da máquina.

Após a identificação das funções da máquina, são identificados os perigos associados. Esta etapa compreende a identificação sistemática de perigos previsíveis, situações perigosas e/ou eventos perigosos. Deve ter-se em consideração os seguintes perigos [26]:

- Perigos mecânicos;
- Perigos elétricos;
- Perigos térmicos;
- Perigos gerados por ruído;
- Perigos geradas por vibrações;
- Perigos gerados por radiação;
- Perigos gerados por materiais e substâncias;
- Perigos gerados pela negligência dos princípios ergonómicos durante o projeto de máquinas;
- Perigos de escorregar, tropeçar e cair;
- Perigos relacionados ao ambiente em que a máquina é usada;
- Perigos resultantes de uma combinação dos perigos acima mencionados.

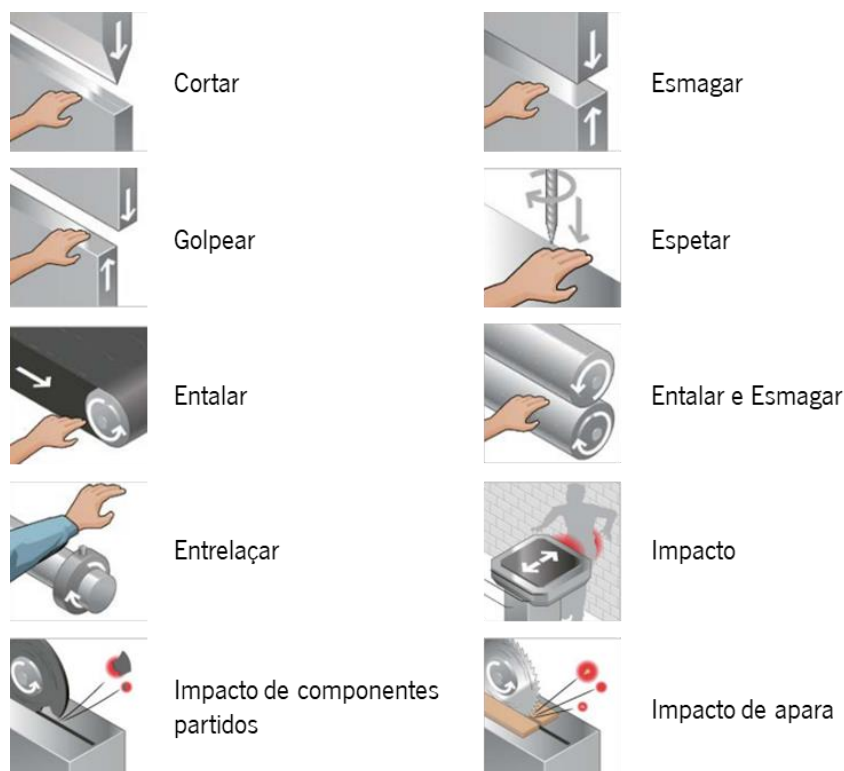


Figura 2.7. – Exemplos de perigos mecânicos em máquinas/sistemas. Adaptado de [26].

É importante que durante a identificação de riscos sejam consideradas todas as fases da vida útil da máquina, isto é: transporte, montagem e instalação; configuração; operação normal e reparação de avarias; manutenção e limpeza; desativação, desmontagem e descarte.

2.2.2. REDUÇÃO DE RISCOS

O objetivo da redução dos riscos consiste na eliminação dos perigos, ou pela redução separada ou simultânea de cada um dos dois elementos que determinam o risco associado ao perigo: gravidade do dano do perigo em consideração; probabilidade de ocorrência desse dano. Para a redução do risco utiliza-se o método das três etapas, apresentado abaixo [11].

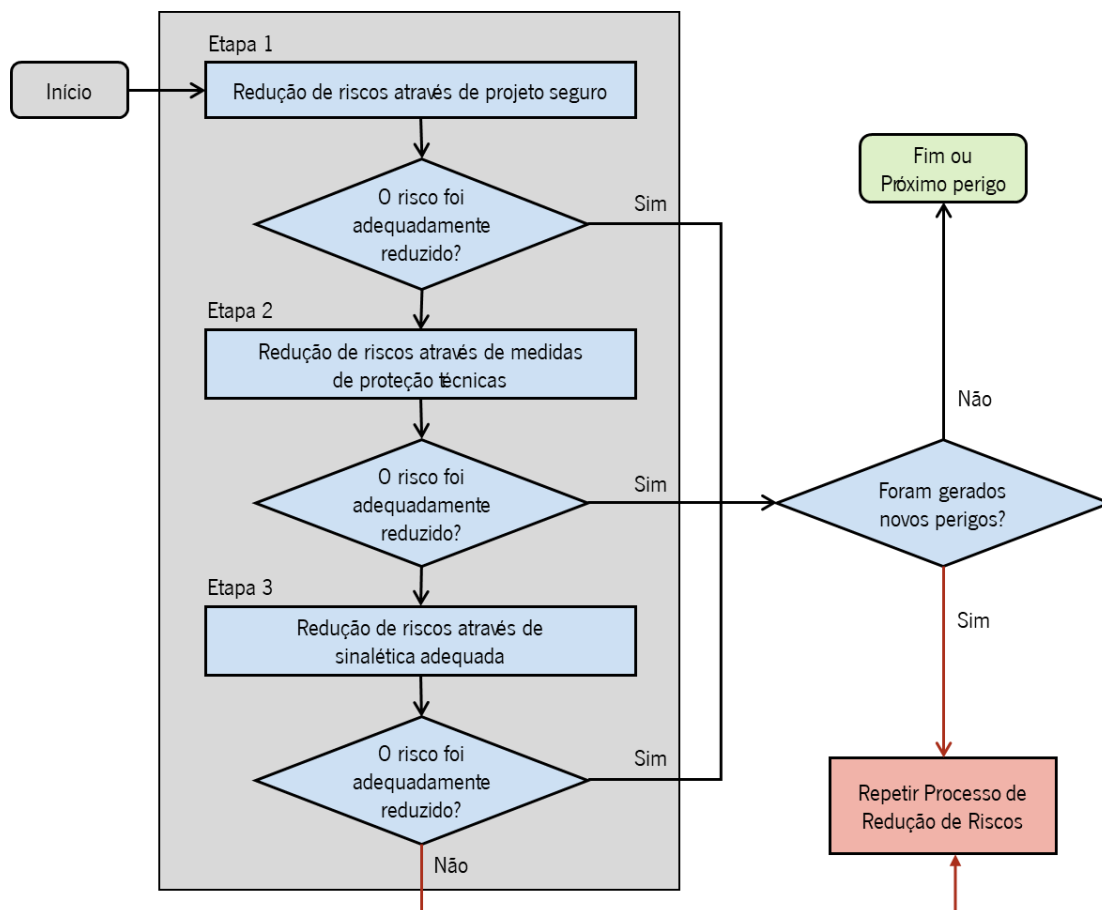


Figura 2.8 – Método dos três passos para redução de riscos (conforme EN ISO 12100). Adaptado de [11; 26].

Projeto Seguro

A primeira etapa para conseguir reduzir perigos associados a um determinado equipamento consiste na concepção de um projeto seguro. Os aspetos do projeto seguro dizem respeito à própria máquina e à interação entre a pessoa em risco e a máquina. Aqui, todos os componentes devem ser selecionados, utilizados e adaptados de tal forma que, em caso de falha da máquina, a segurança dos operadores seja primordial. A prevenção de danos à máquina e à sua vizinhança deve também ser levada em consideração. Todos os elementos do projeto devem ser especificados para que funcionem dentro dos limites especificados. Relativamente às funções de segurança, estas devem ser separadas das funções restantes, tanto quanto possível [26].

Construção Mecânica

O objetivo primordial da construção mecânica deve ser prevenir a produção de perigos. Este objetivo pode ser alcançado, por exemplo, através de [26]:

- Evitar bordas afiadas, cantos e peças salientes;
- Evitar pontos de esmagamento, pontos de cisalhamento e pontos de emaranhamento;
- Limitar a energia cinética (massa e velocidade);
- Considerar princípios ergonômicos.

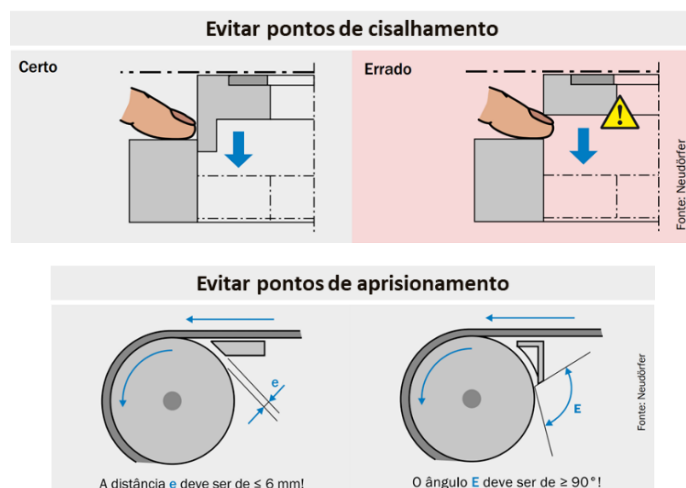


Figura 2.9 – Exemplos de como reduzir perigos na construção mecânica [26].

Conceito de operação e conservação

A necessidade de exposição a áreas de perigo deve ser a menor possível. Esse objetivo pode ser alcançado, por exemplo, por meio de:

- Uso de estações de carga e descarga;
- Realização dos trabalhos de ajuste e de manutenção a partir do “exterior”;
- Utilização de componentes confiáveis e disponíveis de forma a evitar trabalhos de manutenção;
- Possuir um conceito de comando claro e inequívoco, por ex. identificação clara dos componentes de comando.

Em relação aos botões de comando, sinalizadores e indicações constantes nas telas, estes devem ser identificados por cores, onde cada cor terá um determinado significado. Esta lógica de cores pode ser encontrada na tabela abaixo.

Tabela 2.1 - Significado das cores na sinalização do equipamento [26].

Significado geral das cores dos componentes de comando				Significado geral das cores das luzes indicadoras			
Cor		Significado	Explicação	Cor		Significado	Explicação
Branco Cinza Preto		Inespecífico	Inicialização de funções	Branco		Neutro	Utilizar em caso de dúvida quanto à aplicação de verde, vermelho, azul ou amarelo
Verde		Seguro	Acionar durante operação segura ou para estabelecer uma situação normal	Verde		Estado normal	
Verme- lho		Emergência	Acionar em caso de estado potencialmente perigoso ou de emergência	Verme- lho		Emergência	Estado potencialmente perigoso que exige uma intervenção imediata
Azul		Disposição	Acionar nos casos que exigem uma intervenção obrigatória	Azul		Obrigatório	Indicação de um estado que exige uma intervenção obrigatória por parte do operador
Amarelo		Anormal	Acionar em estado anormal	Amarelo		Anormal	Estado anormal, estado crítico iminente

2.2.2.1. MEDIDAS DE PROTEÇÃO

As medidas de proteção são definidas com o objetivo de reduzir os riscos que não foram eliminados na fase de projeto. Estas devem ser definidas de forma precisa, de modo a obter a segurança necessária com os custos adequados. Dependendo do tipo de perigo associado, podem ser utilizadas diferentes tipos de medidas de proteção, como [26]:

- Impedir o acesso de forma permanente;
- Impedir o acesso de forma temporária;
- Reter partículas, substâncias e radiações;
- Prevenção de partida, de partida inesperada e combinação de ambas;
- Permissão da passagem de materiais;
- Monitorização dos parâmetros da máquina;
- Utilização de indicações e alarmes relevantes para a segurança;
- Paragem de Emergência;
- Entre outras.

Paragem de Emergência

Segundo a norma EN ISO 13850:2015, a paragem de emergência tem como objetivo evitar situações de emergência reais ou eminentes decorrentes do comportamento de pessoas ou de um evento perigoso inesperado. Esta função deve ser iniciada através de uma única ação humana.

A função de paragem de emergência deve também obedecer aos seguintes critérios [3]:

- Deve estar sempre disponível e operacional e deve anular todas as outras funções e operações de todos os modos de operação da máquina, sem prejudicar outras funções de proteção;
- Assim que a paragem de emergência for acionada, esta deve permanecer ativada até que seja feito o rearme manualmente;
- A função de paragem de emergência deve ser reiniciada através de ação intencional humana. Esta deve ser realizada através do desengate de um dispositivo de paragem de emergência. No entanto, esta ação não deve iniciar o funcionamento da máquina;
- A função de paragem de emergência é uma medida de proteção complementar e não deve ser aplicada como substituta de medidas de proteção ou de outras funções de segurança;
- A função de paragem de emergência não deve prejudicar a eficácia de outras funções de segurança;
- A função de paragem de emergência deve ser projetada de modo que, após a atuação do dispositivo de paragem de emergência, os movimentos e operações perigosas da máquina sejam interrompidos de maneira adequada, sem criar riscos adicionais e sem qualquer intervenção adicional.

A paragem de emergência pode funcionar de acordo com as seguintes categorias:

- Categoria de paragem 0 – paragem através da imediata remoção de energia dos atuadores da máquina;
- Categoria de paragem 1 – energia disponível nos atuadores para realização de movimentos e operações de paragem, que deve ser cortada assim que a paragem for alcançada.

Cada máquina deve conter, pelo menos, uma função de paragem de categoria 0, podendo ou não conter paragens de categoria 1.

Os dispositivos de paragem de emergência devem ser projetados de forma a serem facilmente identificados e acionados pelo operador ou por outra pessoa que possa necessitar de o acionar. Estes podem ser de um dos seguintes tipos:

- Botões que sejam facilmente ativados pela palma da mão;
- Dispositivos acionados através de fios, cordas ou barras;
- Pedais sem capa protetora, caso outras soluções não forem aplicáveis.

Dimensão do campo de Proteção Necessário

A criação de estruturas de proteção deve ser realizada de forma que não seja possível o acesso por cima a zonas de perigo. Por outro lado, para evitar o acesso por baixo da proteção, normalmente é suficiente que esses equipamentos comecem a 200 mm acima do nível de referência.

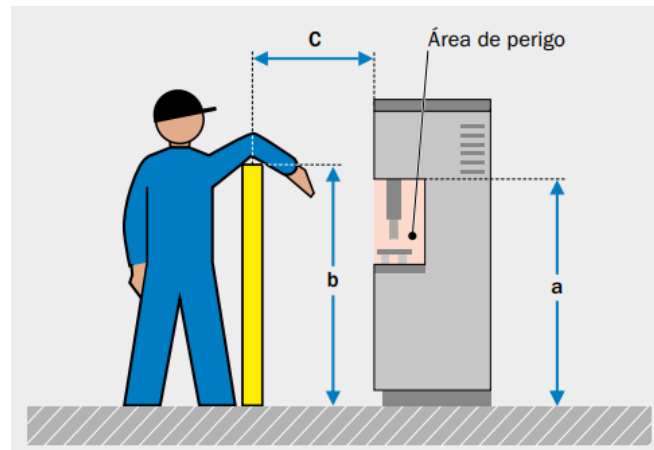


Figura 2.10 – Acesso a zona de perigo através da passagem por cima da barreira de proteção [26].

A norma EN ISO 13857 define a altura necessária para evitar esta situação, através da relação entre a altura da área de perigo, o afastamento horizontal relativamente à área de perigo e a altura da proteção. De acordo com o grau de risco associado

Tabela 2.2 – Altura necessária das proteções para casos com baixo potencial de perigo. Adaptado de [13].

Altura a da zona de perigo (mm)	Afastamento horizontal c relativamente à área de perigo (mm)								
2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2400	100	100	100	100	100	100	100	100	0
2200	600	600	500	500	400	350	250	0	0
2000	1100	900	700	600	500	350	0	0	0
1800	1100	1000	900	900	600	0	0	0	0
1600	1300	1000	900	900	500	0	0	0	0
1400	1300	1000	900	800	100	0	0	0	0
1200	1400	1000	900	500	0	0	0	0	0
1000	1400	1000	900	300	0	0	0	0	0
800	1300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1200	500	0	0	0	0	0	0	0
400	1200	300	0	0	0	0	0	0	0
200	1100	200	0	0	0	0	0	0	0
0	1100	200	0	0	0	0	0	0	0
Segundo ISO 13857:2008	Altura b da proteção (mm)								
	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500

Tabela 2.3 - Altura necessária das proteções para casos com alto potencial de perigo. Adaptado de [13].

Altura <i>a</i> da zona de perigo (mm)	Afastamento horizontal <i>c</i> relativamente à área de perigo (mm)									
2700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2400	1100	1000	900	800	700	600	400	300	100	0
2200	1300	1200	1000	900	800	600	400	300	0	0
2000	1400	1300	1100	900	800	600	400	0	0	0
1800	1500	1400	1100	900	800	600	0	0	0	0
1600	1500	1400	1100	900	800	500	0	0	0	0
1400	1500	1400	1100	900	800	0	0	0	0	0
1200	1500	1400	1100	900	700	0	0	0	0	0
1000	1500	1400	1000	800	0	0	0	0	0	0
800	1500	1300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1400	1300	800	0	0	0	0	0	0	0
400	1400	1200	400	0	0	0	0	0	0	0
200	1200	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1100	500	0	0	0	0	0	0	0	0
Segundo ISO 13857:2008	Altura <i>b</i> da proteção (mm)									
	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500	2700

2.2.2.2. INFORMAÇÃO SOBRE RISCOS RESIDUAIS

Após a aplicação de medidas para se ter um projeto seguro e de proteções técnicas, é possível que ainda existam perigos associados ao equipamento e ao seu funcionamento. Caso estes existam, o operador deve receber alertas adicionais quanto aos riscos residuais existentes, bem como sobre a necessidade de utilização de medidas de proteção adicionais, em especial o uso de equipamentos de proteção individual. São exemplos de informações relativamente a riscos residuais [26]:

- Dispositivos de alerta acústicos e visuais;
- Informações e avisos na máquina;
- Alertas no manual de operação;
- Instruções de trabalho, exigências de treino ou esclarecimentos aos operadores;
- Instruções para o uso de equipamentos de proteção individual.

Os dispositivos de alerta acústicos e óticos devem ser utilizados quando a máquina não é supervisionada (sem a constante supervisão de um operador). Neste caso, devem ser providos dispositivos de alerta que informem sobre a existência de perigos resultantes de um eventual mau funcionamento da máquina. Os dispositivos de alerta devem demonstrar claramente que se está sob uma situação de perigo [26].

Relativamente a informações e avisos existentes nas máquinas, estes devem ser preferencialmente símbolos e pictogramas. Devem também estar redigidos no idioma oficial do país em

que a máquina é comercializada, sendo possível também a utilização de outras línguas oficiais. As informações relevantes para a segurança devem ser claras, de fácil compreensão e formuladas de modo conciso e preciso [26].

Figura 2.11 – Exemplos de sinalética de segurança [26].



Por último, em relação ao manual de operação, este deve conter todas as informações relevantes para a segurança da máquina, em especial [26]:

- Avisos referentes ao possível mau uso da máquina;
- Indicações sobre a colocação em funcionamento, a operação da máquina, assim como sobre o treino necessário e/ou esclarecimentos aos operadores;
- Informações sobre os riscos residuais que ainda persistem apesar das medidas para integrar a segurança no projeto e aplicação de dispositivos de proteção e de medidas de proteção complementares;
- Instruções sobre as medidas de proteção a serem tomadas pelos operadores e os equipamentos de proteção individual necessários;
- Condições sob as quais as exigências referentes à estabilidade são cumpridas nas diversas fases da vida útil da máquina
- Indicações de segurança relativamente a transporte, manuseamento e armazenamento;
- Instruções sobre o procedimento necessário em caso de acidentes e para a solução de problemas relativos à segurança;
- Instruções sobre a configuração segura, sobre a manutenção e as devidas medidas de proteção;
- Especificação das peças de reposição a serem usadas que podem afetar a segurança e a saúde dos profissionais de operação.

3. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE SOLAS

Antes de se iniciar o projeto propriamente dito, é necessário realizar um enquadramento ao tema, isto é, perceber todo o conceito de produção de solas, desde a chegada da matéria-prima, até à obtenção do produto final.

3.1. PRODUÇÃO DE SOLAS POR EXTRUSÃO

Tal como referido anteriormente, existem diversos processos para a produção de solas. O processo que será analisado será a produção por extrusão, dado ser este o mecanismo utilizado na máquina a automatizar.

O processo de produção de solas por extrusão pode ser dividido em quatro etapas principais, das quais: tratamento da matéria-prima, processo de extrusão, moldagem da sola e acabamento.

3.1.1. MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada num processo de extrusão consiste em pequenos grãos sólidos de termoplástico. O material pode ser adquirido com coloração neutra – sendo posteriormente misturado com pigmentos para dar a coloração pretendida à sola – ou adquirido com a coloração final.



Figura 3.1 – Matéria-prima com diferentes colorações [30].

Após o material chegar à fábrica, este é colocado em misturadores, que irão descompactar o material e soltar os grãos que estejam aglomerados. Caso o material necessite de ser misturado, é também aqui realizada a mistura. Posteriormente, o material é colocado em secadores, que permitem a secagem do material, facilitando a extrusão e melhorando a qualidade do produto final. Depois de concluído o processo de secagem, o material encontra-se pronto para ser processado na máquina.

3.1.2. PROCESSO DE EXTRUSÃO

O processo de extrusão consiste em derreter os grãos de matéria-prima e processá-la, de forma a ser utilizada para produção de filmes contínuos. A Figura 3.2 mostra o esquema de funcionamento de uma unidade de extrusão.

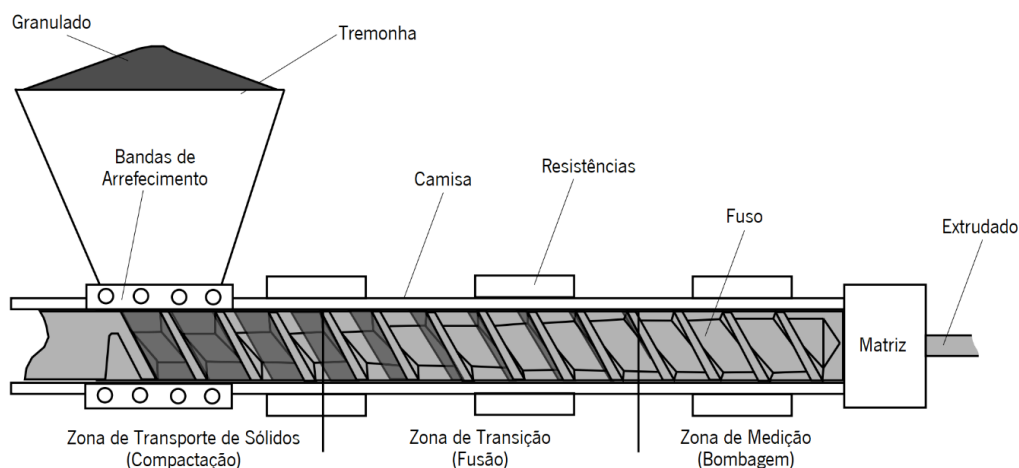


Figura 3.2 – Unidade de Extrusão. Adaptado de [21].

Uma máquina de extrusão é composta por uma camisa que é alimentada na extremidade oposta ao molde pela tremonha, que contém o polímero a ser injetado em forma de granulado. Ao longo da camisa, existem resistências que promovem a fusão do material, que juntamente com a rotação do fuso, permitem uma mistura homogênea e um aumento da pressão, que vai permitir a extrusão do material pela matriz [21].

O calor fornecido pelas resistências acopladas ao cilindro e a ação de mistura quando o material é movido pelo parafuso sem-fim permitem o aquecimento homogêneo do material, através da condução de calor e da fricção existente. Assim, a velocidade de rotação do fuso irá influenciar no fluxo de material extrudado, bem como na textura, uma vez que menores velocidades de rotação irão permitir que o material fique mais tempo dentro do fuso, e vice-versa [21].



Figura 3.3 – Exemplo de um fuso utilizado no processo de extrusão.

Este processo pode ser dividido em 3 zonas distintas: a zona de transporte de sólidos (ou de compactação), a zona de transporte (ou de fusão) e a zona de medição (ou de bombagem), tal como mostra a Figura 3.2. Esta divisão em zonas deve-se à alteração da geometria do fuso. Como se pode visualizar na figura, o diâmetro externo dos anéis do fuso permanece constante ao longo do seu comprimento, porém o seu diâmetro interno vai aumentando ao longo do mesmo, diminuindo os espaços entre o fuso e a camisa.

A zona de transporte de sólidos é a fase inicial do processo e tem como objetivo o transporte do material desde a tremonha para o interior da camisa. Dado ser esta a zona de entrada do material, este ainda se encontra em forma de granulado e, como tal, são necessários mais espaços entre a camisa e o fuso, o que implica um menor diâmetro interior do fuso. Assim que o material entra na camisa, inicia-se o seu aquecimento, compactação e transporte ao longo do canal.

De seguida, tem-se a zona de transição, onde se inicia o processo de plastificação do material. Com o aumento da temperatura, o material começa a fundir, o que implica uma diminuição do volume ocupado pelo mesmo, dado que os espaços entre as partículas que outrora estavam solidificadas deixa de existir. Como tal, é necessário que o diâmetro interior do fuso comece a aumentar, de forma a diminuir o volume da câmara, para que se consiga a mistura e aumento da pressão do material.

Por último, tem-se a zona de medição, responsável por gerar pressão suficiente para permitir a injeção do material. Este deve acumular-se na quantidade e estado desejado para ser expelido de dentro da camisa [21].

3.1.3. MOLDAGEM DA SOLA

O processo de extrusão por si só não é suficiente para conseguir dar a forma desejada à sola, dado que o mesmo apenas permite a formação de perfis contínuos que respeitam a forma da matriz. Assim sendo, é necessário que o material seja extrudado para dentro de um molde, com a forma negativa da sola pretendida.

Durante a entrada do material proveniente do processo de extrusão para dentro do molde, este tem de estar fechado sob determinada pressão, de forma a garantir que as forças interiores gerados pela entrada do material não abram o molde e destruam o produto final. Assim, o fecho de molde é realizado com o auxílio de uma prensa, que impede que o material vaze pelas juntas e garanta a correta produção das solas. Após o arrefecimento do material dentro do molde, este pode ser aberto e a sola está pronta para ser retirada.



Figura 3.4 – Exemplo de uma sola produzida numa máquina de extrusão [14].

Na produção de solas bicolores, o molde é constituído por três partes: a base, que é colocada na mesa da máquina, e as duas partes respetivas à primeira e segunda cor, colocadas na cabeça da máquina. Inicialmente, o molde é fechado na primeira cor, e procede-se à extrusão do material para dentro do mesmo. Depois de ultrapassado o tempo de arrefecimento necessário, o molde abre e a cabeça roda, de modo a ser possível o fecho do molde na segunda cor e a extrusão da mesma, concluindo o processo. Para isto, é necessário que a máquina possua duas unidades de extrusão, sendo cada uma delas responsável pela injeção de uma cor.

3.1.4. ACABAMENTO

Após a extrusão da sola, o processo de produção da mesma pode ainda não estar concluído, visto que pode ser ainda necessário realizar algum tipo de aplicação ou acabamento, como por exemplo fumos, pinturas, lixados, entre outros.



Figura 3.5 – Pintura de uma sola e produto final [14].

4. EQUIPAMENTO A AUTOMATIZAR

Neste capítulo, apresenta-se o equipamento submetido ao processo de automatização, detalhando o seu princípio de funcionamento e os componentes principais. Assim, é oferecida uma síntese dos aspetos mais relevantes para o projeto, além da metodologia aplicada ao longo de todo o processo de reengenharia do equipamento.

4.1. FINALIDADE E PRINCÍPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO

A máquina a automatizar encontra-se representada na Figura 4.1. Esta foi projetada para a produção de solas bicolores, sendo constituída por três subsistemas principais, designados por: Unidade Energética, Unidade de Extrusão e Unidade de Moldagem.

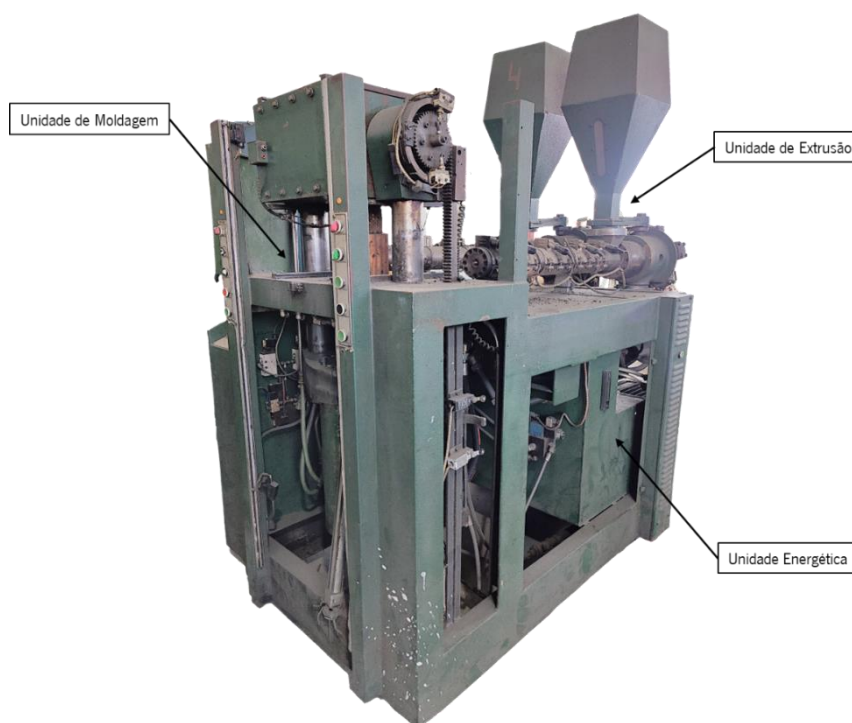


Figura 4.1 – Equipamento de produção de solas a automatizar.

Para o seu funcionamento, a máquina requer uma fonte de alimentação trifásica, responsável por energizar todos os componentes elétricos do sistema, incluindo motores, controladores e sensores. Além disso, utiliza uma fonte de ar comprimido para operações auxiliares, como o movimento da proteção frontal e a insuflação do molde. O equipamento possui também um sistema hidráulico essencial para as operações de extrusão e prensagem.

4.1.1. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE SOLAS

O ciclo produtivo inicia-se na unidade de moldagem, onde o molde é fechado para iniciar a injeção da primeira cor. O motor hidráulico, acionado pela unidade energética, gira o fuso responsável por extrudir o material fundido para o interior do molde, até que o processo de injeção seja concluído. Em seguida, o molde é aberto e o cabeçote rotativo posiciona-se para a segunda cor.

Quando o cabeçote está alinhado e o molde se fecha novamente, ocorre a extrusão da segunda cor. Após o arrefecimento necessário, o molde é aberto e a sola finalizada é retirada.

De seguida, são detalhados os subsistemas principais, descrevendo o seu funcionamento e importância no processo de produção das solas.

4.1.1.1. UNIDADE ENERGÉTICA

A unidade energética (Figura 4.2) alimenta o circuito hidráulico da máquina. Ela é composta por um motor elétrico de indução trifásico, com potência de 18,4 kW e velocidade nominal de 1450 rpm, que aciona uma bomba hidráulica dupla de palhetas com capacidades volumétricas de 56 cm³/rev e 10 cm³/rev, respetivamente.

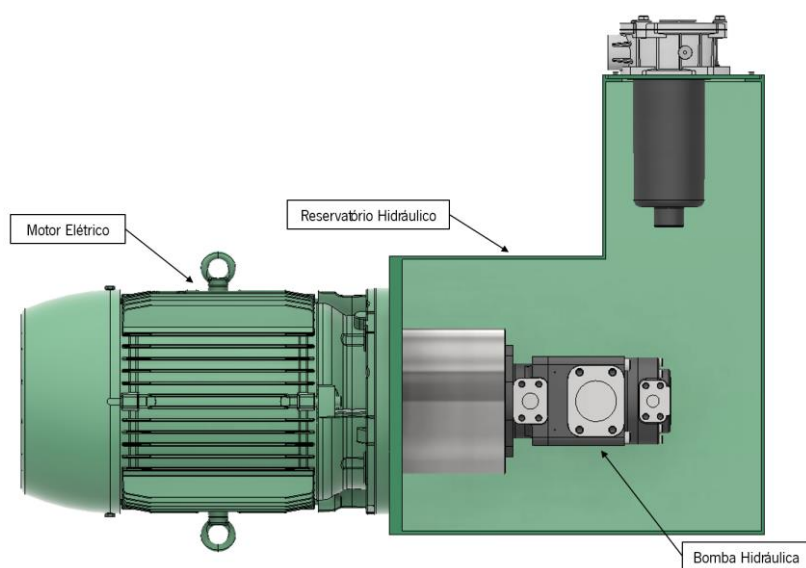


Figura 4.2 – Representação da unidade energética.

Funções Específicas da Unidade Energética

- ✓ **Abertura e Fecho do Molde:** O cilindro hidráulico de grandes dimensões é alimentado pela bomba de maior caudal para movimentos rápidos. Na fase final do fecho, a bomba de menor caudal assume, proporcionando um movimento amortecido e garantindo pressurização adequada.

- ✓ Alimentação dos Extrusores: Os motores hidráulicos que acionam os extrusores podem operar com a bomba de maior caudal ou com os dois elementos combinados, conforme a necessidade de maior velocidade de rotação.
- ✓ Rotação do Cabeçote: Para garantir precisão, o movimento do cabeçote utiliza apenas a bomba de menor caudal, de forma a proporcionar uma rotação mais controlada e suave.

4.1.1.2. UNIDADE DE EXTRUSÃO

A unidade de extrusão (Figura 4.3) é responsável pela injeção de material plástico fundido no molde. Como a máquina é projetada para produzir solas bicolores, ela possui duas unidades de extrusão, cada uma dedicada a uma cor distinta.

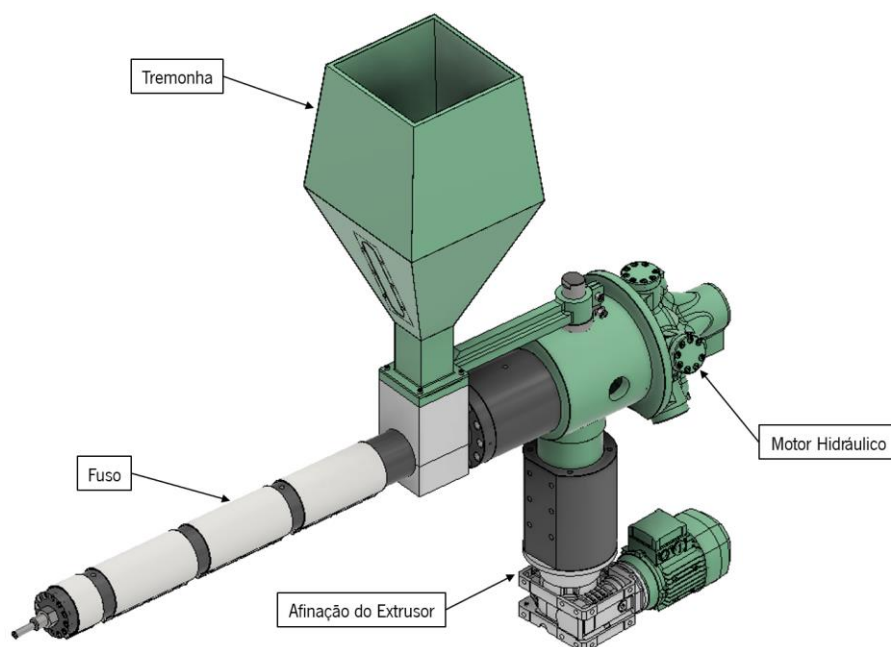


Figura 4.3 – Unidade de extrusão.

Funções Específicas da Unidade de Extrusão

- ✓ Extrusão do Material: A unidade de extrusão é responsável pela extrusão do material para dentro do molde, processo fundamental para a produção das solas;
- ✓ Sistema de Afinação dos Extrusores: A altura dos extrusores pode ser ajustada para acomodar diferentes modelos de solas, cujos moldes podem ter alturas variadas. Esse ajuste é realizado por meio de um sistema de afinação baseado num veio roscado (Figura 4.4). Ao rotacionar o veio, a fêmea de afinação desloca-se, promovendo a subida ou descida do extrusor.

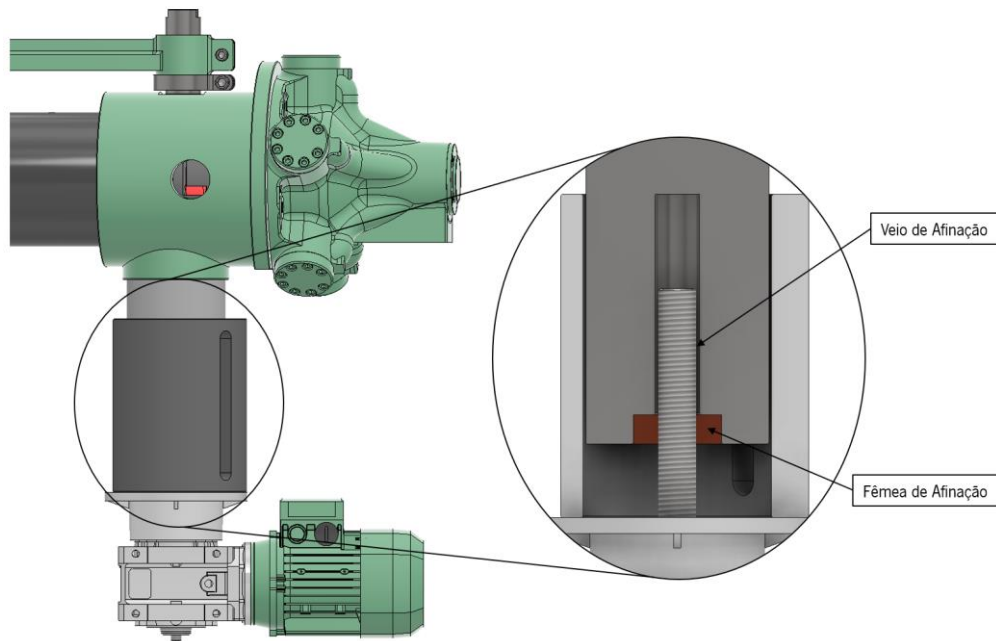


Figura 4.4 – Sistema de afinação dos extrusores.

4.1.1.3. UNIDADE DE MOLDAGEM

A unidade de moldagem (Figura 4.5) é o sistema que realiza os processos críticos de formação das solas. As suas funções principais incluem o fecho do molde e a troca de posição do cabeçote para alternar entre as duas cores.

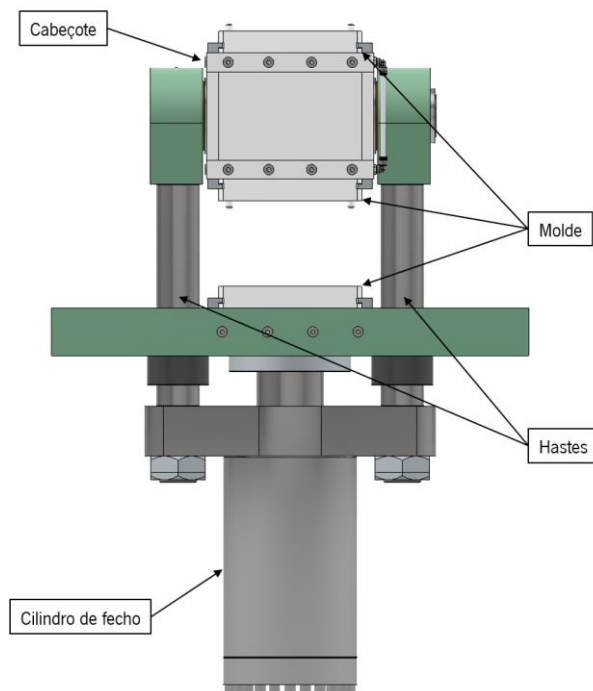


Figura 4.5 – Unidade de moldagem.

Funções Específicas da Unidade de Moldagem

- ✓ Fecho do Molde: Um cilindro hidráulico de grande capacidade deve proporcionar a vedação do molde, de forma a evitar vazamentos durante a injeção.
- ✓ Troca entre Moldes: Após a injeção da primeira cor, o cabeçote rotativo reposiciona-se para alinhar o molde da segunda cor. Esse movimento é realizado recorrendo ao cilindro hidráulico correspondente, utilizando a bomba de menor caudal para um movimento mais suave e preciso.
- ✓ Arrefecimento das solas: O cabeçote e a mesa possuem um sistema de circulação de água para arrefecimento do material no interior do molde, permitindo a correta formação das solas.

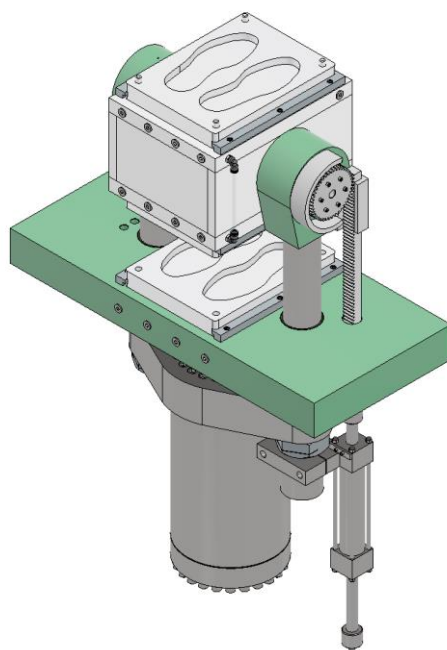


Figura 4.6 – Sistema de troca do molde.

4.1.2. DESEMPENHO DA MÁQUINA

Após a análise do funcionamento do equipamento, foram identificados vários problemas que comprometem o desempenho e a eficiência da máquina. Nesta secção, serão abordados os diferentes pontos que afetam o desempenho geral, incluindo questões relacionadas à precisão, desgaste, segurança, sistema de comando e eficiência energética.

Unidade de Moldagem:

- Cilindro de Fecho: O cilindro de fecho da unidade de moldagem apresenta problemas de dimensionamento, com os parafusos da tampa a romper devido à fadiga. Esta situação não

só compromete a durabilidade do cilindro, como também representa um risco de falha durante a operação;

- Sistema de Rotação do Cabeçote: O sistema de rotação do cabeçote apresenta baixa precisão, resultando em posições de paragem inconsistentes. Este problema faz com que os moldes nem sempre fiquem totalmente alinhados, aumentando o risco de fechos defeituosos. Esta falha pode causar danos irreversíveis nos moldes, resultando em elevados custos de manutenção;

Unidade de Extrusão:

- Desgaste do Fuso e da Camisa: Foi identificado desgaste significativo entre o fuso e a camisa, o que reduz a eficiência da extrusão e compromete a produtividade da máquina. Este problema provoca irregularidades no fluxo do material, aumentando o tempo necessário para completar os ciclos de produção;
- Velocidade de Rotação do Fuso: A máquina não possui nenhum sistema de controlo da velocidade de rotação do fuso, permitindo apenas a rotação utilizando duas velocidades.

Sistema de Comando:

- Componentes Obsoletos: O sistema de comando da máquina possui componentes desatualizados, como o autómato e a consola. Estes componentes não permitem a renovação e modernização do sistema;
- Consola Desatualizada: A ausência de uma consola atual impede a criação de uma interface simples e intuitiva para o operador, dificultando a operação e a monitorização eficiente dos parâmetros da máquina;
- Dificuldade na Integração de Novos Componentes: Como o PLC é antigo, torna difícil a implementação de novos componentes que possam aumentar a flexibilidade do equipamento, como por exemplo a implementação de um variador de frequência.

Segurança:

- Ausência de Sistemas de Paragem de Emergência: A máquina não está equipada com sistemas adequados de paragem de emergência, o que representa um risco significativo para a segurança dos operadores.
- Falta de Dispositivos de Segurança: Além da ausência de paragem de emergência, não existem dispositivos específicos para garantir a segurança durante operações críticas, como sensores de posição ou barreiras de proteção.

Eficiência Energética:

- Operação Contínua do Motor Elétrico: O motor elétrico da unidade energética opera continuamente na sua velocidade nominal, mesmo durante os tempos ociosos do processo, que correspondem a cerca de metade do tempo de produção. Isto resulta em consumos de energia desnecessários, e, consequentemente, numa eficiência energética baixa.

4.1.3. FUNCIONAMENTO PRETENDIDO

Com base na avaliação dos problemas identificados, o funcionamento pretendido para o equipamento deve centrar-se na melhoria da eficiência operacional, da precisão dos processos, da segurança e da sustentabilidade energética. As alterações e ajustes propostos deverão garantir um equipamento mais fiável, produtivo e alinhado com as necessidades atuais de produção.

Assim, será desenvolvimento para o equipamento um novo sistema de comando, com a implementação de um novo autómato. Será também implementada uma consola, com a definição de um conjunto de ecrãs iterativos, que irão permitir uma usabilidade mais simples e intuitiva para os operadores.

Do ponto de vista da eficiência energética, será implementado um variador de frequência, que permitirá reduzir a velocidade do motor elétrico, promovendo melhorias significativas nos gastos energéticos do equipamento. Por outro lado, a implementação do variador também permitirá a alteração das velocidades de extrusão, oferecendo uma maior versatilidade ao equipamento, devido à maior compatibilidade com outros materiais.

Do ponto de vista mecânico, serão analisadas e corrigidas as falhas identificadas, assim como serão repostas as folgas corretas nos componentes sujeitos a desgaste.

Com estas melhorias, o equipamento será capaz de atender às exigências da indústria, oferecendo maior eficiência energética e operacional, além de maior segurança para os operadores. O objetivo final é desenvolver um equipamento robusto e flexível, preparado para responder de forma eficiente às exigências atuais e futuras.

4.1.4. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE SEGURANÇA

A segurança é um dos pilares fundamentais no desenvolvimento e modernização do equipamento. Para garantir um ambiente de trabalho seguro e minimizar a ocorrência de situações de risco, será implementado um sistema de paragem de emergência. Este sistema permitirá a interrupção imediata do funcionamento em caso de necessidade, prevenindo acidentes e protegendo tanto os operadores quanto o próprio equipamento.

Além disso, será adotado um conjunto de medidas técnicas para impedir o acesso a zonas de perigo durante a operação. Essas medidas incluirão a instalação de barreiras físicas, sensores de segurança e dispositivos de bloqueio que evitarão o contato direto com áreas críticas.

Todas as medidas implementadas estarão em conformidade com as normas e regulamentações de segurança aplicáveis, assegurando que o equipamento atenda aos padrões da indústria. O objetivo é não só cumprir com os requisitos legais, mas também proporcionar uma operação segura, confiável e eficiente para os operadores e o ambiente de trabalho.

4.2. REQUISITOS DO PROJETO

Tal como define a norma VDI 2206 (ver 2.1.2), a primeira etapa do projeto trata-se da clarificação dos requisitos, seguindo os objetivos apresentados em 1.3. Nesse sentido, foi elaborada uma árvore de objetivos, onde se procura obter um equipamento seguro, versátil, fiável e *user-friendly*.

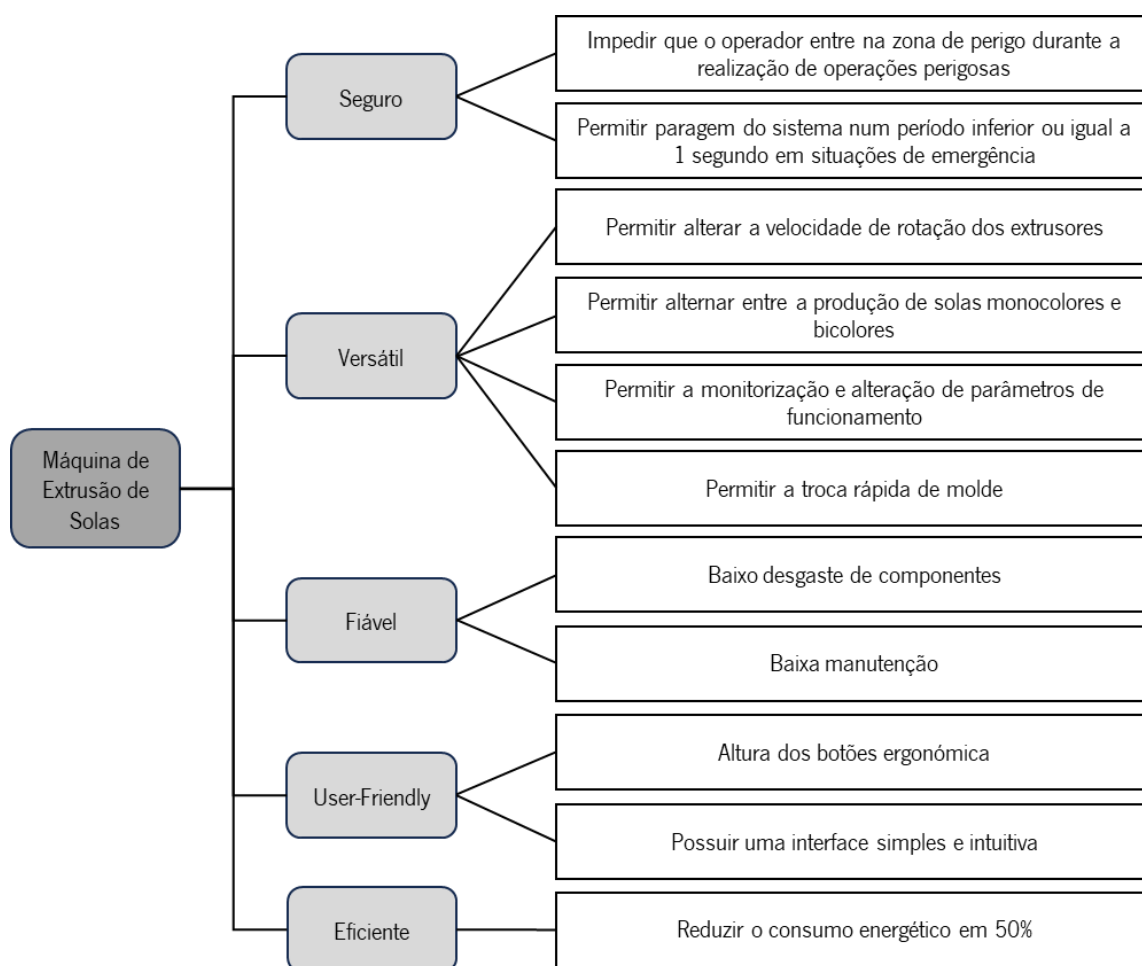


Figura 4.7 – Árvore de objetivos desenvolvida para o equipamento desejado.

4.3. ESTUDO DE MERCADO

Numa fase inicial, realizou-se um estudo de mercado com o objetivo de identificar equipamentos semelhantes ao objeto de estudo. Entre os fabricantes analisados, destacou-se a empresa italiana *Pietrella S.r.l.*, representada em Portugal pela *JFROSMAQ*. Dentro do portefólio de máquinas da empresa, foi dada especial atenção à gama BE 150, devido às suas características que apresentam maior semelhança com a máquina em análise.

O modelo *BE 150* encontra-se disponível em três variantes — *Twin*, *Tris* e *Poker* — conforme a máquina possua dois, três ou quatro postos de trabalho, respetivamente. Tal como o equipamento a ser automatizado, esta linha permite a produção de solas bicolores através do processo de extrusão, contando com dois extrusores por cada posto de trabalho. Em Portugal, existem diversos exemplares deste modelo em operação, o que viabilizou uma análise mais detalhada das suas características.



Figura 4.8 – Máquina de extrusão de solas *Pietrella BE 150 Tris* [22].

Este equipamento é equipado com servomotores nos extrusores, possibilitando o controlo preciso da velocidade de rotação do fuso, com uma variação entre 5 e 240 rpm. O cilindro de fecho apresenta uma capacidade de gerar até 150 toneladas de força, com um curso total de 300 mm. Além disso, a rotação do cabeçote é realizada através de um cilindro hidráulico de haste passante, permitindo o posicionamento do cabeçote em três ângulos distintos: 0°, 90° e 180°.

A máquina está também equipada com uma HMI, que proporciona ao operador a capacidade de monitorizar e ajustar os parâmetros do processo, promovendo maior controlo e eficiência na operação.

5. SELEÇÃO DE COMPONENTES

A modernização do sistema de comando da máquina de produção de solas requer a escolha criteriosa de componentes que atendam aos requisitos técnicos, normativos e operacionais do projeto. Esses componentes são fundamentais para garantir a funcionalidade, eficiência e segurança do equipamento. Esta seleção foi realizada com base nos seguintes critérios principais:

- Compatibilidade com o sistema de automação: Todos os dispositivos devem integrar-se com o autômato programável (PLC) e ao restante do sistema de comando;
- Conformidade com normas de segurança: Os componentes foram escolhidos em conformidade com normas como a IEC 60204-1:2016 e a ISO 13849, garantindo a segurança operacional;
- Facilidade de manutenção: Optou-se por componentes amplamente disponíveis no mercado, facilitando a manutenção e a reposição em caso de falhas.

De seguida, são detalhados os componentes selecionados para o sistemas, divididos pelo circuito de potência, comando e de segurança, justificando as suas escolhas com base nas necessidades específicas da sua aplicação.

5.1. CIRCUITO DE POTÊNCIA

5.1.1. CHAVE SECCIONADORA

A chave seccionadora é um dos componentes principais do circuito de potência, sendo responsável por isolar eletricamente o sistema durante manutenções ou em situações de emergência, tal como define a norma IEC 60204-1:2016. Este componente permite que o operador desconecte a alimentação elétrica do equipamento de forma segura e confiável [10].

Requisitos Técnicos

- Tensão nominal de operação: 400 V AC.
- Capacidade de corrente: Deve suportar a corrente nominal total do sistema (20 A).
- Categoria de utilização: AC-22A, adequada para manobras em circuitos mistos com cargas indutivas leves.
- Posição de bloqueio: Deve permitir o travamento mecânico em posição "OFF" para segurança durante a manutenção.

Seleção e Justificação

Para atender a esses requisitos, foi selecionada a chave seccionadora *Schneider Electric* VCF5 (Figura 5.1). Este modelo apresenta:

- Capacidade de corrente nominal: 125 A, garantindo uma margem de segurança acima do consumo esperado do equipamento (50 A);
- Suporte para tensão de até 690 V AC, oferecendo versatilidade para aplicações industriais;
- Posição de bloqueio mecânico, permitindo o uso de cadeados para travamento;
- Construção robusta e compatível com o ambiente industrial do equipamento.



Figura 5.1 – Chave seccionadora *Schneider Electric* VCF5 [24].

As características mais relevantes deste componente estão apresentadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Principais características da chave seccionador escolhida [24].

Modelo	<i>Schneider Electric</i> VCF5
Capacidade Nominal	125 A
Tensão máxima	690 V AC
Categoria de utilização	AC-22A
Standard	IEC 60947-3

5.1.2. FONTE DE ALIMENTAÇÃO

A fonte de alimentação é um componente essencial no circuito de comando, sendo responsável por fornecer energia estável e confiável para os dispositivos do sistema. Esta fonte deve atender aos requisitos do circuito projetado, garantindo que todos os componentes operem de forma segura, mesmo nas condições de maior consumo.

Requisitos Técnicos

- Tensão de entrada: Compatível com a rede elétrica disponível, 240 V AC a 50 Hz;
- Tensão de saída: 24 V DC, padrão para alimentação de circuitos de comando;
- Potência de saída: Igual ou superior a 160 W, para atender ao consumo máximo do sistema.

Dimensionamento da Potência

Para calcular a potência necessária, considerou-se a situação de maior consumo do sistema, que ocorre quando as cinco válvulas hidráulicas são energizadas simultaneamente. Como cada válvula possui um consumo individual de 30 W, o consumo total nesse cenário é de:

$$P_{total} = 5 \times 30 = 150 \text{ W}$$

Aplicando uma margem de segurança de 30%, a potência mínima especificada é de 195 W.

Seleção e Justificação

Com base nos requisitos técnicos e no dimensionamento, foi selecionada a fonte de alimentação *OMRON S8VK-G24024* (Figura 5.2), que apresenta as seguintes características principais (Tabela 5.2):



Figura 5.2 – Fonte de alimentação *OMRON S8VK-G24024* [20].

Tabela 5.2 – Características relevantes da fonte de alimentação escolhida [20].

Tensão de Entrada	100 - 240V DC
Frequência de Entrada	50 Hz
Tensão de Saída	24V
Corrente de Saída	10 A
Potência de Saída	240 W

A fonte de alimentação escolhida não só cumpre os requisitos do sistema com folga, mas também oferece robustez e flexibilidade para futuras adaptações, garantindo eficiência energética e alta confiabilidade para o circuito de comando.

5.2. CIRCUITO DE COMANDO

5.2.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (PLC)

O controlador lógico programável (PLC) desempenha um papel central no sistema de automação, sendo responsável por controlar e monitorizar o funcionamento do equipamento. Este dispositivo processa informações provenientes de diversos sensores e dispositivos de entrada e emite comandos para os atuadores, garantindo o funcionamento coordenado e eficiente do sistema.

Os PLCs são amplamente utilizados em aplicações industriais, podendo controlar desde sistemas simples e independentes até grandes unidades de processamento. Esses controladores podem ser classificados em dois tipos principais [16]:

- Compactos: Integram todos os elementos necessários para operação em um único bloco;
- Modulares: São compostos por módulos individuais conectados a um bastidor, oferecendo maior flexibilidade e escalabilidade.

Estrutura de Funcionamento

Do ponto de vista do utilizador, o PLC realiza o processamento de informações por meio de um ciclo operacional. Esse ciclo inclui [16]:

1. Leitura das entradas (scan): Captura dos sinais provenientes de sensores e dispositivos;
2. Execução do programa: Processamento das informações lidas para determinar os comandos a serem emitidos;
3. Atualização das saídas: Envio dos comandos para os atuadores e dispositivos conectados.

A estrutura básica de um PLC inclui os seguintes componentes principais [16]:

- Microprocessador: Responsável pelo processamento das informações;
- Memória: Armazena o programa e os dados necessários para operação;
- Fonte de alimentação: Garante o funcionamento dos componentes internos do PLC;

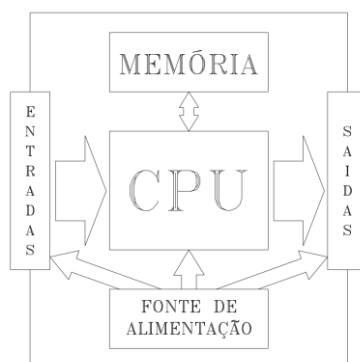


Figura 5.3 – Esquema da estrutura de um PLC [16].

As entradas e saídas do PLC podem ser de diversos tipos, como relé, transistor, acoplador ótico ou *triac*. Para além disso, os estados lógicos dessas entradas e saídas são geralmente indicados por *LEDs* presentes no corpo do PLC, facilitando a visualização do seu estado.

Memória

A memória do PLC tem como função salvaguardar todas as instruções do programa, mesmo quando este não está a ser alimentado. As memórias podem ser classificadas da seguinte forma [16]:

- RAM (*Random Access Memory*): pode ser escrita e alterada facilmente, sendo a mais utilizada na fase de desenvolvimento do programa, ou quando o sistema a controlar sofre alterações. Esta memória é uma memória volátil, ou seja, perde a informação quando não está a ser alimentada.
- EEPROM (*Erasable Programmable Read Only Memory*): não perde a informação em caso de falha de alimentação, porém a sua alteração é extremamente morosa, pois tem de ser apagada por exposição a raios ultravioleta e programada através de equipamento específico.
- EPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*): não perde a informação por falta de alimentação e pode ser escrita e apagada diretamente no PLC. Apresenta vantagens em relação aos modelos anteriores, porém possui um número limitado de ciclos de escrita e um custo superior quando comparado à memória RAM.
- FLASHRAM: apresenta características semelhantes à EEPROM, permitindo também uma escrita e leitura no próprio circuito onde é utilizada e sendo também limitada pelo número de ciclos de escrita. Porém, a velocidade de escrita é superior à da EEPROM.

Programação

A programação de um PLC irá definir de que forma serão atuadas as saídas, em função dos valores dos dados lidos nas entradas.

Implementados no CPU, existem memórias em forma de *bits* responsáveis por reter informações lógicas, isto é, ligado/desligado, verdadeiro/falso ou 1/0, necessárias para a execução do programa. Estes *bits*, também denominados por relés, estão normalmente associados em grupos de 16, aos quais se dá o nome de *word* ou canal. Existem diversas áreas de relés presentes num PLC, destacando-se [16]:

- Relés com I/O, associados a entradas e saídas;
- Relés internos com retenção, que mantêm o seu estado mesmo quando o PLC não está a ser alimentado;
- Relés internos de temporizadores e contadores, que têm o seu estado associado a um determinado temporizador ou contador;

- Relés internos especiais, com funções predefinidas.

Existem diversas linguagens de programação normalizadas que podem ser utilizadas na programação de um PLC. A norma IEC 61131-3 propõe quatro linguagens de programação, que podem ser gráficas, *Ladder Diagram* (LD) e *Function Block Diagram* (FBD), ou textuais, *Instruction List* (IL) e *Structured Text* (ST) [7][9].

5.2.1.1. SELEÇÃO DO PLC

Antes de selecionar o equipamento a utilizar, é necessário definir os requisitos que o mesmo deverá ser capaz de cumprir. Posto isto, encontra-se de seguida enumerados os requisitos para o equipamento a utilizar.

- Ser um equipamento compacto;
- Possuir 17 entradas e 16 saídas a relé;
- Permitir a programação em FBD;
- Possuir memória adequada para o sistema de automação desenvolvido;
- Garantir tempos de execução e resposta adequados para o controlo do sistema;
- Possuir *backup* de memória;
- Permitir adicionar um módulo de controlo de temperatura;
- Permitir a comunicação com computador e HMI;
- Permitir a comunicação com um variador de velocidade.

Tendo em conta os requisitos supracitados, optou-se pelo controlador industrial *Mitsubishi FX3G 40MR-DS* (Figura 5.4). As suas características mais relevantes estão apresentadas na Tabela 5.3.



Figura 5.4 – PLC *Mitsubishi FX3G 40MR-DS* [18].

Tabela 5.3 – Características relevantes do PLC *Mitsubishi* FX3G 40MR-DS [18].

Tensão de Alimentação	24 V DC
Corrente Consumida	3,15 A
Potência Consumida	25 W
Nº de Entradas Digitais	24 entradas
Nº de Saídas e Tipologia	16 saídas a relé
Linguagens de Programação Suportadas	Ladder, Ladder/FBD e Texto Estruturado
Backup de Memória	✓ (sem recurso a bateria)
Capacidade do Programa	32 000 passos
Tempo de Execução Lógica	0.21 µs

O PLC em questão foi selecionado por ser um controlador compacto, confiável e versátil, com capacidade para atender a todas as exigências do sistema de automação. A sua compatibilidade com módulos adicionais, como o controlo de temperatura e saída analógica, bem como a sua robustez em aplicações industriais, garante flexibilidade e eficiência para o projeto. Além disso, a escolha recaiu sobre este modelo por pertencer a uma gama da *Mitsubishi* já utilizada pela empresa.

5.2.2. RELÉS

Os relés irão atuar como intermediários entre as saídas do autómato e os dispositivos controlados, neste caso, as bobinas das válvulas hidráulicas e pneumáticas. A sua utilização tem como objetivo principal proteger as saídas do PLC, aumentando a sua vida útil e garantindo a confiabilidade do sistema.

Embora as bobinas das válvulas pneumáticas operem com correntes significativamente menores que as válvulas hidráulicas, foi decidido utilizar relés do mesmo modelo em todas as saídas. Essa padronização facilita a manutenção e a substituição futura de componentes, reduzindo os custos operacionais e simplificando o *stock* de peças sobresselentes.

Requisitos Técnicos

Os relés a utilizar no sistema terão de cumprir os seguintes requisitos:

- Tensão de alimentação: 24 V DC, compatível com o sistema de comando;
- Corrente nominal: Superior a 5 A, correspondente ao valor máximo consumido pelas bobinas;

- Configuração dos contatos: SPDT (*Single Pole Double Throw*), com um contato normalmente aberto (NO) e um contato normalmente fechado (NC).

Seleção e Justificação

Para atender a esses requisitos, foi selecionado o modelo *Finder* 40.31.9.024.0000, da série *Finder* 40, representado na Figura 5.5.



Figura 5.5 – Relé *Finder* 40.31.9.024.0000 [7].

A instalação do relé exige o uso de um porta-relé, que simplifica as conexões elétricas e facilita a substituição em caso de falha. O porta-relé escolhido foi o *Finder* 95.03 (Figura 5.6), compatível com o relé da série *Finder* 40. As principais especificações do conjunto escolhido estão detalhadas na Tabela 5.4.

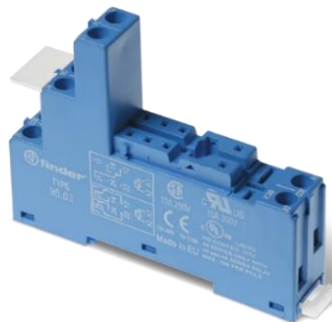


Figura 5.6 – Porta-relés *Finder* 95.03 [7].

Tabela 5.4 – Características relevantes do conjunto escolhido [7].

Tipo de relé	Eletromagnético
Configuração dos contactos	SPDT (1 NO e 1 NC)
Tensão nominal	24 V DC
Corrente nominal	12 A
Pico máximo de corrente	20 A

5.2.3. INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

A interface do equipamento será composta por uma consola, que permitirá o controlo e monitorização de parâmetros críticos durante o processo de produção de solas, e um conjunto de botões de comando, responsáveis por executar as operações essenciais do processo. A consola deverá exibir informações em tempo real, como temperatura, pressão, tempo de ciclo e status do sistema, facilitando o acompanhamento e ajustes durante a produção. Já os botões incluirão comandos para iniciar, pausar, reiniciar e parar o processo, além de comandos específicos para funções auxiliares, como ajuste manual da altura dos extrusores.

5.2.3.1. SELEÇÃO DA CONSOLA

Requisitos Técnicos

Para a escolha da consola, foram definidos os seguintes requisitos:

- Alimentação: Suporte a uma tensão de alimentação de 24 V DC, compatível com o sistema elétrico;
- Compatibilidade: Capacidade de comunicação com o autómato selecionado, utilizando conexão via RS485;
- Ecrã tátil: Para facilitar a operação e interação do operador com o sistema;
- Dimensões compactas: Atravancamento igual ou inferior a 140 × 150 × 100 mm, de modo a permitir a sua instalação.

Seleção e Justificação

Considerando os requisitos supracitados, selecionou-se a consola *Weintek* MT8051iE (Figura 5.7).



Figura 5.7 – HMI *Weintek* MT8051iE [33].

As suas características mais relevantes para o projeto estão apresentadas na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Características mais relevantes do HMI selecionado [33].

Tensão de Alimentação	24 V DC
Corrente Consumida	400 mA
Dimensão do Ecrã	4.3" TFT
Resolução	480 x 272 pixéis
Tipo de Ecrã	Tátil
Atravancamento	128 x 102 x 32 mm
Memória	128 MB Flash / 128 MB RAM
Portas de Comunicação e Tipo	USB 2.0 x 1 <i>Ethernet</i> 10/100 Base-T x 1 COM1: RS-232/RS-485 2W/4W COM 2: RS-485 2W
<i>Software</i> de Programação	<i>EasyBuilder Pro</i>

5.2.3.2. SELEÇÃO DOS BOTÕES

A escolha dos botões para a interface HMI foi realizada com base nas operações necessárias para o correto funcionamento do equipamento de produção de solas. Cada botão foi selecionado considerando a sua funcionalidade e a segurança dos operadores, garantindo que o processo de automação fosse eficiente e seguro. Abaixo, são apresentados os botões selecionados, as suas funcionalidades e as descrições detalhadas.

Tabela 5.6 – Botões a utilizar no equipamento.

Funcionalidade	Tipo	Descrição
Manual/Automático	Botão seletor 2 posições	Alterna entre o modo manual e automático.
Abertura do molde	Botão de pressão	Aciona a abertura do molde.
Fecho do molde	2 Botões de pressão	Aciona o fecho do molde, utilizando comando bimanual para segurança.
Troca de molde	Botão seletor 3 posições	Permite a troca do molde entre a 1ª e a 2ª cor.
Afinação do extrusor 1ª cor	Botão seletor 3 posições	Ajusta a altura do extrusor da 1ª cor.
Afinação do extrusor 2ª cor	Botão seletor 3 posições	Ajusta a altura do extrusor da 2ª cor.
Fim injeção 1ª cor	Botão de pressão iluminado	Indica o fim manual da injeção da 1ª cor ou sinaliza o micro de fim de injeção.
Fim injeção 2ª cor	Botão de pressão iluminado	Indica o fim manual da injeção da 2ª cor ou sinaliza o micro de fim de injeção.
Injeção manual 1ª cor	Botão de pressão	Permite a injeção manual da 1ª cor.
Injeção manual 2ª cor	Botão de pressão	Permite a injeção manual da 2ª cor.
Proteção móvel	Botão de pressão	Alterna o estado da proteção móvel.
Emergência	Botão de emergência	Aciona a paragem de emergência.
Rearme	Botão de pressão iluminado	Ativa o rearme após uma situação de emergência, quando as condições de segurança são restauradas.

5.2.3.3. DISPOSIÇÃO FINAL DO HMI DA MÁQUINA

A seguir, apresenta-se a disposição do HMI na máquina de produção de solas. A Figura 5.8 mostra como os botões selecionados e a consola estão organizados na interface, facilitando o acesso e a operação do sistema pelo operador. A disposição foi projetada com foco na ergonomia e na segurança, garantindo que todos os comandos necessários estejam de fácil acesso, de acordo com as funcionalidades descritas anteriormente.

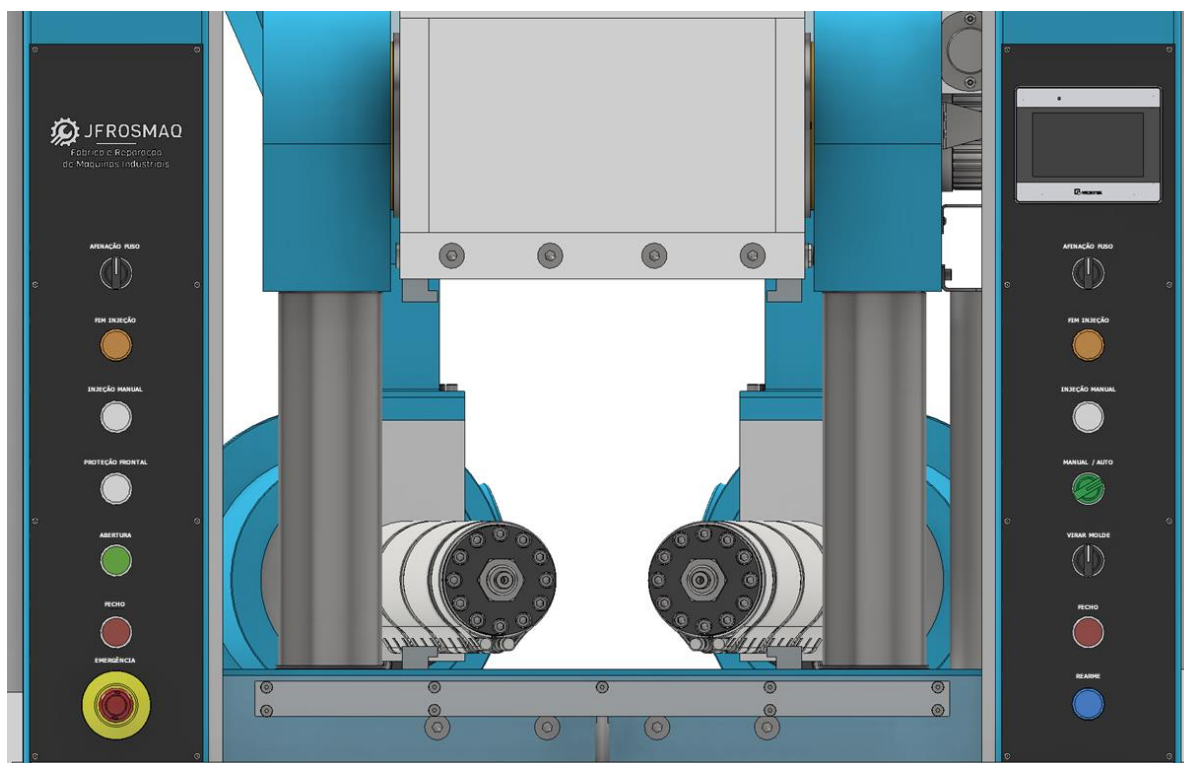


Figura 5.8 – Disposição dos botões e da consola no equipamento.

5.3. SISTEMA DE AFINAÇÃO DOS EXTRUSORES

5.3.1. CONTACTORES PARA AFINAÇÃO DO EXTRUSOR

A afinação do fuso do extrusor requer a possibilidade de ajustar o sentido de rotação do motor elétrico de afinação. Esse ajuste permite a subida ou descida do extrusor, garantindo o correto posicionamento para o processo de extrusão.

Um motor trifásico gira no sentido do campo magnético rotativo. Para inverter o sentido de rotação, basta alterar as conexões de duas das fases do motor, o que reverte o campo magnético e promove a rotação do rotor no sentido oposto. Para realizar essa função de forma automatizada e segura, foram utilizados dois contactores, sendo que um é responsável pela rotação no sentido horário, e o outro pela rotação no sentido anti-horário.

Como o equipamento possui dois extrusores, e consequentemente dois motores de afinação, será necessário utilizar quatro contactores no total.

Requisitos Técnicos

Os contactores selecionados devem atender aos seguintes critérios:

- Tensão de alimentação: Compatível com a alimentação do motor, 380 V AC;
- Corrente de saída: Superior à corrente nominal do motor (1 A), considerando picos de partida. Foi estabelecido que os contactores devem suportar pelo menos 4 A para operar de forma confiável;
- Potência de saída: Compatível com a potência do motor (0,37 kW). Os contactores devem ter uma capacidade nominal superior a esse valor para garantir segurança e durabilidade.

Seleção e Justificação

Com base nesses requisitos, foi selecionado o contactor *Stromberg* OK00 (Figura 5.9), que apresenta as seguintes características técnicas (Tabela 6.5):



Figura 5.9 – Contactor *Stromberg* OK00.

Tabela 5.7 – Principais características do contactor de afinação do extrusor.

Tensão Nominal [V AC]	220	230	380	400	415	500	660	690
Potência de Alimentação [kW]	2,2	2,2	4	4	4,5	5,5	5,5	5,5
Corrente Nominal [A]	25							

As especificações demonstram que o contactor é capaz de atender a todos os requisitos técnicos do sistema, com ampla margem de segurança. A sua capacidade de corrente nominal de 25 A e potência máxima de 4 kW a 380 V AC tornam-no robusto e confiável para esta aplicação.

5.3.2. DISJUNTOR MAGNETOTÉRMICO DE PROTEÇÃO DOS MOTORES DE AFINAÇÃO

Para proteger os motores elétricos de afinação contra sobrecargas e curtos-circuitos, foi selecionado um disjuntor magnetotérmico que atende às características técnicas do sistema e aos

requisitos de operação. Esse dispositivo é essencial para evitar danos ao motor, garantindo a sua integridade.

Requisitos Técnicos

- Tensão de alimentação: Compatível com o sistema trifásico de 380 V AC;
- Capacidade de proteção: Operar com motores de até 0,37 kW, oferecendo proteção térmica ajustável para condições de sobrecarga;
- Faixa de regulação de corrente: Ajustável para o consumo nominal do motor, que é de 1 A, incluindo margem para picos de corrente durante a partida.

Seleção e Justificação

Para atender a esses requisitos, foi selecionado o disjuntor *Schneider Electric* TeSys GV2ME (Figura 5.10), com as características apresentadas na Tabela 5.8.



Figura 5.10 – Disjuntor magnetotérmico *Schneider Electric* TeSys GV2ME [25].

Tabela 5.8 – Características relevantes do disjuntor magnetotérmico escolhido [25].

Tensão Nominal [V AC]	400	400	500	500	500	690	390
Potência de alimentação [kW]	0,37	0,55	0,37	0,55	0,75	0,75	1,1
Corrente nominal	1,6 A						
Gama de regulação de proteção	1 – 1,6 A						

O disjuntor *Schneider Electric* TeSys GV2ME foi escolhido devido à sua robustez e confiabilidade em aplicações industriais. Este permite um ajuste preciso para proteger o motor de 0,37 kW, oferecendo segurança tanto contra sobrecargas quanto contra curtos-circuitos. Além disso, a sua conformidade com normas internacionais como a IEC 60947-4-1 reforça a segurança e a eficiência do sistema.

5.4. SISTEMA DE AQUECIMENTO DOS EXTRUSORES

O sistema de aquecimento dos extrusores é essencial para garantir que o material seja processado à temperatura ideal para extrusão. Esse sistema é responsável por aquecer uniformemente as zonas do extrusor e manter essas temperaturas estáveis durante a operação.

Neste capítulo, serão descritos os principais componentes do sistema de aquecimento, incluindo as resistências, os termopares, os relés estáticos e a carta de controlo de temperatura, que permite a integração do sistema com o autómato programável (PLC).

5.4.1. RESISTÊNCIAS

Cada extrusor possui quatro resistências que promovem o seu aquecimento ao longo do seu comprimento. Estas estão divididas em duas zonas (Figura 5.11), projetadas para atender às necessidades térmicas específicas dos diferentes materiais. Cada zona controla resistências específicas, cujas características estão detalhadas na Tabela 5.9.

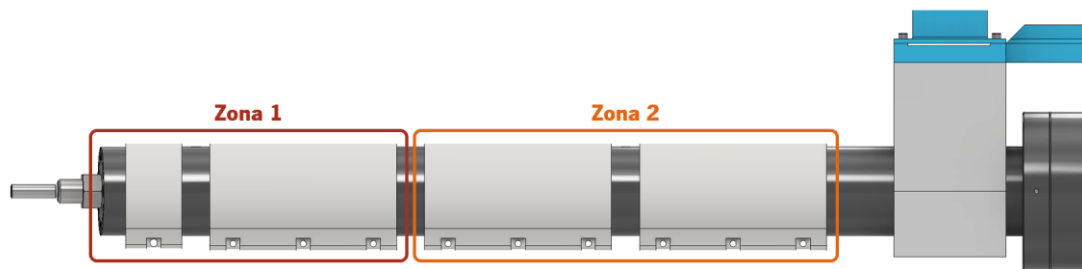


Figura 5.11 – Zonas de aquecimento.

Tabela 5.9 – Características das zonas de aquecimento.

Zona 1	Potência	$1000+1000 = 2000 \text{ W}$
	Tensão	230 V
	Corrente	8,7 A
Zona 2	Potência	$1000 + 250 = 1250 \text{ W}$
	Tensão	230 V
	Corrente	5,5 A

5.4.2. TERMOPARES

Os termopares são dispositivos utilizados para a medição da temperatura, que funcionam com base no efeito *Seebeck*. Este ocorre quando dois metais diferentes estão unidos em uma extremidade e expostos a diferentes temperaturas. Essa diferença entre as duas extremidades gera uma pequena tensão elétrica que é proporcional à temperatura lida [6].

Requisitos Técnicos

Para a escolha destes componentes, importa perceber qual a faixa de temperatura a que estarão sujeitos. Neste caso, as extrusoras irão operar entre os 100 a 200°C, pelo que se escolheu o termopar do tipo J, que permite operar entre 0 a 600°C.

Seleção e Justificação

Para o sistema de aquecimento dos extrusores, foi selecionado o termopar tipo J (Figura 5.12). Essa escolha foi motivada pelas seguintes características:

- Faixa de medição: 0 a 600°C, adequada para o controlo de temperatura dos extrusores;
- Tolerância: $\pm 2,2^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 0,75\%$ da leitura, conforme a norma IEC 60584-1;
- Custo-benefício: O tipo J é uma opção económica em comparação com outros tipos;
- Compatibilidade: Totalmente compatível com a carta de controlo de temperatura utilizada no sistema.



Figura 5.12 – Termopar para leitura da temperatura.

Localização dos Termopares

Cada zona de aquecimento possui um termopar responsável pela medição da temperatura nessa zona. Como tal, serão precisos 4 termopares para o controlo da temperatura dos dois extrusores.

5.4.3. RELÉS ESTÁTICOS

Os relés estáticos são responsáveis por controlar o acionamento das resistências de aquecimento, modulando a passagem de corrente elétrica de acordo com os comandos enviados pelo controlador de temperatura.

Requisitos Técnicos

Com base nas características das zonas de aquecimento, os relés estáticos selecionados devem atender aos seguintes requisitos:

- Tensão de comando: 25 V DC, para compatibilidade com o autômato;
- Tensão de potência: 230 V AC, correspondente à alimentação das resistências de aquecimento;
- Corrente de saída: Superior a 8,7 A, considerando o consumo máximo da Zona 1, que possui maior demanda de corrente.

Seleção e Justificação

O modelo *CøG*SSR-25DA (Figura 5.13) foi escolhido para atender aos requisitos estipulados. Este relé estático apresenta características técnicas ideais para o controlo das resistências de aquecimento, como detalhado na Tabela 5.10.



Figura 5.13 – Relé estático *CøG*SSR-25DA [35].

Tabela 5.10 – Principais características do relé estático selecionado [35].

Tensão de carga	24 – 480 V AC
Corrente de carga	25 A
Tensão de comando	3 – 32 V DC
Corrente de comando	5 – 25 mA

Como o sistema possui duas zonas de aquecimento para cada extrusor, será necessário utilizar quatro relés estáticos no total, permitindo o controlo individualizado de cada zona.

5.4.4. CARTA DE CONTROLO DA TEMPERATURA

O módulo de controlo de temperatura é responsável por gerenciar o aquecimento das resistências dos extrusores, garantindo que as temperaturas permaneçam estáveis e dentro dos valores

especificados. Para isso, o módulo realiza a leitura das temperaturas através dos termopares e ajusta a potência aplicada às resistências com base nos valores lidos, utilizando algoritmos de controle PID.

Requisitos Técnicos

- Tensão de alimentação: 24 V DC, para compatibilidade com o sistema de comando;
- Comunicação com o autômato: Capacidade de se integrar ao autômato Mitsubishi FX3G-60M, utilizado no sistema;
- Canais de leitura: No mínimo, 4 canais para a leitura de temperaturas nas zonas de aquecimento dos dois extrusores;
- Compatibilidade com termopares: Suporte para termopares do tipo J, utilizados no sistema;
- Controlador PID integrado: Para regular a temperatura de forma precisa e eficiente.

Seleção e Justificação

Com base nesses critérios, foi selecionado o módulo Mitsubishi FX3U-4LC (Figura 5.14), projetado para integração direta com autômatos da linha Mitsubishi FX. Este módulo oferece funcionalidades avançadas de controle de temperatura e atende plenamente às exigências do projeto.



Figura 5.14 – Módulo de controle de temperatura Mitsubishi FX3U-4LC [18].

Tabela 5.11 – Principais características do módulo de controle de temperatura [18].

Tensão de Alimentação	24 V DC
Entradas Analógicas Integradas	4 (para leitura dos termopares)
Saídas Analógicas Integradas	4 (para controle das resistências)
Tempo de Ciclo de Controle	250 ms
Tipos de controladores	Controlador de duas posições Controlador PID Controle PID para aquecimento e arrefecimento Controlador por cascata

O Mitsubishi FX3U-4LC foi escolhido pela sua compatibilidade direta com o FX3G-60M, a sua capacidade de leitura e controlo de múltiplas zonas de temperatura, e pela presença de funções PID integradas, essenciais para o controlo preciso das resistências.

5.5. CONTROLO DA VELOCIDADE E VARIADOR DE FREQUÊNCIA

O controlo da velocidade do motor da bomba hidráulica desempenha um papel fundamental na operação eficiente do equipamento. Originalmente, a máquina operava com o motor em velocidade nominal constante, independentemente da demanda do sistema, resultando num consumo energético elevado. Neste sentido, aplicou-se um variador de frequência no motor elétrico que comanda a bomba, de forma a não só permitir uma redução significativa no consumo energético do equipamento, como também a permitir o controlo da velocidade de extrusão.

5.5.1.1. VARIADOR DE VELOCIDADE

A escolha do variador de velocidade adequado é um aspeto essencial para garantir a eficiência energética e a operação flexível do sistema.

Requisitos Técnicos

Baseado nas especificações do motor elétrico e nas exigências operacionais do sistema, foram definidos os requisitos que o variador de velocidade deve cumprir:

- Tensão de alimentação: O variador deve ser compatível com uma tensão de 380 V AC, conforme a alimentação elétrica do sistema;
- Corrente de saída: O variador deve fornecer uma corrente de saída superior a 38 A para suportar a operação do motor de 18,5 kW;
- Capacidade de potência: O variador deve ser capaz de operar com um motor de 18,5 kW, o que representa a potência nominal do motor elétrico utilizado;
- Integração com o PLC: O variador precisa ser compatível com o sistema de controlo (PLC), garantindo a comunicação eficiente entre o variador e o restante da automação da máquina.

Seleção e Justificação

Para atender às demandas específicas do sistema hidráulico e assegurar a operação eficiente da máquina, foi selecionado o variador de frequência *Mitsubishi* FR-E840-0440-4-60 (Figura 5.15). As suas características estão apresentadas na Tabela 5.12.



Figura 5.15 – Variador de velocidade *Mitsubishi* FR-E840-0440-4-60 [19].

Tabela 5.12 – Características principais do variador escolhido [19].

Modelo	Mitsubishi FR-E840-0440-4-60	
Tensão Nominal	380 – 480 V AC	
Modo	Light Duty (LD)	Normal Duty (ND)
Potência nominal do motor	30 kW	22 kW
Corrente de saída nominal	60 A	44 A
Sobrecarga de corrente	120% durante 60 s 150% durante 3 s	150% durante 60 s 200% durante 3 s

A seleção do modelo foi baseada na sua capacidade de atender aos seguintes requisitos:

- Capacidade de operação: O modelo escolhido irá operar no modo *Normal Duty* (ND), permitindo uma sobrecarga de corrente de até 150% durante 60 segundos e 200% durante 3 segundos, o que proporciona uma margem de segurança durante picos de carga;
- Compatibilidade: A versão do variador em modo ND é projetada para suportar motores de até 22 kW, o que está acima da potência do motor de 18,5 kW, garantindo que o variador opere de forma eficiente, sem sobrecarregar o sistema;
- Flexibilidade e eficiência: O variador oferece excelente desempenho em termos de controle de velocidade e eficiência energética, essencial para o funcionamento eficiente e sustentável da máquina de produção de solas.

5.5.2. DISJUNTOR DE PROTEÇÃO AO VARIADOR

O disjuntor de proteção ao variador desempenha uma função crucial ao garantir a proteção do variador contra sobrecargas, curto-circuitos e falhas na alimentação elétrica. Além de preservar a integridade do variador, este componente também protege o motor associado, aumentando a confiabilidade e a segurança geral do sistema.

Requisitos Técnicos

- Corrente nominal: Compatível com a carga total do motor e as características do variador;
- Capacidade de interrupção: Suportar correntes de curto-circuito típicas do ambiente industrial;
- Curva de disparo tipo C: Adequada para cargas indutivas como motores e variadores, que apresentam picos de corrente na partida.

Seleção e Justificação

Para atender a esses critérios, foi selecionado o disjuntor *ABB SH203-C63* (Figura 5.16), que apresenta:

- Corrente nominal: 63 A, compatível com a carga esperada do sistema;
- Curva de disparo Tipo C: Permite o funcionamento normal do variador e do motor, evitando disparos indevidos durante picos de corrente;
- Capacidade de interrupção: Suporta até 6 kA, proporcionando proteção adequada para curtos-circuitos em ambientes industriais leves;
- Design compacto: Adequado para instalação em quadros elétricos com espaço limitado.



Figura 5.16 – Disjuntor *ABB SH203-C63* [1].

As principais especificações do disjuntor *ABB SH203-C63* estão detalhadas na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Características principais do disjuntor escolhido [1].

Modelo	ABB SH203-C63
Tensão Nominal	400 V AC
Corrente Nominal	63 A
Curva de Disparo	Tipo C
Capacidade de Interrupção	6 kA

5.5.3. MÓDULO DE SAÍDA ANALÓGICA

Devido à ausência de saídas analógicas integradas no autômato Mitsubishi FX3G-60M, foi necessário adicionar um módulo externo que permitisse a geração de sinais analógicos, garantindo a compatibilidade com o variador de frequência e atendendo aos requisitos do sistema de controle da velocidade do motor.

Requisitos Técnicos

Para atender às demandas do sistema, o módulo de saída analógica precisa de cumprir os seguintes requisitos:

- Compatibilidade com o autômato: Integração direta com o *Mitsubishi* FX3G-60M, sem necessidade de adaptadores adicionais;
- Capacidade de gerar sinais analógicos: Oferecer suporte a tensões entre 0 e 10 V DC e correntes entre 4 e 20 mA, conforme requerido pelo variador.

Seleção e Justificação

Com base nos requisitos definidos, foi selecionado o módulo FX3G-1DA-BD (Figura 5.17), da *Mitsubishi*. Este modelo oferece uma solução compacta, projetada para ser conectada diretamente no autômato, simplificando a instalação e reduzindo o espaço necessário. As suas principais características estão apresentadas na Tabela 5.14.

Figura 5.17 – *Mitsubishi* FX3G-1DA-BD [17].

Tabela 5.14 Características principais da carta analógica FX3G-1DA-BD [17].

Número de canais	1 saída analógica
Intervalo de tensão de saída	0 a 10 V DC
Intervalo de corrente de saída	4 a 20 mA DC

5.6. CIRCUITO DE SEGURANÇA

A segurança é um dos pilares fundamentais no desenvolvimento de sistemas industriais, especialmente em equipamentos onde há interação direta entre operadores e máquinas. Neste projeto, foram selecionados diversos componentes de segurança para garantir que o equipamento opere dentro dos parâmetros normativos e minimize os riscos associados a falhas humanas ou mecânicas.

A seleção dos componentes de segurança foi feita com base nos requisitos funcionais do equipamento, na conformidade com normas internacionais, como a EN ISO 13849-1 e a IEC 62061, e na necessidade de proporcionar um sistema seguro, confiável e eficiente. Entre os dispositivos de segurança selecionados estão relés de segurança, chaves de segurança e botão de emergência, que desempenham papéis cruciais no controlo e monitorização de condições críticas do sistema [27].

Neste subcapítulo, serão detalhados os componentes escolhidos para o sistema de segurança do equipamento, para três aplicações principais:

1. Comando bimanual, que protege o operador de ações acidentais ao exigir o uso de ambas as mãos para iniciar movimentos perigosos;
2. Controlo da proteção móvel, que garante que a máquina só opere quando a proteção estiver completamente fechada, impedindo o acesso a áreas perigosas durante o funcionamento;
3. Controlo do botão de emergência e das portas de segurança laterais, que asseguram a interrupção imediata do sistema em caso de emergência ou violação das proteções.

Cada aplicação será descrita com base nos seus requisitos específicos, justificando a seleção dos componentes e detalhando como eles contribuem para o funcionamento seguro do equipamento.

5.6.1. CONTROLO DO BOTÃO DE EMERGÊNCIA E PORTAS DE SEGURANÇA LATERAIS

Para o controlo do botão de emergência e das portas de segurança laterais, o relé de segurança deve ser capaz de desativar a alimentação do PLC em caso acionamento do botão de emergência ou da alteração do estado das proteções laterais.

Requisitos Técnicos

Para o controlo do botão de emergência e das portas de segurança laterais, o relé de segurança deve atender aos seguintes critérios:

- Monitoramento de Entradas de Segurança: Deve ser capaz de monitorizar múltiplos dispositivos de segurança de forma independente, garantindo proteção em caso de falhas ou acionamentos;
- Diagnóstico e Segurança: Deve possuir lógica interna para deteção de falhas em tempo real, como curto-circuitos ou desconexões nas entradas, assegurando confiabilidade no sistema;
- Saídas Seguras: O relé deve oferecer pelo menos uma saída segura redundante, garantindo que, em caso de falha ou acionamento do botão de emergência, a máquina pare imediatamente;
- Reset Manual: Deve permitir a configuração de um reset manual para reativar o sistema após o acionamento do botão de emergência ou a abertura de uma porta de segurança;
- Nível de Segurança: O relé deve atender aos padrões EN ISO 13849-1 (Categoria 4 / PL e) e IEC 62061 (SIL 3), assegurando conformidade com normas internacionais de segurança;
- Indicação de Status: *LEDs* indicadores para mostrar o status das entradas, saídas e condições de falha, facilitando a manutenção e o monitoramento.

Seleção e Justificação

Com base nos requisitos, selecionou-se o relé *S/CK RLY3-EMSS100* (Figura 5.18), com capacidade para atender às necessidades do projeto. A sua utilização é essencial para manter a conformidade com as normas de segurança e evitar acidentes, proporcionando um ambiente de trabalho mais seguro.



Figura 5.18 – Relé de segurança *S/CK RLY3-EMSS100* [30].

As características relevantes para o projeto encontram-se apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 5.15 – Características relevantes do relé de segurança RLY3-EMSS100 [30].

Tensão de Alimentação	24 V DC
Corrente Nominal	4 a 6 mA
Consumo	$\leq 2,5$ W
Nº de entradas	4 entradas de segurança 1 entrada para reset ou controlo dos contactores de entrada
Nº de saídas	2 saídas de corrente de liberação (seguras) 2 saídas de aviso (não seguras) 3 saídas de pulsos de teste (não seguras)
Compatibilidade	Interruptores eletromecânicos e chaves de segurança

5.6.2. COMANDO BIMANUAL

O comando bimanual protege o operador contra possíveis lesões físicas, como ser esmagado ou arrastado contra a máquina, garantindo que ambas as mãos permanecem fora da zona perigosa, enquanto existir perigo.

Requisitos Técnicos

O relé de segurança responsável pela leitura do comando manual deve atender aos seguintes requisitos:

- Compatibilidade com comando bimanual: O relé deve ser capaz de monitorizar dois botões simultaneamente, garantindo que ambos sejam pressionados dentro do intervalo de tempo estipulado pelas normas de segurança;
- Redundância e Segurança: O relé deve possuir canais redundantes para monitorizar entradas e saídas de forma independente, aumentando a segurança e a confiabilidade do sistema;
- Saídas de Segurança: Deve ter pelo menos uma saída segura, responsável por permitir que a máquina realize movimentos;
- Nível de Segurança: Deve atender às normas EN ISO 13849-1 (Categoria 4 / PL e) e EN 574 (Tipo IIIC), assegurando que o comando bimanual impeça falhas perigosas;

Seleção e Justificação

Com base nos requisitos supracitados, foi escolhido o relé de segurança da marca *SICK*, modelo UE42-2HD (ver Figura 5.19).



Figura 5.19 – Relé de segurança *SICK* UE42-2HD [28].

Este dispositivo foi desenvolvido especialmente para o controlo de dispositivos de comando bimanual e, como tal, atende aos requisitos necessários para a sua aplicação neste projeto. Este sistema será implementado no controlo do cilindro de fecho, uma vez que garante que o operador permanece com as duas mãos ocupadas, anulando os riscos associados ao processo.

Abaixo, segue a tabela com as principais características do relé de segurança.

Tabela 5.16 – Características relevantes do relé de segurança *SICK* UE42-2HD [28].

Tensão de Alimentação	24 V DC
Corrente Nominal	5 mA
Consumo	$\leq 2,4$ W
Nº de entradas	2 entradas de segurança 1 entrada para reset
Nº de saídas	2 saídas de segurança (seguras) 1 saída de diagnóstico (não segura)
Compatibilidade	Dispositivos de comando bimanual

5.6.3. RELÉ DE SEGURANÇA PARA CONTROLO DA PROTEÇÃO MÓVEL

O relé de segurança que irá controlar a proteção móvel deve ser capaz de monitorizar o estado da mesma, garantindo que a máquina apenas possa realizar movimentos perigosos se as condições de segurança estiverem reunidas, isto é, se a proteção móvel estiver fechada.

Requisitos Técnicos

O relé de segurança deve atender aos seguintes requisitos funcionais e normativos:

- Tensão de alimentação: 24 V DC, para compatibilidade com o sistema;
- Canais de ativação: O relé deve possuir dois canais de ativação, de modo a ser capaz de monitorizar dois sensores de fim de curso instalados na proteção móvel;

- Redundância e diagnóstico: Deve possibilitar a leitura redundante das condições da proteção, aumentando a confiabilidade do sistema e permitindo a detecção de falhas nos sensores ou no próprio relé;
- Níveis de segurança: Atender a normas de segurança relevantes, como: EN ISO 13849-1;
- Desempenho fiável: As saídas do relé devem garantir interrupção imediata em caso de falha ou abertura da proteção móvel;
- Saídas de segurança: O relé deve contar com, no mínimo, duas saídas seguras, que serão utilizadas para acionar as bobinas de dois contactores de forma redundante.

Seleção e Justificação

Com base nos requisitos definidos, selecionou-se o relé de segurança SICK UE48-20S2D2, representado na Figura 5.20.



Figura 5.20 – Relé de segurança SICK UE48-20S2D2 [29].

A escolha deste relé foi fundamentada pela sua capacidade de atender aos requisitos técnicos necessários para a sua implementação. As suas características principais são apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 5.17 – Características relevantes do relé de segurança SICK UE48-20S [29].

Tensão de Alimentação	24 V DC
Corrente Nominal	5 mA
Consumo	$\leq 2,1$ W
Nº de Entradas	2 entradas de segurança 1 entrada para reset
Nº de Saídas	2 saídas de segurança (seguras) 1 saída de diagnóstico (não segura)
Compatibilidade	Equipamentos de segurança optoelectrónicos Tapetes de comutação Dispositivos de comando de segurança Chaves de segurança
Nível de Segurança	Categoria 4 (EN ISO 13849-1) SIL 3 (IEC 62061)

5.7. DESENVOLVIMENTO DO QUADRO ELÉTRICO DO EQUIPAMENTO

Após a escolha dos componentes necessários para o sistema a automatizar, foi possível determinar as dimensões necessárias para a construção do quadro elétrico, assim como o local ideal para a sua instalação. O quadro elétrico do sistema de automação antigo estava dividido em duas partes, e a sua localização é mostrada na Figura 5.21.

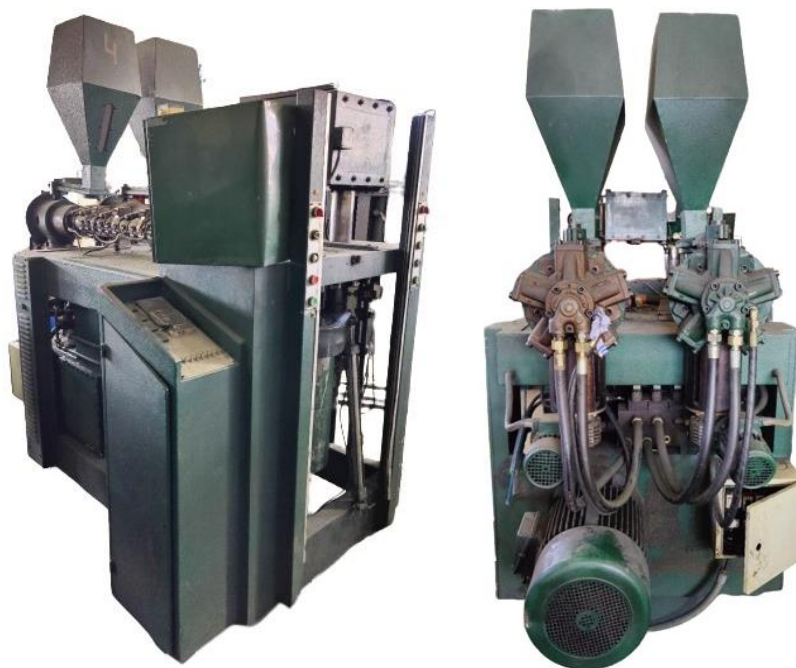


Figura 5.21 – Localização do quadro elétrico do sistema de automação antigo.

Para o sistema de automação a desenvolver, não se pretendia adotar esta solução, mas sim produzir um único quadro elétrico que permitisse a colocação de todos os componentes listados anteriormente. Uma vez que não existiam espaços internos que permitissem embutir o quadro elétrico no equipamento, poderiam ser adotadas duas soluções distintas:

- Produção do quadro elétrico como uma estrutura independente da máquina, para colocação ao seu lado;
- Alteração do depósito hidráulico de forma a permitir o encastramento do quadro elétrico na lateral da máquina.

Das soluções apresentadas, a primeira seria a de maior facilidade de implementação, uma vez que não seriam necessárias alterações estruturais. Porém, a máquina ficaria com duas estruturas independentes, tornando o sistema menos compacto, dificultando o transporte e aumentando o espaço ocupado pelo mesmo. Assim, optou-se pela implementação da segunda solução.

5.7.1. ALTERAÇÃO DO RESERVATÓRIO HIDRÁULICO

Num sistema hidráulico industrial, o reservatório do óleo tem como funções fundamentais [24]:

- Acondicionar o óleo utilizado pelo sistema, possuindo fluido suficiente para suprir o volume exigido pelos cilindros, atuadores e quaisquer acumuladores presentes no circuito;
- Proporcionar a estabilização do óleo, isto é, permitir que o fluido que retorna ao tanque fique algum tempo dentro do reservatório antes de ser enviado novamente para o circuito pela bomba. Isto permite que o fluido liberte o ar formado pela sua movimentação e deposite as impurezas provenientes do desgaste mecânico dos componentes do circuito;
- Dissipar o calor gerado pelo sistema.

O dimensionamento de um reservatório deve ser realizado em função dos seguintes parâmetros:

- Caudal da bomba, onde o volume do reservatório deve ser 2 a 4 vezes o caudal da bomba;
- Volume de ar disponível, que deve ser 10 a 15% do volume do reservatório;
- Capacidade de arrefecimento.

A localização do reservatório hidráulico do equipamento está ilustrada na Figura 5.22. Originalmente, devido à impossibilidade de controlar a velocidade de rotação do motor elétrico, o dimensionamento deste reservatório foi realizado considerando a velocidade nominal de rotação do motor elétrico. Este possui um volume total de 246 dm^3 , acomodando cerca de 222 L de óleo.

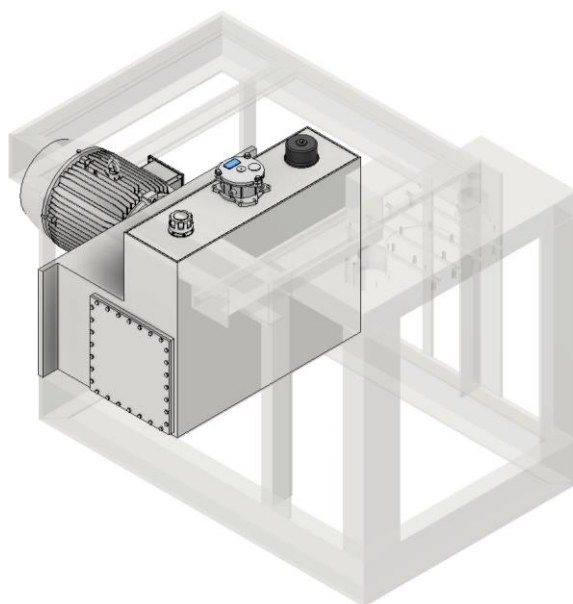


Figura 5.22 – Localização do reservatório hidráulico.

Com a implementação do variador de velocidade, será possível a alteração da velocidade de rotação do motor de indução. Isto permitirá alterar a velocidade de rotação da bomba dupla e, conseqüentemente, variar o seu caudal. Durante os períodos de inatividade da máquina, ou seja, quando

não há necessidade de movimentos hidráulicos, a bomba funcionará na velocidade mínima recomendada, operando no caudal máximo apenas quando os movimentos forem requeridos.

Essa mudança possibilita o dimensionamento do reservatório hidráulico com base no caudal médio ao qual a bomba estará submetida. Na Tabela 5.18 estão descritas as características da bomba hidráulica.

Tabela 5.18 – Características da bomba hidráulica dupla.

Modelo da bomba	PFED-43/056/010
Capacidade do primeiro elemento [cm^3/rev]	56
Capacidade do segundo elemento [cm^3/rev]	10
Velocidade mínima admissível [rpm]	800
Velocidade máxima admissível [rpm]	2500

Com a possibilidade de variar a velocidade de rotação da bomba, o cálculo será realizado considerando o caudal médio a que a bomba poderá operar. Em relação à velocidade mínima, considerou-se como sendo 800 rpm , uma vez que este é o valor mínimo que a bomba pode operar sem danificar os seus componentes. Já a velocidade máxima foi escolhida como 2000 rpm , garantindo uma margem de operação eficiente e segura. Considerando estes valores, obtém-se uma rotação média de 1400 rpm . Sabendo que a capacidade total da bomba é de 66 cm^3/rev , obtém-se um caudal médio de 92,4 dm^3/min . Uma vez que o volume mínimo de óleo necessário para um sistema hidráulico deve ser duas vezes o caudal da bomba, obtém-se um volume de pelo menos 184,8 dm^3 de óleo. Assim, conclui-se que o volume do reservatório poderá ser diminuído sem comprometer o correto funcionamento do sistema.

Para integrar o quadro elétrico na estrutura da máquina, seria necessária uma profundidade de 200 mm . Este valor foi determinado pelas dimensões do maior componente a ser acomodado, o variador de velocidade. A fim de minimizar os custos de implementação, as alterações no reservatório foram planeadas para reduzir o número de modificações necessárias. No lateral direita do equipamento, local onde será implementado o quadro elétrico, apenas existia uma profundidade de 70 mm . Como tal, foi necessário deslocar o reservatório hidráulico, assim como reduzir à sua largura, de forma a obter a profundidade pretendida.

Assim, foi necessária uma redução de 10% do volume do reservatório, obtendo um volume total de 220 dm^3 , permitindo acomodar 206 L de óleo. Uma vez que estes valores se encontram dentro dos

valores recomendados, esta alteração do depósito não acarreta possíveis dano à bomba. A alteração do reservatório hidráulico está representada na Figura 5.23.

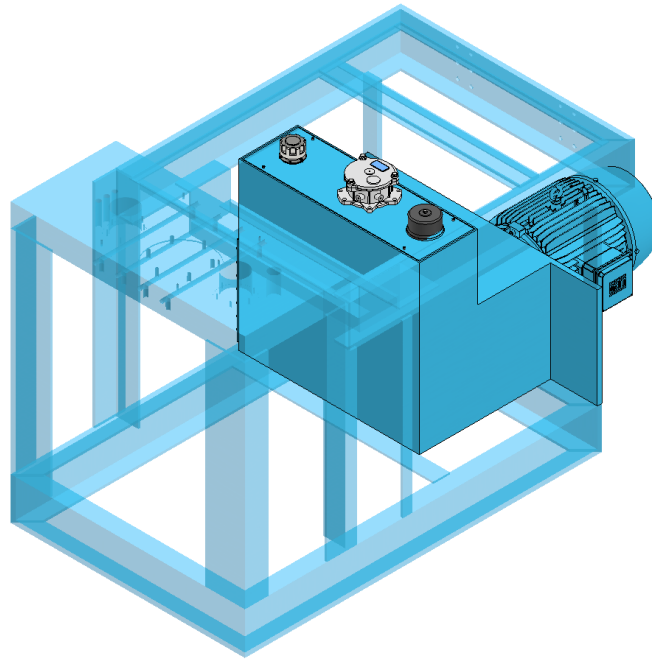


Figura 5.23 – Alteração do reservatório hidráulico para implementação do quadro elétrico.

5.7.2. DESENVOLVIMENTO DO QUADRO ELÉTRICO

O quadro elétrico foi desenvolvido considerando as dimensões necessárias para o encastramento na máquina e os componentes enunciados anteriormente. A vista explodida do modelo pode ser visualizada na Figura 5.24.

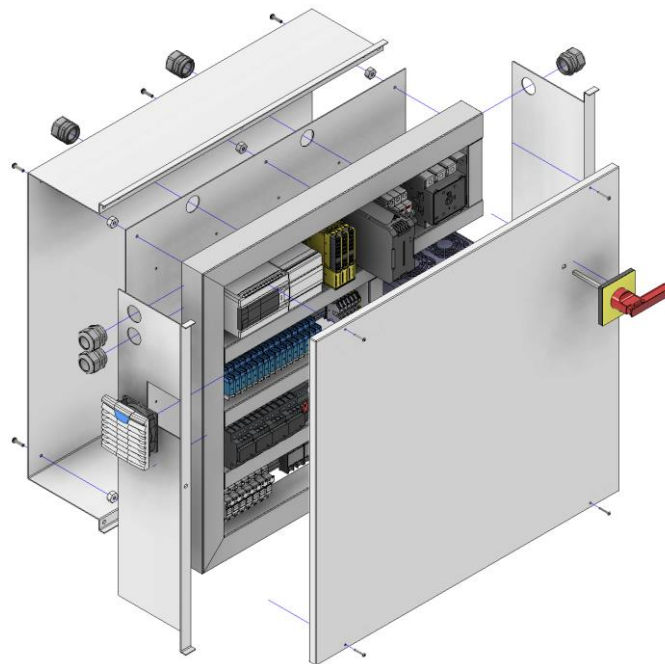


Figura 5.24 – Vista explodida do quadro elétrico.

Na Figura 5.25 pode ser visualizada a configuração dos componentes eletrónicos a utilizar no sistema de automação desenvolvido.

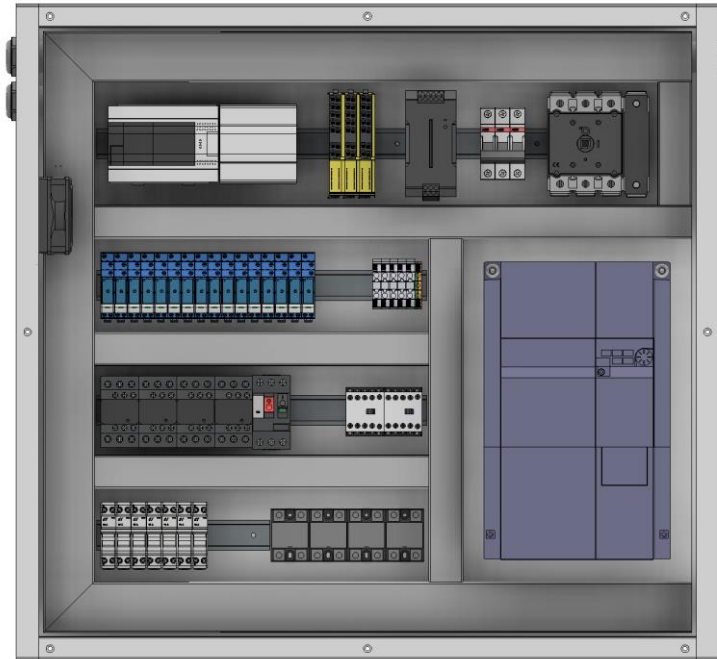


Figura 5.25 – Configuração dos componentes no quadro elétrico.

6. SISTEMA DE COMANDO DO EQUIPAMENTO

Neste capítulo, será apresentada a modernização do sistema de comando da máquina de produção de solas, com o intuito de aprimorar a eficiência operacional e o controle do processo. A reformulação envolve a substituição do autômato antigo por um novo modelo, mais avançado, e a instalação de uma consola moderna com interface intuitiva, que facilitará a alteração e monitorização dos parâmetros críticos do processo. A arquitetura de comando desenvolvida será detalhada, abordando os diferentes modos de funcionamento, bem como os sensores e atuadores essenciais para garantir o bom desempenho do sistema. Além disso, será discutida a integração de um variador de frequência, cuja principal finalidade é otimizar o consumo energético da máquina, permitindo também o controle dinâmico da velocidade de rotação dos extrusores.

6.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE COMANDO EXISTENTE

A máquina de produção de solas, fabricada na década de 90, apresenta um sistema de comando obsoleto, composto por um autômato antigo e uma consola rudimentar, com capacidade limitada de interação e funcionalidades restritas.

Outro ponto crítico está relacionado à conformidade com as normas de segurança atuais. O sistema de comando da máquina não possui um modo de paragem de emergência, representando um risco significativo em caso de falha ou operação inadequada. Além disso, o sistema existente não suporta a integração de um variador de frequência, pois não permite a comunicação necessária para o seu funcionamento, limitando as possibilidades de modernização e otimização.

Diante deste cenário, o objetivo principal deste capítulo é realizar a reformulação completa do sistema de comando da máquina, trazendo-a para os padrões atuais de segurança, eficiência e confiabilidade. Para isso, serão implementados os seguintes pontos:

- Substituição do autômato e da consola: Instalação de um autômato moderno, capaz de se comunicar com outros dispositivos, e de uma consola com tela intuitiva, permitindo a criação de interfaces gráficas personalizadas e fáceis de operar;
- Adequação às normas de segurança: Inclusão de dispositivos de paragem de emergência e elementos adicionais para garantir a segurança durante a operação do equipamento;
- Integração de um variador de frequência: Controle dinâmico da velocidade do motor da bomba hidráulica, permitindo ajustes na rotação dos extrusores e garantindo eficiência energética.

Estas melhorias têm como objetivo otimizar a operação do equipamento, reduzir o consumo energético, aumentar a segurança, facilitar a manutenção e proporcionar maior flexibilidade ao processo produtivo.

6.2. ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE COMANDO DESENVOLVIDO

O sistema desenvolvido é sequencial e controlado por eventos discretos, sendo especificado de acordo com o formalismo Grafcet, em conformidade com a norma IEC 60848, que é especialmente indicada para aplicações desse tipo [16]. Em comparação com a programação direta em Ladder, essa abordagem proporciona uma representação gráfica clara e intuitiva, facilitando tanto o desenvolvimento quanto a manutenção do comando do sistema. Para além disso, a estruturação do comando foi baseada no modelo GEMMA.

Para a edição e simulação de todo o programa da máquina, foi utilizado o *software Automation Studio*, que oferece ferramentas avançadas para modelagem e validação do comportamento do sistema.

Para o funcionamento eficiente do equipamento, foram definidos três modos principais:

- Modo Manual: Permite a execução de operações individuais, sendo usado para testes, ajustes e monitorização das diferentes etapas do processo de produção de solas;
- Modo Automático: Realiza a produção de solas de forma completamente autónoma, executando uma sequência pré-definida de etapas até à finalização do ciclo produtivo;
- Modo de Paragem de Emergência: Garante a interrupção imediata de todos os movimentos da máquina em situações de risco ou emergência.

De seguida, serão apresentados os modos de funcionamento de forma detalhada, abordando as suas especificidades, os fluxogramas associados e as estratégias de coordenação.

6.2.1. COORDENAÇÃO DOS MODOS DE FUNCIONAMENTO

A alternância entre os modos de funcionamento é realizada por meio do interruptor seletor de duas posições. Sempre que a posição do seletor for alterada de automático para manual, a operação em curso no modo automático é imediatamente interrompida.

O comportamento do sistema em relação à coordenação dos modos é representado no fluxograma da Figura 6.1. Em situações normais, ou seja, na ausência de emergências, o sistema alterna entre os modos manual e automático com base na posição do seletor.

Para facilitar a identificação do modo ativo, o LED do interruptor seletor é iluminado apenas quando o modo automático está selecionado.

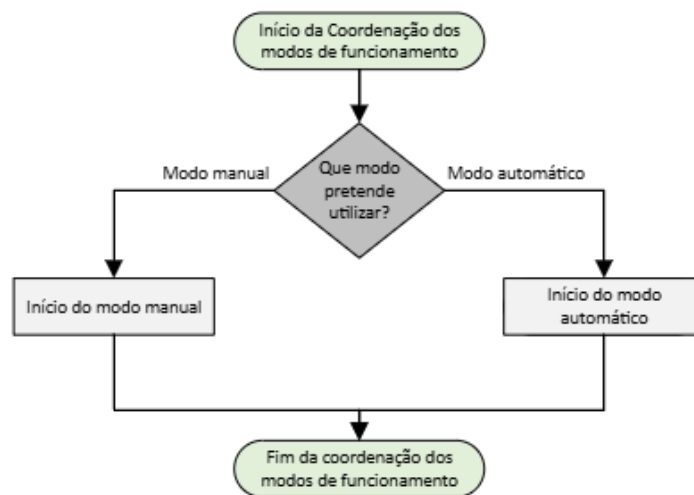


Figura 6.1 – Fluxograma relativo à coordenação dos modos de funcionamento.

6.2.2. MODO MANUAL

No modo manual, o operador pode executar individualmente qualquer uma das etapas do processo, sem a necessidade de seguir a ordem sequencial do ciclo automático, sendo útil para:

- Testar componentes específicos ou operações individuais;
- Ajustar o funcionamento de determinados processos;
- Diagnosticar e corrigir falhas ou avarias no sistema.

O fluxograma referente ao funcionamento do modo manual está representado na Figura 6.2, e o respectivo Grafcet encontra-se detalhado no Apêndice F.

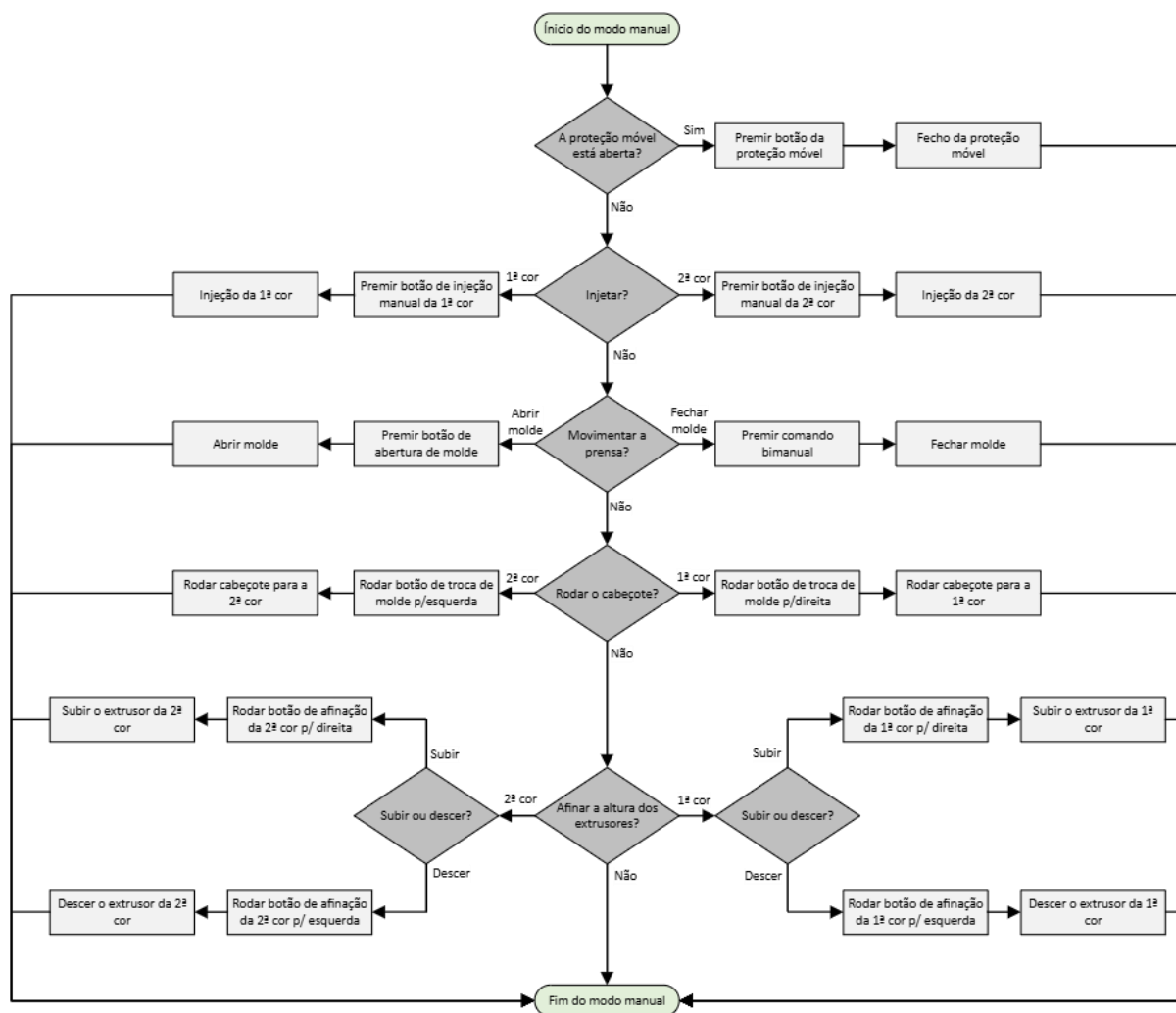


Figura 6.2 – Fluxograma do modo manual.

6.2.3. MODO AUTOMÁTICO

O modo automático corresponde à porção de comando responsável pela produção de solas de forma totalmente autónoma. Neste modo, o operador apenas necessita de dar o comando para início do processo, onde a máquina executará automaticamente uma sequência de etapas até produzir um par de solas. No final do ciclo, o operador deve remover as solas do molde, podendo reiniciar o processo para uma nova produção.

Este modo deve ser flexível o suficiente para permitir modificações no processo, de acordo com as necessidades de produção. O operador pode seleccionar se a máquina vai produzir solas bicolores, com a extrusão das duas cores, ou solas monocolors, com a operação de apenas um extrusor.

No modo monocolor, o sistema deve possibilitar o uso tanto do extrusor responsável pela primeira cor, quanto do extrusor da segunda cor, oferecendo maior versatilidade ao processo produtivo.

Além disso, a máquina deve permitir a seleção da paragem do cabeçote a 90 graus durante a retirada das solas. Essa rotação pode ser seleccionada não só para facilitar a retirada das solas, mas também para aplicação de algum componente na sola antes do ciclo, garantindo uma operação mais eficiente e ergonómica para o operador.

Para além disto, este modo deve também permitir a modificação de parâmetros essenciais para garantir a operabilidade com diferentes modelos de solas. Como cada modelo possui características próprias, é importante ajustar as seguintes variáveis:

- Tempo de injeção;
- Tempo de pausa entre injeção e retardo;
- Tempo de retardo;
- Tempo de arrefecimento da sola;
- Tempo de insuflação durante a injeção;
- Tempo de insuflação após a injeção;
- Temperatura dos extrusores;
- Velocidades de injeção e retardo.

Para garantir a flexibilidade do modo automático, é fundamental a implementação da consola. Esta interface será crucial para ajustar a operação da máquina conforme as especificações de cada tipo e modelo de sola, garantindo que o processo seja adaptável e eficiente, independentemente das características do material ou do design das solas.

O fluxograma relativo a este modo encontra-se esquematizado na Figura 6.3, com a especificação do comando presente no Apêndice F.

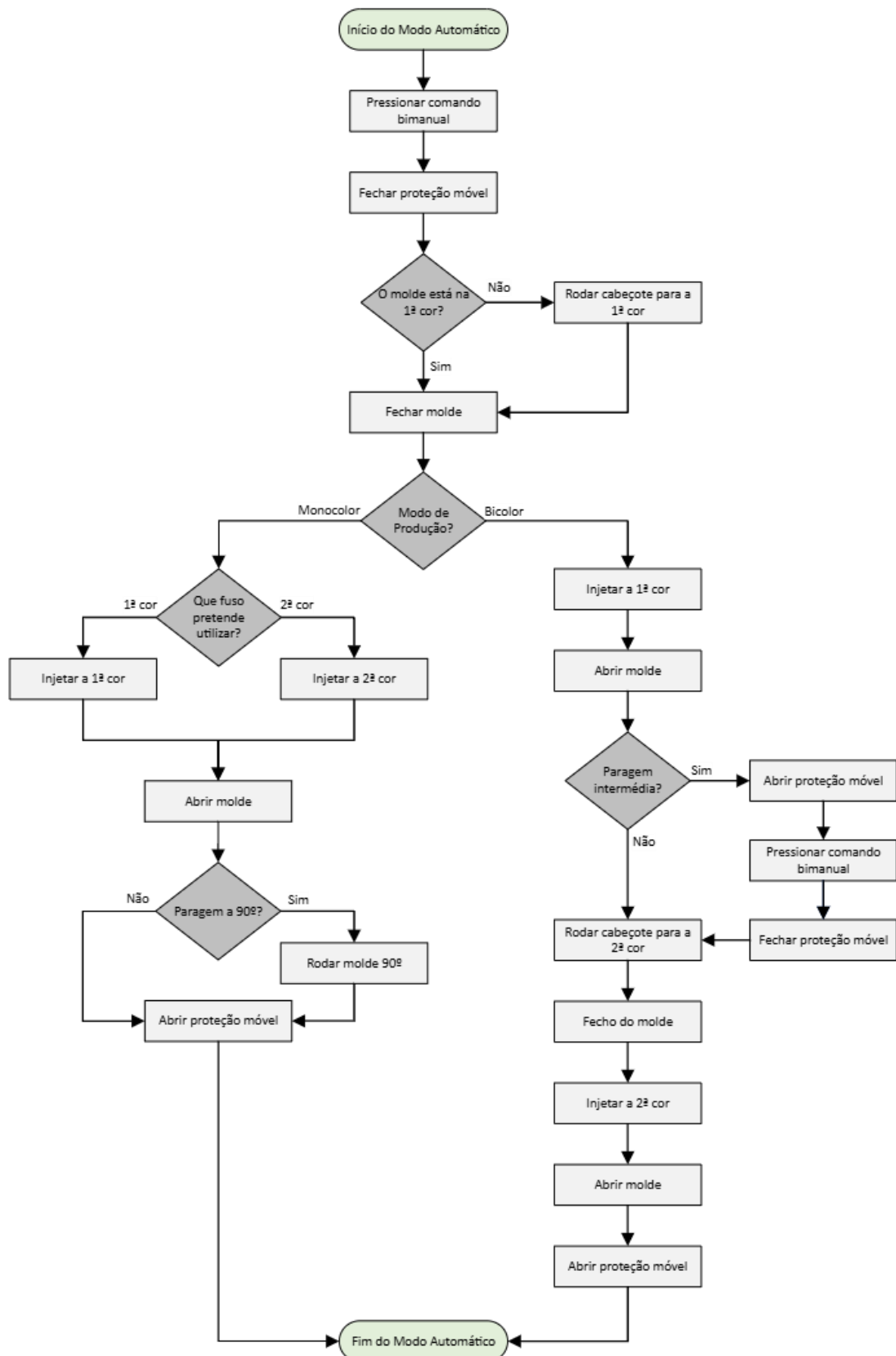


Figura 6.3 – Fluxograma do modo automático.

6.2.4. MODO DE PARAGEM DE EMERGÊNCIA

O modo de paragem de emergência é concebido para ser ativado em situações de risco, como colisões iminentes, falhas técnicas críticas ou qualquer condição que represente perigo para os operadores, equipamento ou o ambiente de trabalho. A sua ativação resulta na interrupção imediata de todos os movimentos da máquina, garantindo segurança instantânea.

Para assegurar acesso universal e imediato, o modo de emergência é acionado a partir de qualquer estado da máquina, de duas formas distintas: pressionando o botão de emergência ou abrindo uma das proteções laterais. O comportamento deste modo está ilustrado no fluxograma da Figura 6.4.

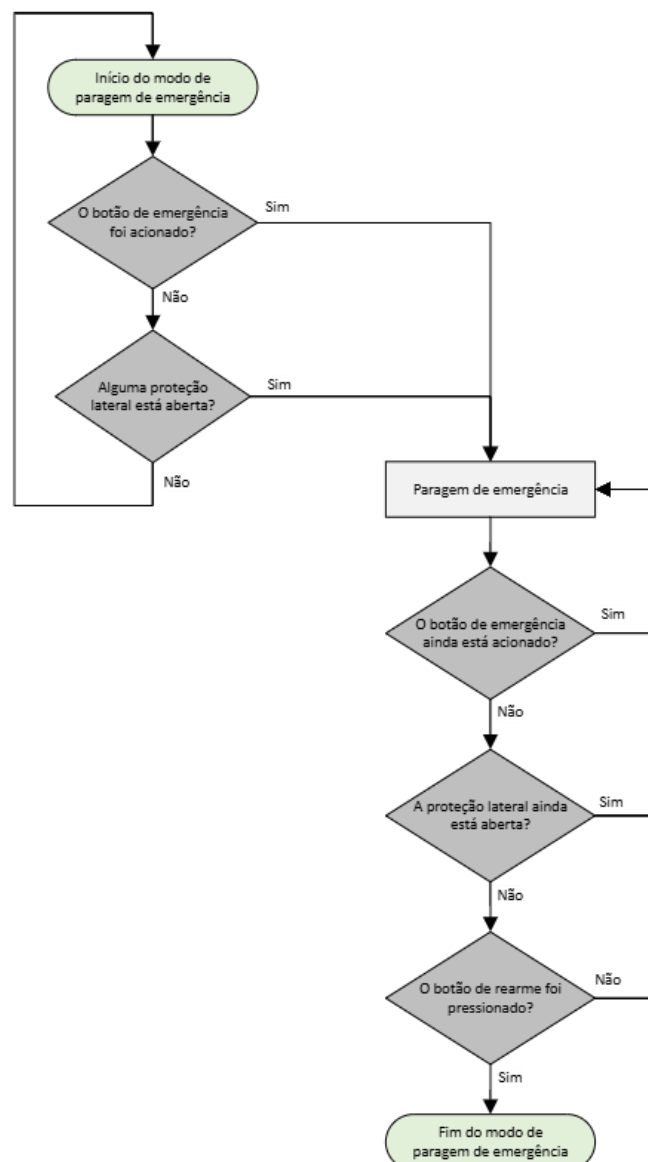


Figura 6.4 – Fluxograma do modo de paragem de emergência.

Contrariamente aos outros modos, o modo de paragem de emergência não será diretamente controlado pelo PLC. A monitorização do estado do botão de emergência será realizada por um relé de

segurança, responsável pelo fornecimento de corrente ao sistema de comando. Caso um destes componentes altere o seu estado, o relé corta o suprimento de energia, interrompendo os movimentos da máquina.

Assim que as condições de segurança estejam estabelecidas, é necessário pressionar o botão de rearme, fazendo a inicialização do PLC, com:

- *Set* dos estados iniciais dos dois modos principais da máquina (manual e automático);
- *Reset* dos restantes estados, garantindo que nenhum movimento seja realizado.

6.3. VARIÁVEIS DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA

As variáveis de entrada têm a função de monitorizar o estado do sistema e os comandos provenientes do operador. Estas capturam informações provenientes de sensores e outros dispositivos de controlo, permitindo que o sistema acompanhe as condições operacionais e as instruções fornecidas pelo operador. Por outro lado, as variáveis de saída são responsáveis por controlar os dispositivos e equipamentos da máquina, acionando as funções necessárias para a execução do processo, como movimentação de componentes ou ajustes de parâmetros operacionais.

No Apêndice E, encontram-se detalhadas todas as variáveis essenciais para a implementação do comando da máquina. A seguir, será apresentada uma descrição introdutória das variáveis presentes no sistema, organizadas em dois grupos principais, a fim de facilitar sua compreensão:

- Físicas: associadas diretamente a componentes como sensores, botões ou atuadores da máquina;
- Configuráveis: definidas pelo operador na consola para ajustar os parâmetros de operação.

6.3.1. VARIÁVEIS DE ENTRADA

As variáveis de entrada representam os sinais que monitorizam o estado do sistema ou definem os comandos do operador.

- Entradas Físicas:
 - Botões (booleanas): correspondem aos botões físicos necessários para controlar o sistema, como por exemplo os botões de comando bimanual para dar início ao ciclo;
 - Fins de curso (booleanas): sinais que indicam a posição de elementos móveis do sistema, como o fim de curso de molde aberto ou da posição do cabeçote.
- Entradas Configuráveis:

- Funções (booleanas): permitem alterar o comportamento do sistema, consoante o tipo de produção desejada, como escolher produção monocolor ou bicolor;
- Tempos (numéricas): representam os tempos associados ao processo, indispensáveis para garantir a correta formação das solas;
- Velocidades (numéricas): correspondem às velocidades seleccionadas para os diferentes processos, a serem enviadas para o variador de frequência.

6.3.2. VARIÁVEIS DE SAÍDA

As variáveis de saída controlam os dispositivos e equipamentos que realizam as operações da máquina. Também foram organizadas em duas categorias:

- Saídas Físicas:
 - Solenoides de Válvulas Hidráulicas (booleanas): permitem a realização dos movimentos hidráulicos, como o fecho do molde;
 - Solenoides de Válvulas Pneumáticas (booleanas): permitem a realização dos movimentos pneumáticos, como a insuflação.
- Saídas Configuráveis:
 - Saída Analógica para o Variador de Velocidade: controla a velocidade do motor principal, ajustando a intensidade necessária para cada processo.

6.4. PROGRAMAÇÃO DO PLC

Após a definição do comando para o equipamento, procedeu-se ao desenvolvimento da programação do autómato utilizando o *software GX Works2* da *Mitsubishi*. A programação foi realizada utilizando a linguagem *Ladder/FBD*. Essa abordagem facilita a conversão direta do formalismo Grafcet para Ladder, além de possibilitar a utilização de blocos de funções pré-definidos, o que não apenas simplifica o processo de programação, mas também contribui para a redução do número de linhas de código necessárias.

A fim de garantir uma organização mais eficiente do programa, o código foi segmentado em módulos distintos, de acordo com a sua funcionalidade. Os seguintes módulos foram criados:

- Manual: parte do programa referente à programação do modo manual;
- Automático: secção do programa referente à programação do modo automático;
- Insuflação: porção do programa responsável pelo controlo dos diferentes tipos de insuflação;
- Analógica: referente à programação da saída analógica do variador de velocidade;

- Temperatura: parte do programa relativo à programação da temperatura dos extrusores.

As variáveis de entrada e saída do PLC foram definidas no separador variáveis globais do sistema, de acordo com as ligações presentes no esquema elétrico do equipamento (Apêndice E). Por outro lado, foram também definidas neste separador as variáveis correspondentes a endereços de memória do PLC.

6.4.1. PROGRAMAÇÃO DA SAÍDA ANALÓGICA

O PLC selecionado possui duas *slots* de expansão disponíveis para a instalação da carta analógica FX3G-1DA-BD, tal como mostra a Figura 6.5. Cada uma destas possui um conjunto de relés auxiliares especiais para o controlo da carta analógica.

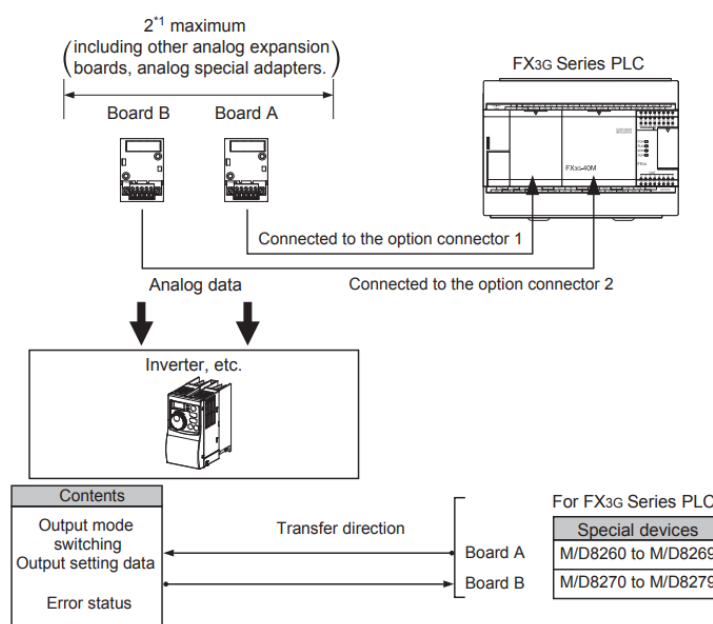


Figura 6.5 – Instalação da carta analógica FX3G-1DA-BD na série FX3G [17].

A instalação da carta no PLC atribui automaticamente endereços especiais para a programação da mesma, consoante a posição:

- M8270: memória auxiliar que altera o modo de saída (*OFF*: saída a tensão; *ON*: saída a corrente);
- D8270: registo de dados que converte o valor digital inserido para a saída analógica.

Neste caso, uma vez que será utilizada a saída em tensão, o estado da memória M8270 deverá permanecer desligado (*OFF*), permitindo a saída de 0 a 10V. O valor inserido no registo D8270 deve estar compreendido entre 0 e 4000, correspondendo a uma conversão proporcional da saída analógica, conforme ilustrado no gráfico a seguir.

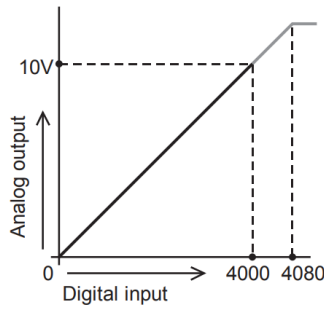


Figura 6.6 – Relação entre o valor digital inserido e a saída analógica [17].

Foi criado um registo D0 onde será escrito o valor desejado para a saída analógica. Esse valor é enviado continuamente para a saída analógica através do bloco *MOV*, utilizando um contacto sempre *TRUE* para garantir a transmissão constante do valor para a saída.

Durante os tempos ociosos do processo, a intenção é que o motor opere na velocidade mínima permitida pela bomba, possibilitando uma redução no consumo de energia. Para isso, o valor correspondente à rotação mínima é mantido em D0, garantindo o funcionamento eficiente e económico do motor elétrico.

Por outro lado, quando for necessária alguma operação na máquina, é enviado um novo valor para D0, que irá ajustar a velocidade conforme a necessidade do processo. Como tal, foram criados registos de dados correspondentes a cada uma destas velocidades, possibilitando que o valor inserido em D0 seja alterado conforme a operação selecionada.

Determinação da Velocidade de Rotação do Fuso:

Para determinar a velocidade final do fuso, foram consideradas as relações entre os diferentes componentes do sistema de acionamento hidráulico. O caudal fornecido pela bomba hidráulica em função de sua capacidade volumétrica (V_b) e da velocidade de rotação do motor elétrico (N_{me}), através da seguinte fórmula:

$$Q_b = V_b \times N_{me}$$

Com o caudal da bomba, pode-se determinar a velocidade do motor hidráulico (N_{mh}) responsável pela rotação do fuso do extrusor. Uma vez que a transmissão de movimento é direta, a velocidade de rotação do motor hidráulico corresponde à velocidade de rotação do fuso (N_f), pelo que se tem:

$$N_f = N_{mh} = \frac{V_b \times N_{me}}{V_{mh}}$$

Relativamente à bomba hidráulica, o sistema de comando permite a operação utilizando o elemento de maior capacidade da bomba dupla, 56 cc/rot , ou a combinação dos dois elementos, 66 cc/rot . Por outro lado, os motores hidráulicos têm capacidades de 289 cc/rot . Considerando o

sistema antigo, em que o motor elétrico operava constantemente na sua velocidade nominal de 1450 *rpm*, obtém-se as seguintes velocidades de rotação:

$$\text{Para } 56 \text{ cc/rot} \rightarrow N_f = 281 \text{ rpm}$$

$$\text{Para } 66 \text{ cc/rot} \rightarrow N_f = 331 \text{ rpm}$$

Gama de Velocidades Permitida:

Posto isto, definiu-se a gama de velocidades que os extrusores poderiam operar. Para a velocidade mínima permitida, considerou-se a velocidade mínima permitida pela bomba hidráulica, de modo a preservar a sua integridade. Como a bomba suporta uma velocidade mínima de 800 *rpm*, foi adotado um valor mínimo de segurança de 850 *rpm*. Considerando a menor capacidade disponibilizada pela bomba, obtém-se uma velocidade mínima de:

$$N_f = 165 \text{ rpm}$$

Relativamente à velocidade máxima, estabeleceu-se que o motor elétrico poderá operar até um limite de 1800 *rpm*. Este valor foi definido como uma margem segura para evitar possíveis danos mecânicos ou térmicos ao motor, preservando sua durabilidade e eficiência operacional. Para a capacidade de 56 *cc/rot*, tem-se:

$$N_f = 349 \text{ rpm}$$

Caso o operador necessite de maior velocidade, poderá realizar o processo utilizando a capacidade dos dois elementos, conseguindo uma velocidade máxima de:

$$N_f = 411 \text{ rpm}$$

Assim, com a implementação do variador, tornou-se possível variar a velocidade de rotação dos extrusores entre 165 *rpm* e 411 *rpm*, ampliando a flexibilidade operacional do sistema.

6.4.2. PROGRAMAÇÃO DO CONTROLO DA TEMPERATURA

O controlo da temperatura dos extrusores foi projetado para garantir precisão e estabilidade durante o processo de aquecimento, definindo-se duas zonas de aquecimento para cada extrusor. O controlo das zonas de aquecimento será realizado por meio de um sistema PID (Proporcional-Integral-Derivativo), que oferece uma regulação eficiente, permitindo alcançar e manter a temperatura ideal com precisão, reduzindo variações que possam comprometer o processo.

A comunicação entre o PLC e a carta de controlo é feita através de buffers, que armazenam informações específicas sobre o processo, como, por exemplo, o *SetPoint* e a variável de processo. Na programação do controlo de temperatura, são utilizadas as instruções *FROM* e *TO*, que permitem a leitura e escrita de dados nas áreas de memória específicas (*buffers*) do PLC. A instrução *FROM* é usada para

ler dados das *buffers*, enquanto a instrução *TO* é utilizada para enviar ou atualizar valores nelas. Este método de comunicação garante que o sistema obtenha dados em tempo real e atue conforme necessário para manter o controlo eficiente da temperatura.

Assim, estruturou-se a programação para:

- Monitorização contínua: o módulo *FX3U-4LC* regista as temperaturas em tempo real de cada zona de aquecimento, através da leitura dos termopares;
- Faixas de segurança: foram implementados limites de temperatura para evitar sobreaquecimentos ou valores muito baixos que possam prejudicar o material e o sistema;
- Definição de alertas: caso alguma temperatura ultrapasse os limites definidos, o sistema emitirá um alerta e bloqueará a extrusão até que as condições ideais sejam restabelecidas;
- Interface de operação: o sistema permite que o operador visualize e ajuste os valores de temperatura diretamente na consola da máquina, promovendo maior flexibilidade e controlo operacional.

6.5. PROGRAMAÇÃO DA CONSOLA

A programação da consola (Figura 6.7) foi desenvolvida com o objetivo de permitir a monitorização e alteração de parâmetros essenciais para o processo de produção de solas. A sua programação foi realizada no *software EasyBuilder Pro*, envolvendo a criação de um conjunto de ecrãs interativos que possibilitam navegar entre as diferentes funções, de acordo com os parâmetros que se pretende ajustar.

Cada ecrã inclui um conjunto de botões e indicadores visuais que estão vinculados a endereços de memória no PLC. Cada comando ou alteração feita pelo operador é refletida imediatamente no PLC, que processa as informações e executa as ações correspondentes no sistema, proporcionando um controlo preciso e eficiente sobre o processo.

Em relação à segurança, foram definidos limites para parâmetros críticos, a fim de evitar danos ao equipamento. Caso o operador tente definir um valor fora desses limites, o sistema corrige automaticamente para o valor mínimo ou máximo admissível, garantindo a proteção do sistema e mantendo a operação dentro de parâmetros seguros.

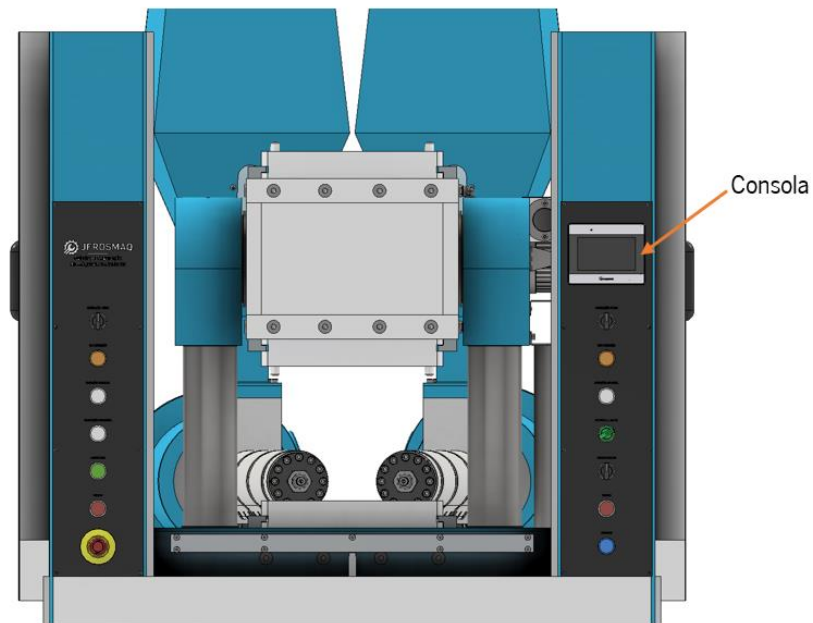


Figura 6.7 – Localização da consola no equipamento.

A seguir, serão apresentados os ecrãs de acordo com a sua aplicação prática, começando pelo menu principal, que serve como ponto de partida para a navegação pelas diversas funcionalidades da consola.

Menu Principal:

Primeiramente, criou-se um ecrã principal (Figura 6.8), que mostra o logótipo da empresa e permite saltar para qualquer um dos restantes ecrãs desenvolvidos. Os restantes ecrãs foram divididos consoante o tipo de variáveis a alterar.



Figura 6.8 – Ecrã correspondente ao menu principal.

Tipo de Produção:

O ecrã seguinte (Figura 6.9) permite ligar/desligar a unidade energética e definir um tempo de inatividade que, quando ultrapassado, faz desligar a unidade energética para poupança de energia. As restantes variáveis apresentadas neste ecrã permitem alterar o tipo de produção e, consequentemente, o comportamento da máquina.

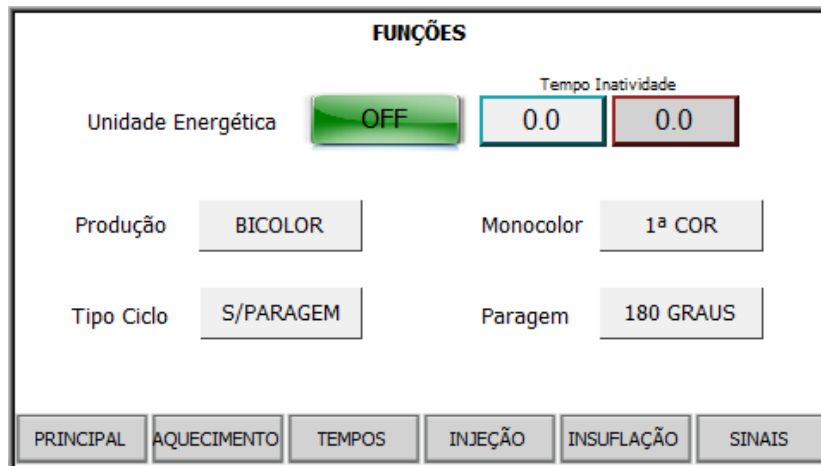


Figura 6.9 – Ecrã que permite definir o tipo de produção.

Controlo da Temperatura:

O próximo ecrã diz respeito ao controlo da temperatura dos extrusores (Figura 6.10). Este permite ligar ou desligar o aquecimento, assim como controlar a temperatura de *SetPoint* pretendida e visualizar a temperatura atual medida pelas sondas. Por último, cada zona dos extrusores possui um led que acende quando o sistema está a aquecer.

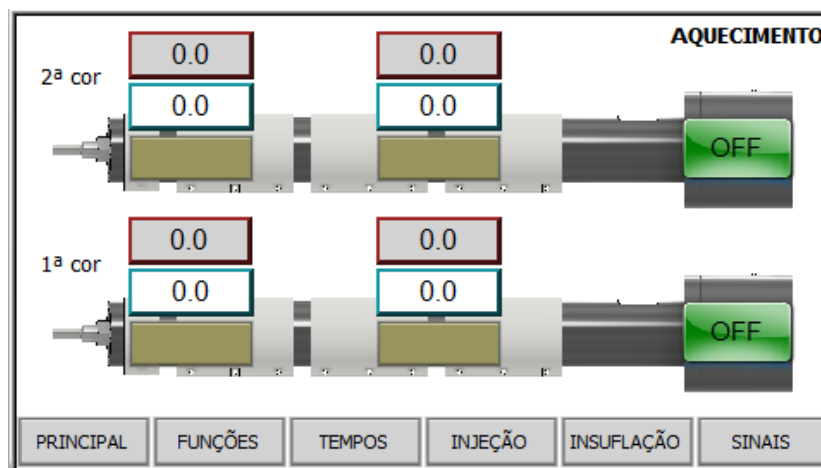


Figura 6.10 – Ecrã para o controlo da temperatura dos extrusores.

Alteração dos Tempos do Processo:

Os ecrãs seguintes permitem alterar variáveis que irão influenciar diretamente o processo de produção de solas. Sem esta possibilidade, torna-se difícil fabricar produtos com qualidade, uma vez que cada modelo de sola é único e, como tal, os parâmetros adequados para o seu fabrico são diferentes. O primeiro ecrã está representado na Figura 6.11 e permite alterar os tempos necessários para adequar o processo ao tipo de sola.

Figura 6.11 – Ecrã que permite ajustar tempos associados ao processo.

Ademais, foi criado um ecrã para o controlo da injeção (Figura 6.12), que permite ao operador alterar as velocidades de rotação dos extrusores. O valor escrito no endereço de memória é comunicado ao PLC, responsável por comunicar com o variador assim que for necessária a injeção. De notar que para este feito foram definidos uma velocidade mínima e máxima de rotação, de forma proteger o motor e a bomba hidráulica. Por outro lado, é possível controlar se a injeção é realizada utilizando o caudal máximo da bomba, isto é, utilizando os dois elementos da bomba dupla, ou se apenas é utilizado o elemento de maior caudal.

Figura 6.12 – Ecrã relativo à injeção.

Controlo da Insuflação:

Depois, criou-se um ecrã para o controlo da insuflação do molde, presente na Figura 6.13. Este permite ligar/desligar os três tipos de insuflação, assim como alterar os respetivos tempos.

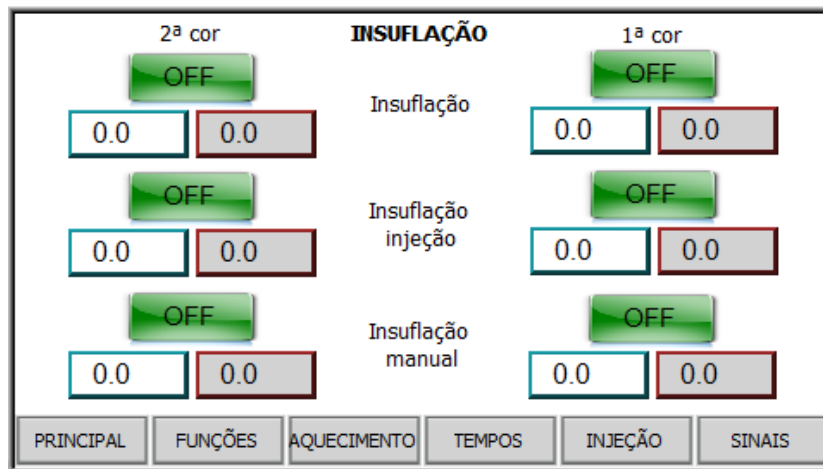


Figura 6.13 – Ecrã para alterar as velocidades de rotação dos extrusores.

Monitorização dos Sinais:

O ecrã subsequente (Figura 6.14) tem como objetivo a monitorização dos sinais de entrada do sistema de comando. Este tem o intuito de auxiliar o técnico no diagnóstico de avarias futuras.

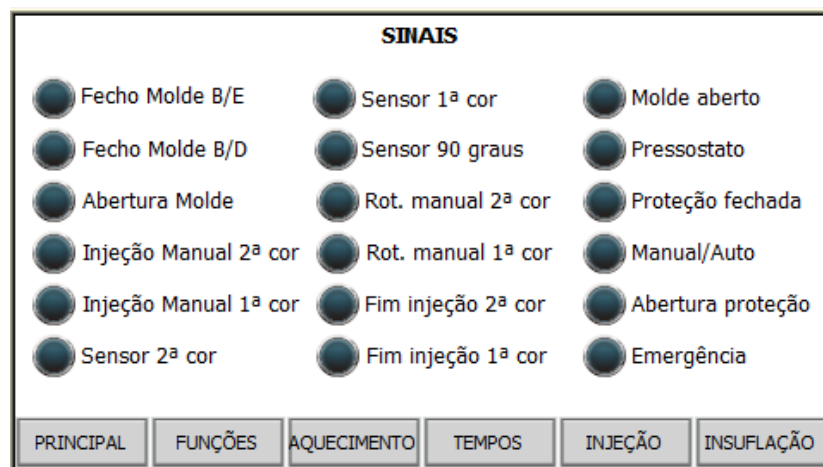


Figura 6.14 – Ecrã que permite controlar a insuflação durante a injeção e a manual.

Pop-up de Emergência:

Por último, foi implementado um *pop-up* que é despoletado caso a paragem de emergência esteja ativada. A Figura 6.15 mostra um exemplo para o ecrã principal.

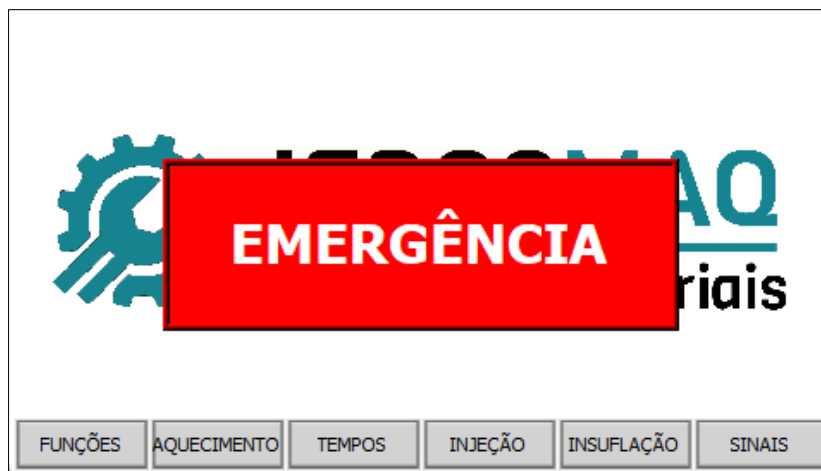


Figura 6.15 – *Pop-up* correspondente à paragem de emergência.

6.6. CONSIDERAÇÕES DE SEGURANÇA

O sistema de segurança da máquina foi revisto, de modo a garantir a conformidade com as normas de segurança. Assim, foram aplicadas diversas alterações, de modo a conseguir desenvolver uma máquina segura, que estão detalhadas no Capítulo 7.

6.7. IMPLEMENTAÇÃO E TESTES

Após o término do projeto de automação, seguiu-se a implementação e teste de todo o sistema de comando, sendo este realizado de forma faseada, de forma a facilitar a identificação de possíveis falhas.

Numa fase inicial, realizou-se a verificação das entradas e saídas (I/O) do PLC. Cada sensor e atuador foi testado individualmente, assegurando que os sinais de entrada e saída correspondiam corretamente às leituras e comandos esperados. Esta validação permitiu garantir que o *hardware* estava funcional e corretamente conectado ao PLC, evitando problemas futuros de comunicação.

Depois, foi realizado o teste do sistema de aquecimento dos extrusores. Nesta fase, foram testados as resistências e os termopares, de forma a assegurar a correta instalação de cada componente, verificando a continuidade elétrica e a correta polaridade das conexões. Ademais, testou-se a programação do controlo PID, garantindo que as leituras dos termopares correspondessem às temperaturas esperadas e que o sistema fosse capaz de manter os valores de *setpoint* estipulados, sem grandes oscilações.

Com a validação das I/Os e do sistema de aquecimento, procedeu-se à execução e validação do programa de comando, começando pelo modo manual. Este modo foi escolhido inicialmente por permitir a verificação isolada de cada operação da máquina, facilitando a identificação de problemas pontuais antes de se proceder ao teste no modo automático. A utilização do modo manual assegura que cada componente funcione corretamente de forma independente, tornando a transição para o modo automático mais confiável.

Após o sucesso nos testes do modo manual, foi implementado o modo automático, no qual foi verificado o funcionamento conjunto do sistema e a transição correta entre os diferentes estados operacionais. Neste ponto, também foi possível integrar a consola nos testes, verificando a comunicação correta entre as variáveis programadas na consola e a programação do PLC, garantindo uma operação sincronizada de todo o sistema.

Por último, verificou-se a segurança do sistema. Os testes executados permitiram validar que, em situações de risco ou falha, o sistema desativa os processos automaticamente e de forma segura, protegendo tanto o equipamento quanto os operadores. Todos os mecanismos de proteção e contingência foram validados, conforme os requisitos das normas de segurança aplicáveis.

7. NORMALIZAÇÃO E SEGURANÇA

Este capítulo aborda os perigos associados à utilização do equipamento e as alterações realizadas para assegurar a conformidade com as normas de segurança, minimizando os riscos identificados. Para tal, será descrito o conjunto de medidas técnicas de proteção aplicadas, em concordância com as normas de segurança relevantes. Adicionalmente, será apresentada a arquitetura do sistema de segurança projetado, detalhando a sua implementação e impacto na segurança geral da máquina.

7.1. MEDIDAS TÉCNICAS DE PROTEÇÃO

As medidas técnicas de proteção são recursos físicos, tecnológicos ou mecânicos projetados para proteger os operadores e outros envolvidos em operações de equipamentos, contra riscos e perigos que não podem ser eliminados diretamente na conceção do mesmo. Estas medidas, que fazem parte de estratégias de segurança industrial, visam a minimização da probabilidade de ocorrência de acidentes ou danos durante o uso dos equipamentos.

Estas medidas podem incluir:

- Barreiras físicas, como grades, proteções móveis ou fixas.
- Dispositivos eletrónicos ou mecânicos, como sensores, chaves de segurança ou cortinas de luz;
- Sistemas de emergência, como botões de emergência.

Nos subcapítulos seguintes, serão abordadas as medidas técnicas de segurança criadas, com o intuito de obter uma máquina segura.

7.1.1. IDENTIFICAÇÃO DAS ZONAS PERIGOSAS

Para prevenir a ocorrência de lesões, é fundamental identificar, numa fase inicial, os perigos associados ao equipamento e as operações que representam maior risco para o operador. Esta análise de riscos permite compreender as áreas críticas que requerem proteção e, consequentemente, definir as medidas de segurança adequadas.

Ao impedir o acesso a zonas de perigo durante a operação do equipamento, é possível mitigar significativamente a probabilidade de acidentes e garantir a segurança do operador. A aplicação de dispositivos de proteção nessas áreas é, assim, uma etapa indispensável para a conformidade com as normas de segurança e para a criação de um ambiente de trabalho controlado e seguro.

Com base na análise realizada, foram identificadas operações específicas que expõem o operador a riscos elevados, determinando as zonas perigosas que requerem a implementação de dispositivos de proteção. Abaixo, são listadas as operações que contribuíram para a definição dessas áreas críticas:

- Fecho da prensa hidráulica: constitui o maior perigo para a segurança do operador, uma vez que pode levar a danos irreversíveis, ou até mesmo à morte, por perigo de esmagamento;
- Rotação da cabeça: durante o processo de rotação, o operador pode ser atingido, podendo causar danos severos no operador;
- Extrusão manual: embora menos severa, a extrusão sem o molde fechado pode originar a projeção de material a temperaturas elevadas contra o operador;

A Figura 7.1 ilustra a identificação da zona perigosa do equipamento, destacando as áreas críticas onde devem ser implementadas alterações e dispositivos de proteção para prevenir a ocorrência de acidentes e minimizar os riscos associados às operações identificadas.

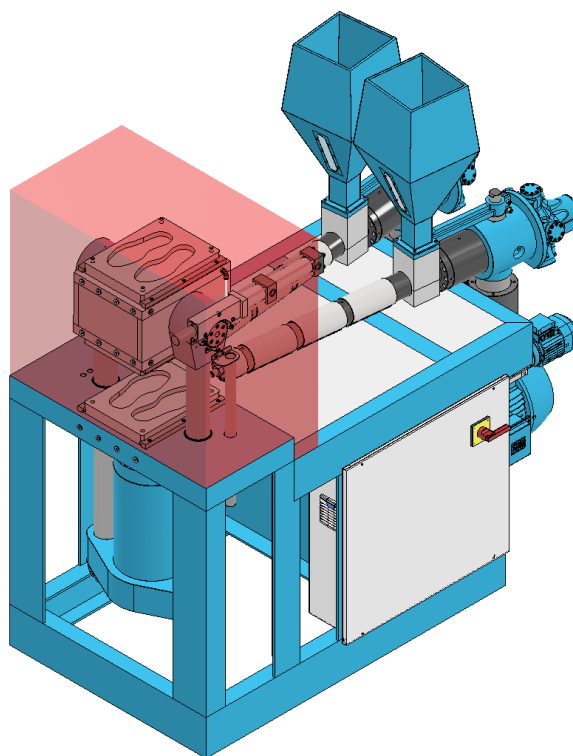


Figura 7.1 – Identificação da zona perigosa do equipamento.

7.1.2. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO NECESSÁRIOS

Para garantir a segurança do operador e minimizar os riscos identificados nas operações, será necessário implementar uma série de dispositivos de proteção que delimitam e controlam o acesso às

zonas de perigo. Estes dispositivos serão concebidos de forma a garantir que o operador não consiga aceder inadvertidamente às áreas críticas durante o processo de trabalho.

Assim, serão aplicadas as seguintes alterações:

- Delimitação do acesso à zona perigosa: o acesso à perigosa do equipamento será delimitado através da aplicação de proteções que impeçam o acesso a esta zona, sem a utilização de ferramentas específicas ou remoção de componentes da proteção.
- Aplicação de comando bimanual: para evitar que o operador ative o equipamento com uma única mão, será introduzido um sistema de comando bimanual. Este mecanismo exigirá que o operador use ambas as mãos para iniciar a operação, reduzindo significativamente o risco de ações inadvertidas ou pressas que possam colocar em risco a sua segurança;
- Aplicação de botão de emergência e sistema de paragem de emergência: será instalado um botão de emergência, de fácil acesso e visibilidade, que permitirá ao operador interromper imediatamente o processo caso seja detetado algum risco ou situação de emergência. O sistema será projetado de forma que a paragem seja rápida e eficaz, garantindo que a segurança do operador não seja comprometida em nenhuma situação.

A combinação desses dispositivos de proteção assegura que o operador não terá acesso às áreas perigosas durante as operações mais críticas do equipamento, reduzindo assim a probabilidade de acidentes. De seguida, será abordado cada um dos dispositivos a implementar, assim como as funções de segurança inerentes à sua implementação.

7.1.3. CONDICIONAR O ACESSO ÀS ZONAS PERIGOSAS

O impedimento de acesso às zonas perigosas do equipamento é essencial para garantir a segurança do operador, prevenindo a entrada inadvertida em áreas de risco elevado. Para isso, serão implementadas proteções adequadas que bloquearão o acesso às zonas perigosas, assegurando que o operador não consiga aproximar-se dessas áreas durante a operação do equipamento.

As proteções serão dimensionadas com base nas exigências da norma EN ISO 13857:2019 (ver 2.2.2.1), que estabelece as distâncias de segurança necessárias para evitar que as zonas de perigo sejam alcançadas pelos membros superiores e inferiores. Para o caso em questão, a norma estabelece as seguintes distâncias:

- Altura de segurança mínima: a norma determina que a altura mínima das proteções deve ser de 2000 mm para garantir que o operador não tenha acesso a zonas de perigo sob as proteções implementadas;

- Distância de alcance com limitação de movimento: refere-se à distância de segurança necessária para evitar que o operador consiga alcançar a zona de perigo ao estender o braço ou parte do corpo. A norma especifica que essa distância deve ser de pelo menos 850 mm.

Assim, as proteções devem terminar a uma altura mínima de 2000 mm a contar do solo, sendo que as proteções laterais devem terminar a uma distância de 850 mm da zona perigosa. A Figura 7.2 mostra a área a ocupar pelas proteções, a verde, assim como a zona perigosa, a vermelho.

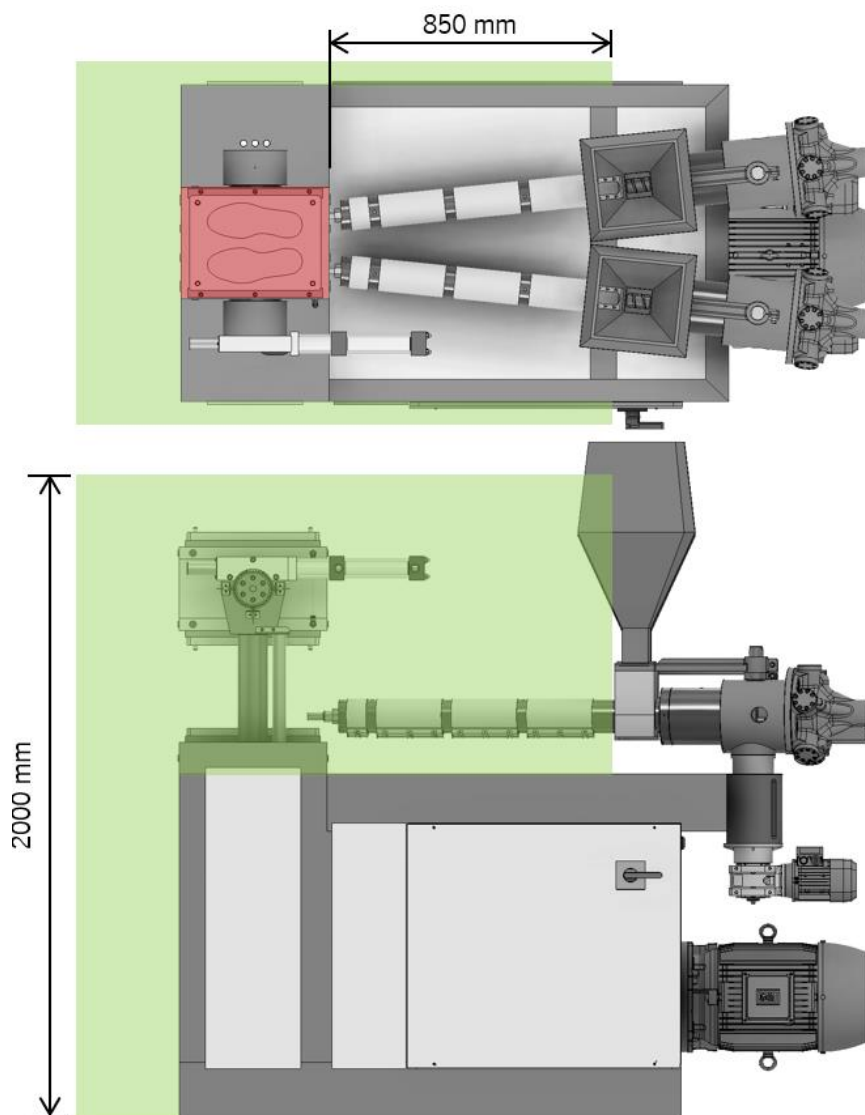


Figura 7.2 – Área a cobrir pelas proteções, de forma a respeitar a norma ISO13857:2019.

7.1.3.1. TORRES FRONTAIS

De forma a conseguir impedir o acesso à zona perigosa da máquina, foi necessário alterar as torres frontais que o equipamento possuía. As torres frontais antigas apresentavam dois problemas:

- Altura máxima abaixo do necessário: as torres frontais antigas apenas tinham uma altura de 1650 mm, estando abaixo do referenciado pela norma;

- Distância horizontal à zona de perigo curta: a distância horizontal à zona de perigo era demasiado curta, pelo que não permitia o desenvolvimento de uma proteção móvel que permite a rotação do cabeçote com a proteção fechada.

A Figura 7.3 mostra a área que o cabeçote necessita para realizar a rotação livremente, assim como a torre antiga que o equipamento possuía.

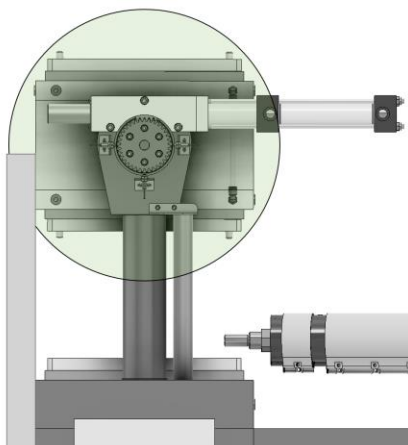


Figura 7.3 – Área necessária para realizar a rotação livremente e torre frontal antiga.

As torres antigas eram fabricadas em tubo quadrado de 60 mm, pelo que foi realizada a sua substituição por um tubo quadrado de 160 mm. Desta forma, não só permitiu aumentar a distância horizontal em 100 mm, como também permitiu estabelecer a altura requerida de 2000 mm. Esta alteração também facilitou na implementação do HMI na frente da máquina.

A Figura 7.4 mostra o aspeto final da implementação das torres frontais na máquina, assim como a implementação dos botões e da consola nos mesmos.

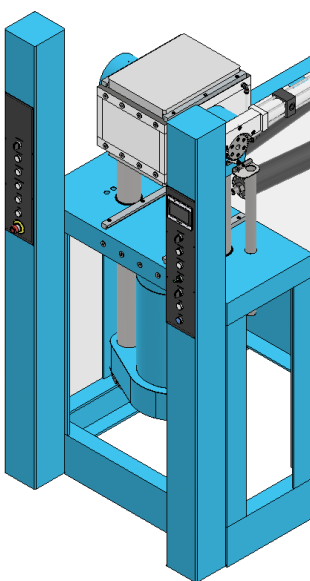


Figura 7.4 – Implementação das barras frontais na máquina.

7.1.3.2. PROTEÇÃO FRONTAL

Para a proteção frontal do equipamento, é essencial que esta disponha de um mecanismo de abertura e fecho que permita ao operador realizar operações necessárias antes e após o processo produtivo, como a retirada das solas ou a inspeção do equipamento. No entanto, durante o funcionamento da máquina, a proteção frontal deve permanecer fechada, garantindo a segurança do operador ao impedir o acesso a zonas perigosas.

A proteção frontal projetada está representada na Figura 7.5. Esta é constituída por um bloco de policarbonato, que realiza um movimento linear sustentado por duas calhas guia, através do acionamento de um cilindro pneumático.

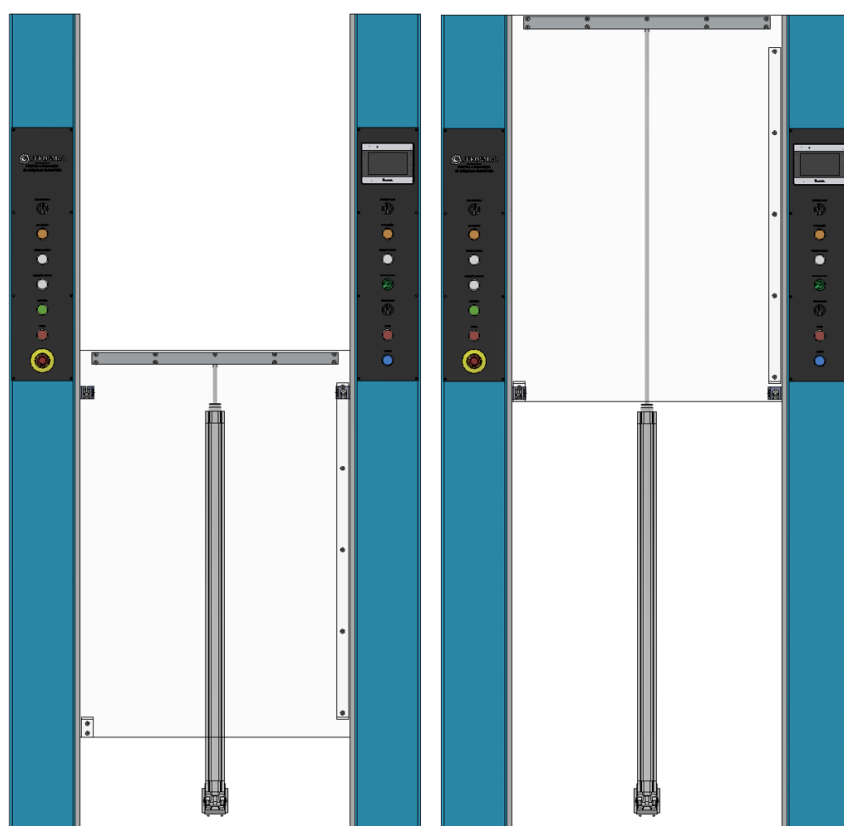


Figura 7.5 – Proteção móvel aberta e fechada, respetivamente.

Para a leitura da posição da proteção móvel, são utilizados dois fins de curso, de forma a evitar a redundância do sistema. A monitorização deste sistema é realizada com o relé de segurança *SICK RLY3 EMSS100*, que apenas deve permitir a movimentação da máquina se a proteção estiver ativa.

7.1.3.3. PROTEÇÕES LATERAIS

As proteções laterais não necessitam de ser móveis, uma vez que as operações inerentes ao processo de produção das solas são todas realizadas a partir da frente da máquina. No entanto, foi idealizada uma proteção com uma porta deslizante, de modo a permitir o acesso lateral. A Figura 7.6 mostra a proteção lateral idealizada.

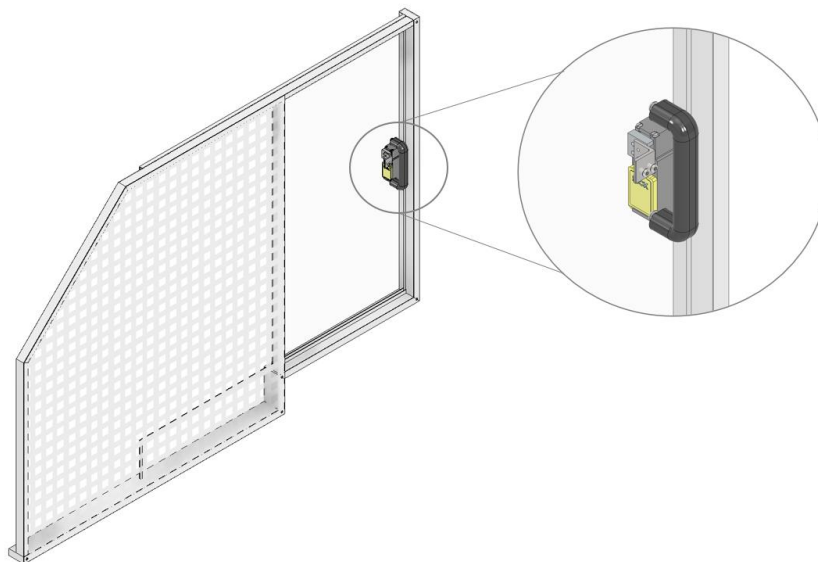


Figura 7.6 – Proteção lateral.

O controlo da janela é realizado através de uma chave de segurança eletromecânica, que apenas indica o estado seguro da proteção caso a porta deslizante se encontre fechada. Caso a mesma seja aberta durante o funcionamento da máquina, a mesma deve entrar em modo de paragem de emergência. O monitoramento das chaves de segurança será realizado pelo relé de segurança *SICK* RLY3-EMSS100.

7.1.4. DISPOSITIVO DE COMANDO BIMANUAL

O comando bimanual força o operador a manter as mãos fora da zona de perigo enquanto são realizados movimentos perigosos, sendo por isso muito utilizado em máquinas que possuem prensas, devido ao elevado risco de esmagamento.

Os sistemas de proteção por comando bimanual devem seguir os princípios estabelecidos pela norma ISO 13851:2019, que especifica uma distância mínima de segurança entre o dispositivo de acionamento e a zona perigosa [13].

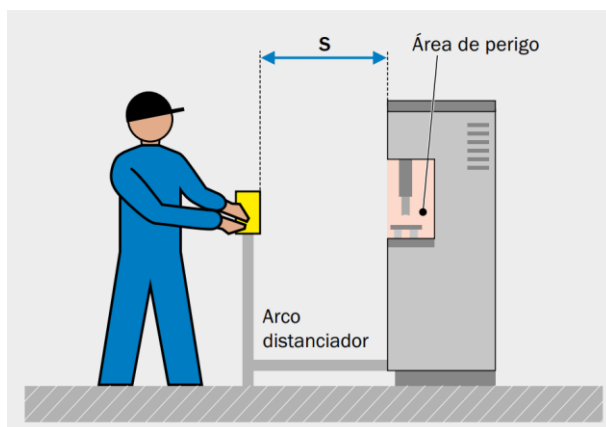


Figura 7.7 – Distância mínima para dispositivos de comando bimanual [27].

A distância de segurança deve ser calculada através da seguinte fórmula [13]:

$$S = (K + T) + C,$$

S – distância mínima, em mm, medida desde o ponto mais próximo de abertura e o ponto mais próximo da zona de perigo;
 K – constante derivada das velocidades de aproximação do corpo ou partes do corpo, com o valor de 1600 mm/s;
 T – tempo total de paragem do sistema, em s, desde a liberação do acionamento do comando bimanual;
 C – fator complementar de 250 mm. Pode ser eliminado sob certas condições.

A distância C é pode ser anulada pela utilização de coberturas entre a zona perigosa e o operador. Neste caso, existe uma barreira física entre a zona de perigo e o operador, fazendo com que esta assuma o valor zero.

O tempo de paragem do sistema, T , será equivalente ao tempo de resposta do dispositivo de controlo do comando bimanual, uma vez que é este dispositivo que será responsável pela monitorização dos botões de comando bimanual. Como tal, o tempo de resposta do sistema será igual ao tempo de resposta do relé *S/CK* UE42-2HD (ver 7.1.4), com um tempo de resposta inferior a 50 ms.

Substituindo na equação, tem-se:

$$S = (1600 + 0,050) + 0 = 80 \text{ mm}$$

obtendo uma distância mínima entre o dispositivo de acionamento e a zona de perigo de 80 mm. A distância existente entre a zona de perigo e os botões corresponde à medida da secção das torres frontais, assumindo o valor de 160 mm, pelo que está em concordância com a norma.

Os botões correspondentes ao comando bimanual estão assinalados nas chapas de comando, com a indicação de fecho, tal como mostra a Figura 7.8.



Figura 7.8 – Botões correspondentes ao comando bimanual.

Com a implementação deste sistema, o operador apenas será capaz de proceder ao fecho do molde caso pressione os dois botões com uma discrepância máxima de 500 ms.

7.1.5. BOTÃO DE PARAGEM DE EMERGÊNCIA

De acordo com a norma EN ISO 13850:2015, todas as máquinas devem ser equipadas com um botão de emergência que, ao ser pressionado, deve imediatamente desencadear a paragem de emergência do equipamento, garantindo a segurança do operador e prevenindo acidentes [3].

A norma estabelece critérios específicos para o design e posicionamento desse dispositivo de segurança, listados abaixo:

- Facilidade de identificação: o botão de emergência deve ser visualmente distinto, utilizando cores padrão (geralmente vermelho com base amarela) para permitir uma rápida identificação em situações de risco;
- Acessibilidade: deve ser instalado de maneira que permita acesso direto, sem obstruções, para facilitar a sua atuação em situações críticas. Além disso, a sua ativação não deve gerar riscos adicionais para o operador ou para outras pessoas próximas;
- Altura de instalação: a norma especifica que o botão de emergência deve ser montado a uma altura entre 0,6 m e 1,7 m acima do nível de acesso, garantindo uma posição ergonómica para os operadores.

Posto isto, foi selecionado o botão de emergência *Schneider Electric* ZB4BS8347, que atende integralmente aos requisitos estabelecidos pela norma. O posicionamento do botão foi planeado de forma a garantir conformidade, tendo sido instalado a 1,16 m acima do nível de acesso. A sua localização exata encontra-se representada na Figura 7.9.

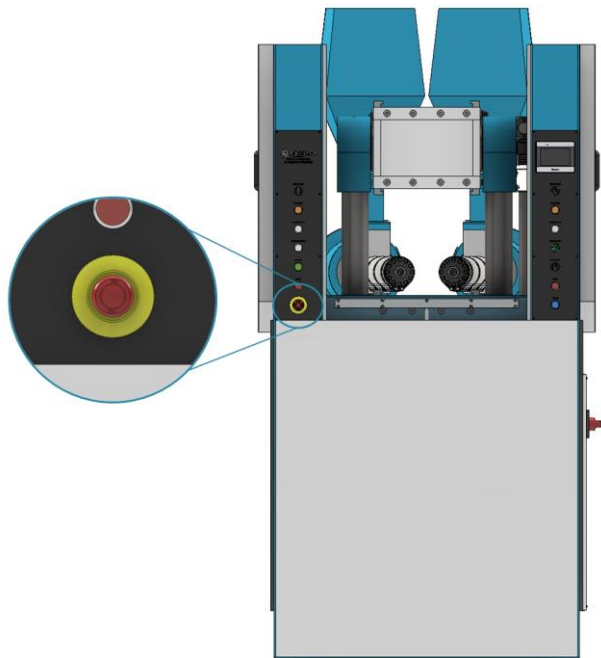


Figura 7.9 – Localização do botão de emergência.

7.1.6. VÁLVULA DE SUSTENTAÇÃO DE CARGA

Em aplicações industriais que implicam o uso de cilindros hidráulicos em prensas, o risco de falha do sistema pode representar um sério perigo para os operadores e comprometer a integridade do equipamento.

Neste caso, durante o processo de produção das solas, existem situações onde o operador tem de colocar os membros debaixo da prensa. Em caso de falha hidráulica, o sistema pode não ser capaz de sustentar as cargas, apresentando um sério risco para o operador.

Para mitigar esse risco, foi implementada uma válvula de sustentação de carga, que tem como objetivo garantir a retenção da pressão no cilindro, mesmo em situações de falha do sistema.

O esquema do bloco de sustentação de carga idealizado para o equipamento está representado na Figura 7.10, com os seus componentes listados na Tabela 7.1.

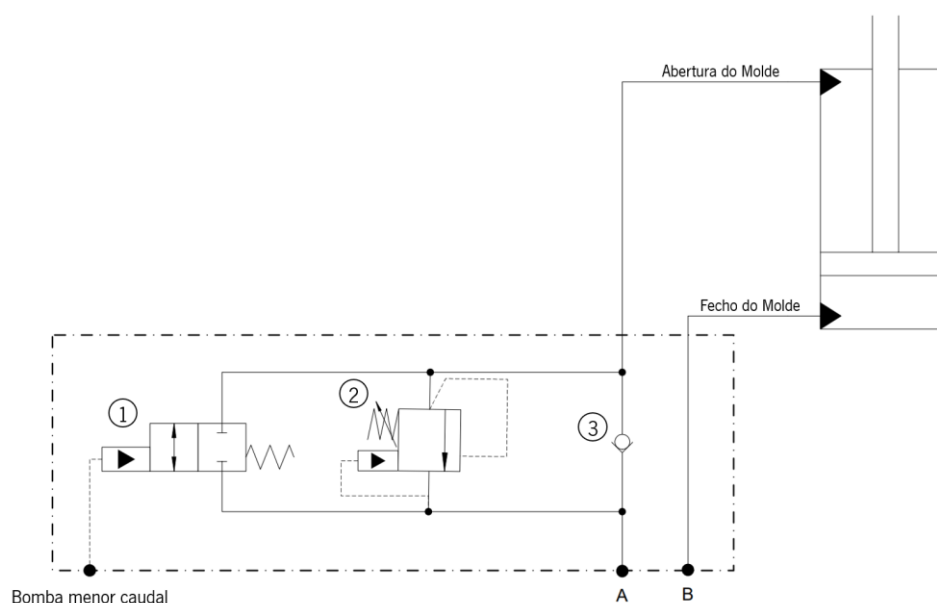


Figura 7.10 – Esquema hidráulico do bloco de sustentação de carga implementado.

Tabela 7.1 – Elementos que constituem o bloco de sustentação de carga.

Nr.	Tipo	Fornecedor	Modelo
1	Válvula de Sequência	FLUIDWORLD	WSDC30S10NC02
2	Válvula de Sustentação	WALVOIL	VMP 20 3/4
3	Válvula de Retenção	OFC VILLA	CVC 120

Funcionamento do Bloco de Sustentação

A válvula de retenção (3) é responsável por permitir a passagem do óleo para o interior do cilindro quando se pretende a abertura do molde.

Uma vez que o molde está aberto, a válvula de sustentação (2) entra em ação, mantendo a pressão desejada na câmara do cilindro. Isso impede que o cilindro altere sua posição de forma não planeada, garantindo a estabilidade do sistema e prevenindo movimentações involuntárias que poderiam causar acidentes ou comprometer o equipamento.

No entanto, ao se iniciar o processo de fecho do molde, a válvula de sustentação isoladamente criaria uma contrapressão contra a câmara oposta do cilindro, impedindo que o sistema atingisse a pressão máxima de fecho. Para solucionar esse problema, foi implementada no bloco hidráulico uma válvula de sequência (1). Essa válvula permite a passagem livre do óleo quando o cilindro está a ser pressurizado para o fecho do molde, eliminando a contrapressão e otimizando o desempenho do sistema.

Assim, a combinação das três válvulas — retenção, sustentação e sequência — proporciona um funcionamento seguro e eficiente do equipamento, atendendo aos requisitos de segurança operacional.

7.2. ARQUITETURA DO SISTEMA DE SEGURANÇA

O sistema de segurança projetado para o equipamento foi concebido com o objetivo de monitorizar continuamente as operações realizadas, assegurando a proteção do operador e garantindo a conformidade com as normas de segurança aplicáveis. Este sistema fundamenta-se em três pilares essenciais: o controlo dos dispositivos de paragem de emergência, o controlo do estado da proteção móvel e o controlo do comando bimanual.

Cada um desses pilares é gerido por relés de segurança dedicados, cuja seleção foi descrita no Subcapítulo 5.6. Estes relés foram projetados para restringir ações específicas caso as condições de segurança definidas sejam violadas, assegurando assim uma operação segura e controlada. A seguir, serão detalhados os três pilares que sustentam este sistema.

7.2.1. CONTROLO DOS DISPOSITIVOS DE PARAGEM DE EMERGÊNCIA

A máquina de produção de solas deve desencadear a paragem de emergência caso seja pressionado o botão de emergência ou se alguma proteção lateral for aberta. Este sistema é controlado pelo relé de segurança *S/CKRLY3 EMSS100*, cuja função é monitorizar continuamente o estado do botão de emergência e das chaves de segurança instaladas nas proteções laterais.

Este relé possui duas entradas de segurança independentes, que, ao receberem corrente elétrica, permitem o acionamento das suas saídas de segurança. Quando as condições de segurança estão garantidas (isto é, com o botão de emergência desativado e as proteções laterais fechadas), o relé energiza as suas saídas, permitindo que a corrente flua para o autómato e possibilitando o funcionamento normal da máquina.

No entanto, caso alguma destas condições seja violada, o circuito de segurança é interrompido. Esta interrupção desenergiza as entradas do relé de segurança, que, por sua vez, desativa as suas saídas. Com as saídas desativadas, a alimentação do autómato é cortada, resultando na paragem imediata da máquina, independentemente do estado em que se encontra. Este comportamento garante que a máquina seja colocada em um estado seguro assim que qualquer condição de risco seja detetada.

Além disso, após a ativação da paragem de emergência, é necessário pressionar o botão de rearme para restabelecer as condições normais de operação. Este rearme só pode ser realizado após a verificação e reposição de todas as condições de segurança, como o fecho das proteções laterais e a desativação do botão de emergência.

O esquema de ligações que ilustra o funcionamento deste sistema de segurança está apresentado na Figura 7.11.

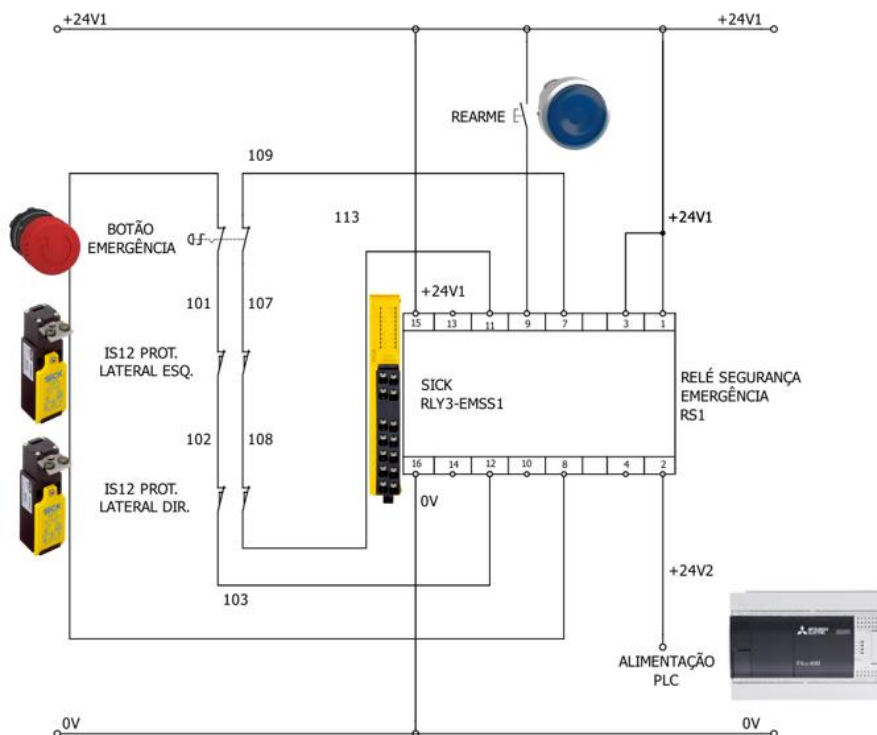


Figura 7.11 – Esquema de ligações do relé que controla a paragem de emergência.

7.2.2. CONTROLO DO ESTADO DA PROTEÇÃO MÓVEL

A proteção móvel é um elemento essencial para garantir a segurança do operador durante o funcionamento da máquina de injeção de solas. Este sistema permite que o operador tenha acesso à zona do molde quando a máquina está parada, assegurando, ao mesmo tempo, que as condições de segurança são mantidas quando a máquina está em funcionamento. Para tal, é imprescindível a existência de um sistema seguro que monitorize continuamente o estado da proteção móvel.

A monitorização é realizada através de um relé de segurança, cuja função é garantir a conformidade com os padrões de segurança e proteger contra falhas no sistema. O relé de segurança recebe informações de dois fins de curso que fazem a leitura da posição da proteção móvel. Esta configuração redundante, com dois fins de curso, é utilizada para aumentar a fiabilidade do sistema e prevenir falhas únicas que poderiam comprometer a segurança.

Quando a proteção móvel está fechada e ambas as leituras dos fins de curso confirmam esta condição, o sistema considera que as condições de segurança estão estabelecidas. Nesta situação, o relé de segurança libera as duas saídas seguras, cada uma responsável por alimentar a bobina de um de dois contactores do sistema. Estes contactores, também configurados de forma redundante, são ligados em série para formar uma barreira de segurança adicional, que impede o funcionamento da máquina em caso de falha de um dos componentes.

Com a energização das bobinas dos contactores, é permitida a passagem de corrente elétrica para as eletroválvulas que controlam os movimentos hidráulicos da máquina.

Caso ocorra qualquer alteração no estado da proteção móvel, seja devido a uma abertura intencional ou a uma falha nos fins de curso, o relé de segurança interrompe imediatamente as saídas seguras, desenergizando as bobinas dos contactores. Este mecanismo corta a alimentação das eletroválvulas, provocando a interrupção dos movimentos hidráulicos e, conseqüentemente, a paragem imediata do processo.

O esquema de ligações que viabiliza o funcionamento seguro e redundante do sistema descrito está ilustrado na Figura 7.12.

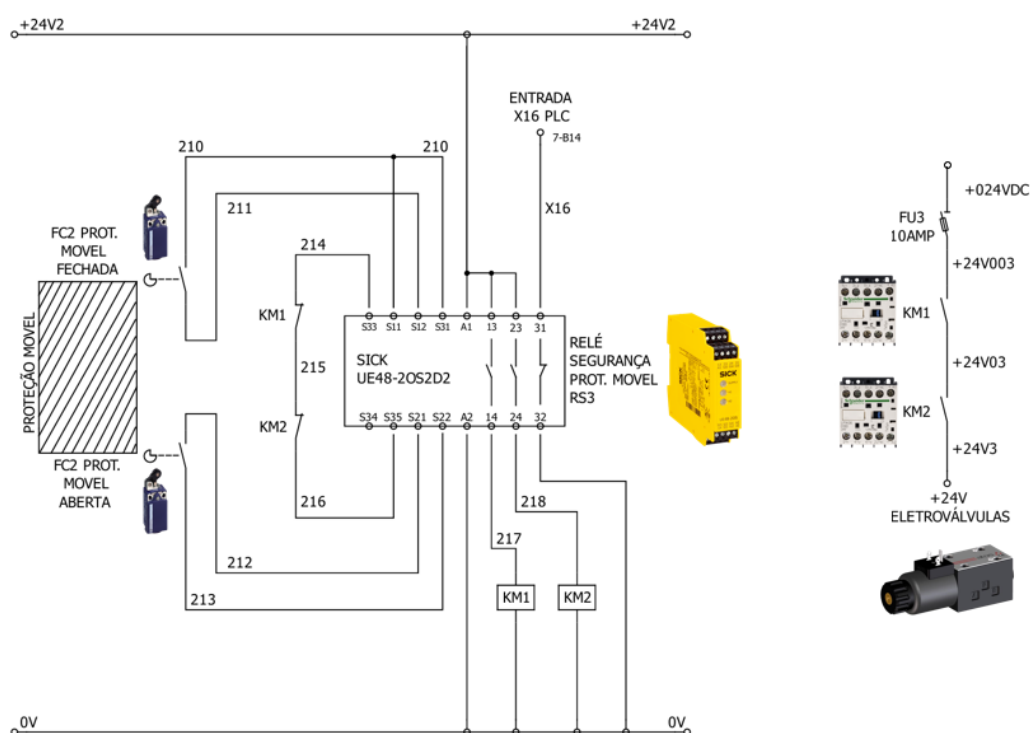


Figura 7.12 – Esquema de ligações do controlo da proteção móvel.

7.2.3. CONTROLO DO COMANDO BIMANUAL

O comando bimanual foi implementado para garantir que o operador mantenha ambas as mãos ocupadas ao dar início ao processo de produção de solas, aumentando a segurança e evitando que os membros do operador estejam na zona de perigo durante a operação.

A monitorização deste comando é realizada pelo relé de segurança *SICK* UE42-2HD, um dispositivo específico e projetado para o controlo de comandos bimanuais. Este relé assegura que o processo apenas é iniciado quando ambas as condições de acionamento são satisfeitas de forma correta e dentro de parâmetros seguros.

Para que o relé permita o acionamento da proteção móvel e o início do processo, o operador deve pressionar simultaneamente os dois botões de fecho do comando bimanual. É importante ressaltar que existe uma tolerância máxima de 50 milissegundos na discrepância de tempo entre o acionamento dos dois botões. Caso esta condição não seja cumprida, o relé considera que o comando não foi acionado corretamente, impedindo o início do processo.

Esta configuração garante que o operador tenha ambas as mãos ocupadas no momento do acionamento, minimizando significativamente o risco de acidentes, como a presença das mãos na zona de perigo enquanto a máquina entra em funcionamento.

O esquema de ligações que permite esta configuração encontra-se representado na Figura 7.13.

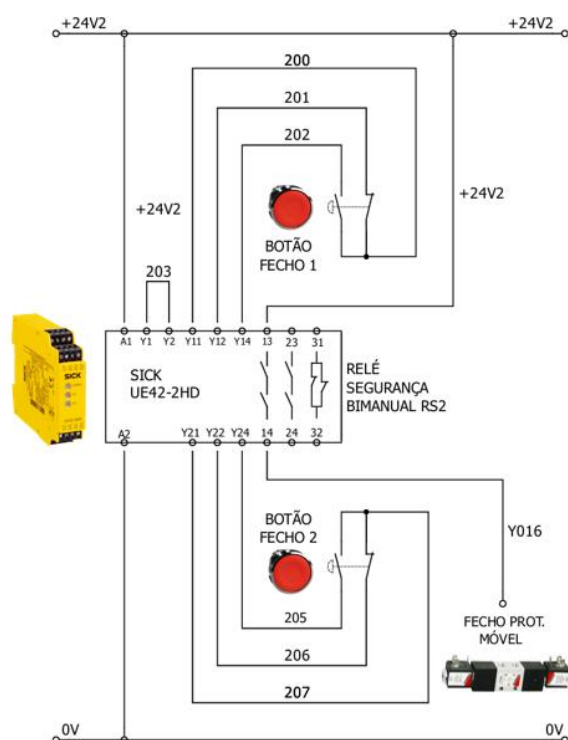


Figura 7.13 – Arquitetura de ligações do controlo do comando bimanual.

8. REENGENHARIA DA COMPONENTE MECÂNICA

Neste capítulo, serão abordadas as intervenções realizadas na componente mecânica da máquina de extrusão, com o objetivo de melhorar a sua eficiência, confiabilidade e desempenho. Inicialmente, será elaborado o diagnóstico das falhas existentes, seguido da descrição das soluções propostas para corrigir os problemas identificados. Serão detalhados os procedimentos de implementação das melhorias, bem como os testes realizados para validar as alterações efetuadas. Por fim, será apresentada uma análise dos resultados obtidos, destacando os benefícios alcançados com as intervenções mecânicas realizadas.

8.1. DIAGNÓSTICO INICIAL

Após a desmontagem da máquina, foi realizada uma avaliação detalhada dos seus componentes, com o objetivo de identificar aqueles que necessitavam de intervenção.

Para os componentes suscetíveis ao desgaste, procedeu-se a uma inspeção visual e dimensional, utilizando instrumentos de medição como micrómetros e relógios comparadores. Além disso, foram detetadas falhas estruturais em alguns sistemas, comprometendo o funcionamento adequado do equipamento.

Foram identificadas as seguintes condições mecânicas:

- Folga excessiva entre o fuso e a camisa nos extrusores;
- Rutura por fadiga mecânica dos parafusos de fixação do cilindro hidráulico de fecho do molde.
- Problemas de posicionamento e afinação no sistema de rotação do cabeçote;
- Desgaste excessivo nos casquilhos responsáveis pela rotação do cabeçote;
- Desgaste das fitas guia das hastes, com danos superficiais significativos nas hastes;

As condições supracitadas serão analisadas em detalhe nos subcapítulos seguintes, com a descrição das soluções propostas para cada problema.

8.1. REPARAÇÃO DA FOLGA NOS EXTRUSORES

Para garantir o funcionamento eficiente dos extrusores, foi necessário corrigir as folgas existentes entre o fuso e a camisa, uma vez que o desgaste ao longo dos anos comprometeu a eficiência do sistema. A folga excessiva ocasiona o vazamento de material por entre a rosca do parafuso, reduzindo o rendimento da extrusão e dificultando o controle de temperatura e pressão [8].

8.1.1. AVALIAÇÃO INICIAL E DEFINIÇÃO DAS FOLGAS

A folga ideal entre o fuso e a camisa deve ser cuidadosamente estabelecida para permitir a movimentação adequada do material fundido, sem comprometer a eficiência do sistema. Em ambos os extrusores, a maior parte do desgaste estava concentrado no parafuso, sendo o desgaste na camisa mínimo. Especificamente, a folga total entre o fuso e a camisa foi medida em 1,2 mm para o extrusor da primeira cor e em 1,1 mm para o fuso da segunda cor, sendo que apenas 0,1 mm dessa folga estava localizada na camisa.

De acordo com [8], uma folga típica para este tipo de equipamento varia entre 0,1 mm e 0,2 mm, dependendo do material a ser processado e das condições operacionais. Considerando a aplicação específica da máquina e o desgaste acumulado, foi estabelecida uma folga final de 0,1 mm como ideal para o processo.



Figura 8.1 – Desgaste no fuso.

8.1.2. REPARAÇÃO DAS CAMISAS

O processo de reparação dos extrusores teve início com a recuperação das camisas (Figura 8.2). Estas foram submetidas a um processo de retificação interna, com o objetivo de corrigir irregularidades dimensionais e restaurar o diâmetro interno para 65,3 mm, garantindo o ajuste adequado com o fuso.



Figura 8.2 – Processo de retificação da camisa.

Para aumentar a resistência ao desgaste e prolongar a vida útil das camisas, foi realizado um tratamento térmico por carbonitruração. Esse processo consiste na difusão controlada de carbono e nitrogênio na superfície do material, formando uma camada endurecida que reduz significativamente o desgaste causado pelo contato constante com o fuso e o material processado. A carbonitruração também melhora a resistência ao atrito e à corrosão, otimizando o desempenho das camisas no ambiente severo de operação.

8.1.3. REPARAÇÃO DOS FUSOS

Os fusos apresentavam desgaste considerável na região dos filetes, principalmente devido ao contacto contínuo com a camisa durante o processo de extrusão. Este desgaste é mais acentuado nos fusos em comparação com as camisas, uma vez que os fusos estão em movimento constante e sofrem maior atrito direto com o material processado e com a camisa, que permanece estática.

Inicialmente, os fusos foram colocados num torno para verificar a sua concentricidade e avaliar possíveis empenos, garantindo que estivessem adequados para o processo de reparação. Após confirmar a integridade estrutural, procedeu-se à recuperação dos filetes através da soldadura por eletrodo revestido (Figura 8.3). Este método permitiu a deposição controlada de material nas áreas desgastadas, criando uma superfície uniforme para o trabalho subsequente.



Figura 8.3 – Soldadura dos filetes para recuperação da folga desejada.

Na etapa seguinte, os fusos foram retificados utilizando uma máquina de retificação de exteriores, com o objetivo de restaurar o diâmetro nominal e estabelecer a folga desejada de 0,1 mm entre o fuso e a camisa. Este ajuste é essencial para garantir o funcionamento eficiente e preciso dos extrusores, minimizando perdas e maximizando a vida útil dos componentes.

8.1.4. RESULTADOS OBTIDOS

Com as intervenções realizadas, foram alcançados os seguintes resultados:

- Restabelecimento das folgas ideais: A folga final de 0,1 mm foi garantida, assegurando um fluxo eficiente de material durante o processo de extrusão e melhorando a precisão do sistema;
- Aumento da resistência ao desgaste: A carbonitruração das camisas resultou na formação de uma camada endurecida, reduzindo o atrito e aumentando significativamente a vida útil dos componentes. Além disso, os filetes dos fusos foram refeitos com material de elevada dureza, contribuindo para uma maior resistência ao desgaste nas áreas críticas de contacto;
- Melhoria da eficiência do processo: O sistema foi restaurado às suas condições ideais de operação, eliminando as perdas causadas pela folga excessiva, otimizando o consumo energético e garantindo uma extrusão uniforme;
- Redução do tempo de extrusão: A restauração das condições ideais do sistema permitiu uma diminuição do tempo de extrusão, aumentando a produtividade do equipamento.

8.2. FADIGA MECÂNICA NO SISTEMA DE FECHO

O sistema de fecho do molde presente no equipamento está representado na Figura 8.4. De modo a garantir a qualidade das solas, o cilindro hidráulico deve ser capaz de exercer a força necessária para garantir o fecho do molde durante toda a operação, garantindo que não exista vazamento do material por entre as juntas do molde.

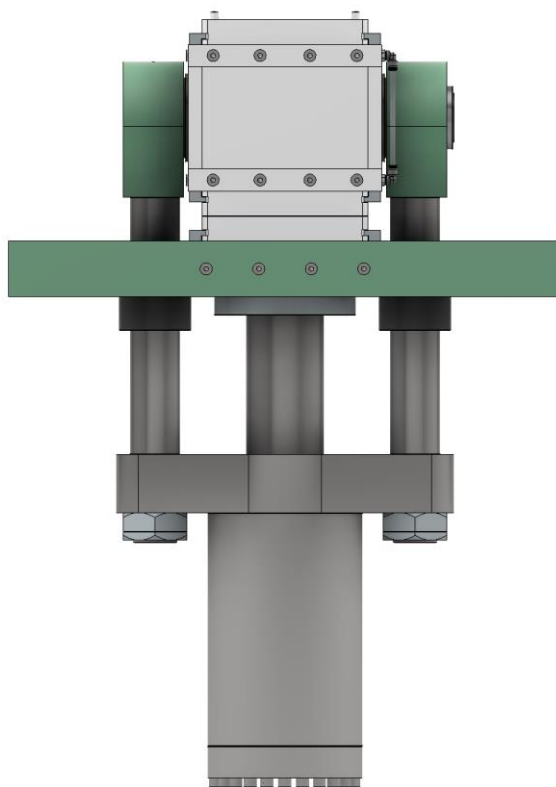


Figura 8.4 – Sistema antigo de fecho do molde.

O cilindro de fecho da máquina foi projetado para suportar uma pressão de 200 bar, gerando uma força de fecho de 760 kN. No entanto, verifica-se que após um certo número de ciclos de fecho, ocorre a rutura dos parafusos das extremidades da flange do cilindro (ver Figura 8.2). Esta falha sugere que os parafusos não conseguem suportar adequadamente as tensões cíclicas, o que indica que os mesmos não resistem às condições de fadiga impostas pela operação contínua da máquina.

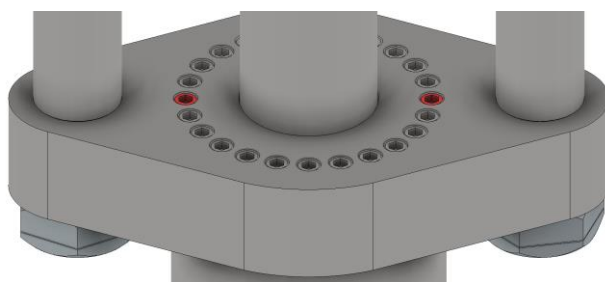


Figura 8.5 – Parafusos da tampa superior que quebram (a vermelho).

Quando óleo hidráulico é pressurizado para o interior da câmara primária, a pressão gerada no seu interior aplica uma força descendente sobre a camisa do cilindro, que tende a movimentar todo o conjunto para baixo. No entanto, a flange do cilindro está rigidamente conectada às hastes, que bloqueiam o seu movimento. Como tal, os esforços criados pela pressão são absorvidos pelos parafusos, tal como mostra a Figura 8.3.

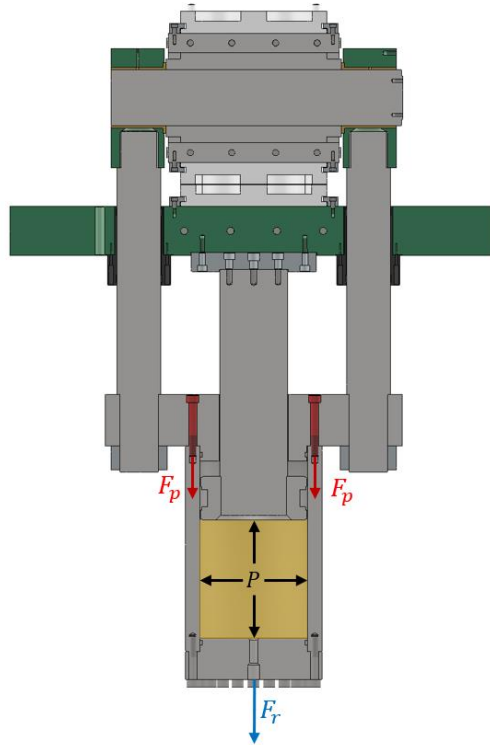


Figura 8.6 – Mapa de forças existente no sistema de fecho.

Desta forma, os parafusos assumem a função crítica de absorver as cargas axiais provenientes da força gerada no fecho do molde. Isso gera forças de tração nos parafusos, que necessitam de ser suficientemente resistentes para suportar as variações de carga cíclicas.

De forma a perceber se os parafusos foram bem dimensionados, utilizou-se o critério de Goodman, especialmente desenvolvido para o cálculo da fadiga em sistemas com cargas cíclicas. Os resultados obtidos apresentaram um coeficiente de segurança relativamente seguro, pelo que os parafusos estariam bem dimensionados para operar com as cargas axiais a que estariam sujeitos.

No entanto, constatou-se que a flange do cilindro não possui rigidez suficiente para absorver os esforços gerados durante o fecho, apresentando um empeno significativo. Esse desvio evidencia que, além dos esforços de tração, os parafusos também estão sujeitos a solicitações por flexão. Estas solicitações, quando combinadas com as solicitações axiais, seriam a causa para o rompimento dos parafusos.

8.2.1. SOLUÇÃO DESENVOLVIDA PELA EMPRESA

Uma vez que o problema evidenciado era recorrente em todas as máquinas com este sistema, a empresa *JFROSMAQ* já tinha desenvolvido uma proposta de resolução para o problema apresentado. A solução desenvolvida encontra-se representada na Figura 8.7.

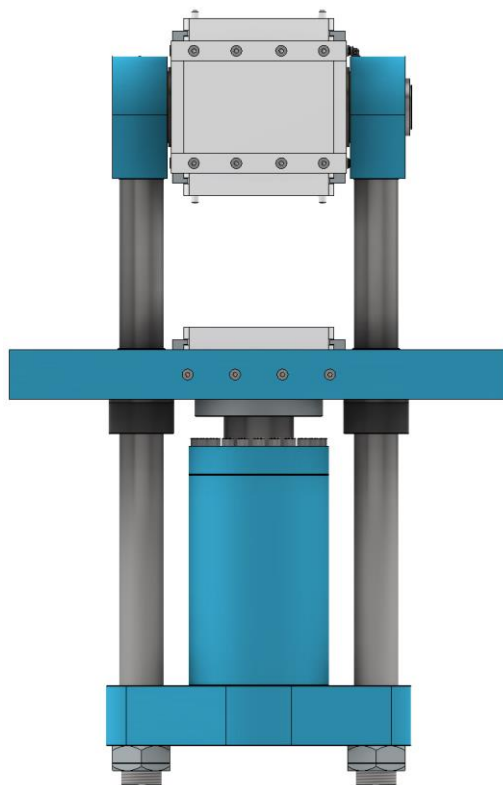


Figura 8.7 – Alteração do sistema de fecho do molde.

Comparando os dois sistemas, percebe-se que nesta solução foram invertidas as tampas do cilindro hidráulico, pelo que a flange se encontra agora localizada na parte inferior.

Para além disto, a espessura da flange também foi modificada, com um aumento de 15 mm quando comparada com a flange do sistema antigo.

Fazendo uma análise ao comportamento do sistema no fecho do molde (Figura 8.8), percebe-se que o novo sistema apresenta algumas alterações importantes. Com a pressurização da câmara primária do cilindro, existe também uma força descendente aplicada no tubo do cilindro. Porém, como o cilindro não está totalmente avançado, as forças deixam de ser transmitidas para os parafusos de ligação da tampa, sendo apenas absorvidos pelas hastes. Assim, os parafusos deixam de ser submetidos a esforços e, consequentemente, deixam de resistir à fadiga.

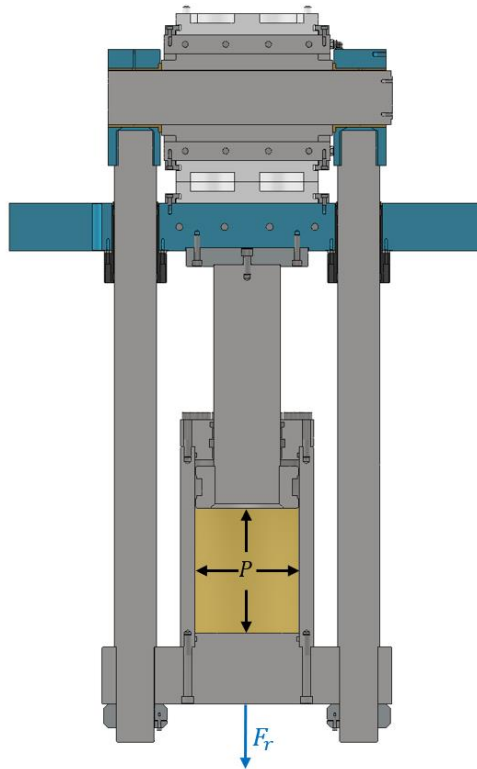


Figura 8.8 – Mapa dos esforços sentidos no fecho do molde, com a inversão das tampas.

Por outro lado, o aumento da espessura da flange e, consequentemente, o aumento da sua rigidez, ajuda a suprir os esforços de flexão gerados no sistema.

Uma vez que esta alteração já tinha sido implementada em outros equipamentos, sem ocorrência de episódios de falha, procedeu-se apenas a uma análise mais superficial, de modo perceber como a solução criada suprimiu o problema anterior.

8.3. PROBLEMAS DE POSICIONAMENTO E AFINAÇÃO NO SISTEMA DE ROTAÇÃO DO CABEÇOTE

O sistema de rotação do cabeçote antigo pode ser visualizado na Figura 8.9. Este sistema utiliza uma transmissão de movimento por pinhão-cremalheira, sendo o movimento acionado por um cilindro hidráulico de haste passante.

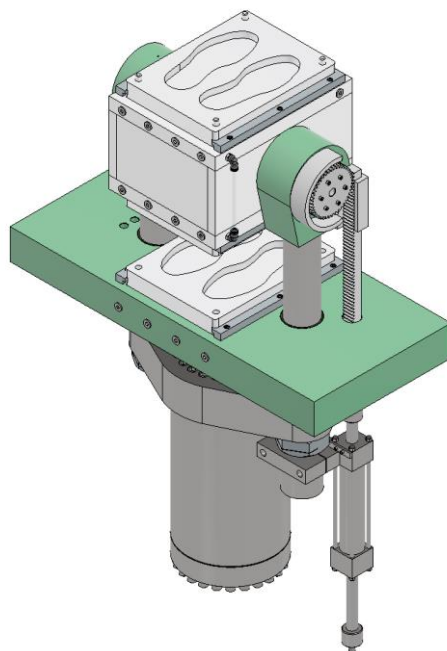


Figura 8.9 – Sistema de rotação do cabeçote antigo.

O principal problema identificado neste sistema está relacionado à falta de repetibilidade na paragem, um fator crucial para o correto funcionamento da máquina. A ausência de repetibilidade resulta, em situações mais desfavoráveis, no desalinhamento dos guias do molde, podendo levar a danos materiais significativos.

Outro problema observado está relacionado ao cilindro hidráulico de haste passante. Este não possui um sistema de amortecimento interno, o que significa que a paragem do cilindro não é tão suave nem controlada. Como resultado, o movimento é ajustado manualmente por meio de fêmeas localizadas na rosca das hastes. No entanto, essa solução não é suficiente para garantir precisão, já que a ausência de amortecimento interno contribui para uma paragem brusca e menos controlada. Essa característica aumenta significativamente o risco de desalinhamentos no sistema, comprometendo a repetibilidade e a confiabilidade do posicionamento do cabeçote.

Adicionalmente, o sistema não possui uma estrutura solidária, ou seja, não é projetado como uma unidade rígida. O cilindro hidráulico está acoplado a uma haste, enquanto a cremalheira está ligada à

chumaceira. Essa configuração permite que esforços de flexão gerados durante o fecho do molde promovam desalinhamentos no sistema. Esses desalinhamentos afetam diretamente a precisão do posicionamento do cabeçote e, consequentemente, a qualidade do produto final.

Diante dos problemas identificados no sistema de rotação do cabeçote, foi necessário redesenhar o sistema para garantir um funcionamento mais preciso e confiável. O primeiro passo nesse processo foi calcular a força necessária para realizar a rotação do cabeçote. Esse cálculo é essencial para dimensionar corretamente os componentes do novo sistema, assegurando a eficiência e durabilidade do mecanismo. A seguir, apresentam-se os cálculos e considerações envolvidas na determinação dessa força.

8.3.1. CÁLCULO DA FORÇA NECESSÁRIA PARA RODAR O CABEÇOTE

De forma a calcular a força necessária para rotacionar o cabeçote, é necessário levar em consideração os seguintes fatores:

- Massa total do cabeçote $[m]$: influencia diretamente a pressão exercida sobre as chumaceiras, afetando a força de atrito gerada;
- Distribuição de carga nas chumaceiras: neste caso, a carga está uniformemente distribuída entre as duas chumaceiras;
- Coeficiente de atrito estático $[\mu_s]$: depende dos materiais em contacto. Aqui, o contacto ocorre entre chumaceiras de bronze e veio de aço, resultando num coeficiente de atrito de 0,3;
- Momento de inércia do cabeçote $[I]$: indica a dificuldade de iniciar a rotação do cabeçote;
- Torque total necessário para rotacionar o cabeçote: é a soma do torque requerido para vencer o atrito nas chumaceiras e o torque necessário para vencer a inércia do corpo.

O objetivo inicial é determinar o torque necessário para vencer o atrito nas chumaceiras e iniciar a rotação. A força de atrito nas chumaceiras, pode ser obtida pela fórmula (8-1).

$$F_a = \mu_s \times F_N \quad (8-1)$$

Considerando que a carga está uniformemente distribuída e o veio está apoiado em duas chumaceiras, a força de atrito total é igual à soma das forças geradas em ambas as chumaceiras. Assim, tem-se:

$$F_a = 2 \times (\mu_s \times \frac{m}{2} \times g)$$

$$F_a = 2 \times 0,3 \times \frac{270}{2} \times 9,8 = 793,8 \text{ N} \quad (8-2)$$

Para o cálculo do torque necessário para vencer a força de atrito, considera-se o raio do veio do cabeçote. Assim, tem-se que:

$$T_a = F_a \times r$$

$$T_a = 793,8 \times 0,0575 = 45,64 \text{ N.m} \quad (8-3)$$

Em seguida, calcula-se o momento de inércia do cabeçote. Para simplificação, este foi aproximado a um prisma retangular, como ilustrado na Figura 8.10.

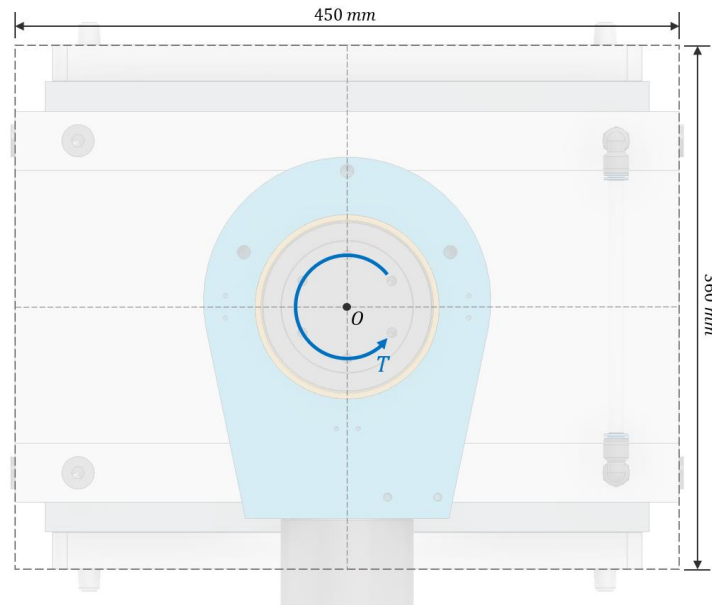


Figura 8.10 – Aproximação do cabeçote a um prisma retangular.

Assim, o momento de inércia é dado por:

$$I = \frac{1}{12} \times m \times (a^2 + b^2) \quad (8-4)$$

$$I = \frac{1}{12} \times 270 \times (0,450^2 + 0,360^2) = 7,47 \text{ kg.m}^2$$

O torque necessário para vencer a inércia do cabeçote e iniciar o movimento de rotação pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$T_l = I \times \alpha \quad (8-5)$$

A aceleração angular, α , pode ser calculada considerando a distância angular percorrida e o tempo necessário para percorrer essa distância, de acordo com a seguinte fórmula:

$$\theta = \frac{1}{2} \alpha \times t^2 \Leftrightarrow \alpha = \frac{2\theta}{t^2} \quad (8-6)$$

Sabe-se que para a troca entre moldes é necessário que o cabeçote rode 180° , o que corresponde a percorrer uma distância π , na qual se considerou um tempo de 2 segundos para concluir essa rotação. Substituindo na equação (8-6), obtém-se a equação:

$$\alpha = \frac{2 \times \pi}{2^2} = 1,57 \text{ rad/s}^2 \quad (8-7)$$

Substituindo o momento de inércia e a aceleração angular na equação (8-5), obtém-se:

$$T_I = 7,47 \times 1,57 = 11,7 \text{ N.m} \quad (8-8)$$

O torque total necessário para realizar a rotação é obtido pela soma dos dois torques calculados na Equação (8-3) e (8-8):

$$T_{Total} = 45,64 + 11,7 = 57,34 \text{ N.m} \quad (8-9)$$

A força necessária para rodar o cabeçote depende do torque total calculado (Equação (8-9)) e da distância do ponto de aplicação da força ao eixo de rotação. Uma vez que a transmissão do movimento será realizada por um sistema pinhão-cremalheira, esta distância será igual ao raio primitivo do pinhão escolhido. Assim, tem-se que:

$$T_{Total} = F \times r_p \Leftrightarrow F = \frac{T_{Total}}{r_p} \quad (8-10)$$

Substituindo na Equação (8-10), vem:

$$F = \frac{45,64 + 11,7}{0,0525} = 1,1 \text{ kN} \quad (8-11)$$

Portanto, a força necessária para iniciar o movimento de rotação do cabeçote é de $1,1 \text{ kN}$ a uma distância de $0,0525 \text{ mm}$ do eixo de rotação.

8.3.2. SISTEMA DE ROTAÇÃO DO CABEÇOTE DESENVOLVIDO

Diante das limitações observadas no sistema antigo, como a falta de repetibilidade na paragem, desalinhamentos devido à flexão estrutural e ausência de amortecimento no cilindro hidráulico, foi necessário desenvolver uma solução que atendesse às exigências operacionais da máquina. Os principais objetivos do novo sistema incluíram aumentar a robustez, garantir maior precisão no posicionamento e eliminar os problemas de desalinhamento provocados pelas forças aplicadas durante o ciclo de operação.

O sistema desenvolvido para a rotação do cabeçote está representado na Figura 8.9. A transmissão de movimento por um conjunto pinhão-cremalheira foi mantida, mas com ajustes importantes que resultaram em um sistema mais robusto e compacto.

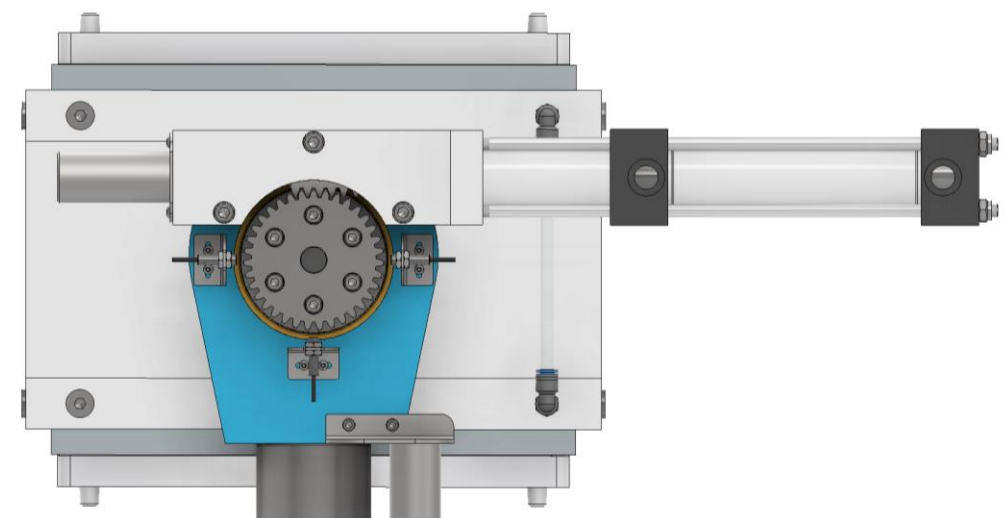


Figura 8.11 – Sistema de rotação do cabeçote desenvolvido.

Alterações Realizadas no Sistema

Para solucionar o problema de flexão causado pelo cilindro de fecho, o sistema foi redesenhado de forma a garantir que estivesse solidário com a estrutura. Diferentemente do design anterior, em que o sistema era fixado a dois componentes distintos, o novo projeto assegurou que todo o sistema fosse fixado a uma única chumaceira. Essa mudança elimina possíveis deslocamentos diferenciais entre os pontos de fixação, garantindo maior rigidez e alinhamento.

Além disso, foi reduzida a distância entre o cilindro hidráulico e o ponto de engrenamento do pinhão com a cremalheira. Essa alteração proporcionou um sistema mais compacto e minimizou a ocorrência de desalinhamentos.

Seleção e Implementação do Cilindro Hidráulico

Uma das principais mudanças no sistema foi a substituição do cilindro hidráulico de haste passante por um cilindro de haste simples. Essa escolha foi feita com base nas seguintes vantagens:

- Redução de custos: Cilindros de haste simples apresentam um custo de fabricação inferior em relação aos cilindros de haste passante, devido à sua menor complexidade construtiva.
- Design mais compacto: cilindros de haste simples têm um comprimento total inferior a cilindros de haste passante, contribuindo para um sistema mais compacto;

No entanto, é também importante mencionar as desvantagens associadas à implementação de um cilindro de haste simples quando comparado com um cilindro de haste passante:

- Diferença de forças: Devido às diferentes áreas nas faces do cilindro, a força exercida durante o avanço é menor do que a força exercida durante o recuo;
- Velocidades desiguais: Como consequência da diferença de áreas, a velocidade de avanço é ligeiramente menor que a velocidade de retorno.

Para o sistema em questão, as desvantagens supracitadas não são significativas, uma vez que os movimentos operacionais são lentos e ocorrem sob pressões baixas. Além disso, o fator económico teve um peso relevante na decisão, tornando a redução de custos um benefício considerável.

A ausência de amortecimento no cilindro hidráulico era uma das maiores limitações do sistema antigo, uma vez que resultava em paragens bruscas e pouco controladas, prejudicando a repetibilidade do movimento. No novo sistema, o cilindro selecionado inclui um sistema de amortecimento interno, que desacelera o movimento progressivamente próximo ao final do curso. Essa característica permite uma paragem mais suave e precisa, eliminando movimentações bruscas que poderiam comprometer o alinhamento e o desempenho geral da máquina.

As características do cilindro hidráulico escolhido encontram-se apresentadas na Tabela 8.1.

Tabela 8.1 Características do cilindro de rotação do cabeçote.

Tipo de cilindro	Duplo efeito
Diâmetro do êmbolo	50 mm
Diâmetro da haste	22 mm
Curso	170 mm
Área avanço	15,8
Área recuo	19,6
Pressão de funcionamento	50 bar
Força avanço	9,8 kN
Força recuo	7,9 kN

8.4. SUBSTITUIÇÃO DOS CASQUILHOS DO CABEÇOTE

8.4.1. DIAGNÓSTICO E IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Durante o processo de desmontagem da máquina, foi realizada uma análise detalhada dos casquilhos responsáveis pela rotação do cabeçote, com o objetivo de avaliar o seu estado. Observou-se um desgaste significativo nos casquilhos, fabricados em bronze, enquanto o veio associado, fabricado em aço, não apresentava desgaste significativo. Além disso, constatou-se que os casquilhos apresentavam um desgaste em forma oval, sendo as zonas de maior deterioração localizadas na parte superior e inferior. Essa característica é atribuída à força exercida durante o processo de fecho do cabeçote, que atua diretamente nessas áreas, promovendo um desgaste mais significativo. O desgaste na zona oval foi medido em 0,72 mm e 0,84 mm, respectivamente, o que está muito acima do aceitável para um funcionamento eficiente.

Com base nesse diagnóstico, concluiu-se que os casquilhos deveriam ser substituídos, com tolerâncias adequadas para corrigir as folgas e restaurar o desempenho mecânico do cabeçote. De seguida, será detalhado o processo de definição das folgas ideais, fabricação e validação da solução implementada.

8.4.2. DETERMINAÇÃO DAS FOLGAS MÁXIMAS E IDEAIS

Para garantir o funcionamento eficiente do sistema de rotação do cabeçote, foi necessário determinar a folga apropriada entre o casquilho de bronze a ser fabricado e o veio de aço existente. Como o veio já está fabricado e instalado, as suas dimensões reais foram medidas para obter o diâmetro exato do componente e, assim, ajustar o diâmetro do furo no casquilho.

Com o auxílio de um micrómetro, foram realizadas 10 medições ao longo do comprimento do veio. A média dos valores obtidos indicou um diâmetro final de 114,980 mm.

De acordo com a tabela de ajustes presentes no livro de *Shigley* (Tabela 8.1), o ajuste mais adequado para o funcionamento do sistema seria um ajuste H7/g6, classificado como deslizante. Esse tipo de ajuste permite liberdade de rotação entre as peças, mantendo um nível de precisão suficiente para evitar desgastes excessivos no longo prazo.

Tabela 8.2 – Descrição de ajustes preferenciais utilizando o sistema de furo básico [4].

Type of Fit	Description	Symbol
Clearance	<i>Loose running fit</i> : for wide commercial tolerances or allowances on external members	H11/c11
	<i>Free running fit</i> : not for use where accuracy is essential, but good for large temperature variations, high running speeds, or heavy journal pressures	H9/d9
	<i>Close running fit</i> : for running on accurate machines and for accurate location at moderate speeds and journal pressures	H8/f7
	<i>Sliding fit</i> : where parts are not intended to run freely, but must move and turn freely and locate accurately	H7/g6
	<i>Locational clearance fit</i> : provides snug fit for location of stationary parts, but can be freely assembled and disassembled	H7/h6
Transition	<i>Locational transition fit</i> : for accurate location, a compromise between clearance and interference	H7/k6
	<i>Locational transition fit</i> : for more accurate location where greater interference is permissible	H7/n6
Interference	<i>Locational interference fit</i> : for parts requiring rigidity and alignment with prime accuracy of location but without special bore pressure requirements	H7/p6
	<i>Medium drive fit</i> : for ordinary steel parts or shrink fits on light sections, the tightest fit usable with cast iron	H7/s6
	<i>Force fit</i> : suitable for parts that can be highly stressed or for shrink fits where the heavy pressing forces required are impractical	H7/u6

Cálculo das Folgas Máximas e Mínimas

Com base nos valores normativos da ISO 286-1:2010 para o ajuste H7/g6 e considerando o diâmetro nominal de 115 mm, foram obtidos os seguintes parâmetros:

- Diâmetro do furo (casquilho) = 115 *H7 mm*
 - Classe IT7 = 35 μm
 - Desvio superior = +35 μm
 - Desvio inferior = +0 μm
 - Diâmetro máximo = 115,035 *mm*
 - Diâmetro mínimo = 115,000 *mm*
- Diâmetro do veio = 115 *g6 mm*
 - Classe IT6 = 22 μm
 - Desvio superior = -12 μm
 - Desvio inferior = -34 μm
 - Diâmetro máximo = 114,988 *mm*
 - Diâmetro mínimo = 114,966 *mm*
 - Diâmetro real = 114,980 *mm*

– Folga resultante:

- $\text{Folga mínima} = 115,000 - 114,980 = 0,020 \text{ mm}$

- $\text{Folga máxima} = 115,035 - 114,980 = 0,055 \text{ mm}$

Os cálculos realizados demonstram que o diâmetro do veio está dentro dos valores normativos para o ajuste g6. Sendo assim, durante o fabrico do casquilho será necessário garantir que o furo esteja dentro das tolerâncias especificadas para o ajuste H7. Essa abordagem assegurará a obtenção de uma folga deslizante ideal para o sistema de rotação do cabeçote, promovendo um funcionamento eficiente e com redução de desgastes ao longo do tempo.

8.4.3. FABRICAÇÃO DOS CASQUILHOS

Após a determinação das folgas e tolerâncias adequadas para o ajuste H7/g6, procedeu-se ao fabrico dos novos casquilhos de bronze, garantindo que o diâmetro do furo respeitasse os valores definidos nos cálculos do subcapítulo anterior. Este processo foi realizado em conformidade com as especificações normativas, utilizando técnicas de maquinação para assegurar a qualidade do componente.

O material selecionado para os casquilhos foi o bronze CB3, amplamente utilizado em aplicações mecânicas devido às suas propriedades de resistência ao desgaste, boa condutividade térmica e baixa fricção, essenciais para o funcionamento eficiente do sistema de rotação do cabeçote.

Com o fabrico e substituição destes componentes, a folga ideal será reestabelecida, promovendo uma rotação suave e eficiente.

8.5. APLICAÇÃO DE RASPADOR NAS HASTES

A unidade de moldagem está equipada com duas hastes que desempenham um papel essencial no guiamento da prensa, assegurando o alinhamento preciso e o movimento correto durante o processo de moldagem das solas. Estas hastes deslizam sobre fitas guias instaladas na mesa, que garantem suavidade no movimento e reduzem o atrito, como ilustrado na Figura 8.10.

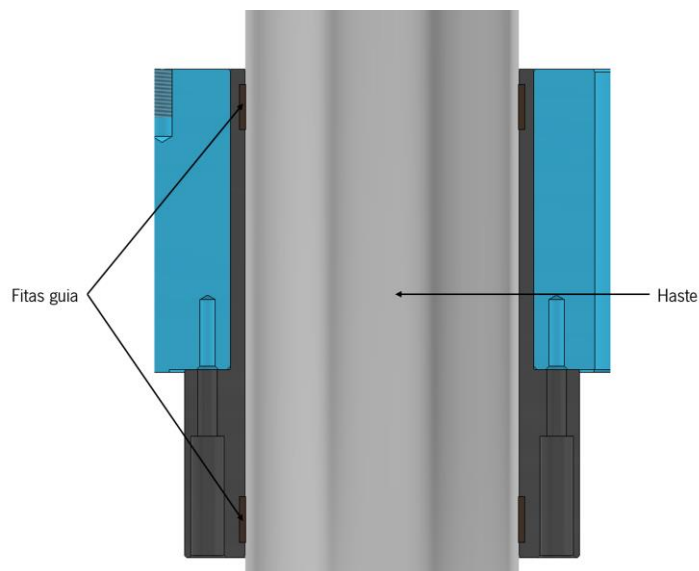


Figura 8.12 – Sistema de guiamento das hastes.

Entretanto, com o tempo e devido à exposição contínua ao ambiente de trabalho, as hastes acumulam poeira, resíduos de material e outros contaminantes. Estes detritos, quando não removidos, acabam por se acumular entre as hastes e as fitas guia. O movimento deslizante, combinado com a presença desses contaminantes, intensifica o atrito e promove o desgaste prematuro, tanto na superfície das hastes quanto nas fitas guia. Esse desgaste reduz a eficiência do sistema, levando à necessidade de manutenção frequente, que pode incluir a substituição das fitas guia e o polimento das hastes, resultando em custos operacionais elevados e tempos de inatividade prolongados.



Figura 8.13 – Acumulação de resíduos e desgaste nas hastes, respectivamente.

Para mitigar esse problema, serão implementados raspadores nas hastes (Figura 8.12). Estes componentes têm a função de remover partículas de poeira, resíduos e outros contaminantes da superfície das hastes antes que estas entrem em contato com as fitas guia. Com isso, evita-se a entrada de detritos nas zonas críticas, prevenindo riscos e desgastes desnecessários.

De modo a permitir a instalação dos raspadores, foi necessário fabricar um espaçador específico, tal como mostra a Figura 8.13, criando espaço adequado para acomodar os raspadores sem interferir no movimento e alinhamento das hastes.

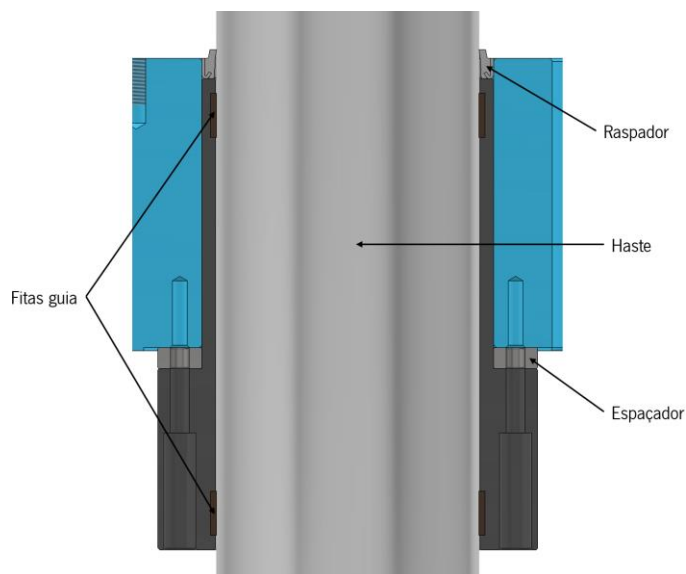


Figura 8.14 – Aplicação do raspador nas hastes.

Com a implementação dos raspadores, espera-se um desempenho mais eficiente e confiável do sistema de guiamento, contribuindo para a otimização do processo de moldagem e para a redução de custos associados ao desgaste prematuro. Assim, espera-se obter os seguintes benefícios:

- Aumento da vida útil dos componentes: Reduzindo o desgaste das fitas guia e das hastes, prolonga-se o intervalo entre manutenções;
- Funcionamento mais suave e eficiente: Com menos contaminantes acumulados, o movimento das hastes será mais fluido e com menor resistência;
- Redução de custos operacionais: A diminuição da frequência de manutenção e a preservação dos componentes diminuem o tempo de inatividade da máquina e os gastos com peças de reposição.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, é realizada uma reflexão sobre o projeto desenvolvido, com apresentação das conclusões retiradas. Por último, enunciam-se um conjunto de tarefas a desenvolver no futuro, com o intuito de melhorar o projeto desenvolvido.

9.1. CONCLUSÕES

Este projeto teve origem na necessidade de modernizar um equipamento de extrusão de solas, originalmente fabricado na década de 1990, cuja tecnologia se encontrava desatualizada face às exigências atuais da indústria do calçado. O objetivo principal foi revalorizar este equipamento, tornando-o mais eficiente, seguro e adaptado às necessidades operacionais da empresa.

Para alcançar este propósito, iniciou-se o projeto com um estudo aprofundado do processo de produção de solas e do funcionamento mecânico da máquina. Esta análise permitiu identificar os principais pontos críticos e definir os requisitos para a sua automatização.

Com base neste diagnóstico, foi desenvolvido um novo sistema de comando, incorporando um PLC e uma HMI, que permitiram um controlo mais intuitivo e eficaz dos parâmetros de processo. A resposta dos operadores à nova interface foi muito positiva, destacando-se a facilidade de utilização e a melhoria na qualidade do produto final.

A instalação de um variador de velocidade resultou num processo de extrusão mais versátil e energeticamente eficiente, permitindo uma redução de até 40% no consumo de energia. Por outro lado, a reparação das folgas nos extrusores e a otimização dos componentes mecânicos levaram a um aumento estimado de 25% na produtividade.

Em termos de segurança, foram implementadas soluções em conformidade com as normas europeias, incluindo barreiras de proteção, comando bimanual e botão de emergência. Estas alterações garantiram não só a proteção dos operadores como também a conformidade legal da máquina.

Para além dos ganhos operacionais e técnicos, destaca-se a viabilidade económica do projeto. Com um investimento total na ordem dos 30 000 €, o processo de *retrofitting* revelou-se significativamente mais acessível do que a aquisição de um novo equipamento com características semelhantes, cujo custo poderia ultrapassar os 50 000 €. Esta abordagem permitiu à empresa alcançar um nível de modernização elevado com um investimento controlado, reforçando a sua competitividade sem comprometer a sustentabilidade financeira.

Em síntese, o projeto cumpriu integralmente os objetivos inicialmente definidos, resultando num equipamento mais moderno, eficiente e seguro. A reengenharia permitiu não só prolongar a vida útil da máquina como também posicioná-la de forma competitiva no atual contexto da indústria do calçado.

9.2. PERSPETIVAS E TRABALHOS FUTUROS

Após a realização deste trabalho, foi possível desenvolver um equipamento pronto para desempenhar as suas funções na indústria. Como tal, seria importante a elaboração de um manual de instruções que apresentasse todos os aspetos necessários para o correto funcionamento do equipamento. O manual deve conter informações sobre as especificações técnicas do equipamento, instruções de operação, avisos e recomendações relativos à segurança e um plano de manutenção preventiva e corretiva.

Apesar do equipamento obtido ser capaz de desempenhar as funções pretendidas pelo cliente, pode ser interessante a aplicação de futuras melhorias que complementem o sistema desenvolvido.

Uma das melhorias que poderiam aumentar a versatilidade do equipamento seria a implementação de um sistema de extração de solas. Esses sistemas são projetados para otimizar a remoção de solas que, devido à sua geometria complexa ou aderência ao molde, são difíceis de extrair manualmente. Sem a inclusão de um sistema de extração, torna-se impossível a produção deste tipo de solas, limitando a capacidade operativa da máquina. Assim, a aplicação deste sistema permitiria que o equipamento atendesse a uma maior variedade de formatos, aumentando a sua valorização.

Ademais, seria interessante implementar um sistema de controlo de nível de material nos silos, que enviasse um alerta para a consola sempre que o nível estivesse baixo. Assim, o operador seria notificado sobre a necessidade de reabastecimento, assegurando sempre o reabastecimento a tempo. Com isto, evitar-se-iam situações onde o operador não notasse a escassez de matéria-prima, que apenas seria detetada após a formação de solas defeituosas, evitando o desperdício de material e de tempo. Além disto, e embora bastante mais dispendioso, este sistema poderia funcionar com alimentação automática, dispensando a intervenção manual e garantindo mais eficiência no processo.

Por último, a análise ao cilindro de fecho foi realizada de forma superficial, uma vez que a empresa já tinha uma solução aplicada noutros equipamentos. No entanto, seria interessante fazer um análise mais aprofundada, com o intuito de perceber o que leva à rotura dos parafusos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ABB. (2025). *SH203-C63*. <https://new.abb.com/products/pt-PT/2CDS213001R0634/sh203-c63>
- [2] BPstat. (2019). *Análise setorial da indústria do calçado*. <https://bpstat.bportugal.pt/conteudos/publicacoes/1293>
- [3] British Standards Institution. (2015). *Safety of machinery - Emergency stop function - Principles for design (ISO 13850)*.
- [4] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Shigley's - Mechanical Engineering Design* (McGraw-Hill Education, Ed.; 10.ª ed.).
- [5] Cross, N. (2000). *Engineering design methods: strategies for product design*. Wiley.
- [6] Daniel Terrell. (2022, Fevereiro 14). *Thermocouple Explained / Working Principles*.
- [7] Finder. (2020). *Miniature PCB Relays 8-10-12-16 A*. <https://www.findernet.com/en/worldwide/series/40-series-miniature-pcb-relays-8-10-12-16a/>
- [8] Harold F. Giles, Jr., John R. Wagner, Jr., & Eldridge M. Mount, I. (2007). *Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook*. William Andrew, Inc.
- [9] International Electrotechnical Commission. (2003). *Programmable controllers - Part 3: Programming languages (IEC 61131-3)*. www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm
- [10] International Electrotechnical Commission (IEC). (2018). *Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements (IEC 60204-1)*. www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm
- [11] International Organization for Standardization. (2010). *ISO 12100:2010 - Safety of machinery: general principles of design: risk assessment and risk reduction*.
- [12] International Organization for Standardization. (2019). *ISO 13851:2019 - Safety of machinery - Two-hand control devices - Principles for design and selection*.
- [13] International Organization for Standardization. (2019). *ISO 13857:2019 - Safety of machinery - Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs*.
- [14] ISI Soles. (2018). *IsiSoles - Solas Injectadas*. <https://www.isisoles.com/index-pt.html>
- [15] J. Machado. (2003). *Da Especificação em Grafcet (IEC 60 848) à Implementação em Ladder (IEC 61 131-3)*.
- [16] José Mendes Machado. (2001). *Concepção e Realização do Comando Operacional de Sistemas Industriais de Eventos Discretos*.
- [17] Mitsubishi Electric. (2005). *Analog Control Edition - FX3S/FX3G/FX3GC/FX3U/FX3UC SERIES PROGRAMMABLE CONTROLLERS*.

- [18] Mitsubishi Electric. (2015). *FX3S/FX3G/FX3GC/FX3U/FX3UC SERIES PROGRAMMABLE CONTROLLERS*.
- [19] Mitsubishi Electric. (2020). *INVERTER FR-E800 - INSTALLATION GUIDELINE*.
- [20] OMRON. (2024). *S8VK-G24024*. <https://industrial.omron.pt/pt/products/S8VK-G24024>
- [21] Osswald, T. A., & Hernández-Ortiz, J. P. (Juan P. (2006). *Polymer processing: modeling and simulation*. Hanser Publishers.
- [22] Pietrella srl. (2023). *BE 150*. <https://www.pietrella.it/it/macchine-per-calzature/be-150-twin-tris-poker#gallery-grid-TWIN%20BE%20150-2>
- [23] Power&Motion. (2006). *CHAPTER 6: Hydraulic reservoirs*. <https://www.powermotiontech.com/technologies/other-technologies/article/21884208/chapter-6-hydraulic-reservoirs>
- [24] Schneider Electric. (sem data-x). *VCF5 - CHAVE SECCIONADORA*. Obtido 29 de Fevereiro de 2024, de <https://www.se.com/pt/pt/product/VCF5/chave-seccionadora-vario-125a-manopla-vermelha-amarela-vcf5/>
- [25] Schneider Electric. (2024). *GV2ME06 - Disjuntores-motor magnetotérmicos GV2ME 1/1,6A*. <https://www.se.com/pt/pt/product/GV2ME06/disjuntoresmotor-magnetot%C3%A9rmicos-gv2me-1-16a/>
- [26] SICK. (2015). *Guide for Safe Machinery - Six Steps to a Safe Machine*.
- [27] SICK. (2023). *UE42-2HD2D2 - Datasheet*. www.sick.com/UE42-2HD
- [28] SICK. (2023). *UE48-2OS2D2 - Datasheet*. www.sick.com/UE48-2OS
- [29] SICK. (2024). *RLY3-EMSS100 - Datasheet*. www.sick.com/ReLy
- [30] TermoCompo. (2023). *Compostos de Borracha Termoplástica*. <http://termocompo.pt/>
- [31] Verein Deutscher Ingenieure. (2004). *Design methodology for mechatronic systems (VDI 2206)*.
- [32] Verein Deutscher Ingenieure. (2008). *Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products (VDI 2221)*.
- [33] Weintek. (2023). *MT8000iE XE iP Series*.
- [34] XIQI ELECTRIC&TECHNOLOGY CO., L. (2020). *Single Solid State Relay - single DC TO AC SSR - SSR-10DA 25DA 40DA*. <http://www.cnchog.com/products/ssr-10da-25da-40da-ID213.html>

Apêndice A – LISTA DE PEÇAS

Código	Quant.	Designação	Código	Quant.	Designação
Estrutura					
G1PB.E.01	1	Corpo			
G1PB.E.02	1	Mesa			
G1PB.E.03	2	Torre			
G1PB.E.04	1	Chapa Cobertura Superior 1			
G1PB.E.05	1	Chapa Cobertura Superior 2			
G1PB.E.06	1	Chapa Cobertura Frente			
G1PB.E.07	1	Chapa Cobertura Lateral 1			
G1PB.E.08	1	Chapa Cobertura Lateral 2			
G1PB.E.09	1	Chapa Cobertura Lateral 3			
G1PB.E.10	1	Chapa Cobertura Mesa			
Unidade Moldagem					
G1PB.UM.P.00	1	Prensa	G1PB.UM.P.01	1	Cilindro de Fecho
			G1PB.UM.P.02	1	Flange
			G1PB.UM.P.03	1	Cabeça
			G1PB.UM.P.04	1	Chumaceira Direita
			G1PB.UM.P.05	1	Chumaceira Esquerda
			G1PB.UM.P.06	2	Casquilho
			G1PB.UM.P.07	2	Haste
			G1PB.UM.P.08	2	Guia da Haste
			G1PB.UM.P.09	2	Espaçador Guia da Haste
			G1PB.UM.P.10	2	Raspador 90x100x7/10
			G1PB.UM.P.11	2	Fêmea M80
			G1PB.UM.P.12	5	Guia Molde Mesa
			G1PB.UM.P.13	5	Guia Molde Cabeça
			G1PB.UM.P.14	1	Guia Molde Insuflação
			G1PB.UM.P.15	3	Batentes
G1PB.UM.RC.00	1	Rotação do Cabeçote	G1PB.UM.RC.01	1	Pinhão
			G1PB.UM.RC.02	1	Cremalheira
			G1PB.UM.RC.03	1	Flange
			G1PB.UM.RC.04	1	Cilindro CD5022XK170S
			G1PB.UM.RC.05	3	Suporte Sensor
			G1PB.UM.RC.06	3	Sensor Proximidade
			G1PB.UM.RC.07	1	Acionador
			G1PB.UM.RC.08	1	Proteção Mangueiras

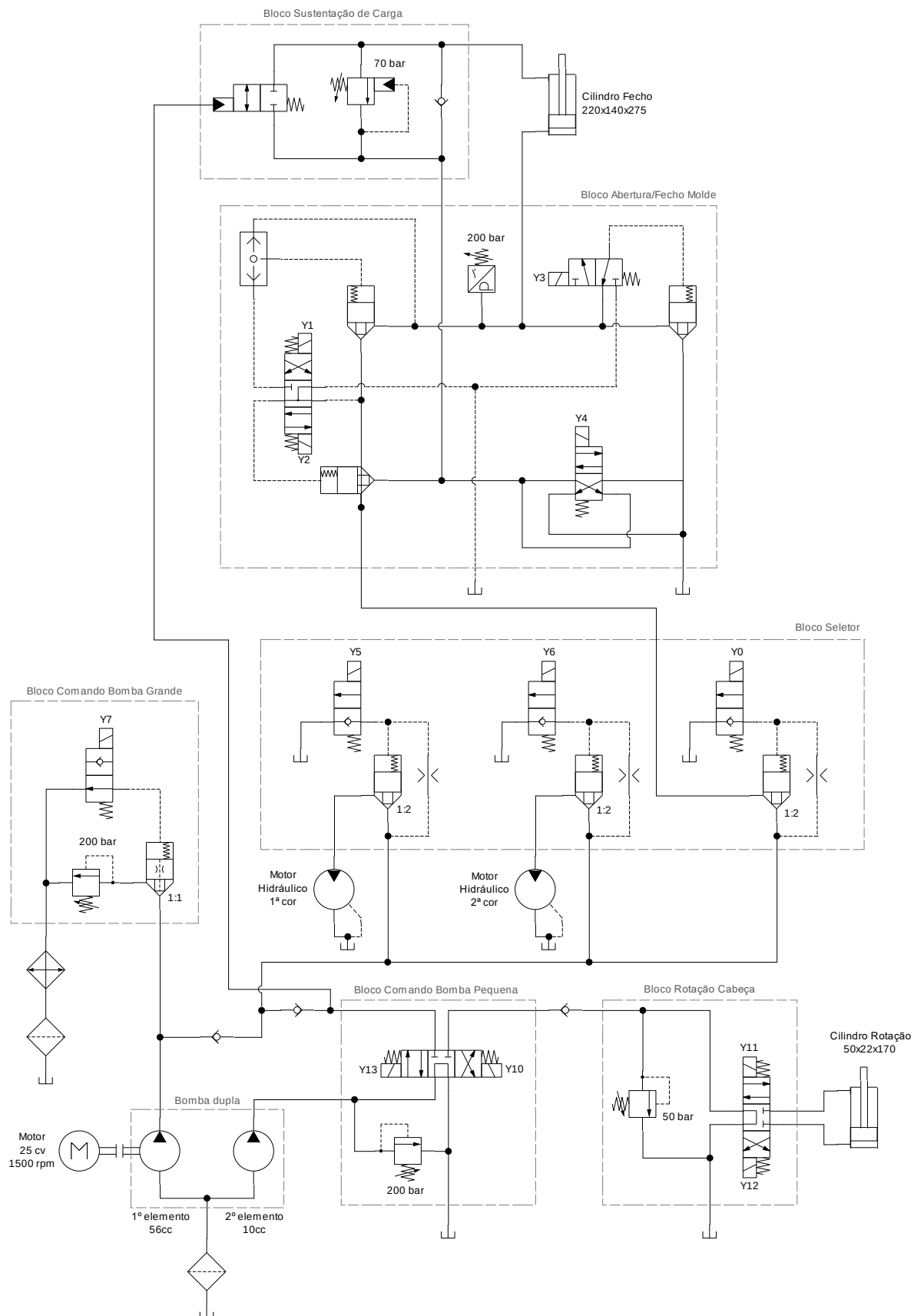
*continua na pág. seguinte

Unidade de Extrusão					
G1PB.UE.E.00	2	Extrusor	G1PB.UE.E.01	1	Ponteira
			G1PB.UE.E.02	1	Bico
			G1PB.UE.E.03	1	Tampa
			G1PB.UE.E.04	1	Camisa
			G1PB.UE.E.05	1	Fuso
			G1PB.UE.E.06	1	Porta Retentor
			G1PB.UE.E.07	1	Retentor 65x100x10
			G1PB.UE.E.08	1	Anilha
			G1PB.UE.E.09	1	Rolamento 29412
			G1PB.UE.E.10	1	Porta Rolamentos
			G1PB.UE.E.11	1	Rolamento 31310
			G1PB.UE.E.12	1	Arruela de Fixação MB9
			G1PB.UE.E.13	1	Porca de Fixação KM9
			G1PB.UE.E.14	1	Espaçador
			G1PB.UE.E.15	1	Rotex
			G1PB.UE.E.16	1	Motor Hidr. Intermot NHM 300
			G1PB.UE.E.17	3	Resistência 1000 W
			G1PB.UE.E.18	1	Resistência 250 W
G1PB.UE.A.00	2	Alimentador	G1PB.UE.A.01	1	Copo
			G1PB.UE.A.02	1	Veio
			G1PB.UE.A.03	1	Suporte da Tremonha
			G1PB.UE.A.04	1	Passador
			G1PB.UE.A.05	1	Tremonha
G1PB.UE.SA.00	2	Sistema de Afinação	G1PB.UE.SA.01	1	Suporte
			G1PB.UE.SA.02	1	Movel
			G1PB.UE.SA.03	1	Retentor 50x70x10
			G1PB.UE.SA.04	1	Fêmea de Afinação
			G1PB.UE.SA.05	1	Veio de Afinação
			G1PB.UE.SA.06	1	Redutor Bonfiglioli VF63
			G1PB.UE.SA.07	1	Anilha
			G1PB.UE.SA.08	1	Motor Elétrico MEZ IMB3
Unidade Energética					
G1PB.UEn.01	1	Motor Elétrico			
G1PB.UEn.02	1	Flange			
G1PB.UEn.03	1	Bomba PFED43056/010			
G1PB.UEn.04	1	Rotex			
G1PB.UEn.05	1	Corpo Depósito Hidráulico			
G1PB.UEn.06	1	Tampa Lateral Depósito			

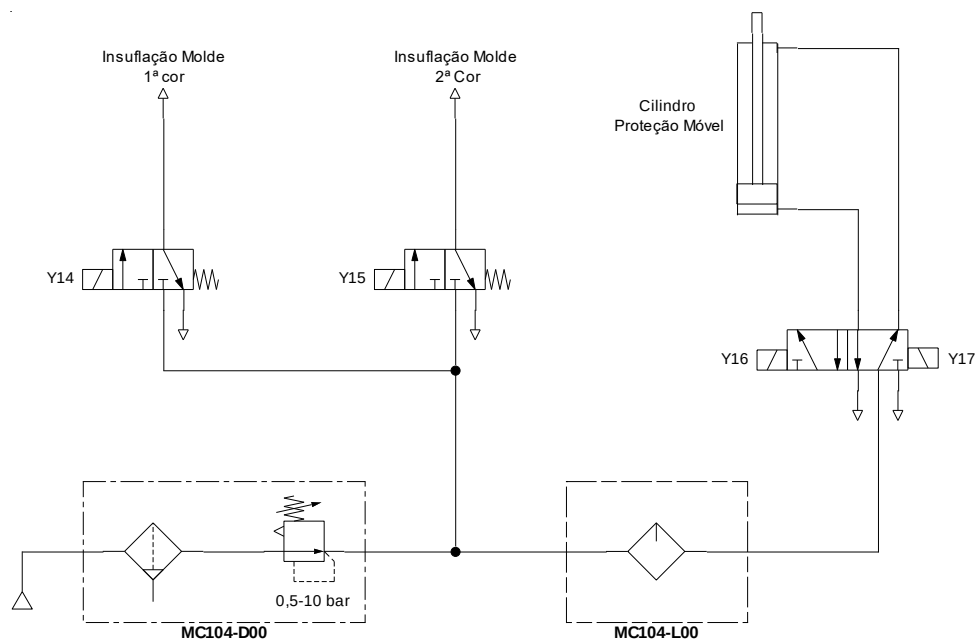
*continua na pág. seguinte

Unidade Energética					
G1PB.UEn.07	1	Tampa Superior Depósito			
G1PB.UEn.08	1	Indicador Nível Óleo			
G1PB.UEn.09	1	Filtro Retorno			
G1PB.UEn.10	1	Plugue Enchimento			
G1PB.UEn.11	1	Respiro			
Quadro Elétrico					
G1PB.QE.01	1	Base			
G1PB.QE.02	2	Lateral			
G1PB.QE.03	1	Interior			
G1PB.QE.04	1	Tampa			
G1PB.QE.05	4	Espaçador			
Comandos					
G1PB.C.01	1	Chapa Botoneiras Direita			
G1PB.C.02	1	Chapa Botoneiras Esquerda			
Proteções					
G1PB.P.PF.00	1	Proteção Frontal	G1PB.P.PF.01	1	Suporte Cilindro
			G1PB.P.PF.02	1	Cilindro Pneumático
			G1PB.P.PF.03	2	Calha Guia
			G1PB.P.PF.04	1	Placa Móvel
			G1PB.P.PF.05	1	Suporte Placa Móvel
			G1PB.P.PF.06	2	Espaçador Fim de Curso
			G1PB.P.PF.07	2	Fim de Curso XCKP2121P16
G1PB.P.PF.0	2	Proteção Lateral	G1PB.P.PL.01	1	Estrutura
			G1PB.P.PL.02	1	Placa Policarbonato
			G1PB.P.PL.03	1	Fixador
			G1PB.P.PL.04	1	Chave Segurança Sick i12 S
			G1PB.P.PL.05	1	Atuador Sick iE12.A1
			G1PB.P.PL.06	1	Cantoneira
			G1PB.P.PL.07	1	Pega
G1PB.P.PA.00	2	Proteção Aquecimento	G1PB.P.PA.01	1	Chapa de Proteção
			G1PB.P.PA.02	1	Batente

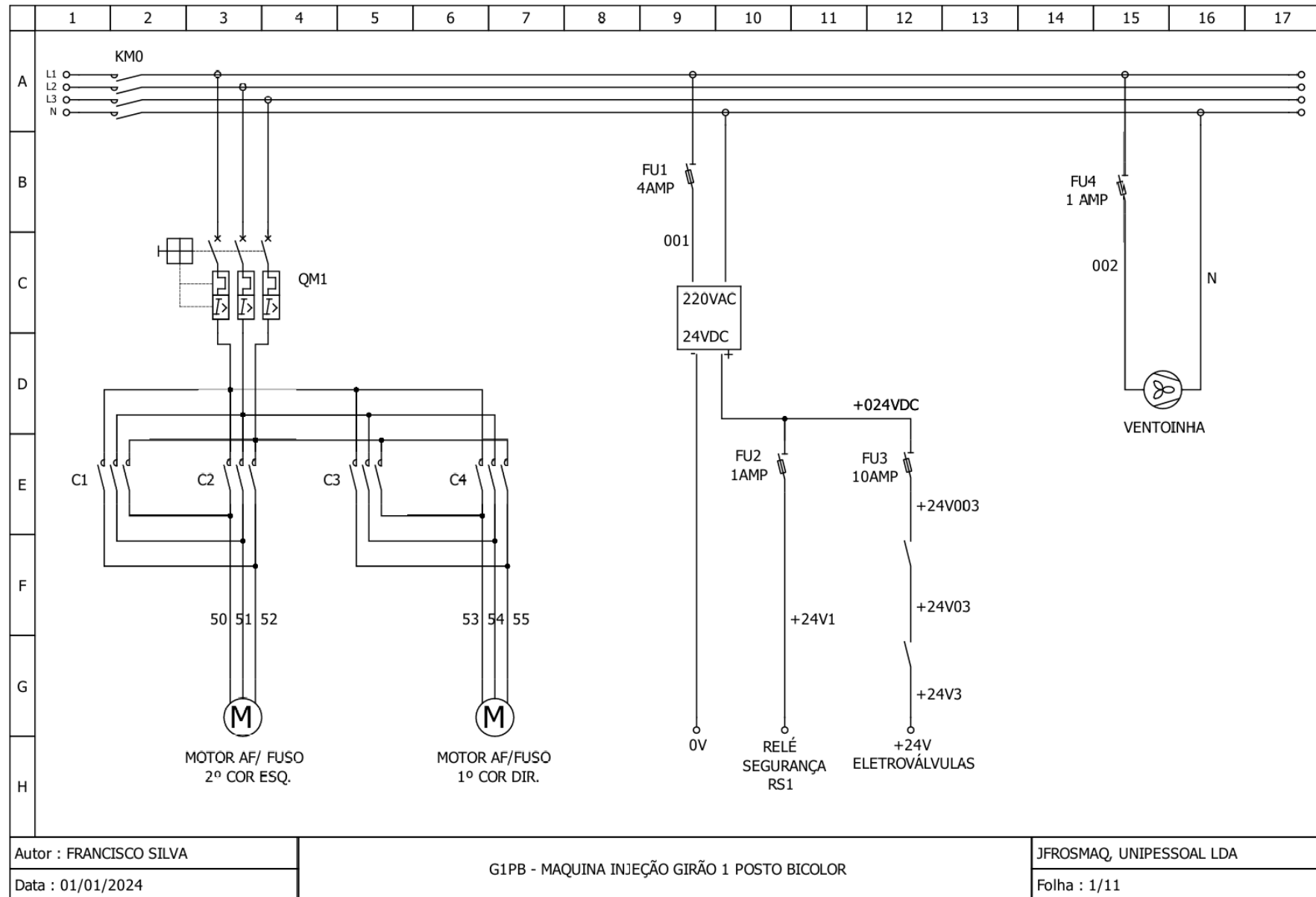
Apêndice B – ESQUEMA HIDRÁULICO

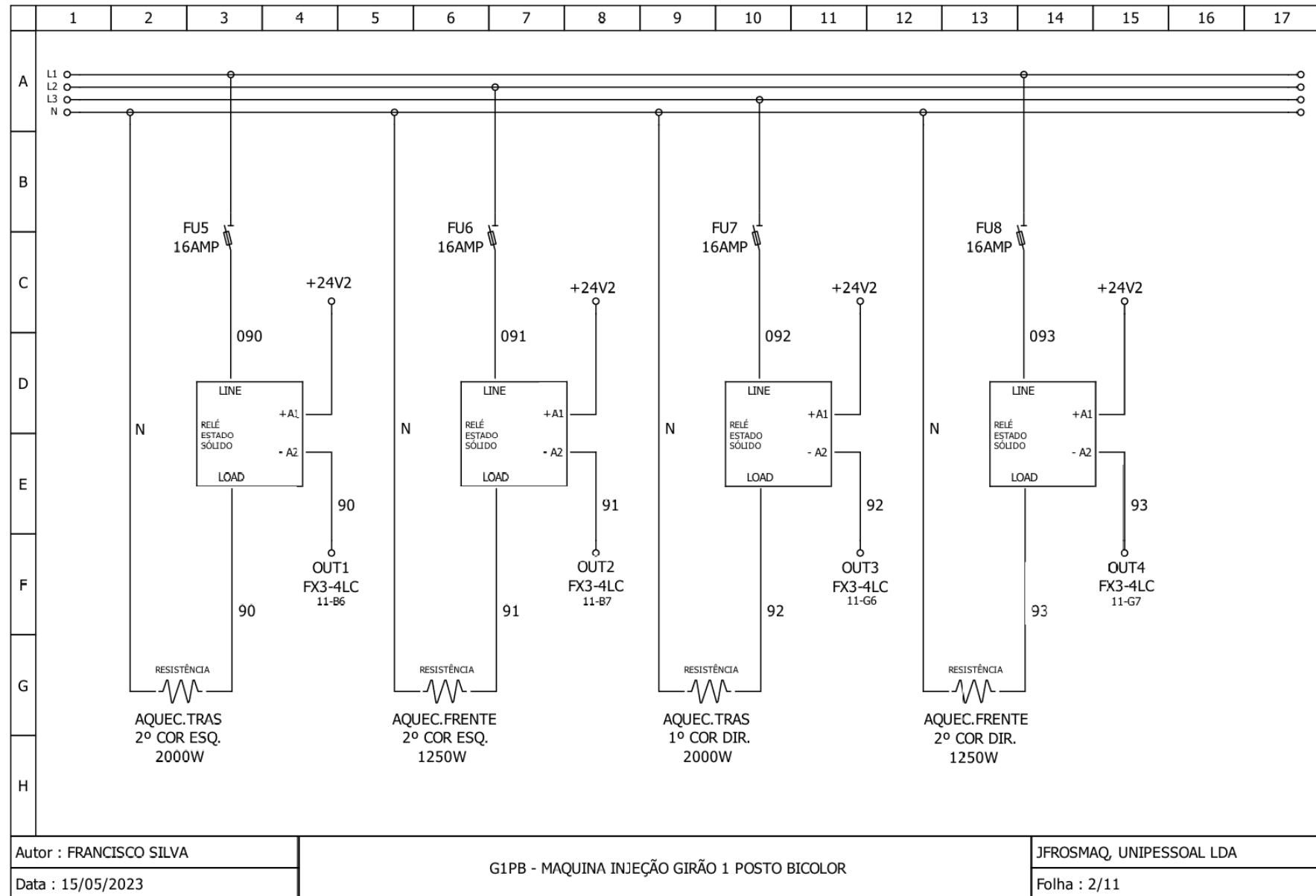


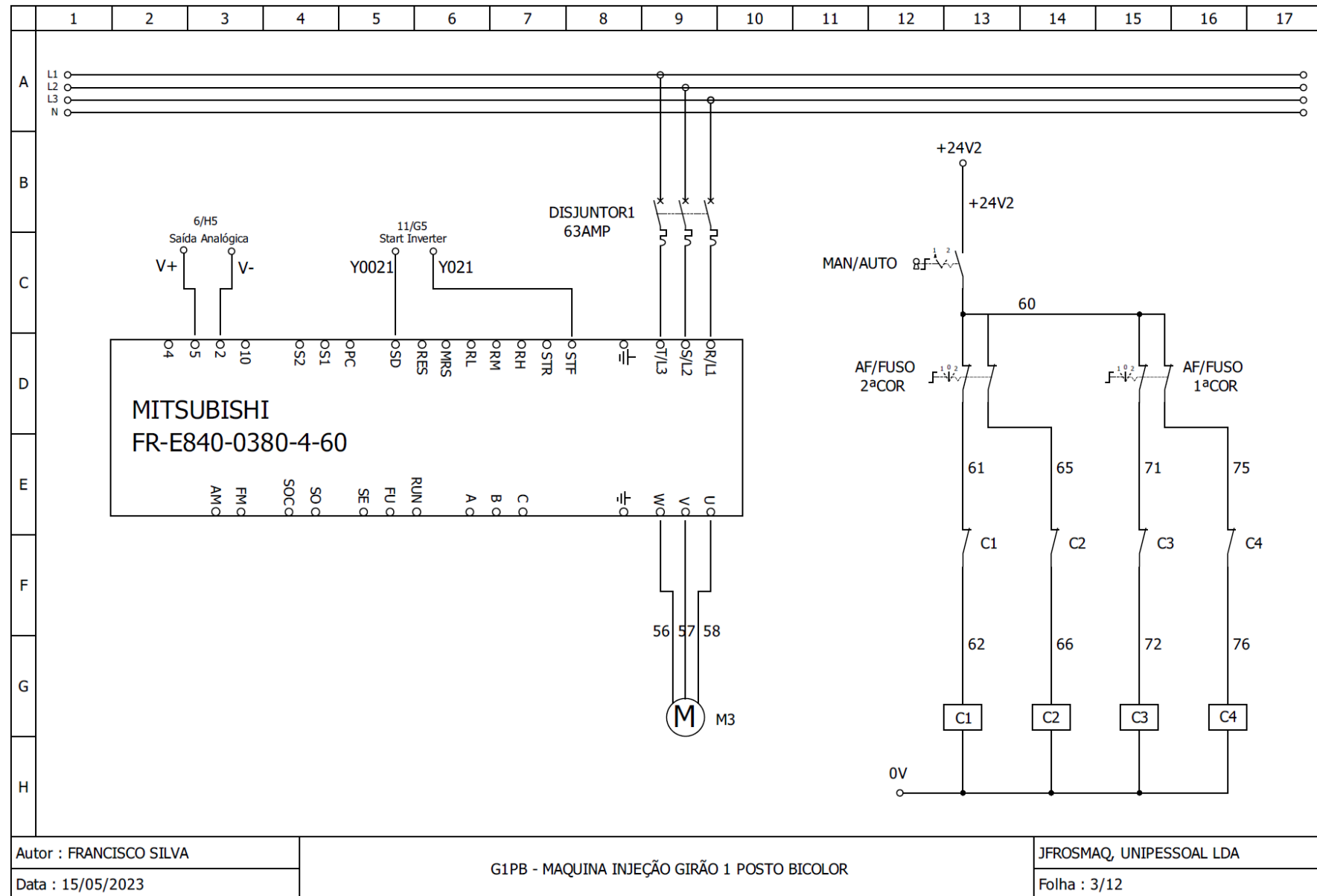
Apêndice C – ESQUEMA PNEUMÁTICO

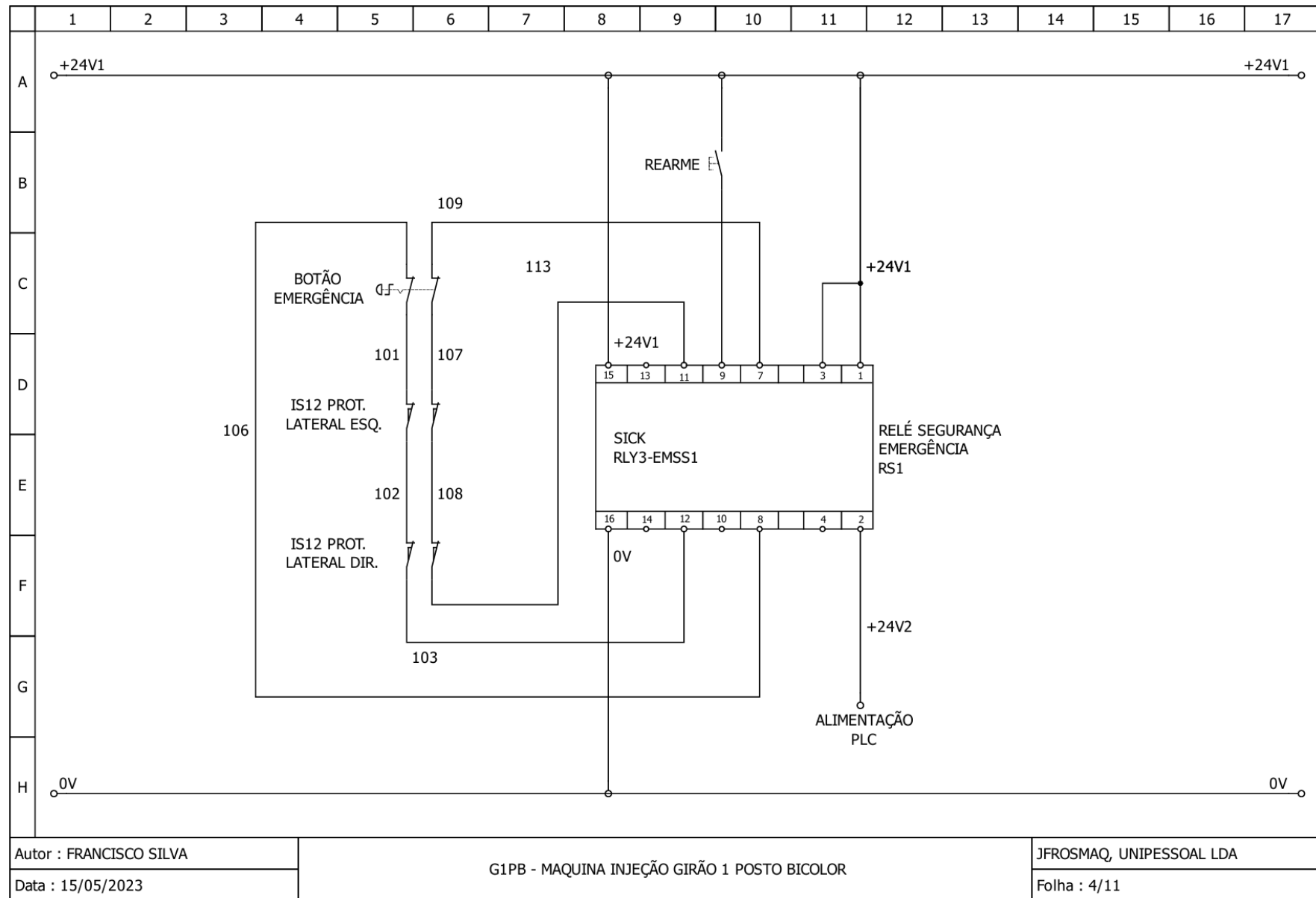


Apêndice D – ESQUEMA ELÉTRICO









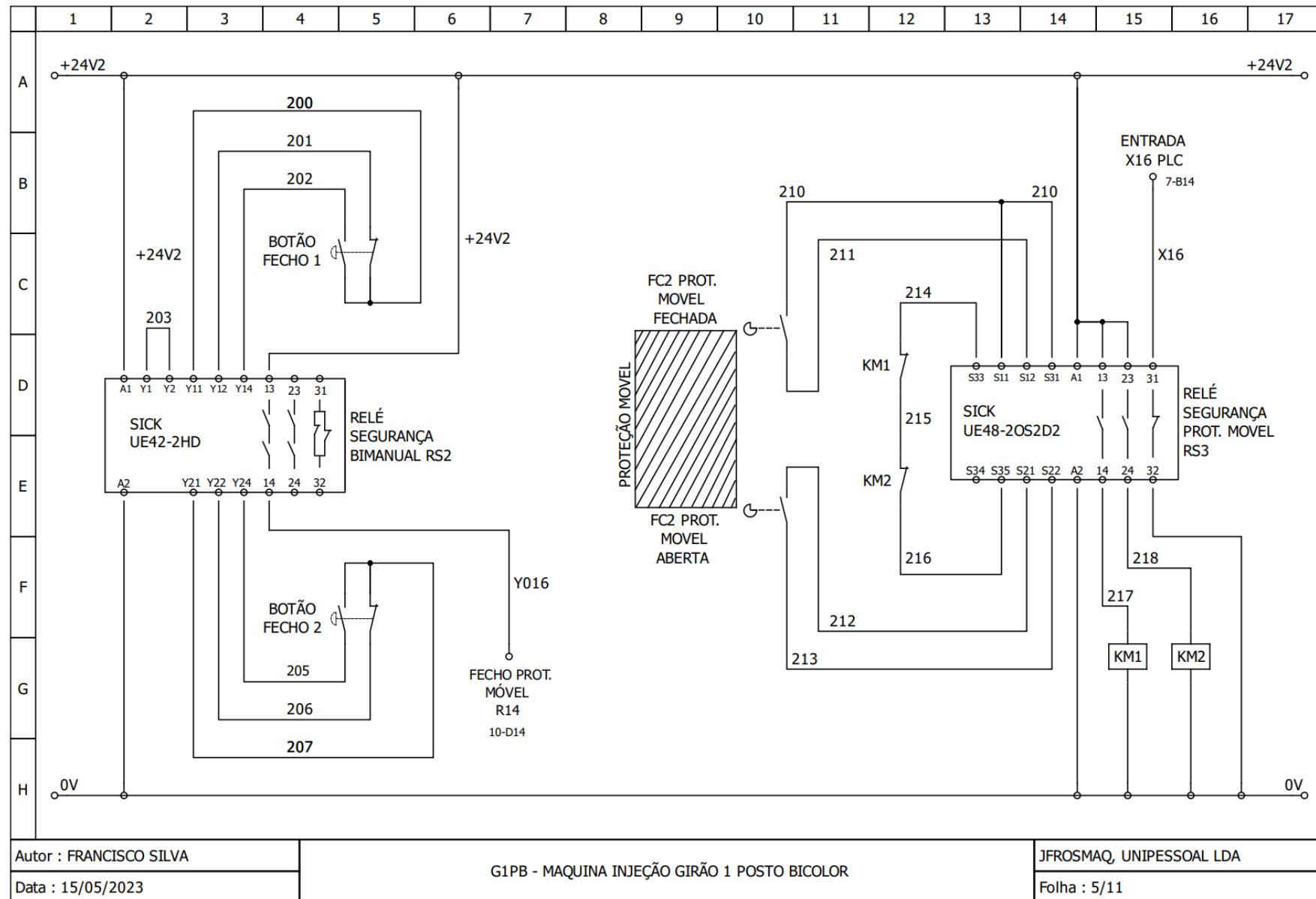
Autor : FRANCISCO SILVA

Data : 15/05/2023

G1PB - MAQUINA INJEÇÃO GIRÃO 1 POSTO BICOLOR

JFROSMAQ, UNIPessoal LDA

Folha : 4/11



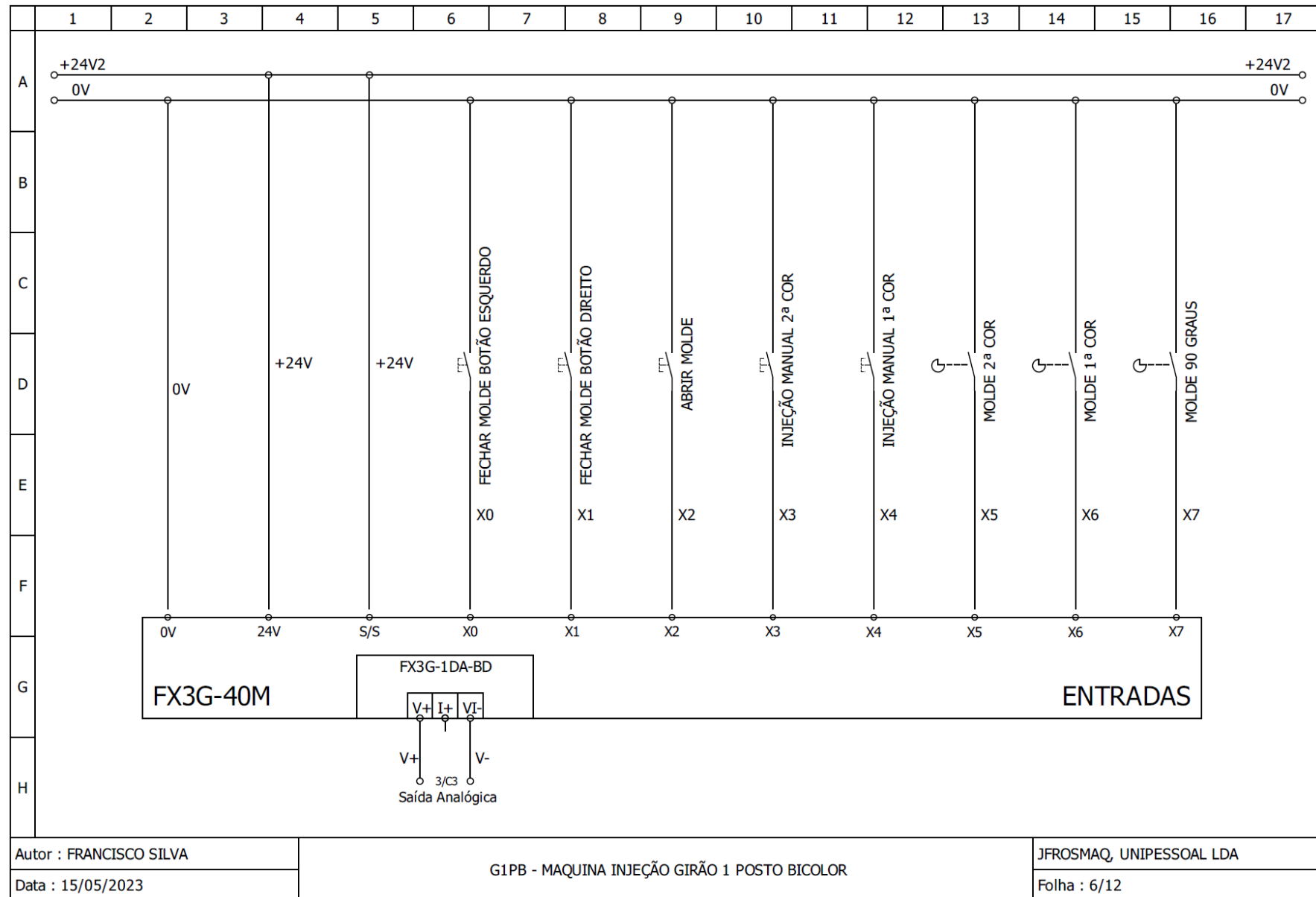
Autor : FRANCISCO SILVA

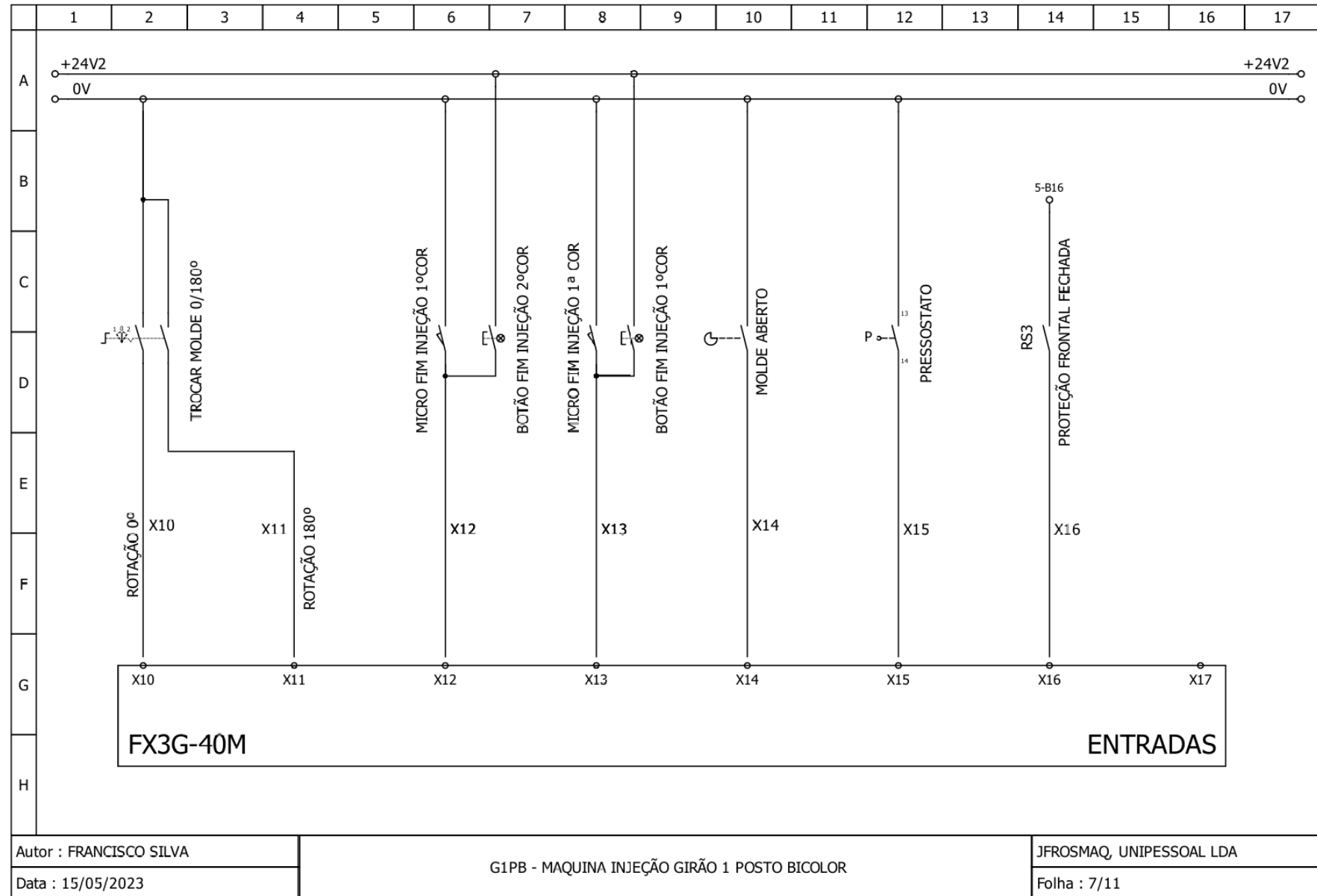
Data : 15/05/2023

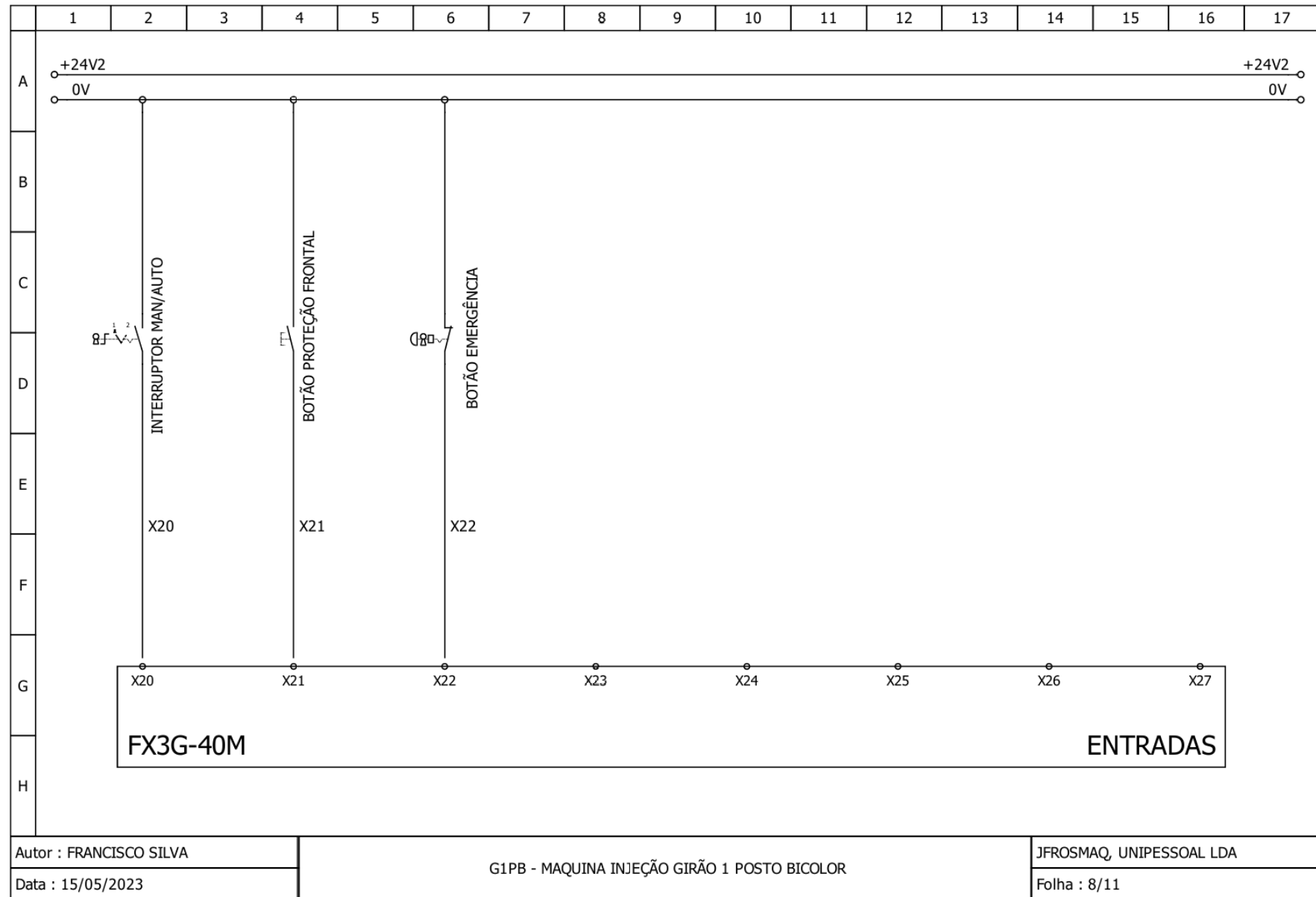
G1PB - MAQUINA INJEÇÃO GIRÃO 1 POSTO BICOLOR

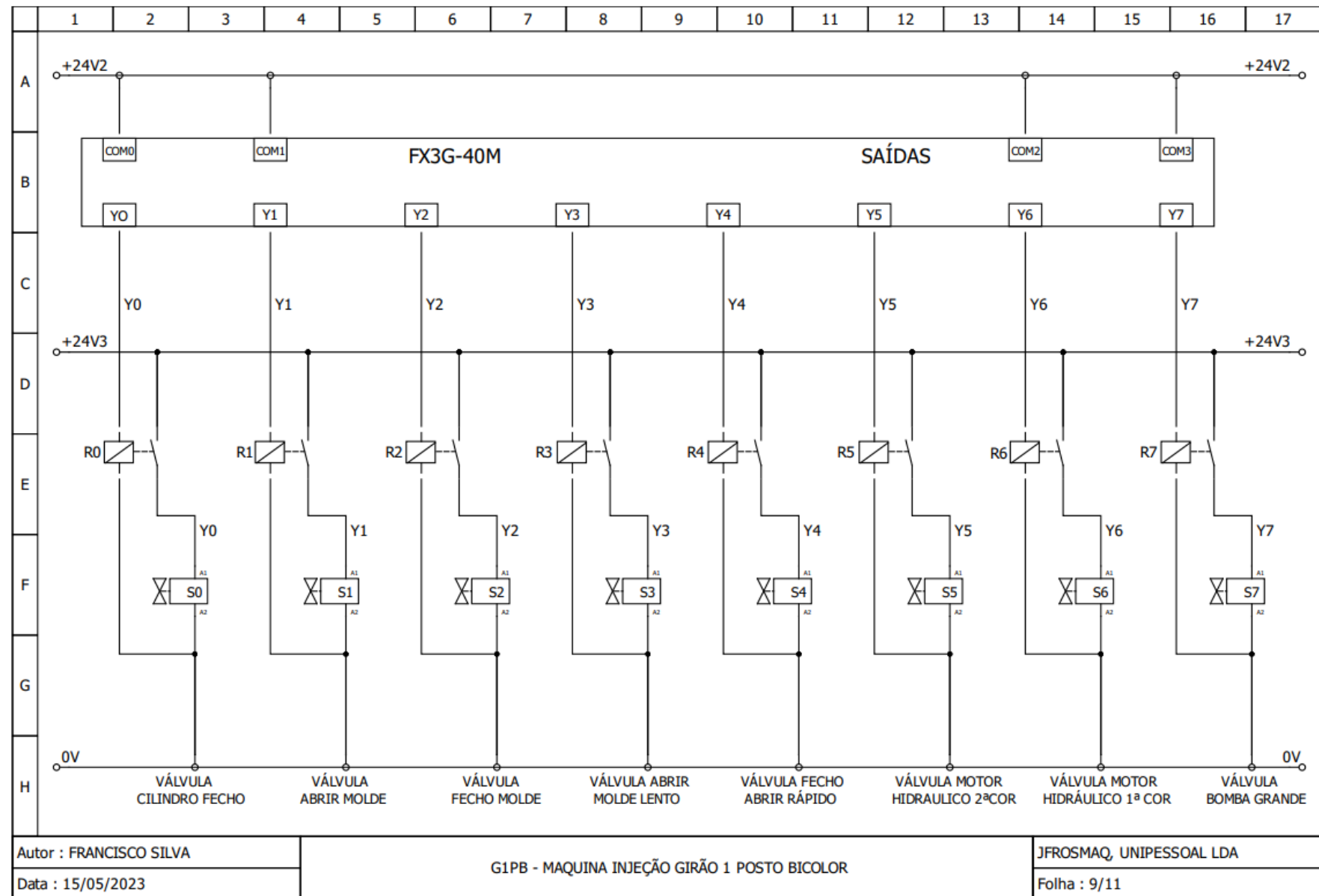
JFROSMAQ, UNIPESSOAL LDA

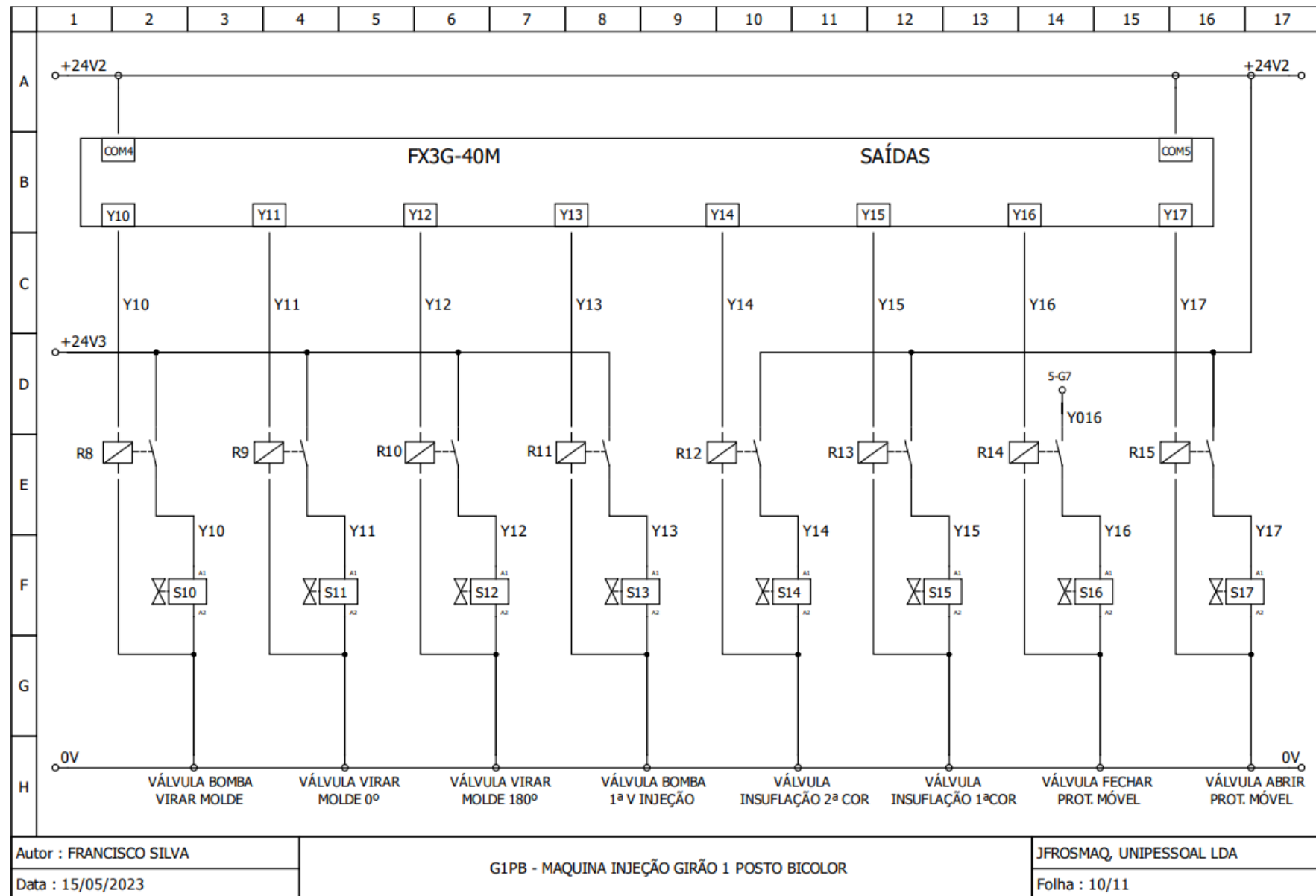
Folha : 5/11

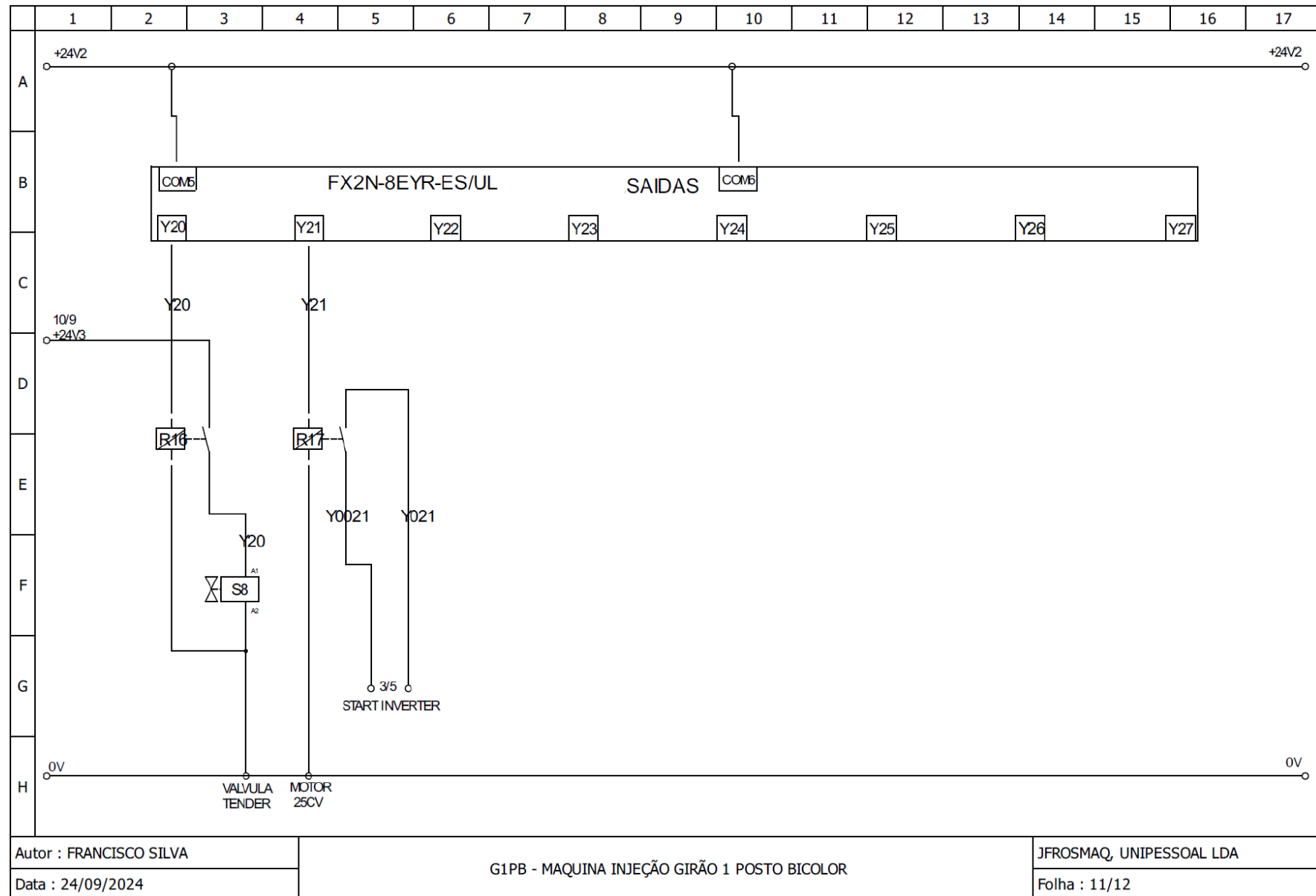


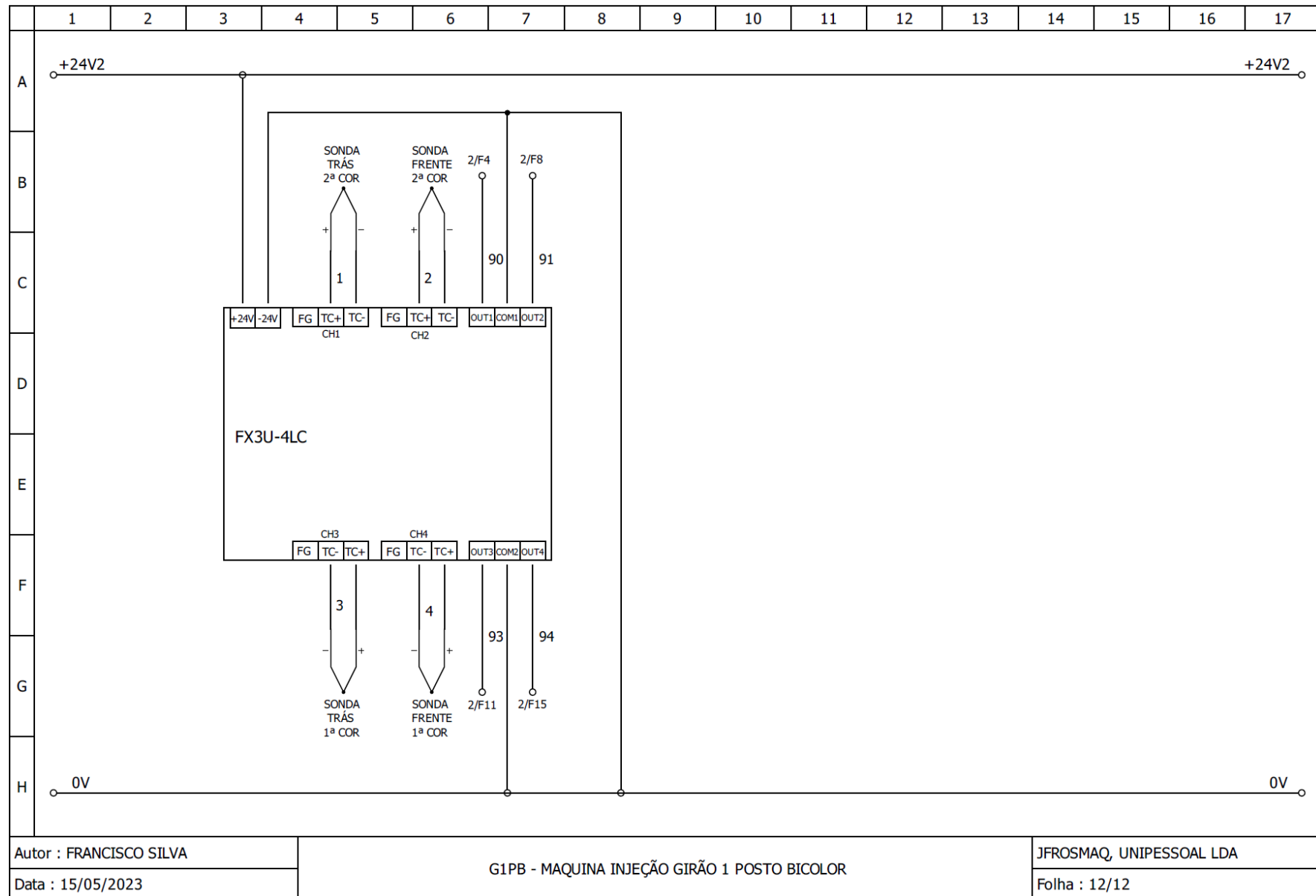












Autor : FRANCISCO SILVA

Data : 15/05/2023

G1PB - MAQUINA INJEÇÃO GIRÃO 1 POSTO BICOLOR

JFROSMAQ, UNIPESSOAL LDA

Folha : 12/12

Apêndice E – VARIÁVEIS DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

Variáveis De Entrada

		Variável	Endereço	Descrição
Variáveis Booleanas	Botões físicos	X_b_fm1	X0	Fecho do molde (comando bimanual)
		X_b_fm2	X1	Fecho do molde (comando bimanual)
		X_b_am	X2	Abertura do molde
		X_b_im2	X3	Injeção manual da 2ª cor
		X_b_im1	X4	Injeção manual da 1ª cor
		X_b_rm1	X10	Rodar molde para a 1ª cor
		X_b_rm2	X11	Rodar molde para a 2ª cor
		X_b_auto	X20	Seleção do modo automático
		X_b_pf	X21	Fecho da proteção frontal
		X_b_emer	X22	Emergência
	Fins de curso	X_s_2cor	X5	Molde na 2ª cor
		X_s_1cor	X6	Molde na 1ª cor
		X_s_90g	X7	Molde a 90 graus
		X_fi_2cor	X12	Fim de injeção da 2ª cor
		X_fi_1cor	X13	Fim de injeção da 1ª cor
		X_fc_ma	X14	Molde aberto
		X_fc_pf	X16	Proteção frontal fechada
	Pressostato	X_press	X15	Pressão de fecho atingida
	Funções	M_ue_on	M400	Ligar a unidade energética
		M_monocolor	M402	Produção de solas monocolors
		M_semiauto	M404	Produção com paragem entre cores
		M_mono_2	M406	Produção monocolor com o fuso da 2ª cor
		M_90graus	M408	Paragem do cabeçote a 90 graus
		M_insuf_2	M410	Ativa a insuflação da 2ª cor
		M_insuf_1	M411	Ativa a insuflação da 1ª cor

*continua na pág. seguinte

		Variável	Endereço	Descrição
Variáveis Booleanas	Funções	M_insuf_inj_2	M412	Ativa a insuflação durante a injeção da 2ª cor
		M_insuf_inj_1	M413	Ativa a insuflação durante a injeção da 1ª cor
		M_insuf_man_2	M414	Ativa a insuflação manual da 2ª cor
		M_insuf_man_1	M415	Ativa a insuflação manual da 1ª cor
		M_aquec_2	M420	Ativa o aquecimento da 2ª cor
		M_aquec_1	M421	Ativa o aquecimento da 1ª cor
		M_inj_max_2	M430	Ativa a injeção da 2ª cor utilizando a bomba dupla
		M_inj_max_1	M431	Ativa a injeção da 1ª cor utilizando a bomba dupla
Variáveis Numéricas	Tempos	D_t_amort	D400	Tempo de amortecimento
		D_t_inj_1	D410	Tempo de injeção da 1ª cor
		D_t_pausa_1	D411	Tempo de pausa da 1ª cor
		D_t_retardo_1	D412	Tempo de retardo da 1ª cor
		D_t_arref_1	D413	Tempo de arrefecimento da 1ª cor
		D_t_inj_2	D420	Tempo de injeção da 2ª cor
		D_t_pausa_2	D421	Tempo de pausa da 2ª cor
		D_t_retardo_2	D422	Tempo de retardo da 2ª cor
		D_t_arref_2	D423	Tempo de arrefecimento da 2ª cor
		D_t_insuf_2	D430	Tempo de insuflação da 2ª cor
		D_t_insuf_1	D431	Tempo de insuflação da 1ª cor
		D_t_insuf_inj_2	D432	Tempo de insuflação durante a injeção da 2ª cor
		D_t_insuf_inj_1	D433	Tempo de insuflação durante a injeção da 1ª cor
		D_t_insuf_man_2	D434	Tempo de insuflação manual da 2ª cor
		D_t_insuf_man_1	D435	Tempo de insuflação manual da 1ª cor

*continua na pág. seguinte

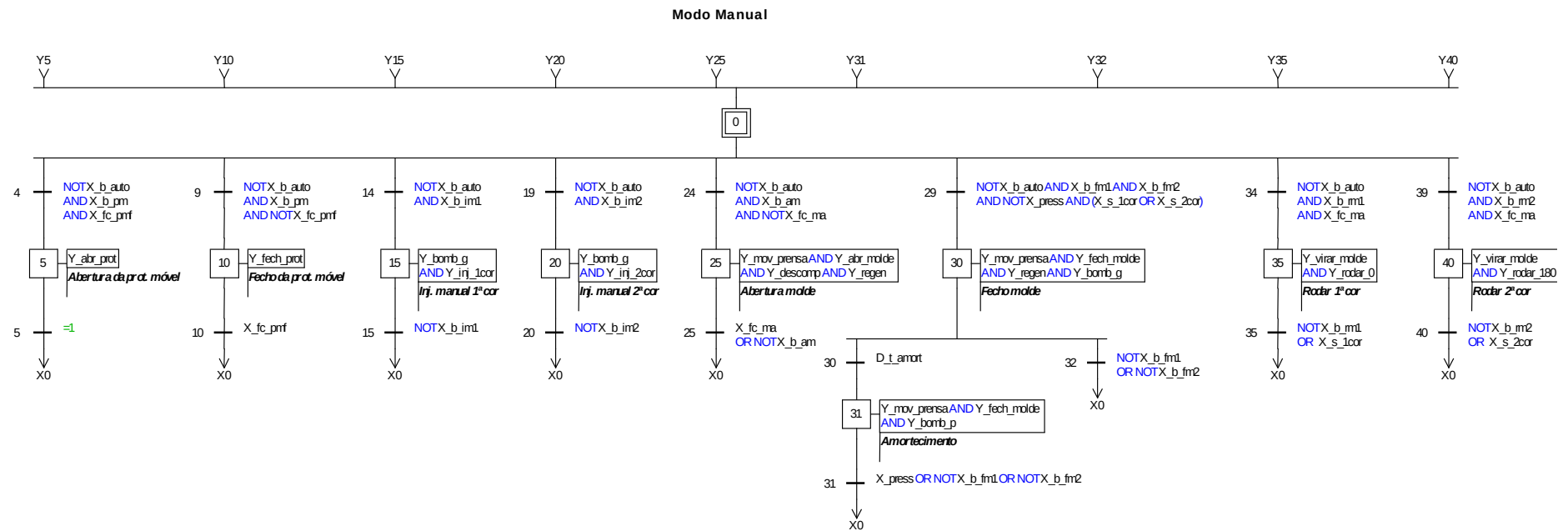
		Variável	Endereço	Descrição
Variáveis Numéricas	Velocidades	D_saida_variador	D0	Saída variador
		D_abr_molde	D450	Velocidade de abertura do molde
		D_fech_molde	D451	Velocidade de fecho do molde
		D_virar_molde	D522	Velocidade de troca de molde
		D_inj_2cor	D460	Velocidade de injeção da 2ª cor
		D_inj_1cor	D461	Velocidade de injeção da 1ª cor
		D_retardo_2cor	D462	Velocidade de retardo da 2ª cor
		D_retardo_1cor	D463	Velocidade de retardo da 1ª cor
	Temperatura	D_SP_2cor_frente	D800	Temperatura desejada para a zona da frente do extrusor da 2ª cor
		D_SP_2cor_tras	D801	Temperatura desejada para a zona de trás do extrusor da 2ª cor
		D_SP_1cor_frente	D802	Temperatura desejada para a zona da frente do extrusor da 1ª cor
		D_SP_1cor_tras	D803	Temperatura desejada para a zona de trás do extrusor da 1ª cor
		D_PV_2cor_frente	D810	Temperatura lida para a zona da frente do extrusor da 2ª cor
		D_PV_2cor_tras	D811	Temperatura lida para a zona de trás do extrusor da 2ª cor
		D_PV_1cor_frente	D812	Temperatura lida para a zona da frente do extrusor da 1ª cor
		D_PV_1cor_tras	D813	Temperatura lida para a zona de trás do extrusor da 1ª cor

Variáveis de Saída

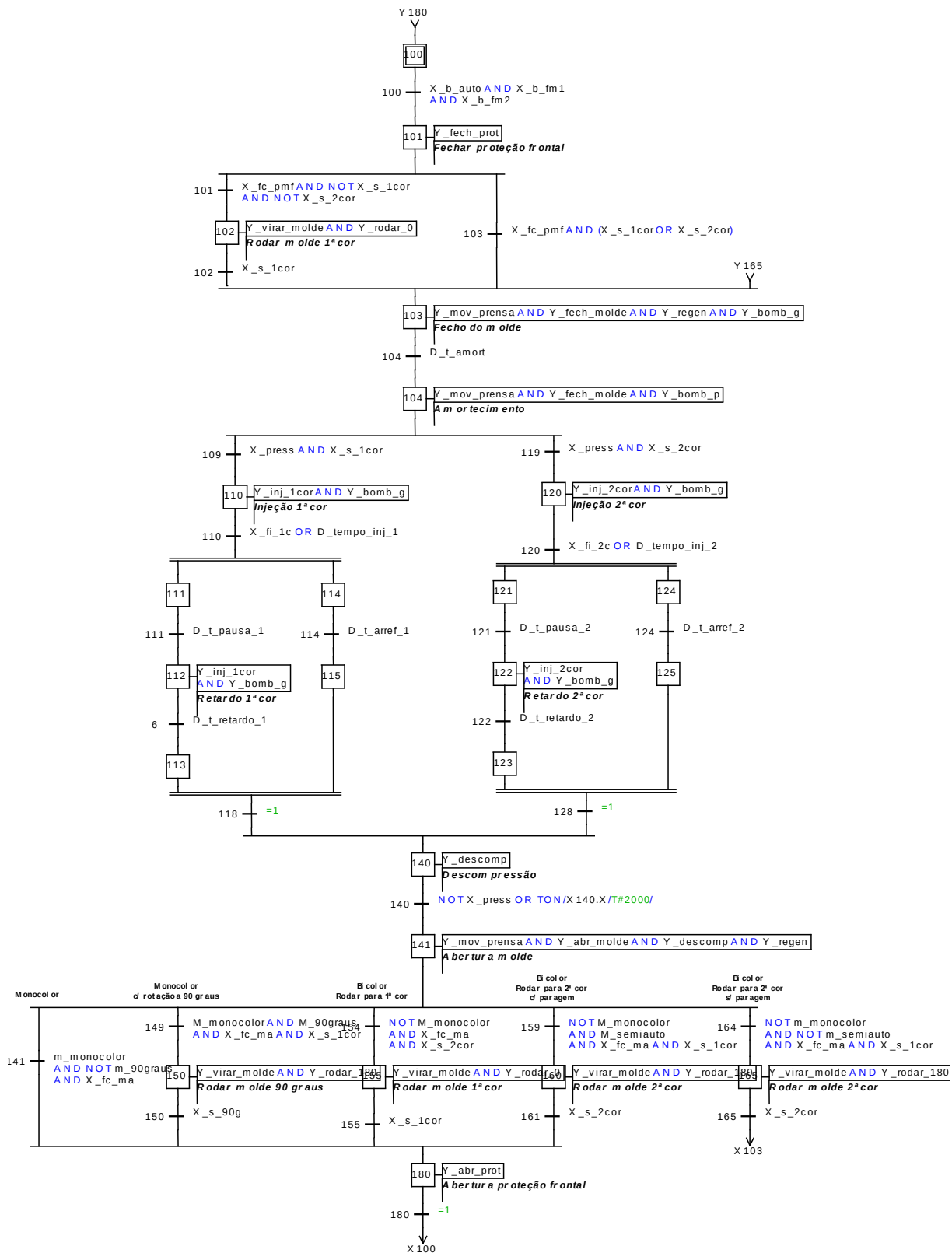
		Variável	Endereço	Descrição
Variáveis Booleanas	Válvulas Hidráulicas	Y_mov_prensa	Y0	2ª velocidade cilindro
		Y_abr_molde	Y1	Fecho do molde
		Y_fech_molde	Y2	Abertura do molde rápida
		Y_descomp	Y3	Abertura do molde lenta
		Y_regen	Y4	Fecho/abrir lento
		Y_inj_2cor	Y5	Injeção da 2ª cor
		Y_inj_1cor	Y6	Injeção da 1ª cor
		Y_bomb_g	Y7	Bomba grande 2ª velocidade
		Y_virar_molde	Y10	Bomba 1ª velocidade virar molde
		Y_rodar_0	Y11	Virar molde 1ª cor
		Y_rodar_180	Y12	Virar molde 2ª cor
		Y_bomb_p	Y13	Bomba 1ª velocidade injeção
	Válvulas Pneumáticas	Y_insuf_1cor	Y14	Insuflação 2ª cor
		Y_insuf_2cor	Y15	Insuflação 1ª cor
		Y_fech_prot	Y16	Fecho da proteção móvel
		Y_abr_prot	Y17	Abertura da proteção móvel
Variáveis Numéricas	Saída Variador	D_saida_variador	D0	Saída para o variador

Apêndice F – ESPECIFICAÇÃO DO COMANDO DO SISTEMA

Grafcet do Modo Manual



Grafcet do Modo Automático



Grafets de Controlo da Insuflação

