



AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE CABOS DE COMANDO PARA AUTOMÓVEIS

LUÍS MIGUEL BRITO COELHO

setembro de 2021

AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE CABOS DE COMANDO PARA AUTOMÓVEIS

Luís Miguel Brito Coelho
1160824

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica





AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE CABOS DE COMANDO PARA AUTOMÓVEIS

Luís Miguel Brito Coelho
1160824

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Francisco José Gomes Silva, e coorientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica





JÚRI

Presidente

Doutora Rafaela Carla Barros Casais

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor António Manuel de Bastos Pereira

Professor Associado com Agregação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Doutor Francisco Silva pelo apoio prestado, ao longo das várias fases da elaboração da dissertação.

À FicoCables, pela oportunidade dada para a realização do estágio, assim como, pelas ferramentas fornecidas e confiança depositada.

Ao departamento dos processos, por toda a ajuda prestada e sugestões, permitindo assim, finalizar o estágio e enriquecer o meu conhecimento sobre as várias temáticas abordadas.

Ao Engenheiro Mário Cardoso pela disponibilidade e apoio demonstrado, durante o decorrer do estágio.

Por fim, um especial agradecimento à minha família e amigos, que através do seu apoio, paciência e dedicação, me ajudaram a percorrer o percurso para que, pudesse estar nesta posição.

PALAVRAS CHAVE

Indústria automóvel, Cabos de comando, Automatização de processos, Homem vs. máquina, Programação de autómatos, Automação Industrial.

RESUMO

A indústria automóvel apresenta-se como sendo uma das mais importantes, tanto na economia de cada país, como na economia mundial. No entanto, nos últimos anos têm-se verificado uma recessão, tanto ao nível de automóveis fabricados como ao nível de automóveis vendidos. As empresas do setor, incluindo também as que se destinam ao fabrico de componentes para veículos, estão sujeitas a fortes exigências. Uma delas, é a forte competitividade que existe na indústria. Como tal, estas são obrigadas a recorrer a tecnologias de ponta para se tornarem sustentáveis e economicamente competitivas, sem colocar em causa a qualidade dos seus produtos.

O presente trabalho foi solicitado pela FicoCables, do grupo Ficosa, tendo em vista a automatização de um equipamento, capaz de produzir subconjuntos para cabos de comando. Este novo equipamento, surge da necessidade que a empresa tinha em aumentar a quantidade de cabos produzidos na linha de produção JLR, para conseguir assim, satisfazer as suas encomendas. Era também expectável que fosse conseguido, reduzir a intervenção da mão de obra utilizada e, de certa forma, os custos associados à linha de produção.

Para resolver o problema acima referido, foi previamente projetado um novo equipamento. O principal foco deste trabalho foi automatizar esse equipamento. Deste modo, para que fosse possível automatizar este equipamento, era necessário conhecer todo o processo e, posteriormente, selecionar corretamente os dispositivos necessários, visto que existe no mercado uma panóplia de componentes que permitem automatizar um equipamento. Concluído este processo, procedeu-se ao desenvolvimento da programação dos respetivos autómatos e HMI's (*Human Machine Interface*).

Em suma, concluída a automatização do equipamento e incorporando este na linha de produção JLR, foi conseguido reduzir o tempo de produção de oito segundos para sete segundos, aproximadamente. Esta redução, conseqüentemente, irá fazer com que o número de peças produzidas seja superior. Ao nível financeiro, também foi conseguido verificar-se melhorias. Consegue-se produzir mais unidades, com menos recursos, humanos e materiais, eliminando inventários intermédios, e deste modo, o capital usado para a construção do equipamento é amortizado em cerca de 9 meses.

KEYWORDS

Automotive industry, Control cables, Process automation, Man vs. Machine, Automaton Programming, Industrial Automation.

ABSTRACT

The automobile industry presents itself as one of the most important, both in the terms of economy of each country and in the world economy. However, in recent years there has been a recession, both in terms of cars manufactured and in terms of cars sold. Companies in the sector, including those involved in the manufacture of vehicle components, are subject to strong challenges. One of them is the strong competitiveness that exists in the industry. As such, they are forced to use cutting-edge technologies to become sustainable and economically competitive, without jeopardizing the quality of their products.

This work was requested by FicoCables, from the Ficosa group, with a view to automating an equipment capable of producing sub-assemblies for command cables. This new equipment arises from the company's need to increase the quantity of cables produced on the JLR production line, in order to fulfill its orders. It was also expected that it would be achieved, reducing the intervention of the labor used and, in a certain way, the costs associated with the production line.

Thus, a new equipment was previously designed to overcome the aforementioned problem. In order to automate this equipment, the main focus of this work, it was necessary to know the entire process and, subsequently, correctly select the necessary devices, since there is a panoply of components on the market that allow the automation of equipment. Once this process was completed, the programming of the respective automata and HMI's (Human Machine Interface) was developed.

In short, having completed the automation of the equipment and incorporating it into the JLR production line, it was possible to reduce the production time from eight seconds to approximately seven seconds. This reduction, consequently, will make the number of parts produced higher. At the financial level, improvements were also achieved. It is possible to produce more units, with fewer resources, human and material, eliminating intermediate inventories, and in this way, the capital used for the construction of the equipment is amortized in about 9 months.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

AFIA	Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
CPU	<i>Central Processing Units</i>
DML	<i>Dedicated Manufacturing Systems</i>
EBIT	<i>Earnings Before Interest and Taxes</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FMS	<i>Flexible Manufacturing Systems</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
IAMS	<i>Identity and Access Management</i>
IL	<i>Instruction List</i>
IoS	<i>Internet of Services</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JLR	<i>Jaguar Land Rover</i>
LD	<i>Ladder Diagram</i>
LIMS	<i>Laboratory Information Management Systems</i>
MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PA	Poliamida
PIB	Produto Interno Bruto
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de Vinilo
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RMS	<i>Reconfigurable Manufacturing Systems</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
RU	Reino Unido
SAP	Sistemas, Aplicativos e Produtos
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
ST	<i>Structured Text</i>
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
UE	União Europeia
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
ZAMAK	Acrónimo alemão para os elementos primários da liga, Zink (Zinco), Aluminium (Alumínio), Magnesium (Magnésio) e Kupfer (Cobre)

Lista de Unidades

A	Ampere
bar	Bar
Hz	Hertz
m	Metro
N	Newton
Nm	Newton metro
rpm	Rotações por minuto
s	segundo
V	Volt

Lista de Símbolos

€	Euro
%	Percentagem

GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>Driver</i>	Unidade de potência responsável pelo acionamento de um determinado motor
<i>Encoder</i>	Dispositivo eletrónico que reproduz impulsos eletrónicos a partir do movimento angular do seu eixo
<i>Interface</i>	Conexão entre duas partes, que podem ser componentes elétricos ou entre uma pessoa e a máquina
<i>Layout</i>	Forma como estão organizadas e distribuídos os componentes de um determinado sistema ou mecanismo
<i>Grafcet</i>	Modelo gráfico usado para descrever um automatismo, transitando de uma etapa para a outra sempre que as informações que recebe, satisfazem as condições para que ocorra a transição.
<i>Motion</i>	Módulo de programação utilizado para efetuar o controlo dos movimentos dos servomotores
<i>Stakeholders</i>	Grupo de pessoas com interesse nos processos e resultados de uma empresa
<i>Setup</i>	Configuração que permite que o utilizador faça alterações em determinados programas ou sistemas, ajustando-o às suas necessidades.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - INSTALAÇÕES DA FICOCABLES EM PORTUGAL OEM [1]	3
FIGURA 2 – LINHA DE MONTAGEM DA INDÚSTRIA AUTOMÓVEL [5]	7
FIGURA 3 - PRODUÇÃO DE AUTOMÓVEIS A NÍVEL MUNDIAL, EM MILHÕES DE UNIDADES [9]	9
FIGURA 4 - PRODUÇÃO MUNDIAL DE AUTOMÓVEIS DE PASSAGEIROS, EM MILHÕES DE UNIDADES [9]	10
FIGURA 5 - PRODUÇÃO MUNDIAL DE VEÍCULOS COMERCIAIS, EM MILHÕES DE UNIDADES [9]	11
FIGURA 6 - EMPREGO NO SETOR AUTOMÓVEL NA UE, EM MILHÕES DE EMPREGOS [9]	11
FIGURA 7 - INDÚSTRIA AUTOMÓVEL PORTUGUESA EM RETROSPETIVA [8]	12
FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO DAS EMPRESAS DO SETOR AUTOMÓVEL EM PORTUGAL [10]	13
FIGURA 9 - LOCALIZAÇÃO DE CABOS DE COMANDO NUM VEICULO; (1) CABO DE JANELA AUTOMÁTICO; (2) CABO DE ABERTURA DE <i>CAPOT</i> ; (3) CABO DE TRAVÃO; (4) CABO ABERTURA DE MALA; [18]	16
FIGURA 10 - CABOS DE COMANDO DO TIPO ZZH, IBT E IBT LASSO (ADAPTADO DE [18])	19
FIGURA 11 - A) CONSTITUIÇÃO DO CABO METÁLICO; B) VISTA EM CORTE DOS DIFERENTES ELEMENTOS QUE CONSTITUEM O CABO [16]	20
FIGURA 12 - DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE CABO METÁLICO [17]	20
FIGURA 13 - EXEMPLO DE CABOS DE COMANDO PRODUZIDOS NA FICOCABLES	23
FIGURA 14 - EVOLUÇÃO INDUSTRIAL [28]	27
FIGURA 15 - SISTEMAS DE PRODUÇÃO DMS, RMS, FMS [29]	28
FIGURA 16 - EVOLUÇÃO DO EMPREGO COM A DIGITALIZAÇÃO DAS EMPRESAS, ENTRE 2001 E 2015 [38]	32
FIGURA 17 - ANALOGIA HOMEM X MÁQUINA (ELABORAÇÃO PRÓPRIA)	33
FIGURA 18 - ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DE UM SISTEMA [39]	34
FIGURA 19 - A) ATUADOR HIDRÁULICO; B) ATUADOR PNEUMÁTICO; C) ATUADOR ELÉTRICO [45]	37
FIGURA 20 - PLC (<i>PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER</i>) [44]	38
FIGURA 21 - ESTRUTURA BÁSICA DE UM PLC [41]	39
FIGURA 22 – EXEMPLO TIPO DA LINGUAGEM LD	41
FIGURA 23 – EXEMPLO TIPO DA LINGUAGEM ST	41
FIGURA 24 – EXEMPLO TIPO DA LINGUAGEM SFC	42
FIGURA 25 – A) COMPUTADOR INDUSTRIAL; B) HMI [44]	43
FIGURA 26 – DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DO GRUPO FICOSA ([52])	47
FIGURA 27 – APLICAÇÃO DO CABO DE COMANDO NO AUTOMÓVEL	49
FIGURA 28 – FABRICO DA ESPIRAL	49
FIGURA 29 – REVESTIMENTO DA ESPIRAL	50
FIGURA 30 – CORTE DA ESPIRAL	50
FIGURA 31 – CORTE DO TUBO ESTRELA	51
FIGURA 32 – CORTE DO CABO DE AÇO	51
FIGURA 33 – 1ª INJEÇÃO DO TERMINAL DE ZAMAK	52
FIGURA 34 – POSTO DE INTRODUÇÃO DO TUBO ESTRELA NA ESPIRAL	52
FIGURA 35 – MONTAGEM DOS TERMINAIS DE ESPIRAL, PUNÇIONAMENTO E MARCAÇÃO <i>LASER</i>	53
FIGURA 36 – INTRODUÇÃO DO CABO DE AÇO NO SUBCONJUNTO	53

FIGURA 37 – 2ª INJEÇÃO DO TERMINAL DE ZAMAK E CONTROLO DE QUALIDADE	54
FIGURA 38 – CABO DE COMANDO JLR	54
FIGURA 39 – A) LAYOUT ATUAL DA LINHA JLR; B) LAYOUT PROPOSTO PARA A LINHA JLR	56
FIGURA 40 – NOVO EQUIPAMENTO AUTOMÁTICO PARA A LINHA JLR	57
FIGURA 41 – PRIMEIRO SUBCONJUNTO	58
FIGURA 42 – FLUXOGRAMA DO MODO DE FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO	63
FIGURA 43 – DESCRIÇÃO DO POSTO 1	64
FIGURA 44 – DESCRIÇÃO DO POSTO 2	65
FIGURA 45 - DESCRIÇÃO DO POSTO 3	66
FIGURA 46 - DESCRIÇÃO DO POSTO 4	67
FIGURA 47 - DESCRIÇÃO DO POSTO 5	68
FIGURA 48 – A) QUADRO ELÉTRICO DO POSTO 1; B) QUADRO ELÉTRICO DO POSTO 2, 3, 4, 5.....	79
FIGURA 49 – GRAFCET DO POSTO 1	81
FIGURA 50 – GRAFCET DO POSTO 2	82
FIGURA 51 – GRAFCET DO POSTO 3	83
FIGURA 52 – GRAFCET DO POSTO 4	84
FIGURA 53 – GRAFCET DO POSTO 5	85
FIGURA 54 – CONSOLA HMI CDPC ;A) ECRÃ PRINCIPAL; B) ECRÃ DO MODO AUTOMÁTICO; C) ECRÃ DA QUANTIDADE DE PEÇAS PRODUZIDAS; D) ECRÃ DO MODO MANUAL;	86
FIGURA 55 - CONSOLA HMI X2 BASE ;A) ECRÃ PRINCIPAL; B) ECRÃ DOS PARÂMETROS DO EIXO DE CORTE DE ESPIRAL; C) ECRÃ DA REFERÊNCIA DE TRABALHO; D) ECRÃ DO MODO MANUAL.....	87
FIGURA 56 – QUANTIDADE DE PEÇAS PRODUZIDAS PELO EQUIPAMENTO	88

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - TOP 10 DAS MARCAS MAIS VENDIDAS NO MUNDO EM 2019 [7]	8
TABELA 2 - PRODUÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMÓVEIS, EM MILHÕES DE UNIDADES [9].....	9
TABELA 3 - PAÍSES AFETADOS PELA COVID-19 [9].....	14
TABELA 4 - TRABALHOS DESENVOLVIDOS SOBRE CABOS DE COMANDO PARA AUTOMÓVEIS	17
TABELA 5 - ACESSÓRIOS UTILIZADOS NA MONTAGEM DE CABOS DE COMANDO E AS FUNÇÕES DESEMPENHADAS.....	21
TABELA 6 - TRABALHOS DESENVOLVIDOS NO ÂMBITO DE AUTOMATIZAÇÃO DE PROCESSOS.....	25
TABELA 7 - DIFERENTES TIPOS DE SENSORES.....	35
TABELA 8 - PRINCIPAIS FABRICANTES DE PLCS [49]	40
TABELA 9 – QUANTIDADE DE PEÇAS PRODUZIDAS ATUALMENTE VS. PEÇAS PRETENDIDAS	58
TABELA 10 – DIMENSÕES DOS COMPONENTES DO 1º SUBCONJUNTO, CONFORME A REFERÊNCIA.....	58
TABELA 11 – REQUISITOS DE FUNCIONAMENTO	61
TABELA 12 – CONDIÇÕES DO SISTEMA <i>ANDON</i>	71
TABELA 13 – MATERIAL ELÉTRICO E PNEUMÁTICO UTILIZADO [44, 45, 54-63]	72
TABELA 14 - SINALIZAÇÃO	90
TABELA 15 – AÇÕES DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA	91
TABELA 16 – ORÇAMENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO.....	92
TABELA 17 – ANÁLISE FINANCEIRA.....	93
TABELA 18 – FATORES ESTIMADOS PARA ANÁLISE DO <i>PAYBACK</i>	94
TABELA 19 – ANÁLISE AO CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS PROPOSTOS PARA O PROJETO	97

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Metodologia	2
1.4	Estrutura do relatório	3
1.5	Local/Empresa de acolhimento	3
2	CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	7
2.1	Indústria Automóvel	7
2.1.1	Importância da Indústria Automóvel na Economia Mundial	8
2.1.2	Importância da Indústria Automóvel na Economia Nacional	12
2.1.3	Impacto da Pandemia	13
2.1.4	Pilares da Indústria Automóvel	14
2.2	Automatização do Fabrico de Cabos Metálicos para Automóveis	16
2.2.1	Tipos de Cabos	18
2.2.2	Constituição dos Cabos	18
2.2.3	Processos usados no Fabrico dos Cabos de Comando para Automóveis	24
2.3	Automatização dos Processos	24
2.3.1	Evolução dos Processos Produtivos	27
2.3.2	Necessidade de Automatizar Processos	29
2.3.3	Automação vs. Homem	31
2.3.4	Componentes de Acionamento e Controlo de Sistemas Automatizados	32
3	CARATERIZAÇÃO DA EMPRESA, DO PROCESSO E DO PROBLEMA	47
3.1	Caraterização da Empresa	47
3.1.1	Grupo FICOSA	47
3.1.2	Ficocables	48
3.2	Caraterização do Processo	48
3.3	Caracterização do Problema	55
3.4	Caracterização do Produto	58

4	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS	61
4.1	Requisitos de Funcionamento.....	61
4.2	Descrição do Modo de Funcionamento	62
4.2.1	Princípio de Funcionamento	69
4.3	Seleção do Material Necessário	72
4.4	Programação dos PLC's.....	79
4.5	HMI.....	85
4.6	Resultados Obtidos	87
4.7	Manual de Operação	88
4.8	Manual de Manutenção	90
4.9	Análise de Custos	92
5	CONCLUSÕES E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	97
5.1	Conclusões	97
5.2	Proposta de Trabalhos Futuros	98
6	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	101
7	ANEXOS.....	107
7.1	ANEXO 1	107
7.2	ANEXO 2	109
7.3	ANEXO 3	110
7.4	ANEXO 4	116

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia

1.4 Estrutura do relatório

1.5 Local/Empresa de acolhimento

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Atualmente, a indústria automóvel apresenta-se como sendo um dos setores mais competitivos e exigentes. Tal fator, leva a que as empresas inseridas na indústria, incluindo as que se dedicam ao fabrico de componentes, evoluam no sentido de se tornarem mais sustentáveis e competitivas. Assim sendo, o investimento em tecnologias de ponta, inovação e modernização dos processos produtivos, são algumas das soluções encontradas.

Outro aspeto importante neste setor, remete para a interligação de todas as partes que constituem a cadeia de valor. As marcas apenas conseguem tornar-se competitivas se os seus parceiros e fornecedores, também evoluírem e inovarem, a fim de conseguirem apresentar produtos a um custo menor, com qualidade, e sem colocar em causa os prazos de entrega estipulados.

A automatização dos processos produtivos tem como principal objetivo, melhorar a relação qualidade/preço dos produtos e a produtividade. Isto, é conseguido através da diminuição da ação humana e, conseqüentemente, eliminação dos defeitos induzidos por esta. Permite também que os fabricantes consigam monitorizar todo o processo e assim, consigam cumprir com as suas obrigações.

Esta evolução das empresas, que se revelam cada vez mais automatizadas, digitais e inteligentes, não favorecem o crescimento do desemprego. Aliás, tem-se verificado um decréscimo do número de desempregados. As tarefas rotineiras e de baixo valor são substituídas por outras de maior valor agregado e que apenas, o homem consegue efetuar.

Por fim, a automação requer investimentos iniciais avultados. Mas, devido às inúmeras vantagens que a sua utilização apresenta, permite que haja uma rápida amortização do capital investido.

1.2 Objetivos

O presente trabalho surgiu devido à necessidade, por parte de uma empresa ligada ao fabrico de componentes para a indústria automóvel, de automatizar o processo fabrico

de cabos de comando (*Bownden cables*). Existem na empresa equipamentos automatizados responsáveis pela fabricação destes cabos, no entanto, as várias operações inerentes são efetuadas em mais que um equipamento. Assim sendo, a possibilidade de agregar tais tarefas num só equipamento poderá permitir à empresa eliminar algumas operações, entre elas, o transporte de matéria-prima entre os diferentes postos e criação de inventários intermédios.

Deste modo, os objetivos do presente trabalho são os seguintes:

- Definir os dispositivos necessários para que seja possível automatizar o equipamento, tais como: sensores; servomotores; *drivers*; entre outros;
- Efetuar o programa para que a máquina desempenhe as funções para as quais foi concebida;
- Implementar e testar as soluções desenvolvidas;
- Otimizar o tempo de ciclo do equipamento e assim, ter tempos de produção inferiores aos atuais (8 segundos / unidade).

1.3 Metodologia

A elaboração do presente trabalho seguiu a metodologia que seguidamente se descreve:

- Estudo e consulta da literatura necessária sobre os vários temas abordados no projeto;
- Estudo do conceito proposto e dos requisitos/necessidades impostas pelo projeto;
- Estudo e aprendizagem das ferramentas necessárias para o desenvolvimento do projeto, nomeadamente aplicações informáticas específicas;
- Definição das ações a realizar pelo equipamento e dos sinais necessários para reconhecer ações e promover ações;
- Definição dos sensores e atuadores necessários;
- Desenvolvimento do algoritmo para realização das ações;
- Desenvolvimento do programa na linguagem de programação selecionada;
- Implementação do programa;
- Validação do funcionamento do equipamento segundo os requisitos inicialmente estabelecidos;
- Redação da presente Dissertação.

1.4 Estrutura do relatório

A presente dissertação encontra-se dividida, essencialmente, em cinco partes. Na primeira, apresenta-se a introdução, onde é realizado um enquadramento dos temas abordados. Na segunda parte, procede-se à revisão bibliográfica, sendo desenvolvidos os vários temas necessários para que haja uma melhor compressão do projeto desenvolvido. Esta pesquisa teve por base a leitura de artigos e livros científicos. Na terceira parte, são apresentados os requisitos necessários para a execução do projeto. Posteriormente, na quarta parte, é efetuado todo o desenvolvimento do projeto, sendo também apresentadas as soluções encontradas. Por fim, são traçadas as conclusões, onde são analisados e discutidos os resultados obtidos.

1.5 Local/Empresa de acolhimento

O presente relatório tem como base o trabalho realizado durante o estágio levado a cabo na empresa FicoCables. Todos os produtos fabricados pela empresa têm como destino o mercado automóvel. Na Figura 1 é possível visualizar as instalações da FicoCables, situadas no Concelho da Maia, em Portugal.



Figura 1 - Instalações da FicoCables em Portugal OEM [1]

O estágio teve início a 14 de setembro de 2020 tendo o seu término a 31 de maio de 2021, e foi realizado sob a orientação do Eng.º Paulo Rebelo.

CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1 Indústria Automóvel

2.2 Automatização do Fabrico de Cabos Metálicos para Automóveis

2.3 Automatização dos Processos

2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1 Indústria Automóvel

A introdução do automóvel veio revolucionar significativamente, não só a forma como as pessoas se deslocam, mas também o funcionamento de várias indústrias. Estes fatores transformaram a indústria automóvel num pilar imprescindível na economia mundial, tendo um forte impacto no PIB (Produto Interno Bruto) dos países desenvolvidos [2].

O setor automóvel (Figura 2) é considerado um dos mais importantes de cada país, sendo que a cadeia de valor gerada inclui fabricantes de automóveis, fornecedores de componentes finais ou subconjuntos, distribuidores, revendedores e clientes. Dada a forte competitividade existente no setor, e sendo os consumidores cada vez mais exigentes, as marcas têm vindo a alterar e a adotar novas estratégias de mercado que lhes permitam apresentar produtos variados, customizados e com qualidade [3, 4].



Figura 2 – Linha de montagem da indústria automóvel [5]

Para fazer face à procura atual, muito mais personalizada, o setor introduziu a automação e a robótica nos seus processos. Estes vieram conferir maior competitividade às marcas, permitindo assim, que estas consigam fabricar os seus produtos com mais rapidez, reduzindo os tempos de *setup*, com menos desperdício de material, melhor qualidade e redução dos custos com a mão de obra. A introdução desta tecnologia não faz com que a ação humana seja descartada, mas sim que as condições de trabalho melhorem e a satisfação dos operadores aumente. Tal facto ocorre, dado que se extingue a necessidade de tarefas repetitivas, sendo apenas necessário

estabelecer a sua execução uma única vez, tornando este setor mais direcionado para a necessidade de mão de obra qualificada [6].

A indústria automóvel é, de longe, a que mais investe em inovação e desenvolvimento dos seus produtos, permitindo incorporar nos veículos elementos de elevada qualidade, possuidores de melhores condições de segurança e eficiência energética, acarretando menor impacto ambiental, o que qualifica os seus produtos como sendo os mais diferenciados no mercado [2].

No ano de 2019, a Toyota foi a marca do setor automóvel que mais unidades vendeu em todo o mundo, seguida da *Volkswagen*, *Ford*, *Honda*, entre outras. Na Tabela 1, é apresentado o *top 10* das marcas mais vendidas em 2019 a nível mundial.

Tabela 1 - *Top 10* das marcas mais vendidas no mundo em 2019 [7]

Marcas	Unidades vendidas
<i>Toyota</i>	8 683 049
<i>Volkswagen</i>	6 436 548
<i>Ford</i>	4 735 575
<i>Honda</i>	4 630 868
<i>Nissan</i>	4 366 453
<i>Hyundai</i>	4 279 155
<i>Chevrolet</i>	3 831 566
<i>Kia</i>	2 843 367
<i>Mercedes-Benz</i>	2 490 999
<i>BMW</i>	2 219 733

2.1.1 Importância da Indústria Automóvel na Economia Mundial

O setor automóvel é muito sensível às flutuações do mercado, uma vez que depende da venda de bens duradouros, sujeitos às expectativas dos consumidores. Nos últimos anos, na Europa, tem-se observado uma retração na produção automóvel, como demonstra a Figura 3. Ao mesmo tempo emergem outros mercados, como a China, onde se tem verificado um crescimento acentuado na produção de veículos [8].

Através da análise da Tabela 2, constata-se que a Europa, em 2019, produziu cerca de 22 milhões de unidades, menos 4.3% que o ano anterior. Fazendo-se a mesma análise para a China, constata-se que esta produziu, no ano de 2019, cerca de 26 milhões de unidades, apresentando também uma redução de 7.6% face ao ano anterior [9].

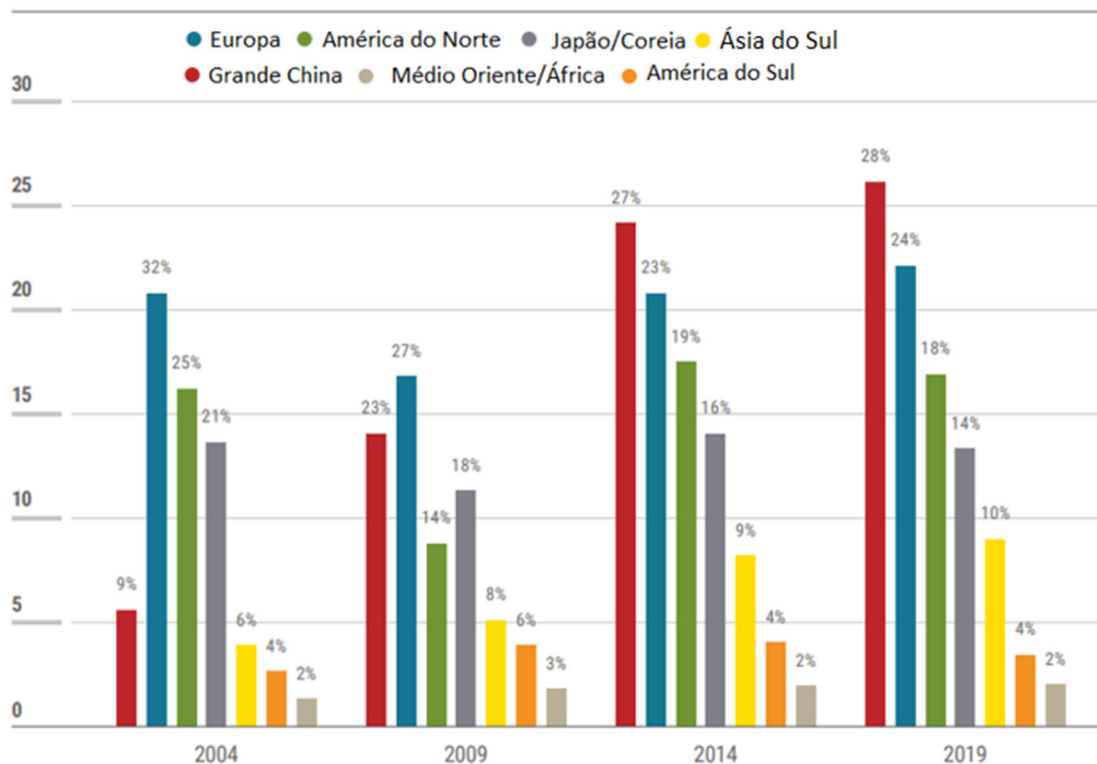


Figura 3 - Produção de automóveis a nível mundial, em milhões de unidades [9]

Tabela 2 - Produção de veículos automóveis, em milhões de unidades [9]

Produção mundial de automóveis	2019	2018	% mudança 19/18	% de participação 2019
Europa	22 060 000	23 049 000	-4,3	23,8
Grande China	26 149 000	28 297 000	-7,6	28,2
Japão/Coreia	13 323 000	13 423 000	-0,8	14,4
Médio Oriente/África	1 998 000	2 556 000	-21,8	2,2
América do Norte	16 902 000	17 535 000	-3,6	18,2
América do Sul	3 421 000	3 574 000	-4,3	3,7
Sul da Ásia	8 933 000	9 883,000	-9,6	9,6
Mundo	92 786 000	98 31 000	-5,6	100,0

Nas Figura 4 e 5, é possível observar a produção de veículos de duas gamas distintas, os veículos de passageiros e os comerciais. Entre os anos 2018 e 2019, verifica-se uma

redução na produção de 6.3% e de 2.7% nos veículos de passageiros e comerciais, respetivamente [9].

A indústria automóvel representa um papel crucial na sustentabilidade de muitos países desenvolvidos. A sua importância não se vincula apenas nas receitas obtidas, mas também no emprego gerado. Em 2018, o setor empregava cerca de 14.6 milhões de pessoas na União Europeia (UE), (Figura 6), incluindo produtores diretos e indiretos. Importa referir que, a indústria automóvel representa cerca de 6.7% do emprego total da UE [9].

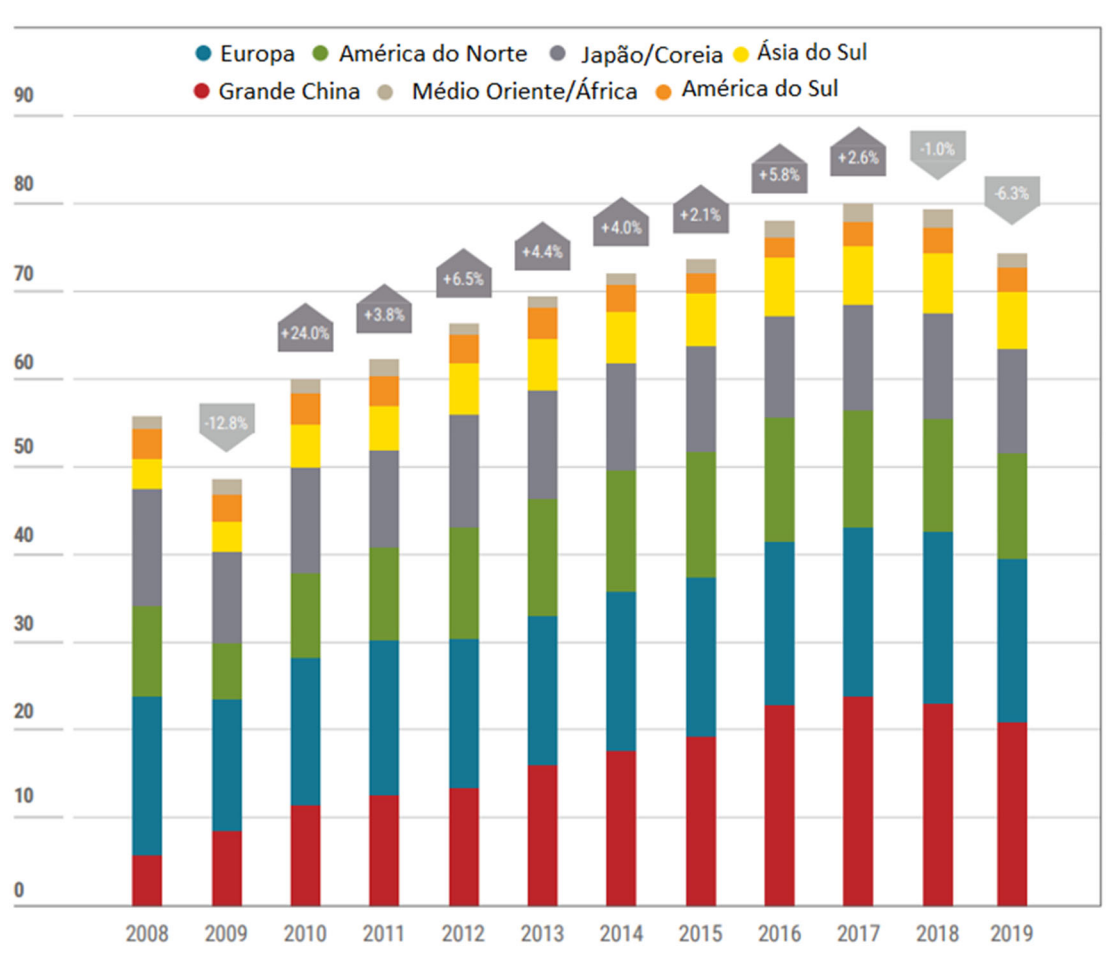


Figura 4 - Produção mundial de automóveis de passageiros, em milhões de unidades [9]

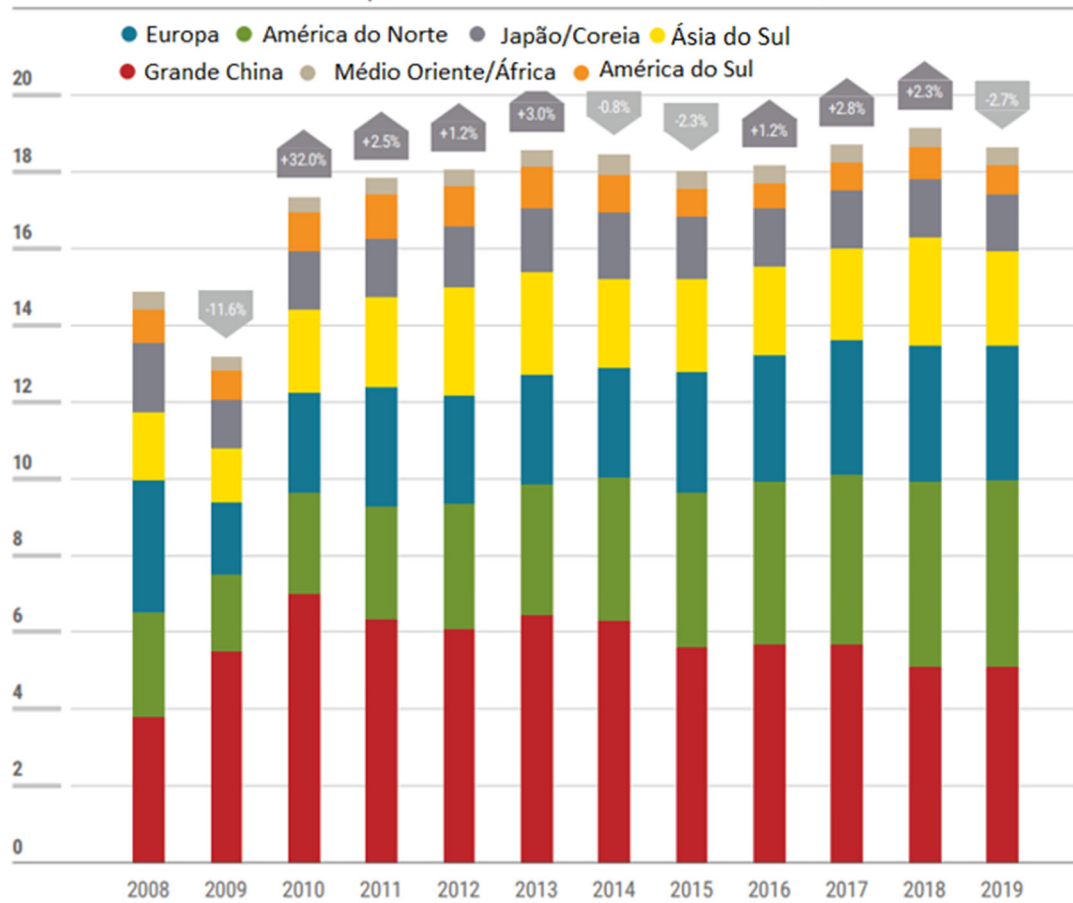


Figura 5 - Produção mundial de veículos comerciais, em milhões de unidades [9]

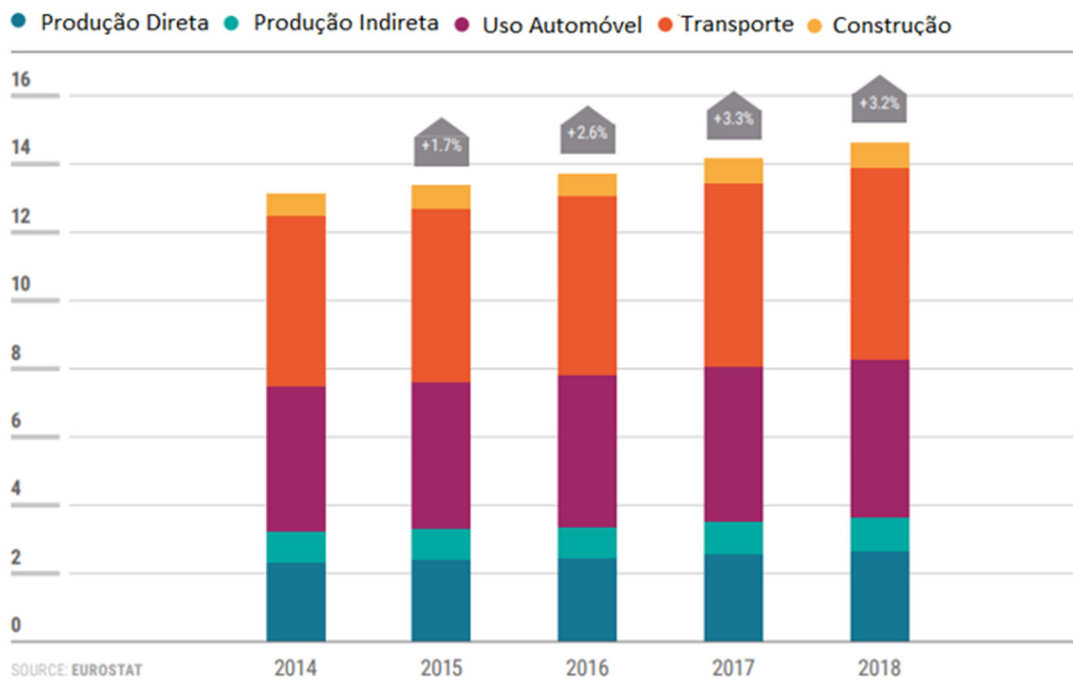


Figura 6 - Emprego no setor automóvel na UE, em milhões de empregos [9]

2.1.2 Importância da Indústria Automóvel na Economia Nacional

A indústria automóvel nacional é um pilar importante na economia e sustentabilidade do país, contribuindo em 6% para o PIB. As unidades industriais da *VW Autoeuropa*, da *Peugeot Citroen*, da *Mitsubishi Fuso Truck Europe* e da *Toyota Caetano* são as que se dedicam ao fabrico de automóveis no território nacional. É possível observar, na Figura 7, a evolução do setor em Portugal, que teve como principal impulsionador o investimento estrangeiro [10].

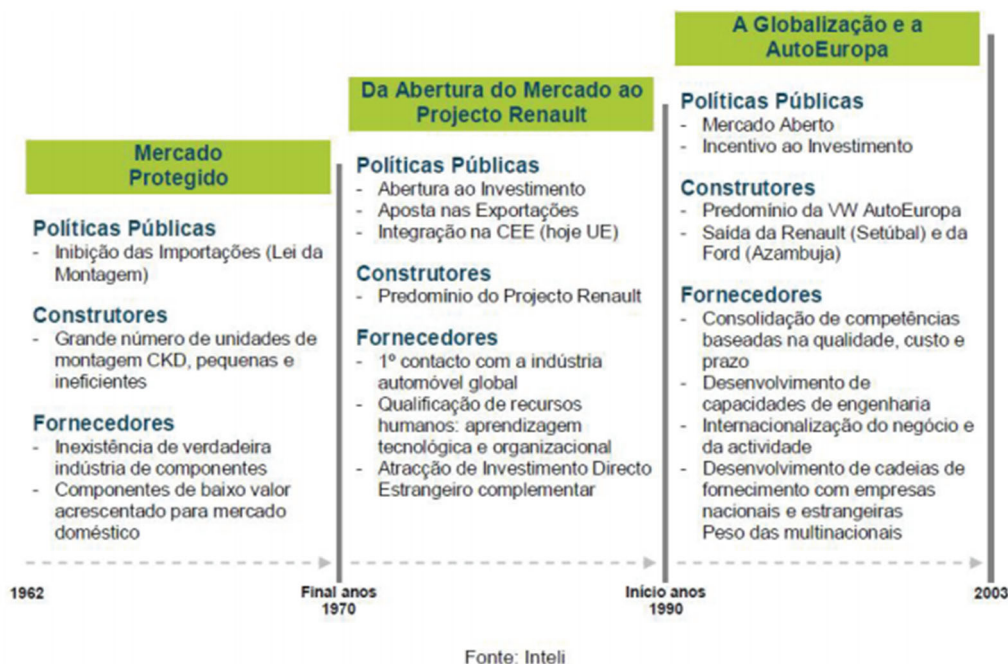


Figura 7 - Indústria automóvel portuguesa em retrospectiva [8]

As empresas nacionais têm como principais áreas de atividade a produção de moldes, o fabrico de componentes e a construção de viaturas automóveis. Segundo dados fornecidos pela AFIA (Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel), em território nacional, o setor dispõe de 265 fábricas (Figura 8) que geram 59.000 postos de trabalho [10].

O setor é, de longe, o que mais exporta em Portugal, muito à semelhança do que se verifica também noutros países desenvolvidos. Cerca de 91% dos produtos nacionais têm como destino a Europa, acabando em países como Espanha, Alemanha, França e Reino Unido. Fora da Europa, a África e Médio Oriente são os principais destinos.

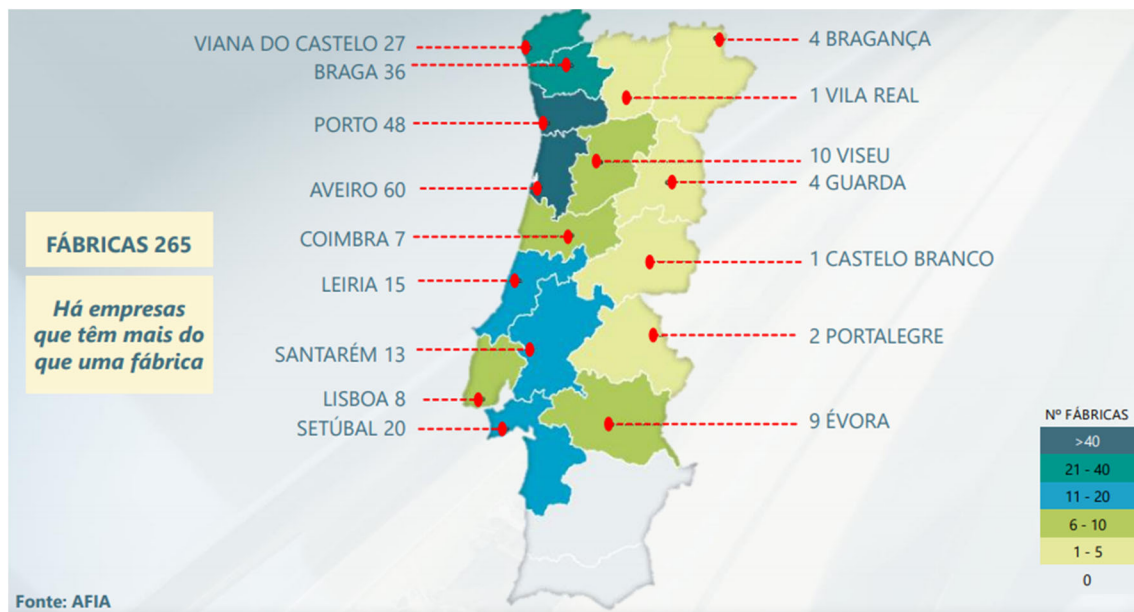


Figura 8 - Distribuição das empresas do setor automóvel em Portugal [10]

2.1.3 Impacto da Pandemia

A pandemia, que o mundo atravessa à data da elaboração deste trabalho, trouxe efeitos sem precedentes para muitas indústrias, não sendo a indústria automóvel uma exceção. Tanto a nível mundial como a nível nacional, muitas empresas do setor viram-se obrigadas a suspenderem a atividade durante longos períodos, refletindo-se numa perda de produção. Muitas, para contrariar esta tendência negativa, reajustaram os seus processos de produção e produziram outros componentes para outros setores, como ventiladores.

Na Europa, entre os meses de março e maio verificaram-se perdas de produção na ordem dos 13%, pondo em risco 1.1 milhões de postos de trabalho [9]. De modo a entender-se melhor os impactos da Covid-19 no setor, na Tabela 3, podemos observar o seu efeito nefasto em alguns países da UE e no Reino Unido (RU).

Entre estes, destaca-se Portugal, onde se verifica um impacto em 20 mil postos de trabalho, que representam cerca de 4% do emprego do setor. As quebras na produção também foram significativas, atingindo uma redução de 41 525 unidades em automóveis produzidos. Este impacto também se fez sentir na indústria de componentes, onde a produção teve uma recessão de 22% [11].

Tabela 3 - Países afetados pela COVID-19 [9]

Países da UE afetados pela COVID-19	Empregos afetados	Perdas estimados de produção (número de veículos)	Duração média de suspensão (em dias de trabalho)
Áustria	14 307	26 480	34
Bélgica	30 000	33 360	25
Croácia	700	-	-
República Checa	45 000	155 060	29
Finlândia	4 500	11 604	25
França	90 000	278 425	34
Alemanha	568 518	616 591	30
Hungria	30 000	51 552	22
Itália	69 382	157 933	41
Holanda	13 500	30 819	25
Polónia	17 284	101 957	36
Portugal	20 000	41 525	35
Roménia	20 000	68 673	31
Eslováquia	20 000	114 632	24
Eslovénia	2 890	19 399	27
Espanha	60 000	452 155	34
Suécia	67 000	23 464	15
Reino Unido	65 455	262 715	41
Total (UE+RU)	1 138 536	2 446 344	30

2.1.4 Pilares da Indústria Automóvel

A indústria automóvel assenta principalmente em três pilares, que são competitividade, qualidade e prazo de entrega. Estes fatores estão interligados, sendo cruciais para o desenvolvimento e prosperidade das empresas.

- **Competitividade**

O setor é fortemente caracterizado pela enorme competitividade existente, sendo a relação qualidade/preço um fator determinante. O Conselho Nacional de Competitividade define o termo competitividade como a capacidade de um país prosperar com sucesso e eficiência, competir nos mercados internacionais, oferecendo em simultâneo uma elevada qualidade de vida e bem-estar aos seus cidadãos. Transpondo esta definição para o nível empresarial, a competitividade pode ser definida como a capacidade que as empresas têm em apresentarem produtos e serviços de

qualidade, em relação a outras empresas, gerando valor [12]. Alguns autores como *Porter*, defendem que os principais fatores que influenciam a competitividade das empresas são: produtividade, inovação e criação de novos empreendimentos [12].

- **Qualidade**

No que toca à qualidade dos produtos na indústria automóvel, este é um fator chave para cumprir todos os padrões impostos. Segundo a norma ISO 9001:2015, a qualidade de produtos e serviços de uma organização é determinada pela capacidade de satisfazer os clientes e pelo impacto que tem em todas as partes interessadas (*stakeholders*).

A qualidade do produto inclui dimensões relacionadas aos recursos do produto e envolve as medidas tangíveis de precisão, integridade e isenção de erros. A qualidade do serviço incluiu dimensões relacionadas ao processo de entrega do serviço, bem como aborda as medidas intangíveis de facilidade de manipulação, segurança e valor agregado das informações aos consumidores [13].

A necessidade de padrões de alta qualidade impõe às empresas a implementação de procedimentos e filosofias de gestão. O mais utilizado atualmente é o *Total Quality Management* (TQM), que envolve todos numa organização, num esforço contínuo para melhorar a qualidade e alcançar a satisfação do cliente. Este princípio baseia-se em três fatores chave: melhoria contínua, envolvimento de todos na organização e satisfação do cliente atendendo ou superando as expectativas deste [13, 14].

Nos dias que correm, os clientes e consumidores do setor estão cada vez mais atentos e preocupados com a qualidade dos produtos que os veículos incorporam. Esta procura impõe a toda a cadeia de valor altos níveis de qualidade. Como tal, os fornecedores que colaboram com os fabricantes de automóveis são obrigados a terem certificação de acordo com o referencial IATF 16949 e também devem cumprir a norma ISO 9001 [15].

- **Prazo de Entrega**

No que concerne ao prazo de entrega, este é bastante influenciado pelos fornecedores e pelo desenvolvimento tecnológico das empresas. A indústria automóvel é um setor que movimenta centenas ou milhares de *stakeholders*, sendo que cada empresa tem os seus próprios fornecedores, criando uma rede interdependente na qual a confiabilidade é peça chave para que toda essa indústria funcione. Portanto, para que um produto possa ser entregue no prazo de entrega estipulado, todas as suas peças devem ser entregues no prazo contratualizado e com os parâmetros de qualidade previamente estabelecidos [14]. Os níveis de automatização dos processos também ajudam a que as empresas cumpram com os prazos de entrega, pois estes reduzem os tempos de ciclo de produção das peças.

2.2 Automação do Fabrico de Cabos Metálicos para Automóveis

Os cabos de comando são formas mecânicas de transmissão de movimento entre dois ou mais sistemas. Estes podem ser divididos em sistemas atuadores e recetores. As cargas atuantes são aplicadas nos sistemas atuadores, através dos quais por meio de um ou mais cabos, são transmitidas aos sistemas recetores, ou seja, a energia mecânica é transmitida através do cabo, de uns para os outros. Usando cabos como meio de transmissão e aproveitando-se a sua natural flexibilidade, é possível adotar *layouts* diferentes entre o local onde é aplicada a carga e onde o efeito é sentido. Assim, o caminho entre dois terminais não precisa ser reto e pode atingir caminhos complexos, como às vezes é necessário, devido a diversos mecanismos e peças colocadas entre as pontas [16,17]. Estes equipamentos podem ser aplicados em diversas indústrias, tais como: automóvel, climatização (AVAC); aviação; construção civil; bicicletas e motorizadas; entre outras. De todos os setores mencionados e não só, o setor automóvel é o que utiliza os cabos de comando com mais frequência [18]. Na Figura 9 é possível observar a forma como estes cabos estão incorporados num automóvel, e a que componentes estão aplicados.

Na Fico Cables, estes sistemas de transmissão por cabo, estão presentes na generalidade dos seus produtos. Entre estes, estão os sistemas de abertura de porta, de abertura de mala, abertura de capô, abertura de tejadilho, sistemas de movimentação de bancos, sistemas de elevadores de janela, etc.

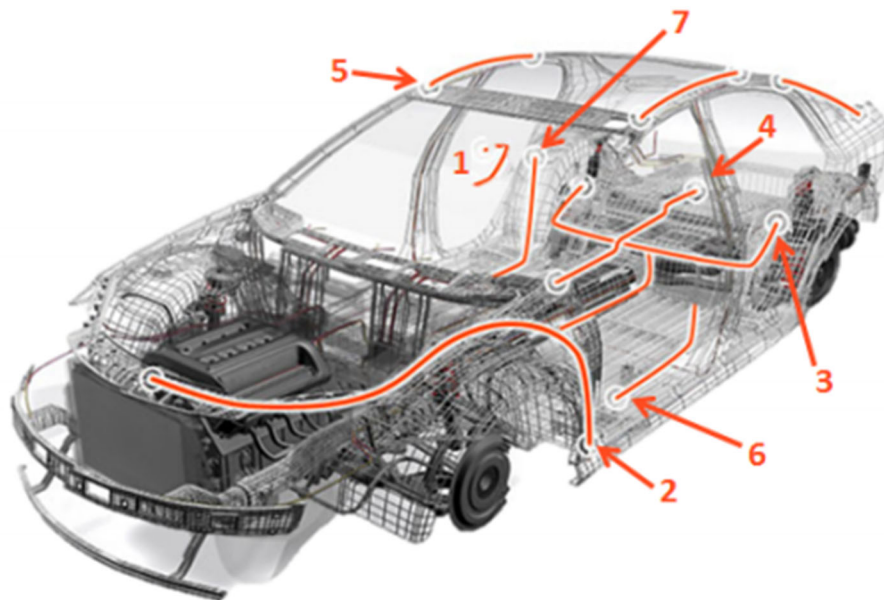


Figura 9 - Localização de cabos de comando num veículo; (1) Cabo de janela automático; (2) Cabo de abertura de capot; (3) Cabo de travão; (4) Cabo abertura de mala;[19]

Na Tabela 4, é possível observar alguns trabalhos desenvolvidos sobre cabos de comando em automóveis. Alguns têm como objetivo tornar o processo de produção mais automatizado e flexível, gerando valor para a empresa.

Tabela 4 - Trabalhos desenvolvidos sobre cabos de comando para automóveis

Autor	Descrição
Martins, et al. [20]	O autor desenvolveu uma célula automática com o intuito desta integrar os processos de fabrico de cabos para automóveis. Foi desenvolvido e construído um equipamento flexível, capaz de produzir três tipos de cabos. Com este equipamento, o autor conseguiu agregar tarefas que eram efetuadas em duas unidades, em apenas uma. Além disso, também consegue minimizar as intervenções humanas no processo, aumentando a qualidade do produto. Assim, o autor permite com este equipamento reduzir o tempo de ciclo de fabrico destes componentes em 25% e aumentar a produtividade em mais de 30%.
Rosa, et al. [21]	O autor, ao desenvolver este estudo, teve como finalidade a otimização de uma linha de montagem para cabos de porta de automóveis. A implementação da solução encontrada consegue apresentar um equipamento atualizado e assim, eliminar/reduzir os desperdícios em várias operações. As alterações efetuadas geram um aumento de produtividade de 41%, sendo necessário apenas 4 meses para justificarem o investimento realizado.
Pinto e Silva [14]	O estudo efetuado teve como propósito eliminar o aparecimento de poros quando se procedia à injeção de <i>zamak</i> nos terminais dos cabos de comando para automóveis. O autor realizou estudos sobre o processo de injeção e sobre o projeto do molde. Através do recurso a ferramentas de simulação, concluiu que as melhorias deveriam ser feitas essencialmente no projeto do molde, permitindo um arrefecimento correto do metal injetado e o escape dos gases. Deveriam ser feitos, também, alguns ajustes aos parâmetros do processo de injeção. Assim, o autor, através das soluções encontradas consegue evitar o aparecimento de defeitos (poros) nas peças produzidas.
Pinto, et al. [22]	O autor desenvolveu este estudo onde procede à investigação das possíveis causas que favorecem a formação de óxido de zinco em cabos de comando para automóveis. Ele divide a sua investigação em duas etapas, onde na primeira faz a análise ao cabo e na segunda procede à análise da <i>interface</i> do revestimento. Assim, o autor conclui que a principal causa do problema estava na falta de limpeza dos cabos. Foi também detetada a existência de elementos estranhos, como enxofre e cloro, que favoreciam a formação de óxidos de zinco. A origem destes elementos poderá estar no processo de armazenamento.

Autor	Descrição
Ribeiro, et al. [23]	O seguinte trabalho foi desenvolvido com o intuito de encontrar uma solução nas linhas de injeção de massa nos cabos de comando para automóveis. Esta massa incorporada nos cabos tem várias vantagens, sendo uma delas a redução do atrito entre o revestimento e o cabo, aumentando o tempo de vida do produto. Estas linhas apresentam grande desperdício de massa, a necessidade de um operador para transportar o reservatório e encher os copos de massa das linhas e potenciam a possibilidade de haver uma má lubrificação dos cabos devido à introdução de ar durante a injeção. O autor desenvolve um sistema capaz de reduzir o desperdício de massa, o que representa uma redução do custo para a empresa. Consegue isso através de um novo sistema de extração da massa dos reservatórios e injeção dessa mesma massa nos cabos.

2.2.1 Tipos de Cabos

Consoante o tipo de solicitações que estes cabos podem sofrer, é possível classificá-los em dois tipos distintos. Esses são:

- Cabos *Pull* – Os cabos utilizados no sistema *pull*, transmitem o esforço em forma de tração até um mecanismo. São utilizados em aceleradores, travão de mão, tampas de combustível, embraiagem, *cruise control*, etc.)
- Cabos *Push-Pull* – Os cabos utilizados no sistema *push/pull*, transmitem o esforço sob a forma de tração e compressão até um mecanismo. São utilizados em sistemas onde são necessários esforços nos dois sentidos, como nos sistemas de abertura e fecho do sistema de ar condicionado.

Estes sistemas vieram substituir os sistemas hidráulicos, que eram os utilizados até então. Esta mudança permitiu assim reduzir o peso e custo.

2.2.2 Constituição dos Cabos

A constituição dos cabos pode variar consoante a função que irá desempenhar e as especificações do cliente. Os cabos, tal como enunciado previamente, podem-se encontrar em zonas internas e externas do automóvel, ou mesmo em ambas. Deste modo, é importante que estes sejam resistentes à humidade, altas e baixas temperaturas, ruídos, desgaste, etc. Na Figura 10, está esquematizado um exemplo de um cabo conjunto. Estes apresentam na sua composição básica um cabo metálico (1), o revestimento que protege o cabo metálico (2), os terminais do cabo metálico em *zamak*

(3) e os terminais de espiral (4). Depois, consoante os requisitos, já apresentados anteriormente, estes podem integrar outros componentes.

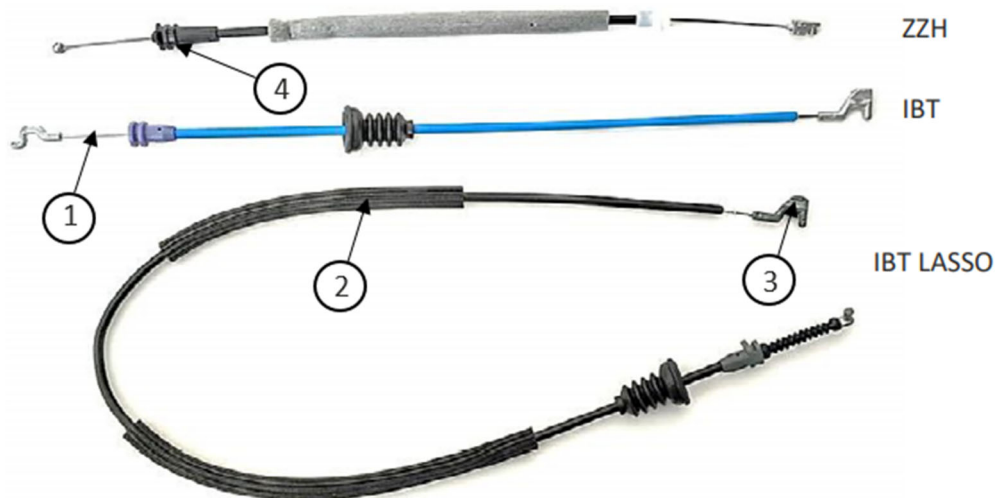


Figura 10 - Cabos de comando do tipo ZZH,IBT e IBT LASSO (Adaptado de [19])

2.2.2.1 Cabo Metálico

O cabo metálico desempenha um papel crucial em determinados sistemas de comando mecânico, sendo responsável por suportar as solicitações a que é sujeito e transmitir a força mecânica pretendida. A composição do cabo metálico está presente na Figura 11, podendo ser fabricado em aço galvanizado ou aço inoxidável. As cordas são constituídas por dois ou mais filamentos enrolados à volta de um núcleo metálico. Estas cordas podem apresentar diferentes dimensões, onde cordas formadas por filamentos de secção maior, apresentam maior resistência ao esmagamento e à abrasão. O enrolamento de várias cordas em torno de um núcleo central dá origem a um cabo.

Normalmente, os cabos possuem revestimento para evitar a sua oxidação e posterior perda de propriedades. O revestimento poderá ser de distintos materiais, tais como, policloreto de vinilo (PVC), poliamida (PA) ou polipropileno (PP). Estes revestimentos, por vezes, podem criar fricção com o cabo, por este motivo, em alguns casos, estes não se encontram revestidos.

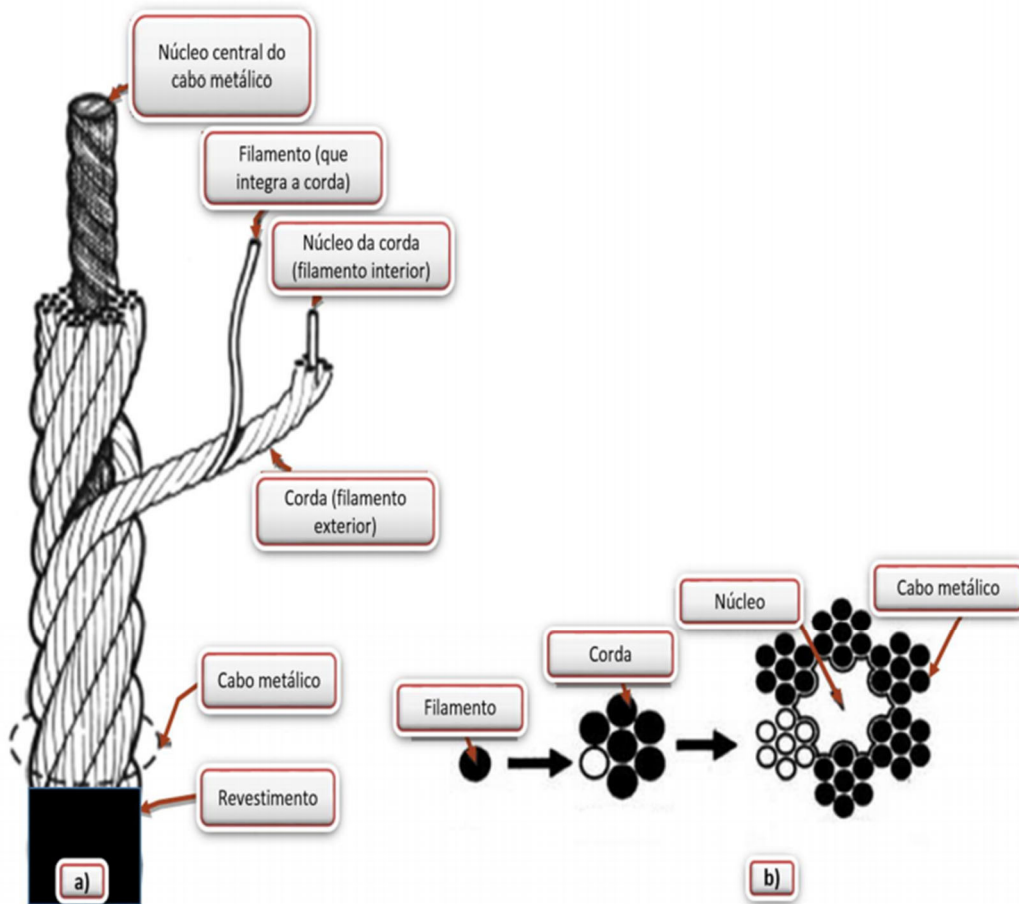


Figura 11 - a) Constituição do cabo metálico; b) vista em corte dos diferentes elementos que constituem o cabo [16]

Existem cabos com diversas configurações, conforme o tipo de aplicação pretendida (Figura 12) [18]. A seleção do tipo de material e do tipo de configuração a usar, irá variar consoante a aplicação a que se destina. Fatores como a carga, o percurso a realizar pelo cabo, o tipo de ambiente e a durabilidade, são importantes no processo de seleção.



Figura 12 - Diferentes configurações de cabo metálico [18]

Os cabos podem sofrer dois tipos de alongamentos, os alongamentos estruturais e os alongamentos elásticos. Os primeiros estão relacionados com existência de folgas entre os filamentos e o núcleo do cabo ou da corda. Estas folgas têm origem na construção do cabo, onde é aplicada uma carga baixa na extremidade. Posteriormente, em serviço, quando lhes é aplicada uma carga mais forte, ocorre uma acomodação dos filamentos ao núcleo e um ligeiro alongamento do cabo. Fatores como o tipo de construção, o comprimento, as cargas aplicadas, fazem com que o alongamento não seja igual em todos os cabos.


Relativamente ao alongamento elástico, este é causado pela aplicação de uma carga de valor inferior à tensão de limite elástico do metal, sendo o alongamento proporcional à carga aplicada. Quando cessa a carga, o comprimento do cabo retoma o valor inicial, uma vez que, não é atingida a tensão de limite elástico.

Quando os cabos de comando já se encontram na versão final, isto é, já têm incorporados todos os componentes importantes para que o seu desempenho seja bom, são submetidos a ensaios de tração. Desta forma, uma parte do alongamento estrutural é removido.

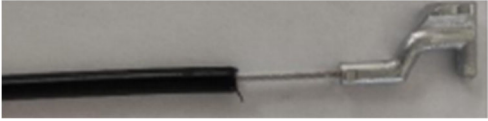

2.2.2.2 Componentes de Cabos Metálicos

Como já referido anteriormente, para além do cabo metálico, o cabo de comando pode incorporar diferentes componentes com a finalidade de melhorar o seu desempenho. Na Tabela 5, encontram-se alguns dos componentes mais representativos, utilizados na montagem dos diversos cabos produzidos na FicoCables, assim como a função que desempenham. Grande parte destes componentes são adquiridos pela empresa a fornecedores externos.

Tabela 5 - Acessórios utilizados na montagem de cabos de comando e as funções desempenhadas

Componente	Imagem	Função
Tubo Espiral		<ul style="list-style-type: none"> — Protege o cabo de aço de agentes abrasivos; — Confere guiamento ao cabo de aço; — Serve de suporte de fixação de outros componentes.

Componente	Imagem	— Função
Terminais de Espiral		— Responsável pela fixação do cabo de comando a um mecanismo.
Grommet		— Estabelece uma barreira entre as zonas húmidas e secas.
Tubo exterior		— Responsável por reduzir o ruído oriundo do contacto entre a espiral e elementos exteriores.
Guarda Pó		— Impede a entrada de resíduos para o interior da espiral.
Clips		— Permite fixar o cabo em diferentes zonas, o que possibilita a que este se ajuste a diferentes <i>layouts</i> .

Componente	Imagem	— Função
Terminais de Cabo metálico		— Permite ligar o cabo de comando aos sistemas atuador e recetor, permitindo a sua atuação;
Tubo Estrela		— Permite minimizar os ruídos, provocados pela oscilação do cabo.

Para além dos componentes mencionados na tabela anterior, existem muitos outros, conforme a aplicação e requisitos necessários.

A Figura 13 permite visualizar alguns cabos de comando completos fabricados na entidade acolhedora.



Figura 13 - Exemplo de cabos de comando produzidos na FicoCables

2.2.3 Processos usados no Fabrico dos Cabos de Comando para Automóveis

Na empresa onde decorreu o desenvolvimento do presente projeto, a FicoCables, os processos produtivos relacionados com a conceção dos cabos de comando para automóveis, podem ser agrupados em dois grupos distintos, relativamente ao tipo de processo.

O primeiro engloba tarefas inerentes ao fabrico da espiral, revestimento do cabo metálico, corte de cabo e espiral, a injeção de *zamak* nos terminais do cabo e a sobreinjeção de terminais em plásticos. No que concerne ao segundo grupo, estes são responsáveis por conferir ao cabo de comando a sua forma final, através do recurso a um ou mais operações, tais como, esmerilar e escarear a espiral; montagem de tubo exterior da espiral; introduzir e aparar o cabo metálico; segunda injeção de *zamak* nos terminais do cabo; entre outras.

Nestes processos, é também efetuada a validação e controlo de qualidade. As linhas incorporam ferramentas que têm como único propósito o controlo da qualidade e minimização de defeitos. O uso de *gabarit* com geometrias únicas, conforme o cabo a utilizar, assim como, o recurso a câmaras de medição e câmaras fotográficas, que retiram duas ou três fotografias à peça para serem comparadas com um modelo padrão, permite assegurar de forma efetiva o controlo da qualidade das linhas. Muitas linhas recorrem à inspeção visual do produto final, onde os operadores têm de verificar se o produto cumpre com os requisitos de qualidade, requeridos pelo cliente. Estes são alguns métodos utilizados para que haja um apertado e rigoroso controlo de qualidade nos processos da empresa.

2.3 Automatização dos Processos

O termo automação deriva das palavras gregas *autos* e *motos* que significam auto e mover, respetivamente. Por outras palavras, a automação é uma tecnologia que, através do auxílio de máquinas, computadores e outros dispositivos, permite efetuar operações sem a ação humana [24].

A automação industrial tem como principal propósito aumentar a autonomia dos processos de fabrico. Os sistemas de produção autónomos permitem às marcas aumentar a produtividade, reduzir custos de produção, aumentar a qualidade do produto, reduzir prazos de entrega, executar tarefas que não podem ser realizadas manualmente e reduzir ou eliminar rotinas manuais [6].

Na Tabela 6 encontram-se elencados alguns trabalhos desenvolvidos no âmbito desta temática.

Tabela 6 - Trabalhos desenvolvidos no âmbito de automatização de processos

Autor	Descrição
Araújo, et al. [3]	Este estudo teve como principal objetivo aprimorar uma célula semiautomática, dedicada ao fabrico de componentes para bancos de passageiros, para uma completamente automática. A célula semiautomática necessitava de dois operadores. A implementação de uma linha completamente automática, elimina duas estações de trabalho e a movimentação manual de subprodutos. O autor com este trabalho conseguiu implementar uma linha totalmente automatizada, com um tempo de montagem de 12 segundos, eliminando o risco de erros introduzidos pelo trabalho humano. O processo semiautomático para o automático teve um ganho de eficiência de 40%, aproximadamente.
Costa, et al. [6]	Com este trabalho, o autor teve como objetivo substituir um processo totalmente manual para um automatizado. O processo consistia na montagem de peças de material polimérico, usadas no motor de para-brisas automóvel. Com a implementação deste sistema, foi possível respeitar um tempo de ciclo de 3,6 segundos por peça, permitindo a montagem de 1000 peças/hora. Além disso, os operadores foram poupados de uma tarefa de baixo valor, sujeita a erros, que causa fadiga e doenças ocupacionais.
Santos, et al. [25]	Este trabalho foi desenvolvido tendo como propósito projetar um dispositivo automático capaz de produzir uma gama diversificada de operações de corte e costura, com o menor contributo possível do homem. Deste modo, o autor com este trabalho foi capaz de projetar um equipamento em que o operador apenas necessita de colocar os tecidos, de diversas formas e tamanhos, no ponto de partida e informar a máquina da forma do tecido que deseja, sendo posteriormente realizado, de forma automática, o corte e costura. Após a fabricação, o sistema é, também, capaz de empilhar as peças produzidas. A implementação da automação deste processo resultou na redução da mão-de-obra e no aumento de produção. Consequentemente, estes dois fatores contribuíram para a redução do custo de cada artigo.
Santos, et al. [26]	O autor deste estudo tinha como principal foco a melhoria das máquinas APEX. Estes equipamentos eram responsáveis pela produção de um componente utilizado nos pneus de automóveis para vedar o ar entre o pneu e o aro. As máquinas APEX apresentavam grande número de avarias que resultavam em tempos elevados de inatividade. Para contrariar esta tendência, o autor recorreu à automatização de subprocessos e à metodologia 5S. A automação foi aplicada nos

movimentos e nos subprocessos de corte, separação e controlo. Outra melhoria que o autor consegue é substituir os sistemas pneumáticos por sistemas de servomotores, conseguindo assim maior controlo dos movimentos e fiabilidade, reduzindo também o número de falhas. Deste modo, as soluções encontradas pelo autor para melhoria das máquinas APEX possibilitaram uma redução de 38% nos custos de manutenção, redução 62% nos tempos de inatividade e num aumento de 9% no desempenho do equipamento.

Silva, et al.
[27]

O autor pretendeu com este estudo realizar as tarefas de inspeção e embalamento de um processo de forma totalmente automático. O equipamento estudado efetuava o fabrico de um componente para os bancos de passageiros de automóveis, sendo que o principal foco deste estudo se centrou na última célula, onde se realizava a inspeção e embalamento. A solução encontrada para a fase de inspeção passou pela utilização de um *gabarit* onde a peça final é fixada. Aqui, procedeu-se à inspeção de peças com recurso a câmaras. Para a fase de embalamento, o autor consegue efetuar a operação desejada através do uso de um braço robótico articulado, dotado de pinças, que pega na peça e a introduz na caixa. Cada caixa tem uma capacidade de 1050 componentes, sendo colocada no sítio correto através de um sistema de orientação, também ele automático. Estas duas operações juntas, não devem ultrapassar os 10 segundos, uma vez que o restante equipamento exige esse tempo para produzir uma única unidade. Deste modo, com as soluções encontradas é possível efetuar as operações num período de 9,2 segundos, com um retorno do investimento em 21,5 meses e sem intervenção do fator humano.

Magalhães,
et al. [28]

Este estudo teve como principal objetivo otimizar a recolha de arames, usados na estrutura dos assentos automóveis, logo após a sua conformação plástica e promover o seu encaminhamento e posterior ordenamento para a fase seguinte de produção, neste caso, a sobreinjeção plástica dos referidos arames. O sistema desenvolvido não interfere no raio de ação da máquina de conformação de arames, o que resulta, em comparação com o anterior sistema, numa redução do ciclo de produção de 1,5 s, em ciclos que anteriormente demoravam entre 10 s e 12 s. Tendo em conta uma produção diária ininterrupta (24 horas), significa um aumento de produtividade substancial ao final de um mês de produção.

O transporte de arames é realizado através de um tapete transportador ascendente automatizado, que efetua paragens para recolha de cada arame, através de um sinal emitido por um sensor capacitivo, que controla a cadência do tapete. Na parte final e superior do tapete, existe

uma câmara fotográfica que recolhe a imagem de cada arame, e consoante a posição deste, um atuador promove o deslocamento de uma mesa recetora dos arames, para que os mesmos fiquem devidamente ordenados, facilitando o seu transporte para a fase subsequente de produção, a sobre injeção plástica dos arames. Este sistema acaba por requerer um investimento relativamente baixo na ordem dos 10 mil euros, com um retorno previsto de pouco mais de 8 meses.

2.3.1 Evolução dos Processos Produtivos

A indústria está constantemente em mudança. Desde então, já ocorreram 4 revoluções industriais (Figura 14) que mudaram o quotidiano das pessoas e a forma de laborar das empresas.



Figura 14 - Evolução Industrial [29]

A primeira revolução industrial ocorre no final do séc. XVIII e marcou a transição dos métodos artesanais para os métodos mecanizados. Até então, a produção caracterizava-se pela atividade individual, sistemas de produção pouco mecanizados com baixo volume, alta variedade e forte contributo humano. A máquina a vapor foi um dos avanços tecnológicos que marcou esta revolução, refletindo-se num aumento da produtividade.

A segunda revolução industrial dá-se no séc. XX, onde se destaca a introdução da eletricidade e do petróleo. Outros fatores que impulsionaram uma nova era foram as linhas de produção em massa, com alto volume e baixa variedade de produtos, e a divisão do trabalho. Esta nova era destaca-se pela automatização das linhas de produção dedicadas (DMLs), onde a mão do homem começa a ter cada vez menos influência. Para aprimorar a automação, na produção, recorre-se à eletrónica e à tecnologia de informação.

A terceira revolução industrial ou revolução digital começou nos anos 70. Nesta altura, um novo conceito é introduzido, o sistema de produção flexível. O *Flexible Manufacturing System* (FMSs) surge em resposta há necessidade que as marcas têm em

apresentarem produtos variados e personalizados. Estes sistemas são muito robustos, mas, em contrapartida, carecem de um investimento inicial alto [30, 31].

A indústria 4.0 surge em 2011, como estratégia do governo alemão, para fazer face a um mercado que se tem tornado cada vez mais competitivo. A automação e os sistemas de informação desenvolvidos até então, mesmo tendo melhorado os sistemas produtivos, não eram capazes de trocar dados em tempo real, levando a atrasos na tomada de decisão [32, 33].

Assim, surge o *Reconfigurable Manufacturing System* (RMSs), o qual propõe, um sistema de produção onde os componentes das máquinas, células ou unidades de manuseio de materiais podem ser adicionados, removidos, modificados, ou trocados conforme necessário, para responder rapidamente aos requisitos em constante mudança. Isto permite uma reconfiguração rápida para novos *layouts*, de acordo com as necessidades de produção de cada momento, sendo que esta flexibilidade permite reduzir o tempo gasto com os *Setup's*, resultando numa redução na duração dos ciclos de produção e incrementando, dessa forma, a produtividade [29].

A Figura 15, demonstra a relação volume de produção/variedade de produtos para os sistemas acima mencionados.

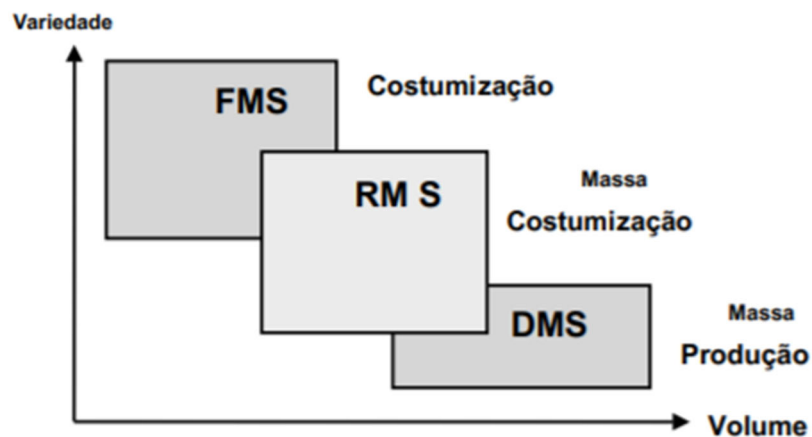


Figura 15 - Sistemas de produção DMS, RMS, FMS [30]

A indústria atual enfrenta diversos desafios, tais como, clientes mais exigentes, procura de produtos personalizados e, por vezes, em pequenos lotes. As empresas para conseguirem responder aos constantes desafios, procuram sistemas de informação que possibilitam aceder às informações do nível da produção em tempo real. A tomada de decisão baseada em informação continuamente atualizada possibilita às empresas adaptarem-se de forma mais rápida e objetiva às alterações do mercado. Permite também reduzir os custos de produção, minimizar os desperdícios e incrementar a qualidade dos seus produtos.

A implementação generalizada de sensores no ambiente de produção aproxima os mundos físico e virtual, dando assim, origem aos *Cyber Physical Systems* (CPS) [34].

Através da *Internet of Things* (IoT), todos os equipamentos e dispositivos estão conectados através da *internet*, possibilitando o intercâmbio de informações em tempo real. Desta forma, é possível obter informação sobre os indicadores de produção, mas também, detetar possíveis problemas que possam surgir nos equipamentos. A *Internet of Services* (IoS) apresenta uma abordagem semelhante à da IoT, porém, esta aborda serviços em vez de entidades físicas.

A quantidade de informação é imensa, sendo pertinente recorrer a plataformas, como o *Big-Data* e *Cloud-Computing*, para realizar a coleta, armazenagem e avaliação abrangente dos dados de diversas fontes e clientes.

As *Smart Factories* são fábricas tecnologicamente desenvolvidas, com uma diversificada gama de sensores nos seus processos, fornecendo dados em tempo real. As suas linhas de produção são capazes de se ajustarem a vários produtos, de forma célere e bastante eficaz. A capacidade que têm em se adaptar às flutuações e mudanças dos mercados, tornam-nas fortemente competitivas, capazes de terem produtos personalizados e com qualidade.

O aumento da digitalização nos sistemas de produção, da informação e o recurso a sistemas para armazenar informação que a indústria 4.0 exige, para que seja possível ser incorporada nas naves industriais, levanta um conjunto de preocupações e desafios.

Algumas dessas preocupações e desafios são [31]:

- Segurança e proteção digital;
- Padronização das interfaces de comunicação;
- Os processos e a organização do trabalho;
- A disponibilidade de capacidade cognitiva;
- Inserção nas pequenas e médias empresas.

2.3.2 Necessidade de Automatizar Processos

O panorama atual que muitas empresas enfrentam, leva-as a investirem em novas tecnologias e em automatizarem os seus processos, tornando-se mais competitivas. Algumas das razões que fazem as empresas optarem por automatizar os seus processos são [24, 32]:

- **Aumentar a produção:** a automatização das tarefas permite incrementar o nível de produção e da produtividade do trabalho, uma vez que permite efetuar operações de forma mais rápida que o homem.

- **Executar tarefas complexas:** algumas requerem níveis elevados de precisão, detalhe, muitas vezes devido à geometria complexa das peças. Tais operações são extremamente difíceis ou impossíveis de serem executadas por humanos.
- **Serviços com maior qualidade e precisão:** o erro humano é minimizado, sendo mais fácil detetar os erros em processos automáticos, pois são registados etapa a etapa. A redução de erros ou a remoção destes, leva a uma significativa maior precisão dos dados, levando a uma análise de melhor qualidade e, portanto, melhor tomada de decisão.
- **Melhores análises:** os processos automatizados permitem aos atualizadores aceder aos dados da produção, como o número de peças fabricadas e o tempo que demoraram a ser produzidas. Estes dados permitem fazer previsões sobre o volume e a capacidade de concluir determinadas tarefas no tempo estipulado.
- **Redução dos Custos de produção:** os custos de operação são reduzidos, uma vez que a utilização de processos automáticos reduz a ação do homem nas empresas.
- **Agilidade:** permitem também através de uma simples alteração da sua programação, modificar a tarefa e a sua funcionalidade. O homem já apresenta maior resistência a novas tarefas, pois precisa de ser treinado e esquecer velhos hábitos.
- **Versatilidade:** estes processos podem ser aplicados em todas as indústrias e empresas, com altos ou baixos volumes de produção, podendo desempenhar tarefas complexas e simples.
- **Melhor gestão:** a automatização permite gerir, implementar e monitorizar as linhas de produção através de uma plataforma centralizada. Isso também diminui a necessidade de governança.
- **Melhor atendimento ao cliente:** A implementação de processos autónomos permite que os humanos se foquem noutros serviços, como o atendimento ao cliente e satisfação. Como também, permitem produzir peças 24 horas por dia, ajudando assim a cumprir com os prazos estipulados, melhorando a relação entre empresa e cliente.
- **Melhor satisfação dos operadores:** a automatização faz com que os trabalhos repetitivos deixem de ser realizados por humanos. Estes, assim, conseguem

desempenhar outras tarefas de maior valor e qualidade, que requerem a ação humana.

Contudo, introduzir sistemas completamente automatizados nas naves industriais também tem as suas desvantagens. A implementação destes sistemas exige alto investimento de capital e pode acarretar um custo elevado, caso seja pertinente efetuar uma alteração ou reconfiguração dos processos. Outro fator menos positivo destes sistemas, é a possibilidade da sua paragem forçada, caso exista algum corte de energia na fábrica [33-35].

2.3.3 Automação vs. Homem

Os recentes avanços tecnológicos, que vieram aumentar os níveis de produtividade das empresas e não só, levantam questões sobre o futuro do emprego. Muitos temem que o elevado nível de mecanização e automatização que as sociedades industriais hoje apresentam, leve a uma eliminação massiva de empregos. Este receio surge, pois à medida que os computadores ficam mais poderosos, as empresas têm menos necessidade de alguns tipos de trabalhadores.

Podemos classificar as tarefas em dois tipos distintos, as tarefas rotineiras e as não rotineiras. Atualmente, as primeiras estão sendo substituídas por computadores, *robôs* e outras tecnologias. Estes conseguem realizar as mesmas tarefas que o homem, com a mesma ou melhor qualidade que ele, a uma velocidade de execução bastante mais elevada. Relativamente às tarefas não rotineiras, estas caracterizam-se por serem manuais e abstratas e requerem alta adaptabilidade, destreza manual e criatividade, bem como reconhecimento visual e de linguagem. Tais tarefas, para serem efetuadas sem a intervenção humana, exigem um enorme poder computacional. Consequentemente, automatizar estas operações ainda é bastante dispendioso, sendo o homem a melhor opção para as realizar. No futuro, com o atual progresso na inteligência artificial, pode-se esperar que as máquinas “aprendam” a fazer tais tarefas [36, 37].

Também se tem constatado que, elevados níveis de automatização não são economicamente viáveis. As operações onde se verifica um elo entre o uso de automação e da mão humana, apresentam-se como sendo as mais indicadas [38].

Consequentemente, tem-se verificado uma polarização do emprego. O estudo efetuado pela entidade de consultoria internacional *Delloitte*, concluiu que o desenvolvimento tecnológico gerou mais emprego, do que perdas de postos de trabalho, entre os anos de 2001 e 2015 (Figura 16). Os empregos que exigem trabalhadores qualificados, com altos níveis de escolaridade e com conhecimentos avançados, vão ser cada vez mais

importantes nas indústrias, pois conseguem utilizar a tecnologia e criar valor para as empresas. Por outro lado, os trabalhadores menos qualificados, com habilidades comuns, que executam tarefas rotineiras e repetitivas, aos poucos, vão sendo substituídos por máquinas, devido às vantagens que estas apresentam [39].

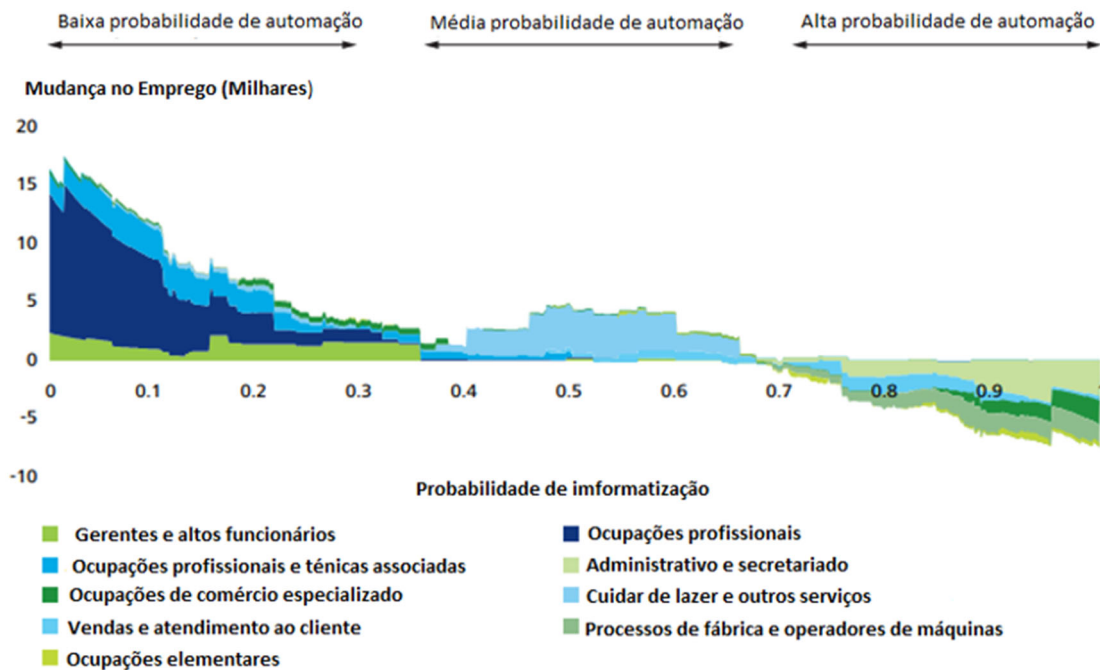


Figura 16 - Evolução do emprego com a digitalização das empresas, entre 2001 e 2015 [39]

2.3.4 Componentes de Aacionamento e Controlo de Sistemas Automatizados

Os sistemas automatizados necessitam de componentes para que o seu funcionamento ocorra de forma correta e viável. Uma vez que estes sistemas têm como pressuposto realizar operações que são efetuadas pelo homem, têm de incorporar capacidades que ele detém.

Deste modo, é possível fazer uma analogia entre o homem e máquina (Figura 17). Assim sendo, é pertinente que a máquina incorpore componentes capazes de efetuar movimentos, analisar o que se passa em seu redor, processar informação, entre outros.

A quantidade de informação gerada, bem como o numeroso nível de componentes que muitos equipamentos possuem, fez com que se pensasse numa forma de organizar estas variáveis. Assim, surgem os sistemas de gestão e armazenamento de dados.

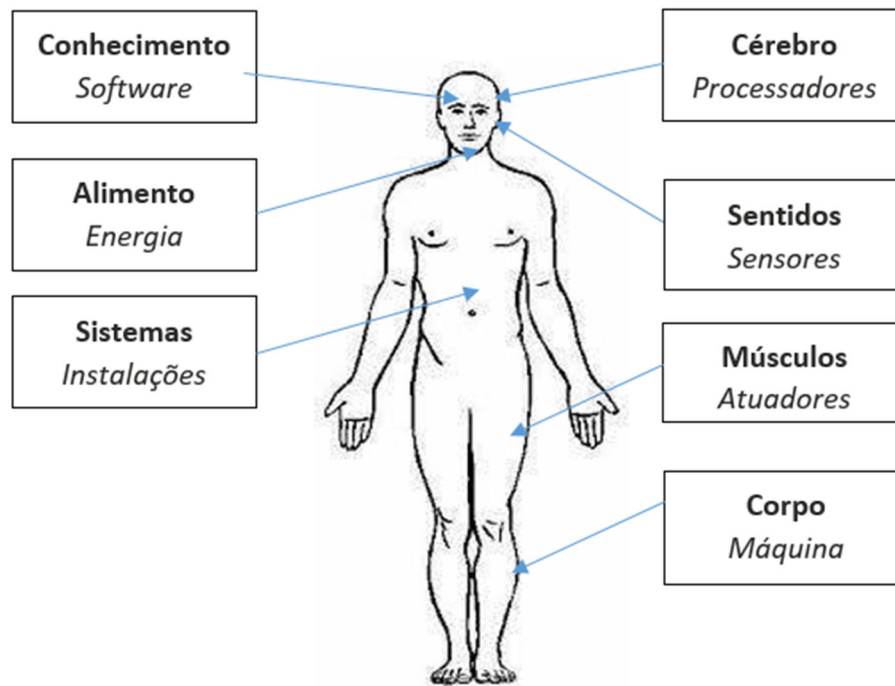


Figura 17 - Analogia Homem x Máquina (Elaboração própria)

Assim, a hierarquização de um sistema de controlo distribuído, baseado no computador, parece ser a forma ideal para a realização da automação da planta industrial. A Figura 18, mostra uma estrutura organizacional típica deste tipo de sistemas, constituído por cinco níveis. O primeiro nível tem como função recolher dados (sensores), manipular os processos e equipamentos. Este comunica com o nível 2, usando um meio de comunicação que utiliza um intervalo entre 4 e 20 mA para tecnologias de comunicação digitais. O segundo nível é constituído pelos controladores, enquanto o nível 3 por sistemas de segurança e pelos sistemas *HMI* (*Human-Machine Interface*) e *SCADA* (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Estes sistemas são bastante similares, permitindo aos operadores monitorizar e controlar os dispositivos de um processo. O nível 4 representa os *softwares* de base de dados, tais como *MES* (*Manufacturing Execution System*), *LIMS* (*Laboratory Information Management Systems*) e *IAMS* (*Identity and Access Management*). A principal função deles é armazenar a informação captada nos níveis inferiores e garantir a praticidade e segurança no acesso às informações. Relativamente ao nível 5, este é constituído pela *ERP* (*Enterprise Resource*

Planning) e SAP (Sistemas, Aplicativos e Produtos). Tem como principal função fornecer sistemas de informação para a gestão e sistemas de apoio à decisão [40, 41].

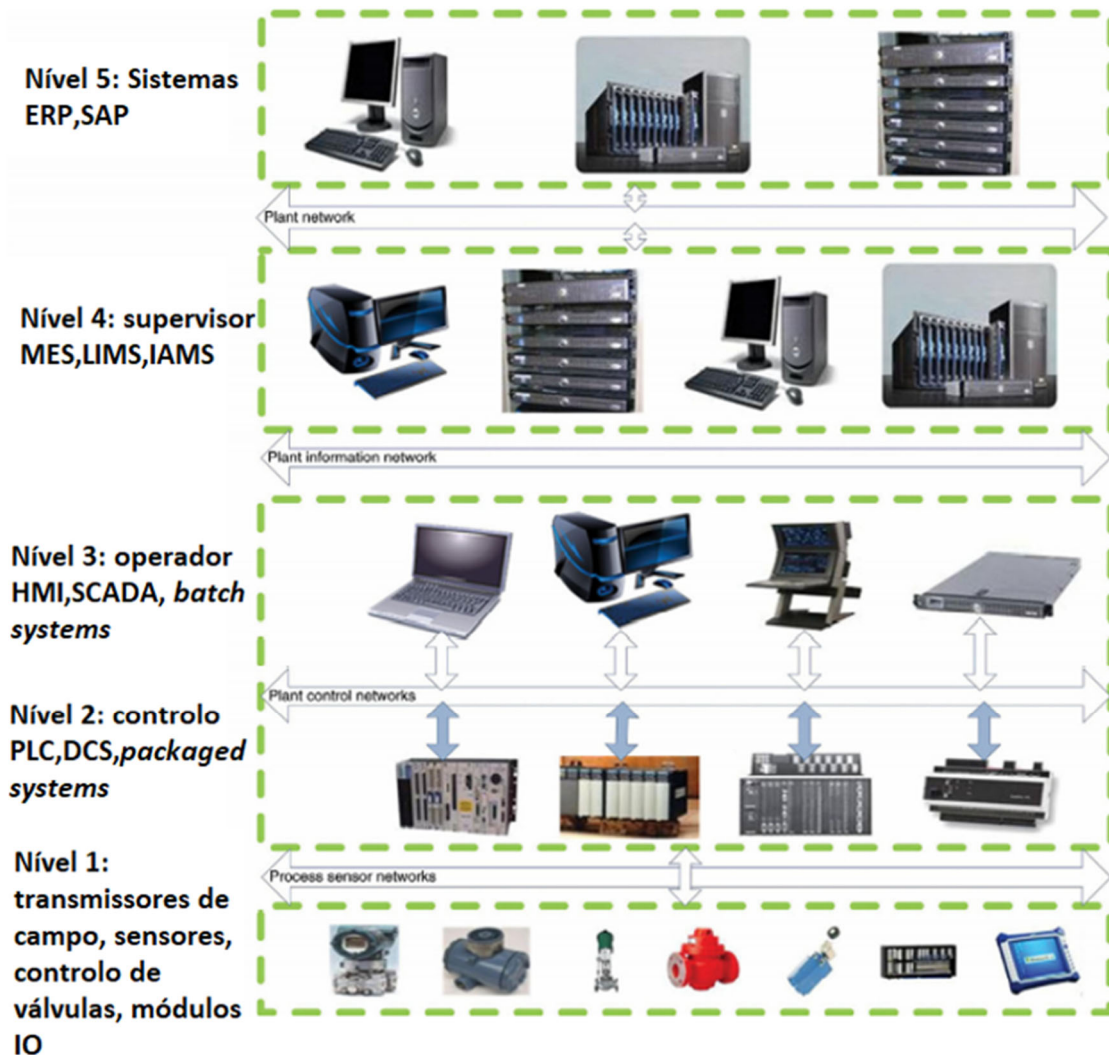


Figura 18 - Estrutura Organizacional de um Sistema [39]

Os vários dispositivos recorrem a protocolos de comunicação para comunicarem entre si, sejam eles do mesmo ou de diferentes níveis. Alguns desses protocolos mais utilizados são o *Modbus*, *Profibus*, *Ethernet* e *Fieldbus* [42, 43].

2.3.4.1 Sensores

Os sensores são um dos elementos mais importantes num equipamento industrial, onde são utilizados para obter respostas do processo (*Input's*), para monitorizar o sistema, prevenir falhas, detetar e diagnosticar, controlar, gerir avisos e alarmes. Na generalidade, os sensores transformam determinados estímulos em sinais elétricos.

O desenvolvimento tecnológico que tem ocorrido nesta área, permitiu obter sensores para quase todas as finalidades, dado que existe uma enorme diversidade destes dispositivos. Estes dispositivos, devido à sua robustez física e ao modo como são

fabricados, podem ser utilizados em ambientes adversos, podendo estar em contacto com superfícies sólidas, líquidas e funcionar a altas temperaturas.

No processo de seleção de um sensor, deve-se ter em atenção aspetos como, o tipo de variável que vai medir, onde vai ser aplicado, que tipos de materiais vai ter que detetar, entre outros. Outras características como a sua sensibilidade, o alcance e precisão, também devem ser consideradas na seleção destes dispositivos.

Um dos métodos utilizados para classificar estes dispositivos é relativamente à forma como emitem os sinais lidos, podendo ser classificados em sensores analógicos e discretos. Os analógicos são utilizados para medir/quantificar uma grandeza física. Emitem uma saída analógica que varia consoante o que está a medir. Posteriormente, é convertido um sinal elétrico que pode variar entre os 0-20 mA. Estes normalmente têm ajustes de ganho e compensação conforme a sua aplicação. Os discretos podem ser subdivididos em binários e em digitais. Os binários apresentam o estado em que se encontra o contacto, ou seja, *on/off*. Relativamente ao estado inicial do contacto, este pode ser normalmente aberto (NO) ou normalmente fechado (NC). Os digitais emitem uma quantidade medida, como por exemplo, o número de impulsos [44].

Na Tabela 7, podemos observar alguns sensores utilizados nos equipamentos industriais [45-47].

Tabela 7 - Diferentes tipos de sensores

Categoria	Imagem	Descrição
Capacitivos		<p>Os sensores capacitivos são utilizados quando se pretende detetar materiais não metálicos, tais como, plásticos, madeiras, resinas e fluidos. Apresentam um intervalo de medição entre os 10 μm e os 10 mm, emitindo uma resposta com uma frequência de 20 kHz. A sua sensibilidade faz com que estes sensores tenham um mau desempenho em ambientes sujos.</p>
Indutivos		<p>Sensor utilizado para detetar materiais metálicos e, ao contrário dos capacitivos, podem ser utilizados em ambientes hostis. Apresentam um intervalo de medição entre os 0.5 mm e os 15 mm, emitindo uma resposta com uma frequência de 80 kHz.</p>

Categoria	Imagem	Descrição
Contacto ou fim de curso		<p>Estes dispositivos têm como função indicar que um motor ou a estrutura metálica ligada ao seu eixo chegaram ao fim do seu campo de movimento. Um exemplo de aplicação para estes sensores são as portas automáticas.</p>
Magnético		<p>Os sensores magnéticos são muito utilizados para detetar movimentos. Quando é detetado um determinado objeto, é gerado uma alteração do campo magnético, fazendo com que o sensor emita um sinal elétrico. Podem ser aplicados para detetar a posição da haste de um cilindro.</p>
Fotoelétricos e Laser		<p>Estes sensores são constituídos por um emissor e um recetor, podendo estar juntos no mesmo dispositivo ou separados. O emissor transmite uma luz ao recetor e quando este feixe de luz é interrompido, cria uma variação que posteriormente será responsável por alterar o estado do sensor. Podem ser utilizados em barreiras de segurança ou para contar peças numa linha de produção.</p>
Encoders		<p>Os <i>encoders</i> ou sensores de medição, são constituídos por um disco dividido em setores, uma fonte de luz, um sensor de luz e um codificador. Uma luz é gerada num lado, e do outro é captada pelo sensor. À medida que o disco gira, o sensor muda constantemente de sinal e o codificador conta essa variação. Assim, o codificador produz um fluxo de pulsos de onda quadrada, que quando contados indica a posição angular do eixo. O codificador pode ser absoluto ou incremental. A resolução do <i>encoders</i> está diretamente relacionada com o número de setores que o disco apresenta.</p>

2.3.4.2 Atuadores

Os atuadores podem ser classificados em três tipos: hidráulicos, pneumáticos e elétricos (Figura 19). Os atuadores são os elementos responsáveis pela atuação dos sistemas mecânicos, capazes de converter energia (elétrica, hidráulica e pneumática) em energia mecânica.



Figura 19 - a) Atuador hidráulico; b) Atuador pneumático; c) Atuador elétrico [46]

Os atuadores pneumáticos e hidráulicos são muito similares, sendo o pneumático utilizado em aplicações onde se pretende movimentos mais rápidos e o hidráulico onde se exige movimentar altas cargas. Os cilindros são constituídos por um corpo cilíndrico, que é responsável por dar forma ao atuador, e por uma haste que desliza ao longo dele conforme as pressões aplicadas. Podem também ser classificados como atuadores de simples e duplo efeito. Nos primeiros, a pressão é aplicada apenas num dos lados, sendo usada uma mola para obrigar o atuador a voltar à posição inicial. Uma válvula solenoide de 2 posições e 3 vias, através da corrente elétrica, muda de posição e a pressão é aplicada no atuador. Quando a corrente deixa de ser aplicada, ele retoma à posição inicial. Nos atuadores de duplo efeito a pressão é aplicada nas duas extremidades, uma para avançar e outra para recuar. Necessitam de uma válvula solenoide de 2 posições, mas com 5 vias.

Relativamente aos atuadores elétricos, estes são acionados através de motor elétrico. Este motor pode ser um motor de indução trifásico AC (corrente alternada), motor DC (corrente contínua), motores lineares, motores de passo e servomotores.

O servomotor permite um controlo preciso de uma posição angular ou linear, assim como, o controlo da velocidade ou binário [48]. Geralmente, o servomotor possui um *encoder* acoplado, no entanto é necessário recorrer a *drivers*.

Os *drivers* são unidades de potência que recebem sinais de comando do PLC (*Programmable Logic Controller*), que depois irão acionar os motores. Existem alguns

tipos de *drivers* com finalidades distintas, entre elas, regular a velocidade dos motores, controlar a rotação e binário.

Os PLC, consoante a licença, podem possuir um módulo de *motion* que é responsável por controlar os movimentos dos servomotores.

Quando se pretende utilizar estes dispositivos, deve-se ter atenção a fatores como a força, precisão e a velocidade necessárias [42].

2.3.4.3 PLC

Estes dispositivos surgiram em 1969, sendo projetados para substituir sistemas operados por relés. Estes equipamentos, ao contrário dos relés, permitem modificar um sistema de controlo sem ter de alterar as ligações físicas, ou mesmo desligar o equipamento.

O PLC (Figura 20) é um dispositivo eletrónico digital que usa memória programável para armazenar instruções e implementar funções como lógica, sequenciamento, tempo, contagem e aritmética para controlar máquinas e processos. Foi essencialmente projetado para auxiliar os programadores. O termo “lógica” é usado porque a programação é baseada na implementação de operações lógicas e de comutação [42, 49].



Figura 20 - PLC (Programmable Logic Controller)[45]

A Figura 21 apresenta a estrutura interna básica de um PLC. Consiste essencialmente num *CPU* (*Central Processing Unit*), unidades de memória *RAM* (*Random Access Memory*) e *ROM* (*Read-Only Memory*) e *hardware* de interface. A *ROM* é o sistema utilizado para armazenar a informação de forma permanente, enquanto a *RAM* é o sistema onde o operador/programador guarda o programa. A *CPU* controla e processa todas as operações dentro do PLC. É fornecido com um relógio, nas versões mais recentes, que possui uma frequência tipicamente entre 1 e 8 MHz. Esta frequência determina a velocidade de operação do PLC e fornece o tempo e a sincronização para todos os elementos do sistema. Um sistema *Bus* carrega informações e dados para a CPU [42].

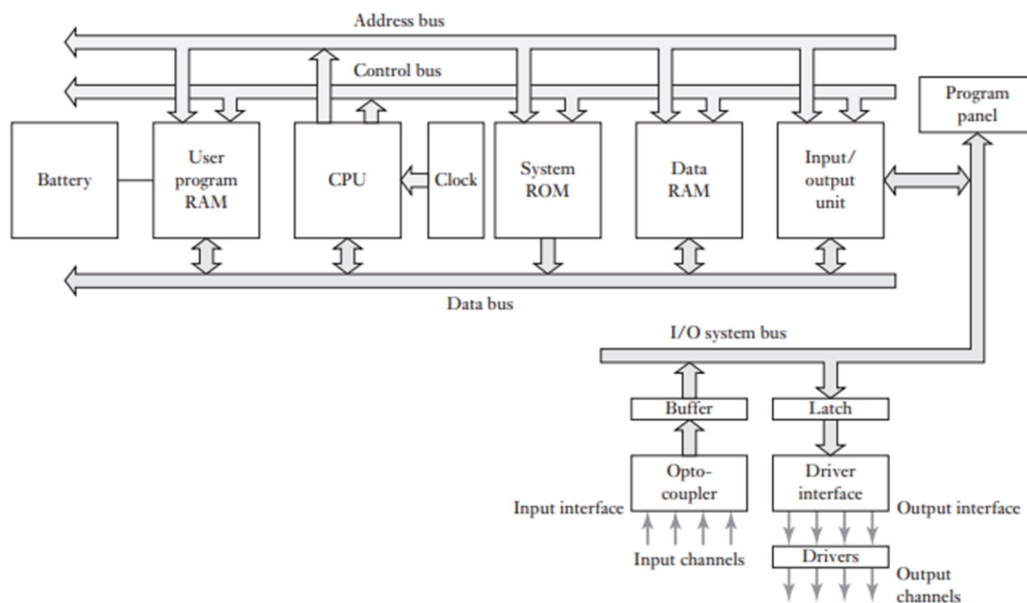


Figura 21 - Estrutura básica de um PLC [42]

Relativamente às unidades de entrada e saída, estas fornecem a *interface* entre o sistema e o exterior. É onde o processador recebe/envia informações para outros dispositivos externos. Tipicamente, o PLC pode ter 6, 8, 12 e 24 entradas e 4, 6 ou 16 saídas e uma memória que pode armazenar entre 300 e 1000 instruções. Para sistemas mais complexos, é possível utilizar sistemas modulares permitindo adicionar cartas de entrada/saídas, conforme o que for desejado. O microprocessador demora cerca de 3 ms, desde que recebe os sinais de entrada até acionar as saídas.

As entradas representam maioritariamente os sinais que o PLC recebe de sensores, emergências e ou botões de início e rearme do equipamento. Como já vimos anteriormente, estes sinais podem ser digitais e analógicos. Os digitais podem ser de 5 V, 24 V, 110 V e 240 V, sendo mais usual os de 24 V.

As saídas são acionadas conforme o tipo de programa que o dispositivo esteja a executar, mas geralmente estão relacionadas com o ligar de um motor, acionamento de um atuador e válvulas, entre outros. O sinal de saída pode ser um sinal de comutação de 24 V, 110 V ou de 240 V, sendo o primeiro o mais utilizado.

O PLC atribui endereços às entradas e às saídas para as conseguir identificar. Cada entrada/saída tem apenas um endereço. A capacidade de um PLC pode ser determinada por parâmetros como, o número de dispositivos de entrada e de saída, o número de etapas do programa que ele pode executar e a velocidade com que ele consegue executar um programa. Os PLCs podem ser programados usando um dispositivo portátil, como o computador. A grande vantagem de usar um computador é que o programa pode ser armazenado no disco rígido ou em um CD, sendo possível compartilhar este na rede da empresa [39].

A partir de portas de entrada, tipicamente uma porta de *Ethernet*, é possível carregar o programa desejado. Assim que este é carregado para a RAM do PLC, o dispositivo passa a operar segundo o mesmo, sendo possível alterar este sempre que for pertinente. Para evitar a perda do programa, quando a fonte de alimentação for desligada, o mesmo é carregado para um *chip* EPROM, tornando-se permanente. Alguns autômatos têm sistemas UPS (*Uninterruptible Power Supply*) que evitam a perda de informação quando a fonte de alimentação é desligada.

Na Tabela 8 estão expostos os 10 principais fabricantes de autômatos e as suas receitas.

Tabela 8 - Principais fabricantes de PLCs [50]

Rank	Fabricante	Receita de automação Industrial (milhões de dólares)	Receita consolidada (milhões de dólares)
1	<i>Siemens (Simatic)</i>	18 281	98 636
2	<i>Mitsubishi Electric (Melsec)</i>	13 346	41 120
3	<i>Emerson (GE Fanuc)</i>	12 202	18 372
4	<i>Hitachi</i>	8 654	86 250
5	<i>Bosch (Rexroth)</i>	8 523	88 319
6	<i>Schneider Eletric (Modicon)</i>	7 172	30 861
7	<i>Eaton (Cutler-Hammer)</i>	7 148	21 390
8	<i>Rockwell Automation (Allen Bradley)</i>	6 694	6 694
9	<i>ABB (B&R Automation)</i>	6 273	27 978
10	<i>Keyence</i>	5 341	5 341

2.3.4.4 IEC 61131: Linguagens de Programação

Segundo a norma IEC 61131-3, as diferentes linguagens de programação são as seguintes [49, 51]:

- Ladder Diagram (LD);
- Function Block Diagram (FBD);
- Structured Text (ST);
- Instruction List (IL);
- Sequential Function Chart (SFC).

Destes, o *Ladder diagram*, o *Structured text* e o *Sequential function chart* são os mais utilizados na área da automação.

O LD (Figura 22) é uma linguagem de programação gráfica baseada nos diagramas de circuito do *hardware* lógico de relé. É usado principalmente para PLC's usados em aplicações industriais. Este tipo de linguagem destaca-se por ser flexível, fácil e intuitiva de programar e de detetar os erros. Geralmente, é usada para programas pouco complexos, mas a introdução de blocos funcionais permite usar esta linguagem para sistemas mais complexos.

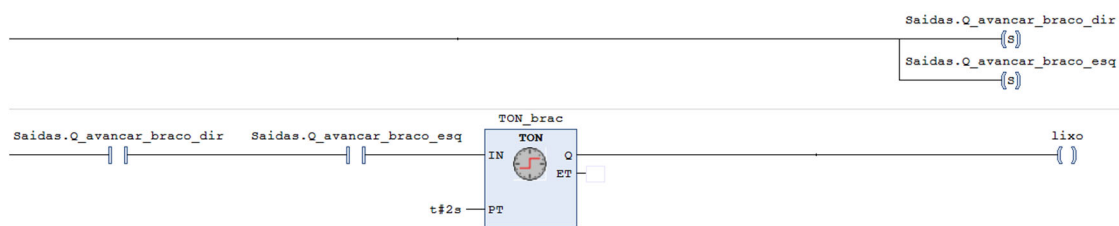


Figura 22 – Exemplo tipo da linguagem LD

O *ST* (Figura 23) é uma linguagem de código bastante semelhante a uma linguagem de programação de alto nível como o Pascal ou C. Relativamente às outras apresentadas, esta apresenta maior facilidade para sistemas complexos e no processamento e análise de grandes quantidades de dados. Outra vantagem deste tipo de linguagem é o facto de ser mais rápido criar um programa nesta linguagem do que nas linguagens gráficas.

```

TonMaxAr (IN := (NOT GVL.Start AND GVL.Rearme AND NOT GVL.Manual ), PT:= T#1H);
TonEspera(IN := (NOT Saidas.Q_Cortear AND NOT GVL.Rearme AND NOT GVL.Pressostato), PT:= T#0.5S);
IF NOT GVL.Pressostato
AND NOT Saidas.Q_Cortear
AND NOT GVL.Rearme
AND TonEspera.Q
AND NOT GVL.Emerg
AND NOT Erro_Pressao
THEN Saidas.Q_Cortear:=1;
Saidas.Q_Luz:=1;
//Erro_Pressao:=0;
END_IF;

IF TonMaxAr.Q THEN Saidas.Q_Luz :=0; END_IF;

```

Figura 23 – Exemplo tipo da linguagem ST

O *SFC* (Figura 24) é uma linguagem gráfica que fornece uma representação em fluxograma/diagrama das sequências e operações. Esta linguagem utiliza as etapas e as transições. O programador define as etapas e as transições, podendo recorrer a outras

linguagens de programação. Quando as transições estiverem ativas, a etapa seguinte é ativada e a anterior desativada. O facto de permitir a visualização gráfica, possibilita ao programador detetar mais facilmente os erros. A linguagem SFC é muito utilizada quando se está a começar a programar um equipamento, pois permite simplificar problemas complexos.

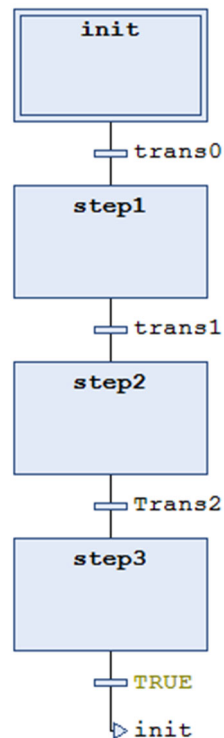


Figura 24 – Exemplo tipo da linguagem SFC

2.3.4.5 HMI e Computadores Industriais

Os dispositivos HMI e os computadores industriais (Figura 25), têm como principal propósito servirem de *interface* entre o homem e a máquina. O desenvolvimento tecnológico que tem ocorrido permitiu que estes equipamentos se apresentassem como uma solução alternativa às unidades de comando tradicionais. As unidades de comando tradicionais são constituídas por botões, sinalizadores e emergências físicas, sendo necessário recorrer a cablagens para ligar estes ao quadro elétrico, estando associados a entradas/saídas do *PLC*. Por outro lado, estes equipamentos permitem ligarem-se à rede através de protocolos de comunicação, reduzindo drasticamente o recurso a cablagens. No entanto, existem diferenças entre eles, havendo assim ocasiões onde é mais conveniente utilizar um em detrimento do outro.

As HMI's são unidades de tamanho robusto e compactas, capazes de resistirem aos ambientes adversos que a indústria proporciona. Não têm a mesma capacidade de processamento que os computadores, no entanto, o seu tamanho proporciona-lhe uma

grande vantagem. Permitem ao operador controlar e supervisionar todo o processo da linha ou equipamento, através de uma tela tátil, onde tem acesso a informação sobre alarmes, o estado da máquina, o desempenho da mesma, o número de peças que está a produzir, etc. Proporcionam também uma enorme flexibilidade que resulta da possibilidade de construir uma HMI dinâmica, com vários *menus* e diferentes *écrans* e pode mesmo apresentar informações de vários PLCs, em simultâneo [52].

Os computadores industriais são muito semelhantes aos computadores ditos tradicionais ou normais. A sua grande diferença encontra-se na robustez física que apresenta, para suportarem a agressividade típica dos ambientes industriais. Estes, permitem acesso a informação de todas as linhas produtivas, sendo apenas necessário o acesso à rede industrial. A sua grande vantagem, relativamente às HMI's, está na facilidade que apresenta para atualizar ou mudar a programação das linhas devido a mudanças de processo [40].



Figura 25 – a) Computador Industrial; b) HMI [45]

CARATERIZAÇÃO DA EMPRESA, DO PROCESSO E DO PROBLEMA

3.1 Caraterização da Empresa

3.2 Caraterização do Processo

3.3 Caracterização do Problema

3.4 Caracterização do Produto

3 CARATERIZAÇÃO DA EMPRESA, DO PROCESSO E DO PROBLEMA

3.1 Caraterização da Empresa

3.1.1 Grupo FICOSA

A Ficosa, grupo multinacional à qual pertence a Ficocables, dedica-se à pesquisa, desenvolvimento, produção e comercialização de componentes e sistemas para a indústria automóvel. A sua produção passa pelo fabrico de cabos de acionamento mecânico para aplicação em sistemas de elevadores de janela, travão de mão, abertura de porta, capô, mala e grelhas para sistemas lombares de conforto e *suspension mat*.

Na Figura 26, é possível visualizar a distribuição geográfica do grupo a nível mundial, estando presente em dezoito países na Europa, América do Norte e do Sul e África, com centros de engenharia, centros de produção, centros de pesquisa e escritórios comerciais.

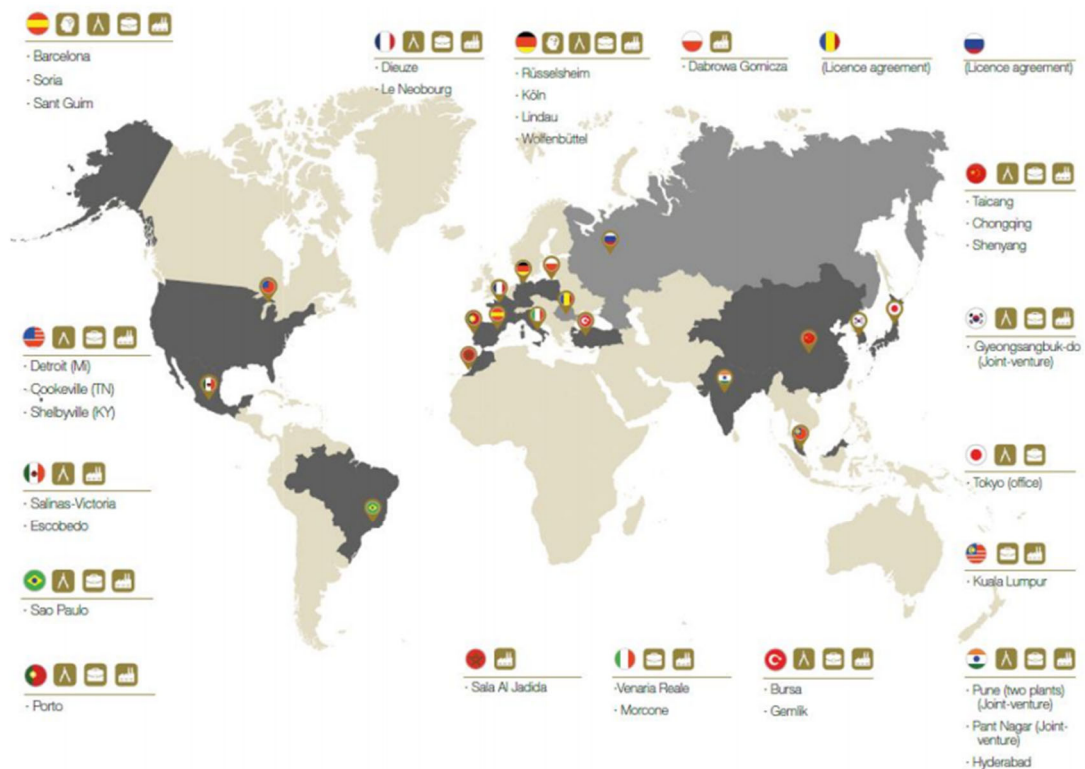


Figura 26 – Distribuição geográfica do grupo Ficosa ([53])

A sua atividade teve início em 1949, com a criação da empresa “Pujol y Tarragó”, por Josep Maria Pujol e Josep Maria Tarragó. Nos anos setenta, a empresa instala-se em Portugal, na cidade do Porto, dando início ao seu processo de internacionalização. Em 1987 passou a ser designada de Ficosa *International* [54].

Nos anos noventa, o investimento em altas tecnologias permite ao grupo continuar o seu crescimento, apostando em novos mercados, América do Norte e do Sul. Em 2001, consolida a sua presença na Europa através da criação de centros de produção na Polónia e Turquia. Nesta altura também opta pela criação de unidades produtivas na Coreia do Sul, Roménia, China e Rússia. Em 2010, o grupo adquire a fábrica da Sony em *Viladecavalls*, apostando no desenvolvimento de produtos com mais componentes elétricos.

Em 2015, o grupo alia-se à Panasonic reforçando a sua posição no mercado. Dois anos mais tarde, a Panasonic torna-se o acionista maioritário com cerca de 69% das ações da empresa.

3.1.2 Ficocables

A Ficocables, empresa portuguesa sediada na Maia, dedica-se à investigação, desenvolvimento, produção e comercialização de sistemas e componentes para a indústria automóvel.

A sua atividade inicia-se em 1971, através da criação da “Teledinâmica”, com apenas três funcionários e sob a orientação do Eng^o Franco Dias. Um ano mais tarde, esta integra a “Pujol y Tarragó”. No ano de 1980, a empresa inicia o processo de expansão, começando a exportar os seus produtos para mercados externos, sendo o mercado europeu o mais representativo. Em 1993, altera o seu nome para Ficocables, Lda [54].

Atualmente, a Ficocables distingue-se no mercado pela alta qualidade dos produtos, sendo por isso, uma empresa certificada pelas normas ISO 9001, ISO/TS 16949:2002, ISO 14001:2004 e ISO 27001. Tem cerca de 1100 colaboradores e um volume de vendas na ordem dos 60 milhões de euros, números que têm vindo a ser reduzidos devido ao impacto nefasto que a pandemia teve sobre o setor automóvel.

No que concerne às suas áreas de negócio, esta conta com duas, sendo elas os sistemas de conforto e cabos de comando (sistemas de porta, assentos, travão, elevadores de janela, capot, entre outros).

3.2 Caraterização do Processo

A Ficocables é responsável pelo fabrico de componentes para automóveis, onde dispõe de uma enorme diversidade de clientes. Tal acontece, devido ao facto da empresa

apresentar nos seus processos, linhas produtivas capazes e com altos níveis de desempenho.

Para a presente dissertação será abordada a linha de produção JLR (Jaguar Land Rover). Os cabos de comando produzidos por esta linha serão incorporados na bagageira do automóvel, tendo como função a abertura ou fecho da mesma (Figura 27).

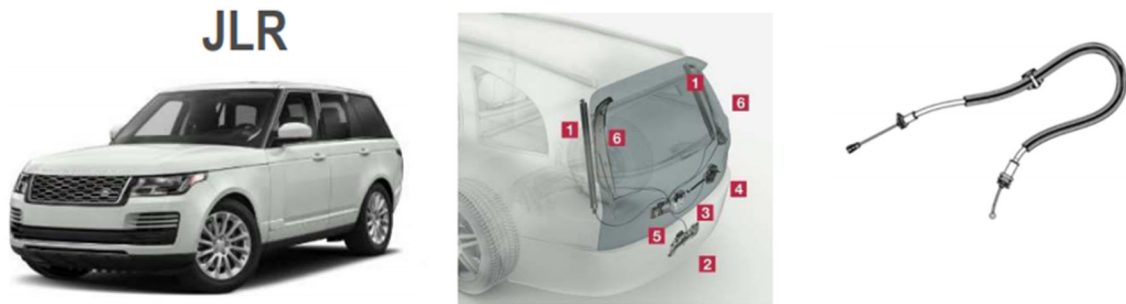


Figura 27 – Aplicação do cabo de comando no automóvel

De modo, a entender o processo de fabrico destes cabos de comando, serão apresentadas as várias etapas de fabrico, assim como os materiais envolvidos ao longo do processo.

As primeiras etapas são as que ocorrem na unidade de fabrico. Na Figura 28 é possível visualizar o fabrico da espiral. O equipamento é alimentado por uma bobina com arame e uma outra com tubo interior. Conforme o tubo interior é introduzido no equipamento, o arame é laminado e enrolado à volta dele.



Figura 28 – Fabrico da espiral

Obtida a espiral, esta é devidamente depositada em tambores e posteriormente transportada para o posto seguinte. No próximo posto, é efetuado o processo de extrusão, onde é realizado o revestimento da espiral com polipropileno (Figura 29).



Figura 29 – Revestimento da espiral

Finalizada esta operação, a espiral revestida é armazenada noutro tambor e devidamente transportada para o posto seguinte. Neste posto, procede-se ao seu corte como demonstra a Figura 30. A cota final do corte da espiral irá ser definida em função da referência que se pretende fabricar.

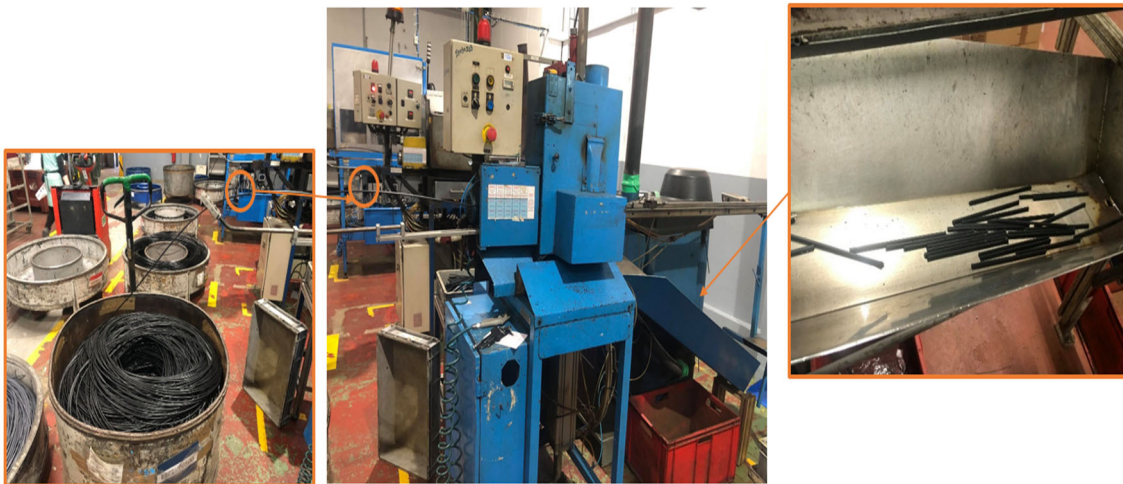


Figura 30 – Corte da espiral

Em paralelo, noutros postos está a ser realizado o corte do tubo estrela (Figura 31) e do cabo de aço (Figura 32). À semelhança do que acontece com o corte de espiral, as suas dimensões também são influenciadas pela referência em fabrico.



Figura 31 – Corte do tubo estrela



Figura 32 – Corte do cabo de aço

Seguidamente, o tubo estrela e a espiral são encaminhados para o primeiro posto da unidade de produção. Por outro lado, o cabo de aço irá ser submetido à 1ª injeção do terminal *zamak* (Figura 33). Antes, é feita a flor (deformação do cabo) na extremidade, que irá ser submetida à injeção, permitindo assim uma melhor fixação da liga de *zamak* no cabo. Este processo será mais tarde usado, aquando for efetuada a 1ª injeção do terminal *zamak*.

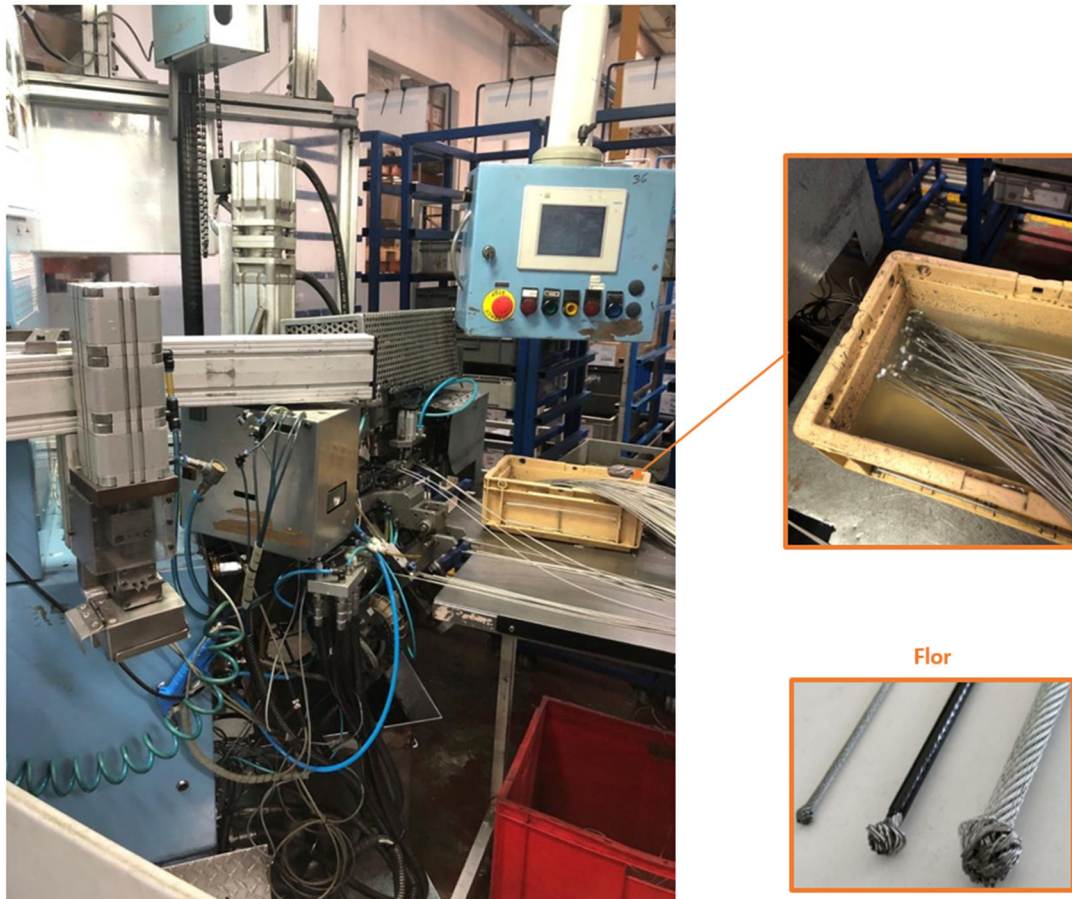


Figura 33 – 1ª injeção do terminal de zamak

No primeiro posto da unidade produtiva, é efetuada a introdução do tubo estrela na espiral (Figura 34), obtendo-se assim o primeiro subconjunto. Antes de efetuar a operação, o operador deve proceder à limpeza da espiral (esmerilar e escarear).

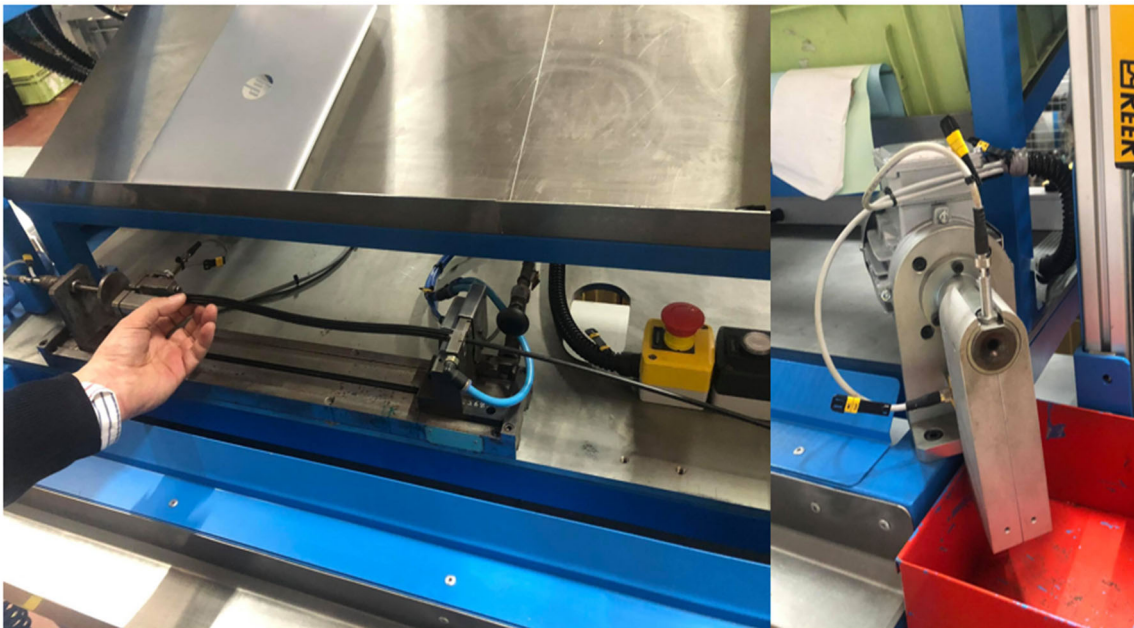


Figura 34 – Posto de introdução do tubo estrela na espiral

Posteriormente, este é transportado por um operador para o posto seguinte. Neste é efetuada a montagem dos terminais, punção e marcação a *laser* num desses terminais (Figura 35). A marcação a *laser* corresponde a um código *QRcode*, único para cada cabo de comando.

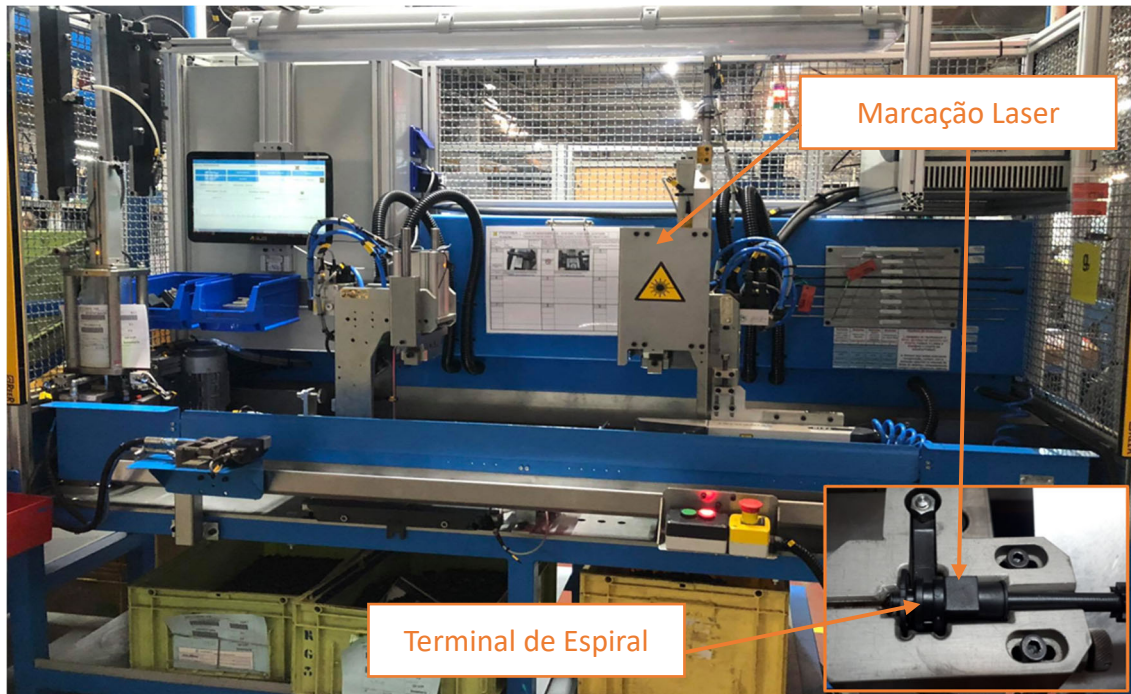


Figura 35 – Montagem dos terminais de espiral, punção e marcação *laser*

O posto que se segue é responsável pela introdução do cabo de aço, já com a 1ª injeção do terminal de *zamak* efetuada, ao conjunto obtido no posto anterior (Figura 36). Realizada esta operação, a extremidade do cabo de aço que se encontra livre é aparada e é feita a flor.

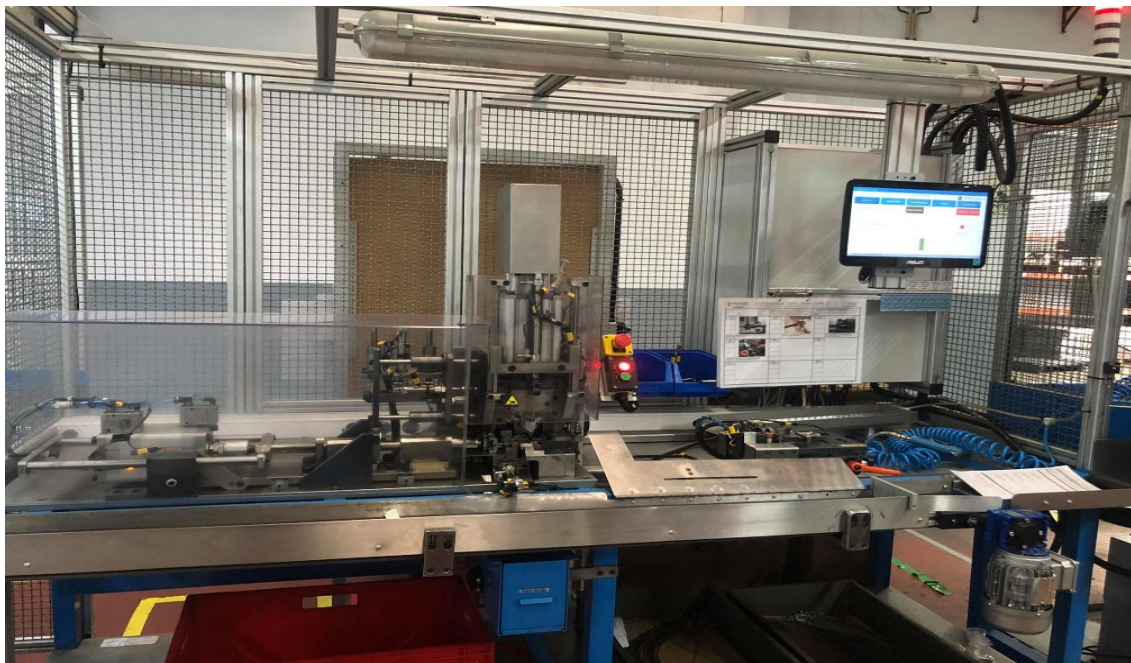


Figura 36 – Introdução do cabo de aço no subconjunto

Por fim, o último posto destina-se à 2ª injeção do terminal de zamak e à verificação da qualidade do cabo de comando (Figura 37). Para tal, este é tracionado até uma carga pré-definida, verificando a sua resistência. Finalizado o ensaio de tração, é procedida à medição do comprimento do cabo, e assim, verificar se cumpre com os requisitos estipulados pelo cliente.



Figura 37 – 2ª Injeção do terminal de zamak e controlo de qualidade

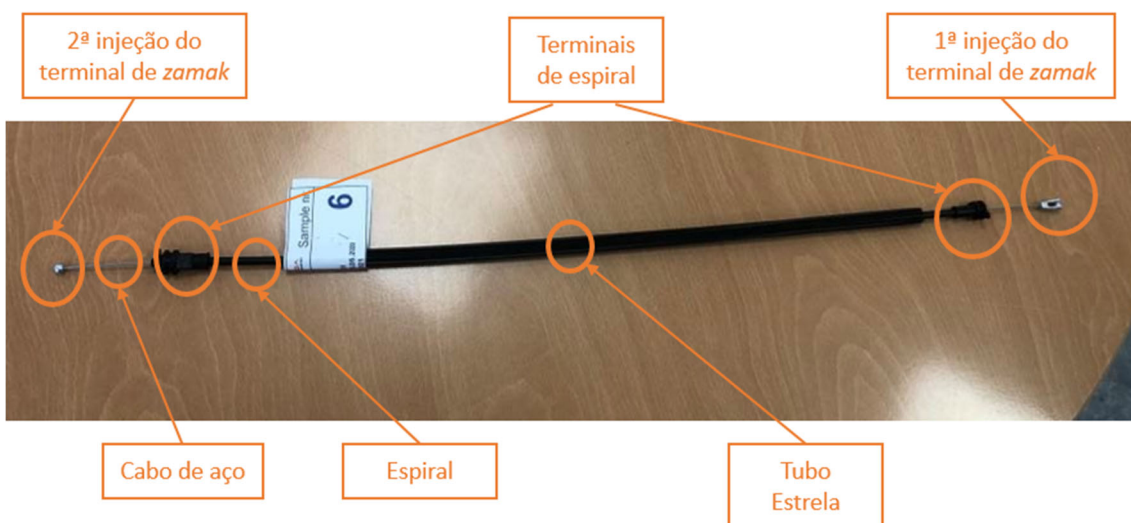


Figura 38 – Cabo de comando JLR

3.3 Caracterização do Problema

A quantidade de peças produzidas pela linha JLR (450 peças/hora) era substancialmente inferior ao que era necessário produzir para satisfazer os pedidos. Por outro lado, a produção dos diversos constituintes do cabo em postos distintos, obrigaria à criação de postos intermédios e ao transporte de matéria-prima. Deste modo, surge a necessidade de encontrar soluções para incrementar o número de peças produzidas.

Através da análise de todo o processo produtivo destes cabos, constatou-se que o processo produtivo do primeiro subconjunto era o que necessitava de um tempo de ciclo maior, assim como, da criação de uma quantidade maior de inventários intermédios. Assim, surge como soluções, a alteração do *layout* da linha na unidade de produção e o desenvolvimento de um novo equipamento, capaz de agregar mais que uma tarefa.

Na Figura 39 é possível visualizar o *layout* atual e aquele que está a ser proposto pela equipa de projeto.

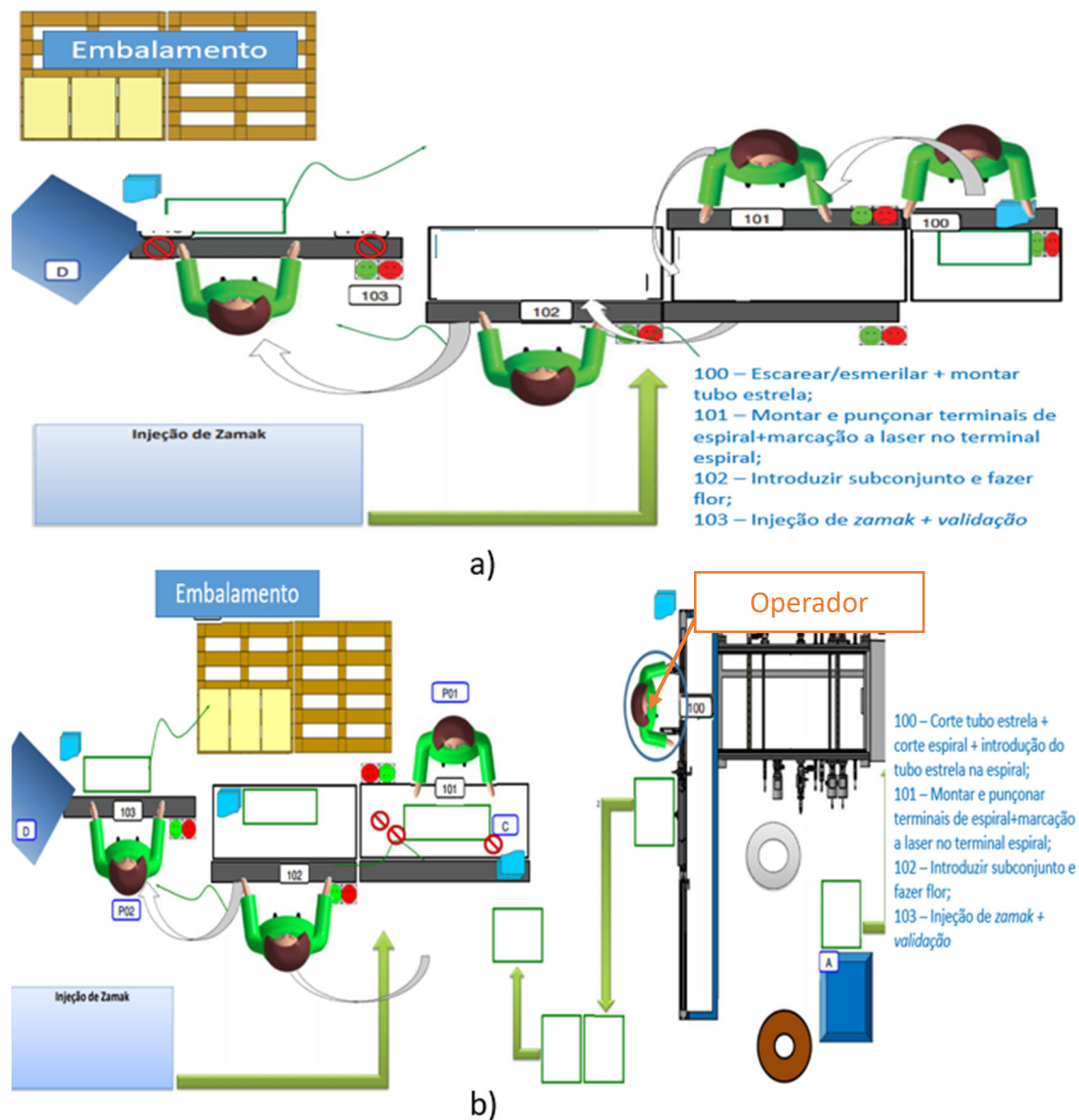


Figura 39 – a) *Layout* atual da linha JLR; b) *Layout* proposto para a linha JLR

O novo *layout*, em comparação com o atual, para além de incorporar um equipamento automático, capaz de efetuar três tarefas que eram realizadas em postos distintos, permite também aproximar os postos, minimizando ao máximo a criação de *stocks* e o transporte de matéria-prima por operadores. Com estas alterações, é esperado conseguir produzir mais peças com menos recursos humanos, ou seja, pretende-se atingir uma produção de 500 cabos de comando/hora com três operários, em vez dos quatro, inicialmente necessários. O operador que está assinalado no *layout* sugerido só irá intervir no equipamento quando requisitado.

O problema proposto pela empresa, consiste na automatização deste novo equipamento (Figura 40) responsável por produzir o primeiro subconjunto. Este será responsável por realizar o corte e limpeza da espiral, o corte do tubo estrela e a introdução do tubo estrela na espiral, completamente automático. Apenas, será necessária a intervenção humana para substituir os tambores responsáveis por alimentar o equipamento e para ações de manutenção. Ao nível da cadência de produção, espera-se que este seja capaz de produzir 500 subconjuntos.

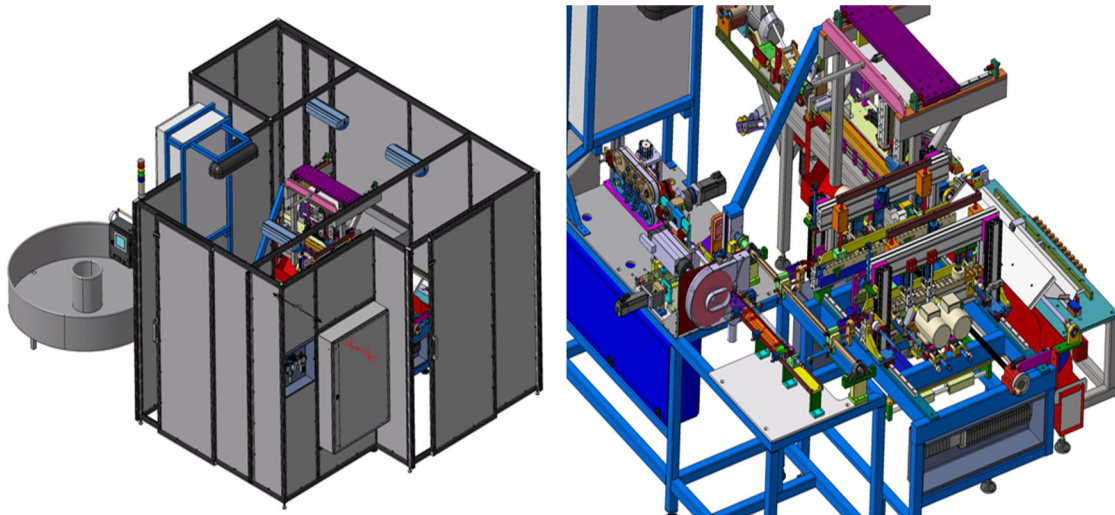


Figura 40 – Novo equipamento automático para a linha JLR

A Tabela 9 apresenta a quantidade de peças produzidas atualmente, e a quantidade de peças que se espera conseguir no novo equipamento. É importante salientar, que o corte do tubo estrela é efetuado em três máquinas, onde um único operador está destacado para as supervisionar, intervindo para substituir as caixas cheias por outras vazias (0.33 produção hora homem). O corte da espiral é efetuado de uma forma semelhante ao corte do tubo estrela, onde um operador controla três equipamentos (0.33 produção hora homem). Para a operação de introdução do tubo estrela na espiral, o posto responsável por este processo necessita de um operador por cada equipamento (1 produção hora homem).

O novo equipamento irá apresentar uma maior quantidade de subconjuntos produzidos, no entanto, em algumas operações como, corte do tubo estrela e da espiral, verifica-se uma cadência produtiva inferior ao atual. Deste modo, é possível minimizar e até mesmo eliminar a existência de inventários intermédios e, em contrapartida, conseguir produzir mais unidades do primeiro subconjunto.

Tabela 9 – Quantidade de peças produzidas atualmente vs. peças pretendidas

Operação	Cadência Atual (média)	Cadência Pretendida
Corte tubo estrela	900 unidades/hora	500 unidades/hora
Corte espiral	1000 unidades/hora	500 unidades/hora
Introdução tubo estrela na espiral	450 unidades/hora	500 unidades/hora

3.4 Caracterização do Produto

Pretende-se que este novo equipamento seja capaz de produzir o primeiro subconjunto, ilustrado na Figura 41. Para além disso, é necessário que este consiga produzir estes componentes para três referências distintas. Conforme a referência selecionada, os parâmetros de cota dos elementos que constituem o primeiro subconjunto iram variar.



Figura 41 – Primeiro subconjunto

Na Tabela 10, é possível visualizar as dimensões de cada componente, relativamente à referência utilizada.

Tabela 10 – Dimensões dos componentes do 1º subconjunto, conforme a referência

Referência	Comprimento da espiral	Comprimento do tubo estrela
121913267	433 ±2	302 ±10
121913268	518 ±2	403 ±10
121913269	475 ±2	368 ±10

DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

4.1 Requisitos de Funcionamento

4.2 Descrição do Modo de Funcionamento

4.3 Seleção do Material Necessário

4.4 Programação dos PLC's

4.5 HMI

4.6 Resultados Obtidos

4.7 Manual de Operação

4.8 Manual de Manutenção

4.9 Análise Financeira

4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

4.1 Requisitos de Funcionamento

Para que haja um correto desempenho do equipamento, e assim garantir que este cumpre as funções para o qual foi concebido, deve cumprir alguns requisitos, que estão ilustrados na Tabela 11.

Tabela 11 – Requisitos de funcionamento

Tipo de Requisito	Requisito
Produção	<ul style="list-style-type: none"> • Deve apresentar uma produção/ hora de 500 unidades; • Necessidade de um operador por curtos períodos de tempo, para efetuar a substituição dos tambores que alimentam o equipamento.
Energéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Baixada elétrica com corrente trifásica, para que seja possível alimentar a máquina; • Baixada de ar comprimido, com uma pressão de 6bar (mínimo), para que seja possível alimentar a máquina.
Dispositivos	<ul style="list-style-type: none"> • Consola(s) para que o operador possa interagir com o equipamento; • Sensores para ser possível controlar os movimentos do sistema; • Existência de servomotores e motores, para realizar os movimentos mais precisos; • Existência de acessórios pneumáticos, tais como, reguladores de pressão, silenciadores, válvulas pneumáticas, etc.; • Existência de acessórios elétricos, tais como, bornes de alimentação, barramentos, disjuntores, etc.; • Ventiladores para arrefecimento do quadro elétrico; • Existência de corte elétrico manual que permita <i>LOKOUT/TAGOUT</i>; • Iluminação no posto; • Existência de um sistema <i>Andon</i>, sinalizando a cadência da produção e a necessidade ou não de abastecer a máquina.

Tipo de Requisito	Requisito
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Modos de trabalho (automático; manual; passo a passo). O modo automático quando a máquina está a trabalhar sem que seja necessário, a intervenção do operador. O modo manual e passo a passo para efetuar ajuste, afinações ao nível mecânico como de <i>software</i>; • Possíveis erros que possam surgir durante o funcionamento do equipamento, devem ser visíveis na consola; • Correta numeração dos fios elétricos e tubos de ar comprimido; • Sensores localizados em zonas acessíveis e com ligações rápidas para facilitar a substituição destes em caso de avaria; • Correto acondicionamento da tubagem pneumática e que esta se encontra em bom estado;
Segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Botão/botões de emergência, que quando pressionados obriguem a paragem da máquina; • <i>Password</i> para restringir o acesso às consolas; • Quando o pressostato perder o sinal, o programa deve acionar o corte de ar do posto; • Obrigatório pressionar o botão REARME, sempre que for parada a máquina devida a problemas (emergência, erros, corte elétrico, corte pneumático); • Existência de sensores de encravamento nas portas da vedação; • Variadores de velocidade e servomotores ligados ao relé de segurança.

4.2 Descrição do Modo de Funcionamento

A Figura 42, é apresentado um fluxograma que ilustra o modo de funcionamento do equipamento e a sequência das operações. Devido à complexidade do sistema, e para que haja uma melhor compreensão de todos os elementos que constituem o equipamento, assim como a sua potencialidade, este foi subdividido em cinco postos.

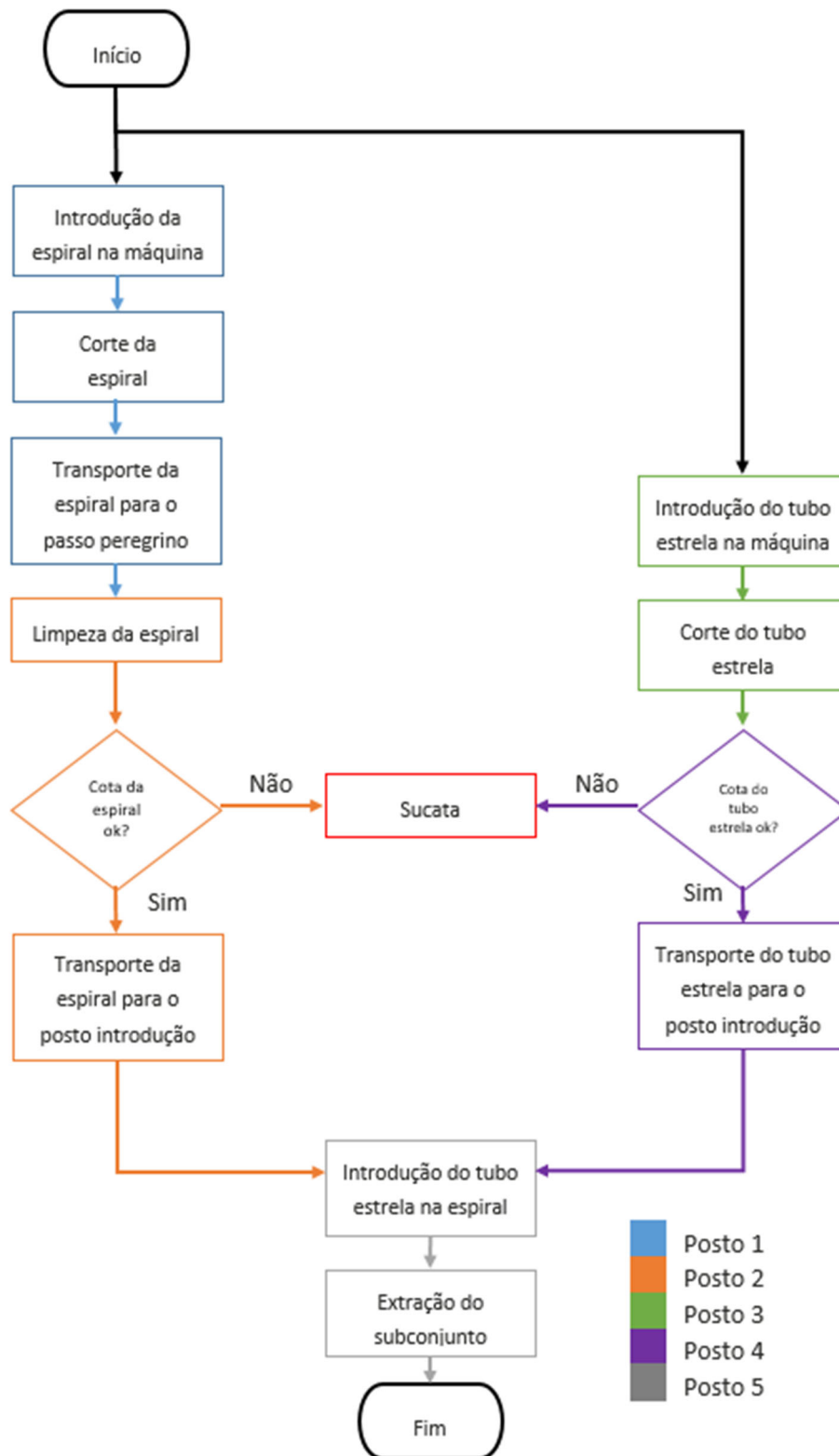


Figura 42 – Fluxograma do modo de funcionamento do equipamento

O primeiro posto (Figura 43) tem como objetivo a introdução da espiral no equipamento, assim como o corte da mesma. A sequência das operações é a seguinte:

1. A espiral é introduzida através do acionamento do tapete de arrasto. Um servomotor (1) faz mover o tapete, enquanto um cilindro pneumático (1) efetua a abertura/fecho do mesmo. Este deve encontrar-se normalmente fechado, abrindo caso seja necessária a substituição do tambor;
2. Durante a introdução da espiral, os cilindros 2 e 3 devem estar avançados, garantindo assim que as tampas dos *gabarits* estão fechadas, facilitando o processo;
3. Quando o comprimento introduzido atinge o valor pretendido, os cilindros 4, 5 e 6 são acionados. Os cilindros 4 e 5 prendem a espiral, enquanto o cilindro 6 traciona a mesma;
4. De seguida, é acionado outro servomotor (2) e um motor trifásico, com o objetivo de fazer avançar o disco de corte e de o fazer girar. São utilizados dois sensores indutivos que detetam o recuo do disco de corte. Durante a operação de corte, um aspirador deve ser ligado para eliminar detritos e poeiras libertadas durante o corte da espiral;
5. Efetuado o corte da espiral, os cilindros 7 e 8 são acionados, fazendo avançar as pinças abertas. São também desativados os cilindros 2, 3, 4, 5 e 6;
6. Por fim, as pinças prendem a espiral e, através de um cilindro rotativo, introduzem a espiral no posto seguinte. Acabada a operação e detetada a espiral no posto dois, as pinças voltam à posição inicial.

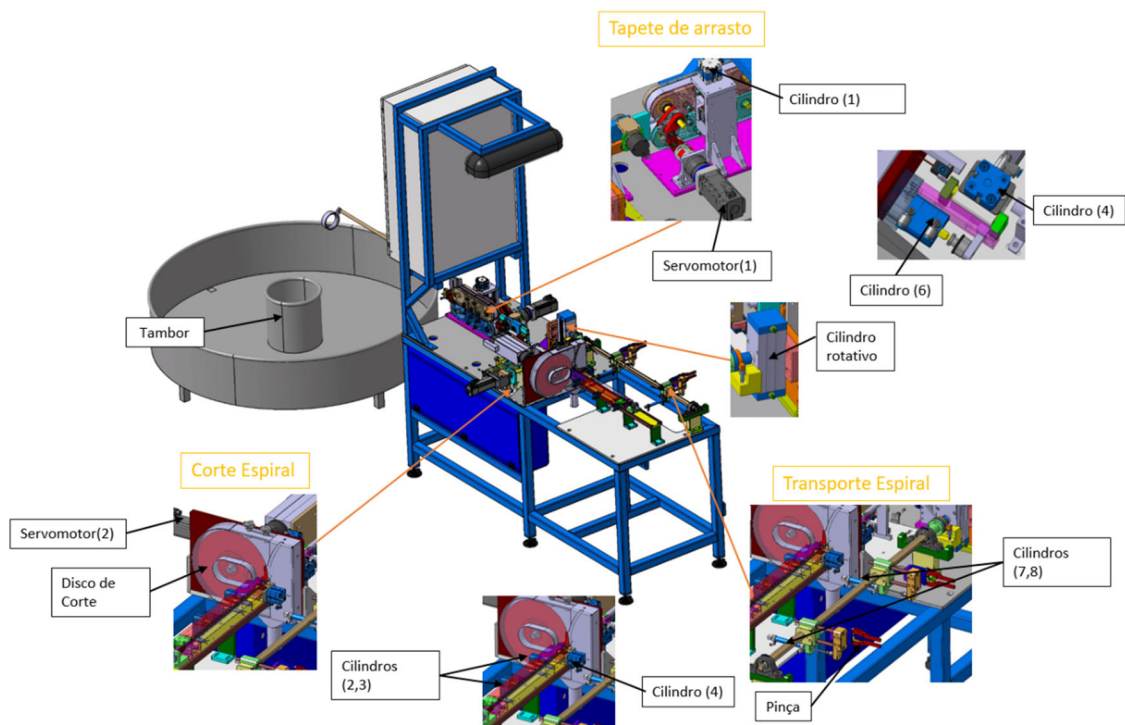


Figura 43 – Descrição do posto 1

O posto que se segue, o posto dois, encontra-se ilustrado na Figura 44. Este tem como principal objetivo a limpeza da espiral, pois após o processo de corte esta apresenta rebarbas. Deste modo, a sequência de operações ocorre da seguinte forma:

1. Quando a espiral é detetada pelos dois sensores indutivos, que se encontram no primeiro passo do passo peregrino, e garantido que as pinças se encontram na posição inicial, dois cilindros (1,2) são acionados. Fazem mover o passo peregrino e, conseqüentemente, a espiral para o passo seguinte;
2. Outros dois cilindros (3,4) são acionados fazendo avançar os batentes, centralizando a espiral no passo peregrino. Quando atingem o fim de curso, são desativados;
3. A espiral avança assim, passo a passo em direção ao posto cinco. Durante este percurso, são efetuadas três operações. Nas duas primeiras são efetuadas ações de limpeza, enquanto na terceira é realizada a medição da espiral através de um sensor analógico.
4. Sempre que a espiral avança para o passo seguinte, são acionados três cilindros (5, 6 e 7) de cada lado do passo peregrino, para calcar a espiral e garantir que esta avançou corretamente;
5. A primeira operação inicia-se sempre que for detetada a espiral na posição correta, através de dois sensores indutivos. Detetada a espiral, é acionado um cilindro (8) de cada lado do passo peregrino, para prender a espiral. De seguida, um outro cilindro (9) faz avançar um motor trifásico que, através de uma ponteira alocado ao veio do motor efetua a limpeza exterior da espiral;
6. A segunda operação procede-se de uma forma semelhante à primeira, sendo necessário também dois sensores indutivos para detetar a presença da espiral e dois cilindros pneumáticos (10 e 11) de cada lado, para prender a espiral e efetuar o avanço do motor que realiza a limpeza interior da mesma;
7. Por fim, a terceira operação corresponde à medição da variação do tamanho da espiral. À semelhança das outras operações, é utilizado um sensor indutivo para detetá-la na posição correta. Um cilindro pneumático (12) faz avançar o sensor analógico e do outro lado do passo peregrino, um outro sensor (13) faz com que a espiral avance em direção ao sensor analógico.

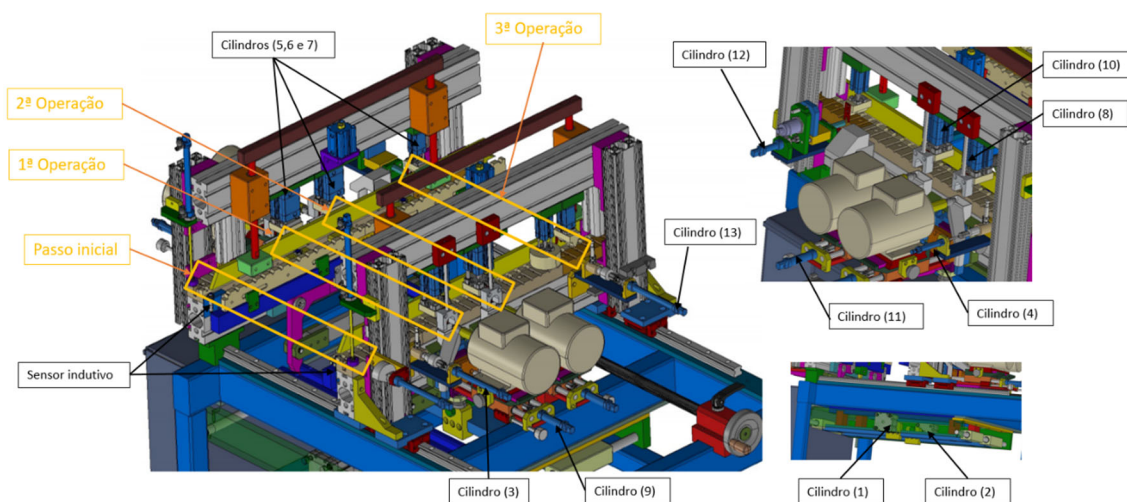


Figura 44 – Descrição do posto 2

O posto três (Figura 45) é responsável por introduzir o tubo estrela no equipamento e, posteriormente, efetuar o corte do mesmo. Neste, as operações são realizadas na seguinte ordem:

1. O tubo estrela é introduzido no equipamento através de dois roletes, acionados por um motor trifásico. A sua velocidade será influenciada pela leitura de um sensor analógico, que lê a distância a que se encontra da haste. A haste tem como objetivo, manter o tubo estrela esticado. À medida que este é introduzido no equipamento, a haste vai descendo e, conseqüentemente, a velocidade do motor irá diminuindo;
2. Sabe-se que existe material no posto, através da utilização de um sensor ótico. Quando este deixa de detetar tubo, o posto para;
3. Outro motor trifásico aciona um tapete, que transporta o tubo ao longo do posto;
4. Um *encoder* controla o comprimento de tubo que é introduzido. Assim, que esta quantidade atinge o valor pretendido, um cilindro pneumático (1) é acionado, efetuando o corte do mesmo.
5. Este processo cíclico para quando o tubo já cortado atinge um sensor *laser* que se encontra na fase final do posto. Enquanto houver material nesta zona, os dois motores param, impedindo a introdução e o corte do tubo estrela.

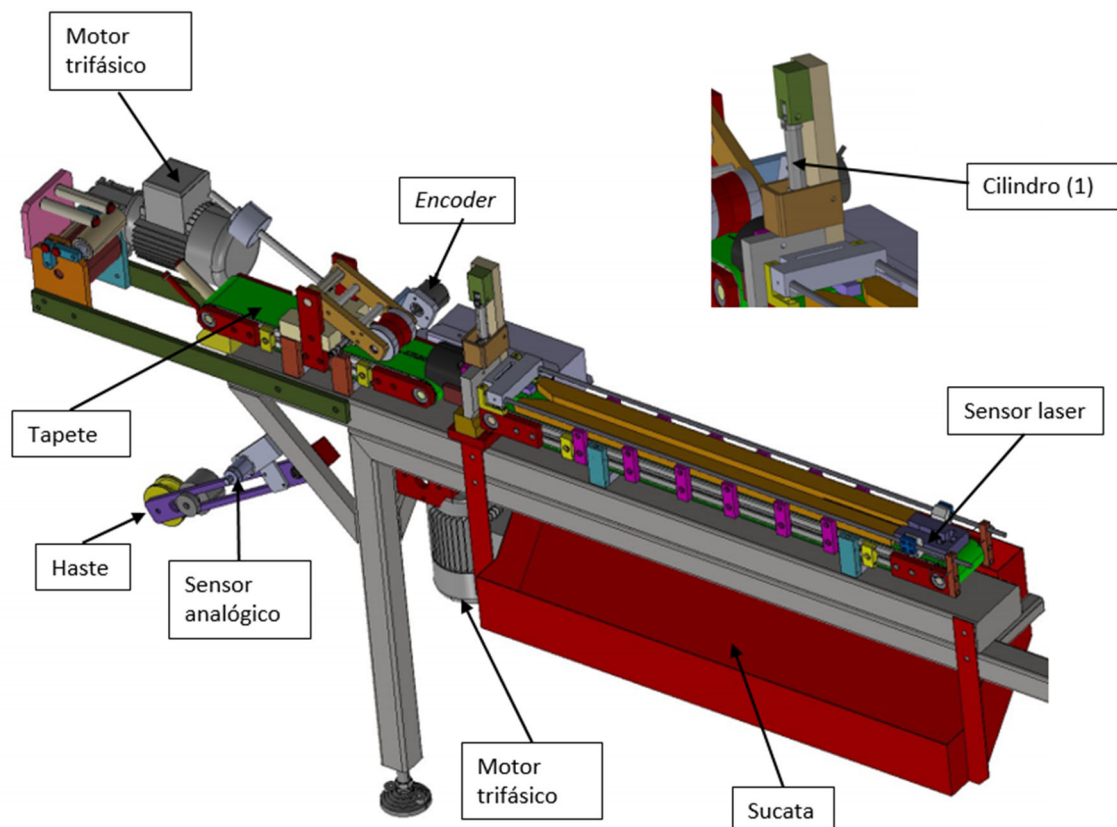


Figura 45 - Descrição do posto 3

Na Figura 46 é possível visualizar o posto quatro, que tem como propósito o transporte do tubo estrela para o posto cinco. De modo sequencial, as operações ocorrem da seguinte maneira:

1. Este posto é acionado pela presença de tubo estrela, já cortado, na zona final do posto três, detetado por uma fibra laser;
2. Detetado o tubo estrela, dois cilindros pneumáticos (1 e 2) fazem descer duas pinças, que posteriormente fecham e seguram o tubo. As pinças voltam a subir, agora com o tubo estrela;
3. A operação que se segue, irá depender do valor medido pelo *encoder*. Caso haja alguma anomalia, um cilindro pneumático (3) faz avançar o conjunto das pinças, juntamente com o tubo estrela para um passo intermédio, inserindo-o na sucata que se encontra assinalada no posto 2. Por outro lado, na ausência de qualquer erro, um outro cilindro (4) é acionado, movendo o conjunto para a posição do posto 5;
4. Quando o conjunto atinge a posição do posto cinco, os cilindros 1 e 2 são novamente acionados, fazendo descer o tubo estrela. De seguida, o cilindro 5 promove o avanço da pinça, introduzindo-o no bico do posto cinco;
5. Por fim, as pinças abrem e todo o posto volta à posição inicial.

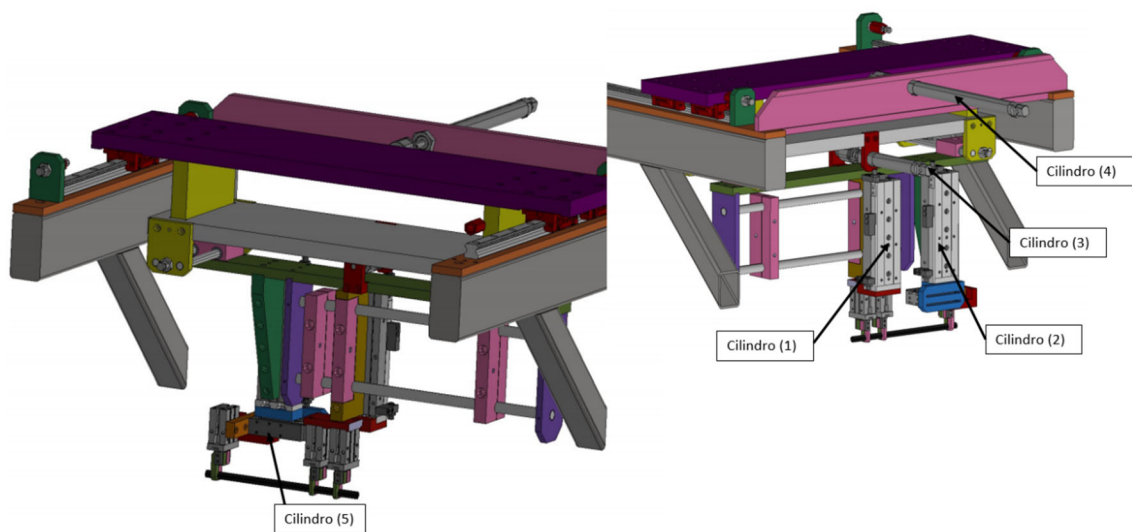


Figura 46 - Descrição do posto 4

Por fim, segue-se o posto cinco (Figura 47), o qual tem como objetivo, efetuar a introdução da espiral no tubo estrela. As operações são realizadas pela seguinte ordem sequencial:

1. Antes de o posto quatro efetuar o transporte do tubo estrela, o cilindro 1 deve estar acionado, fazendo com que este fique depositado no molde. Também é necessário que o bico se encontre na posição correta, ou seja, o cilindro 2 é

- acionado efetuado o movimento lateral e, de seguida, outro cilindro pneumático (3) efetua o avanço do mesmo, ficando assim na posição correta.
2. Quando o tubo estrela é transportado para o posto e ocorre a sua introdução no bico, um conjunto de cilindros (4, 5, 6, 7) é acionado, com o intuito de prender o tubo estrela. Durante a operação deve ser ativo um sopro, com o objetivo de fazer dilatar o tubo e facilitar o processo;
 3. De seguida, o bico recua, voltando para a posição inicial;
 4. A próxima operação depende da leitura realizada pelo sensor analógico do posto dois. O sistema passa/ não passa apenas é acionado através do cilindro 8, sempre que os valores medidos estão de acordo com o esperado. Em caso contrário, o sistema não é acionado e a espiral é depositada na zona de sucata;
 5. Quando a espiral é adicionada ao posto cinco e é detetada na posição correta, através de um sensor indutivo, o cilindro 9 avança e introduz a espiral no tubo estrela. Durante o processo, um cilindro (10) e o sopro são ativos, para ajudar a guiar a espiral e para dilatar o tubo estrela, respetivamente;
 6. Concluído o processo de introdução, o conjunto de cilindros é desativado. De seguida, os cilindros 11 e 12 são acionados, fixando o subconjunto ao molde;
 7. Posteriormente, o cilindro 1 recua e quando este atinge o seu fim de curso, os cilindros 11 e 12 são desativados. Neste momento, um outro cilindro é acionado (13), fazendo com que as pinças de extração subam. Desta forma, o subconjunto cai para dentro de uma tina metálica;
 8. Um sensor ótico deteta a passagem do subconjunto para o exterior do equipamento. Detetado, o sistema retoma à posição inicial.

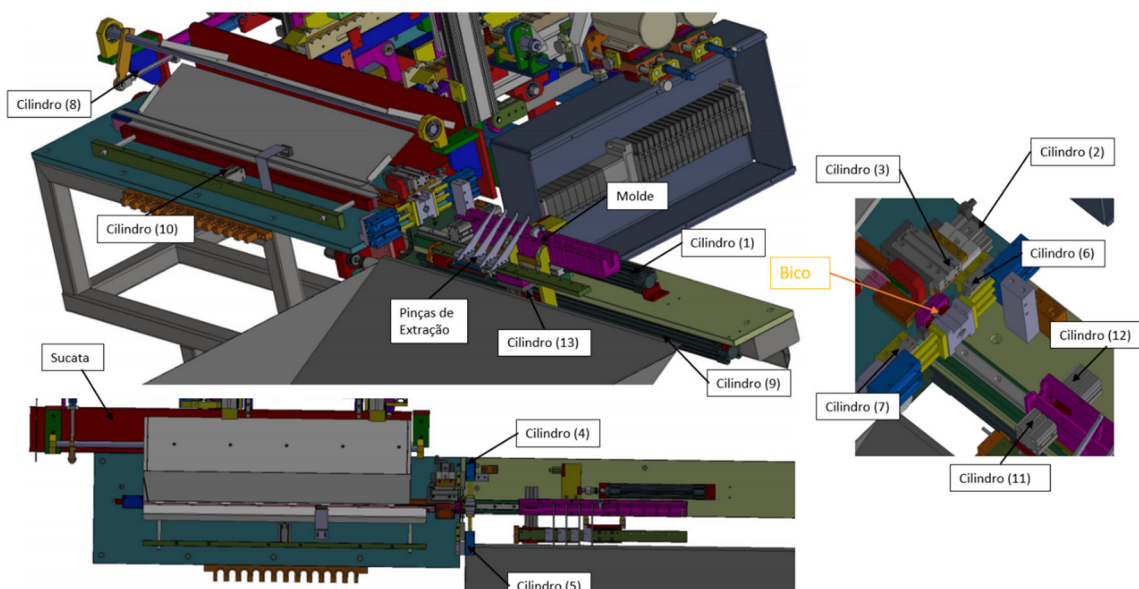


Figura 47 - Descrição do posto 5

4.2.1 Princípio de Funcionamento

1. Estado de funcionamento do sistema

O sistema apresenta os seguintes estados de funcionamento, comandados a partir da consola HMI principal:

- Automático - o equipamento funciona em ciclo contínuo produzindo peça após peça;
- Passo a Passo - permite efetuar a mesma sequência de operações que o modo automático, no entanto, necessita que seja pressionado o botão START para que se realize a operação seguinte;
- Manual - permite acionar qualquer dispositivo do sistema através da consola HMI.

2. Funcionamento Automático

Antes de se dar início à produção:

Antes de o operador dar início a qualquer processo, deve assegurar que as seguintes condições estão asseguradas:

- Todos os botões de emergência se encontrem desativados, ou seja, na posição ON;
- As portas da vedação se encontrem corretamente fechadas;
- Os tambores que alimentam a máquina com espiral e tubo estrela não se encontrem vazios;
- O equipamento se encontra alimentado com energia elétrica e com ar comprimido, essenciais para o correto funcionamento do mesmo.
- A referência de trabalho está corretamente definida na HMI principal, e que cada posto se encontra corretamente configurado;
- Garantir que não existem erros no equipamento.

Início da produção:

Será dado início à produção quando:

- O operador pressionar o botão START, que se encontra na HMI principal;
- O equipamento só inicia o funcionamento quando estão garantidas as condições de segurança e quando tem alimentação (Energia elétrica e ar comprimido).

A produção não poderá iniciar quando:

- A emergência estiver ativa;
- As portas laterais da vedação estiverem abertas;
- Houver erros no sistema (falhar pressão da rede de ar comprimido, falhar sinal de um sensor, etc.)
- Faltar material, pelo menos, num dos tambores;
- Não for pressionado o botão de REARME;
- Não tiver sinal no pressostato.

Paragem da produção:

A produção parará quando:

- O operador carregar no botão de Paragem ou Emergência;
- Atinge a produção desejada;
- Os tambores ficarem sem material;
- Aparecerem erros no sistema, visíveis nas consolas HMI's;
- Quando o pressostato perder o sinal;
- Quando não houver energia elétrica no equipamento.

Sempre que o sistema é forçado a parar, deve ser audível um sinal sonoro durante um curto período de tempo.

3. Mudança de referência

A referência deve ser selecionada na consola HMI principal, influenciando o tamanho da espiral e do tubo estrela. Sempre que for necessário efetuar alterações da referência de trabalho, o operador deve forçar a paragem do sistema. De seguida, selecionar a referência desejada. Antes de o operador iniciar o sistema, deve proceder às seguintes alterações:

Posto 1

- Alterar os gabaritos para a referência correta;
- Ajustar a distância entre as pinças que efetuam o transporte da espiral para o posto dois, de modo que, o seu transporte seja efetuado corretamente.

Posto 2

- Ajustar a abertura do passo peregrino, através da manivela, de forma a que o espaçamento corresponda ao tamanho da espiral a cortar;
- Garantir que não se encontram espirais no passo peregrino.

Posto 3

- Garantir que não existe tubo estrela, com o tamanho da referência antiga, no posto.

Posto 4

- Ajustar a distância entre as pinças que efetuam o transporte do tubo estrela para o posto cinco, de modo que o seu transporte seja efetuado corretamente.
- Garantir que não existe tubo estrela, com o tamanho da referência antiga, no posto.

Efetuada estas alterações, o operador deve dar início ao sistema assim que achar oportuno fazê-lo.

Sistema *Andon*

Este sistema corresponde a um método utilizado para que, através de sinais luminosos, os operários que se encontrem na unidade fabril, saibam em que condições está a funcionar o equipamento.

Na Tabela 12, é possível visualizar quando é que uma determinada cor é ativa, consoante o desempenho do sistema.

Tabela 12 – Condições do sistema *Andon*




Cor	Condições do Sistema
Verde	A produção/ hora encontra-se dentro do estipulado
Amarelo	A produção/ hora encontra-se abaixo do estipulado
Azul	O equipamento necessita da intervenção do operário, para substituir os tambores
Vermelho	O equipamento encontra-se parado

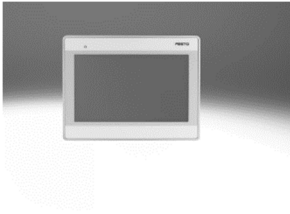



4.3 Seleção do Material Necessário


Para que seja possível, o equipamento desempenhar as operações necessárias e cumprir os diversos requisitos exigidos, é necessário recorrer a um conjunto de dispositivos que tornem o sistema capaz.

Na Tabela 13, é possível visualizar o material utilizado para tornar a sua automatização possível.

Tabela 13 – Material elétrico e pneumático utilizado [44, 45, 54-63]

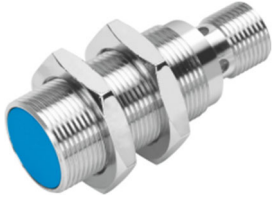



Dispositivo	Imagem	Posto	Descrição
Material Elétrico			
PLC CX9020		1	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: Beckhoff®; • <i>Software</i> de controlo: TwinCAT2/ TwinCAT3; • Processador: <i>ARM Cortex™-A8</i>, 1 GHz; • Fonte: 24 V DC; • Ligações I/O: <i>E-bus / K-bus</i>; • Corrente consumida: 2 A; • Potência consumida: 5 W; • Função: Unidade de controlo do posto um.
PLC CPX-CEC-C1		2,3,4 ,5	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: FESTO®; • <i>Software</i> de controlo: <i>CODESYS</i>; • Fonte: 24 V DC; • Ligações I/O: <i>E-bus / K-bus</i>; • Corrente consumida: 2 A; • Potência consumida: 5 W; • Função: Unidade de controlo do posto dois, três, quatro e cinco.
Consola HMI X2 Base		1	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: Beijer®; • Tamanho: 5”; • Sistema de comunicação: <i>Ethernet</i>; • CPU: <i>ARM Cortex A8</i> 600 MHz; • Função: Interface homem-máquina.

Dispositivo	Imagem	Posto	Descrição
Material Elétrico			
Consola HMI CDPX		Geral	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: Festo®; • Tamanho: 7”; • Sistema de comunicação: <i>Ethernet</i>, USB, RS485, SD Card; • Função: Interface homem-máquina.
Drive AX5106		1	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: Beckhoff®; • Sistema Bus: EtherCAT; • Tensão Max: 875 V DC; • Corrente de pico(Canal): 13 A; • Corrente nominal(Canal): 6 A; • Função: Unidade de potência dos servomotores do posto um.
Servomotor AM8032		1	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: Beckhoff® • Modelo: AM8032- wEyz; • Torque de paragem: 2.37 Nm; • Torque nominal: 2.2 Nm; • Velocidade nominal: 6000 min⁻¹; • Potência nominal: 1.38 kW; • Função: Responsável por fazer movimentar o tapete arrasto.
Servomotor AM8122		1	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: Beckhoff® • Modelo: AM8122-wFyz; • Torque de paragem: 0.80 Nm; • Torque nominal:0.80 Nm; • Velocidade nominal: 2000 min⁻¹; • Potência nominal:0.17 kW; • Função: Responsável por fazer movimentar o disco de corte.

Dispositivo	Imagem	Posto	Descrição
Material Elétrico			
Motor HSD MT1073		1	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: HSD; • Potência: 1.50 kW; • Tensão nominal: 220 V; • Velocidade nominal: 18000 rpm; • Velocidade máxima: 24000 rpm; • Função: Girar o disco de corte da espiral.
Motor MS 562-2		2	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: ECHTOP® • Potência: 0,12 kW; • Nº de polos: 2; • RPM: 2700; • Rendimento: 61%; • Função: Responsável por rebarbar e escarear a espiral (ações de limpeza).
Motor MS 631-4		3	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: ECHTOP® • Potência: 0,12 kW; • Nº de polos: 4; • RPM: 1360; • Rendimento: 52%; • Função: Responsável por introduzir o tubo estrela no posto.
Variador FRENIC-Mini		1	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: Fuji Electric®; • Tensão de entrada: 380-480 V; • Tensão de saída: 0-480 V; • Frequência de saída: 0-500 Hz; • Função: Responsável por controlar a velocidade de rotação do motor HSD MT1073.

Dispositivo	Imagem	Posto	Descrição
Material Elétrico			
Variador Movitrac SEW		3	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: Movitrac®; • Tensão de entrada: 200-240 V; • Tensão de saída: 0-230 V; • Frequência de saída: 0-500 Hz; • Função: Responsável por controlar a velocidade de rotação do motor MS 631-4.
Variador Invertex E3 IP20		2	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: Invertex®; • Tensão de entrada: 200-240 V; • Tensão de saída: 0-250 V; • Frequência de saída: 0-500 Hz; • Função: Responsável por controlar a velocidade de rotação do motor 562-2.
Encoder E6C2-CWZ5B		3	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: OMRON®; • Impulsos por rotação:100; • Tensão de alimentação: 12-24 V; • Função: Controlar a quantidade de tubo estrela que entra no sistema.
Sensor fibra ótica SOE4		3	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: Festo®; • Distancia de deteção: 2000mm; • Tensão de trabalho:10-30 V; • Função: Sensor acoplado no corpo dos cilindros para detetar o seu avanço/recuo.
Sensor magnético SMT-8M-A		Geral	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: Festo®; • Tempo de resposta: 1,3 ms; • Tensão de saída: 1,5 V DC; • Função: Sensor acoplado no corpo dos cilindros para detetar o seu avanço/ recuo.

Dispositivo	Imagem	Posto	Descrição
Material Elétrico			
Sensor magnético MK5155		Geral	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: IFM®; • Tempo de resposta: 30 ms; • Tensão de saída: 2,5 V DC; • Função: Sensor acoplado no corpo dos cilindros para detetar o seu avanço/ recuo.
Sensor magnético Pilz 524120		Geral	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: Pilz®; • Distância mínima operacional: 0,5 mm; • Tensão de saída: 24 V DC; • Função: Sensor de segurança, instalado nas portas da vedação.
Sensor analógico SIEA-M30B-UI-S		2,3	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: Festo®; • Distância de detenção: 0-20 mm; • Tensão de saída: 0-10 V; • Corrente de saída: 4-20 mA; • Função: Sensor utilizado para efetuar a leituras de comprimento.
Sensor indutivo SIEN-M8B-NS-K-L		2,3,4,5	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: Festo®; • Distância operacional: 1,5 mm; • Tensão de saída: 10...30 V DC; • Função: Sensor utilizado para efetuar a leituras de comprimento.
Sensor de retro reflexão SOEG-RSP-M18-PS-K-2L		5	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: Festo®; • Faixa de trabalho: 2000 mm; • Tensão de saída: 10...36 V DC; • Função: Sensor utilizado para detetar o tubo o subconjunto (5);

Dispositivo	Imagem	Posto	Descrição
Material Elétrico			
Sensor de retro reflexão SOEG-RSP-M12-PS-K-2L		3	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: Festo®; • Distância operacional: 300 mm; • Tensão de saída: 10...36 V DC; • Função: Sensor utilizado para detetar a presença de tubo estrela no posto.
Andon LR5		Geral	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: PATLITE®; • Nº de cores: 4 (azul, verde, amarelo, vermelho); • Tensão nominal: 24 V DC; • Inclui <i>Buzzer</i>; • Função: Sinalizar o estado de funcionamento do equipamento.
Material Pneumático			
Bloco de electroválvulas SMC EX600		Geral	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: SMC®; • Inclui sistema IO-Link; • Quantidade: 3; • Função: Módulo onde se encontram as electroválvulas pneumáticas.
Pressostato digital SMC ISE30A		Geral	<ul style="list-style-type: none"> • Marca: SMC®; • Quantidade: 2; • Função: Medir a pressão que se encontra na linha.

Corte Geral
SMC VHS30-
F03



Geral

- Marca: SMC®;
- Ø da rosca: 30 mm (3/8);
- Quantidade: 2 unidades;
- **Função:** Corte geral manual da rede de ar comprimido.

Regulador +
Humidificador + filtro de ar
AWG30



Geral

- Marca: SMC®;
- Ø da rosca: 30 mm (3/8);
- Quantidade: 2 unidades;
- **Função:** Regular, humidificar e filtrar o ar do sistema.

Acessórios
pneumáticos
(conectores,
reguladores,
tampões,
etc.)



Geral

- Marca: Festo®;
- **Função:** controlar velocidades/recuo de cilindros pneumático, facilitar as ligações tubo/cilindro pneumático, etc.)

Na Figura 48 é possível observar a constituição dos quadros elétricos do equipamento. A sua construção foi realizada segundo os critérios da empresa, ou seja, os elementos que o constituem foram organizados por quatro níveis. No primeiro nível encontram-se os elementos de ligação (bornes de ligação). O segundo nível é constituído pelos dispositivos de controlo, tais como, autómatos e relés de segurança. Os dispositivos de protecção constituem o terceiro nível (disjuntores, porta fusíveis, contactores, etc.). Por fim, no quarto nível encontram-se os dispositivos de potência e controladores de velocidade (*drive*; variadores, etc.).

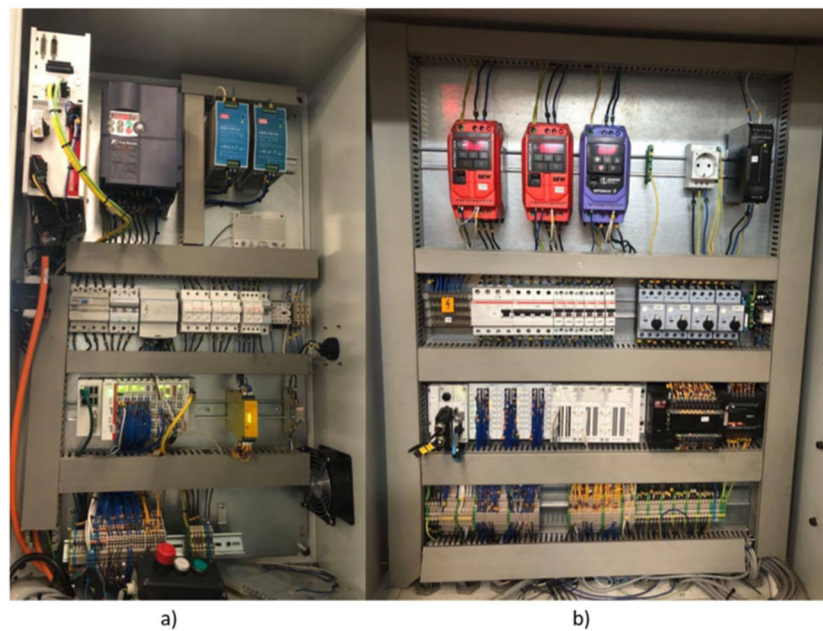


Figura 48 – a) Quadro elétrico do posto 1; b) Quadro elétrico do posto 2, 3, 4, 5

4.4 Programação dos PLC's

Os autômatos, ou PLC's são dispositivos imprescindíveis para qualquer equipamento automático. Eles são fundamentais para controlar todo o sistema, ou seja, a sua importância pode ser equiparada à importância que o cérebro tem no corpo humano. Na sua constituição, apresentam unidades de entrada e de saída. Conforme a informação que recebe do sistema (Entradas) ele irá processar uma resposta (saída), a qual será definida pelo *software* que foi desenvolvido.

Deste modo, o sistema em estudo dispõe de dois dispositivos PLC'S, o CX9020 e o CPX-CEC-C1. O primeiro tem como função controlar o posto 1 e o segundo controlar os postos 2, 3, 4 e 5. Para que fosse possível, a comunicação e interação dos dois autômatos, sendo também eles de fabricantes distintos (Beckhoff® e Festo®), foi necessário proceder a algumas configurações elétricas de modo a que todo o sistema estivesse em conformidade. Outro aspeto importante de salientar, é o facto de estes autômatos serem muito semelhantes no desenvolvimento da programação. Tal deve-se ao facto de apresentarem o mesmo ambiente de desenvolvimento de programação, o CODESYS. Ele permite combinar todas as linguagens de programação definidas pela norma IEC 61131-3.

A programação dos autômatos foi efetuada em duas fases, como acontece de forma transversal, em quase todos os equipamentos da empresa. Na primeira, procedeu-se ao levantamento de todos os elementos que constituíam o equipamento, assim como, ao desenvolvimento de um esboço do *software*. Nesta fase também ocorria a construção da máquina, dos respetivos quadros elétricos e ligações elétricas. Finalizada a

construção do equipamento e o esboço do *software*, dá-se início à segunda fase ou à fase de testes. Nesta fase, é quando o programador consegue descarregar o programa anteriormente desenvolvido, assim como, verificar a existência de erros e da necessidade de efetuar ajustes no *software*, para que, consiga melhorar a performance do equipamento. Esta fase também contempla possíveis ajustes mecânicos que sejam necessários efetuar.

Com o propósito de simplificar o caminho usado para proceder à programação do sistema, foram criados *grafcets*, para cada posto que constitui o equipamento. Eles ilustram o funcionamento de cada posto, em modo automático. A particularidade desta representação gráfica, é que este só permite avançar para operação ou etapa seguinte (*Step*), quando a transição que condiciona a passagem está garantida. Sempre que muda de etapa, as ações da etapa anterior são desativadas. No entanto, é possível ligar uma saída do autómato e mantê-la acionada em mais que uma etapa. Para tal, é usado o comando *Set* para ligar uma saída, e esta manter-se nesse estado durante mais que uma etapa. Através do comando *Reset*, é possível voltar a desligar a saída anteriormente ligada.

Na Figura 49 encontra-se o *grafcet* do posto um. Este, para entrar em funcionamento, necessita de garantir as condições iniciais (motores parados, servos na posição início e cilindros na posição desejada), as condições de segurança (portas fechadas, botões de emergência desativados e sistema sem erros) e que o operador dê ordem de início, pressionando o botão de *Start*. Iniciado, este executa as diversas operações ciclicamente, sendo interrompido quando o operador der ordem de paragem ou pressionar a emergência.

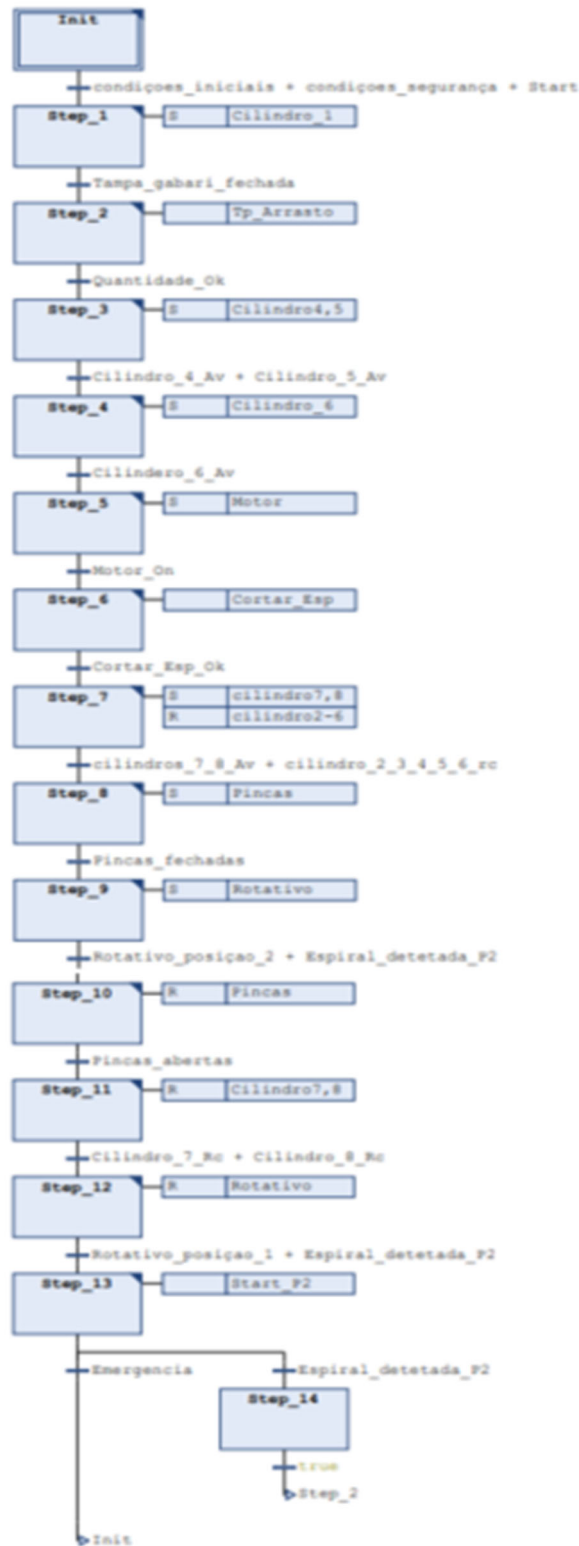


Figura 49 – Grafcet do Posto 1

Quando as condições de segurança e condições fundamentais para o correto funcionamento são postas em causa, o ciclo volta para a etapa inicial. Isto é transversal para todos os postos.

Relativamente ao posto dois, este inicia as suas operações quando o posto um dá ordem para tal e quando tiver espiral na fase inicial do passo peregrino. Deste modo, a espiral avança ranhura após ranhura até que a espiral é detetada, através de sensores indutivos, nas ranhuras onde são efetuadas cada operação. Na Figura 50 está demonstrado o *grafcet* do posto dois.

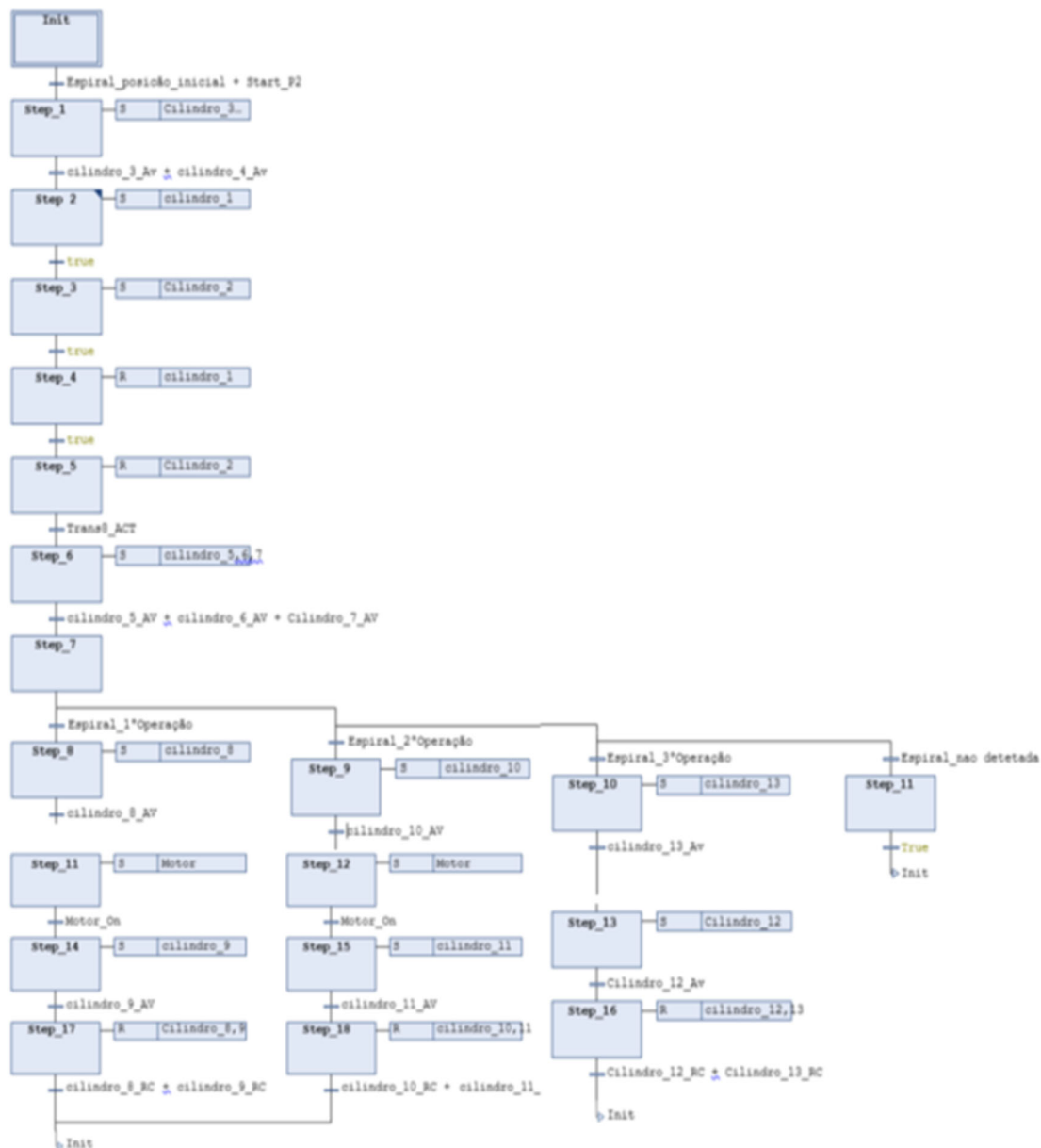


Figura 50 – *Grafcet* do Posto 2

Na Figura 51 é apresentado o *grafcet* do posto três. As condições de início são bastante similares aos do posto um, iniciando ao mesmo tempo que este. O ciclo volta ao estado inicial quando as condições de funcionamento e segurança deixam de estar garantidas ou quando o tubo estrela atinge o fim do tapete e, conseqüentemente é detetado pela fibra laser. Enquanto tal não acontece, o posto vai introduzindo e cortando tubo no sistema.

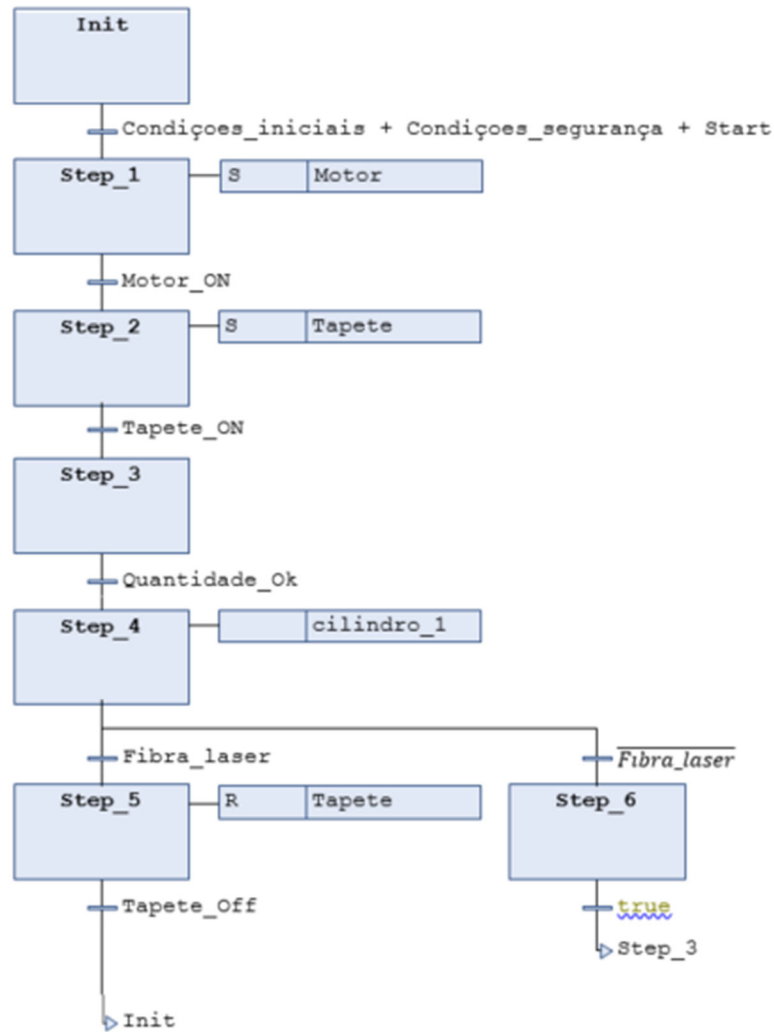


Figura 51 – Grafcet do Posto 3

O posto que se segue, depende do que acontece no posto três, ou seja, só inicia quando o tubo estrela é detetado pela fibra laser. O *encoder* que se encontra também no mesmo posto, é usado para controlar a quantidade de material que entre no sistema e cortar o tubo estrela com a dimensão desejada, irá também influenciar este posto. Caso, o valor medido por este dispositivo esteja correto, o tubo estrela é introduzido no posto seguinte. Em caso contrário, é depositado na sucata. Para finalizar o ciclo, este necessita do posto cinco, ou seja, só pode fechar o ciclo quando está garantido que o tubo estrela foi corretamente introduzido no bico. Outra forma de fechar o ciclo é perder uma das condições de funcionamento e de segurança. A Figura 52 ilustra o *grafcet* do posto.

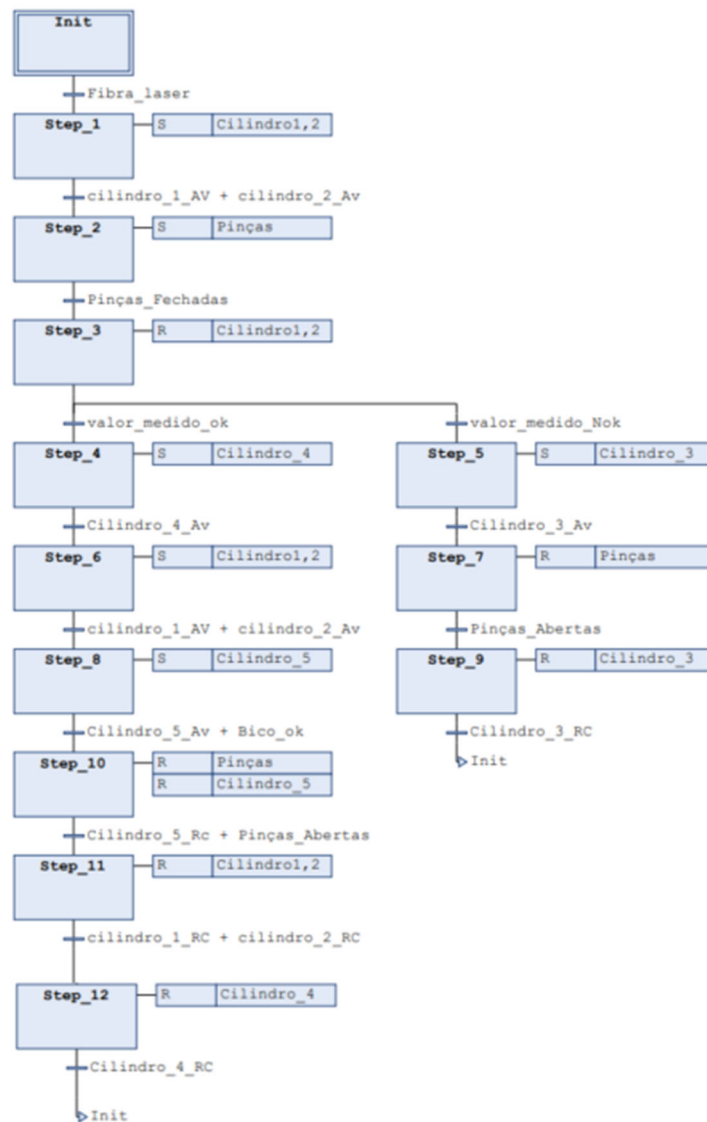


Figura 52 – Grafset do Posto 4

Por fim, a Figura 53 apresenta o *grafset* que ilustra o funcionamento do posto cinco em modo automático. O posto inicia as suas operações de três formas distintas. Uma delas, é quando o posto quatro transporta o tubo estrela para o posto cinco e, de seguida, procede a um conjunto de operações que permitem introduzir o tubo no bico, para facilitar o processo de introdução de espiral no tubo estrela. Em alternativa, pode iniciar quando o tamanho da espiral é o desejado, e o sistema passa/ não passa deixa a espiral entrar no posto. A terceira alternativa, depende das outras duas, pois só é executada quando a espiral se encontra no posto e no sítio certo, e quando o tubo estrela já se encontra introduzido no bico. Esta alternativa procede então à introdução do tubo estrela na espiral e à extração do subconjunto do equipamento.

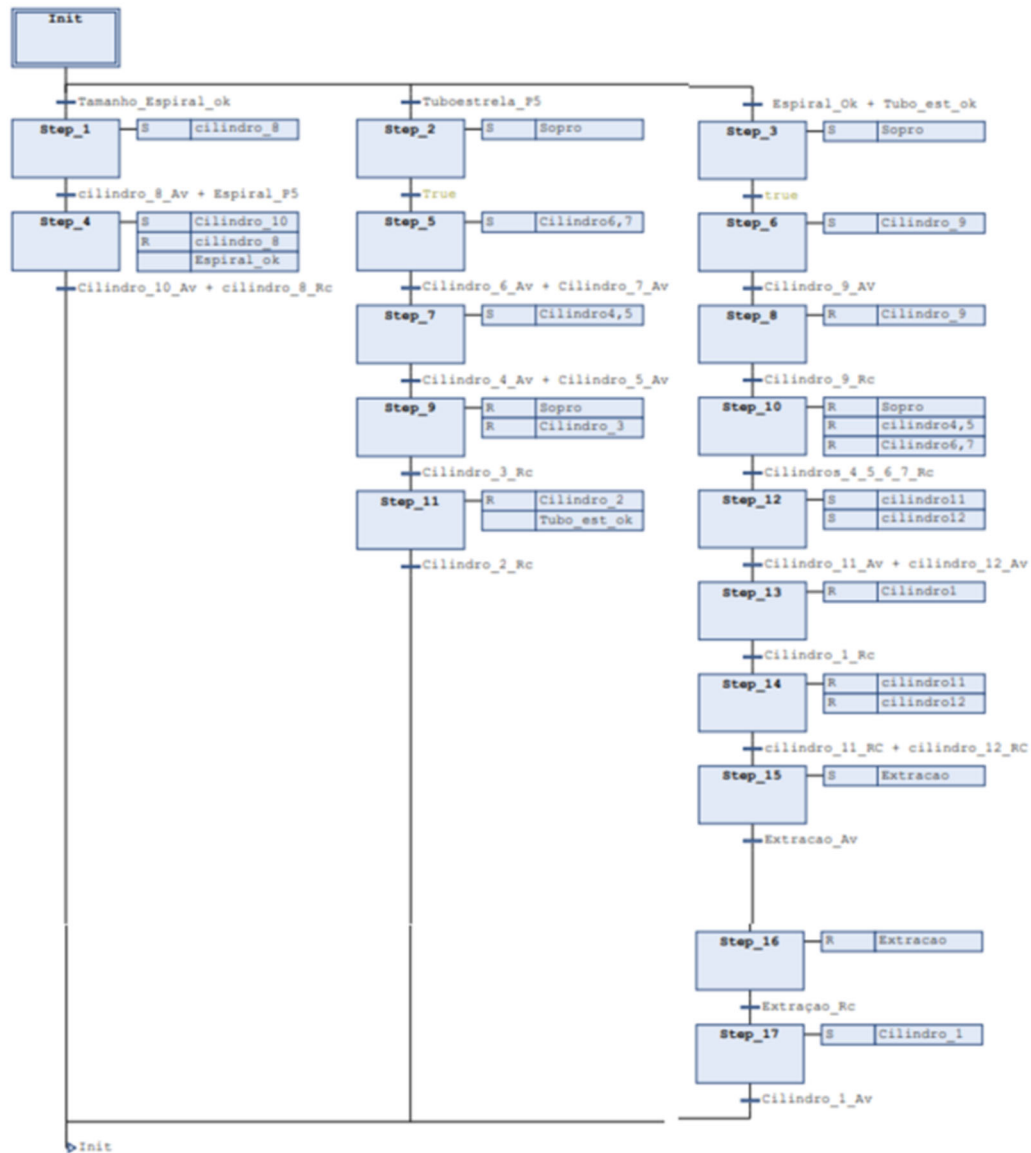


Figura 53 – Grafcet do Posto 5

Nos Anexos 1 e 2 é possível visualizar com muito mais detalhe os programas desenvolvidos para os autómatos PLC CX9020 e o PLC CPX-CEC-C1, respetivamente.

4.5 HMI

As consolas HMI são dispositivos estritamente necessários e importantes em qualquer sistema automático. Através deles é possível aceder em tempo real, a dados sobre o sistema, tais como, a quantidade de peças a produzir, o tempo de ciclo, mensagens de erros, etc.

O equipamento em estudo é composto por duas consolas HMI, sendo elas a HMI CDPX e a HMI X2 Base, que se encontram colocadas na estrutura da máquina.

Relativamente à primeira, esta é nomeada como sendo a consola principal. É responsável por controlar os postos 2, 3, 4 e 5. Através do acesso à mesma, é possível definir o modo de funcionamento, assim como a referência de trabalho. Permite também acionar qualquer dispositivo dos postos que controla, em modo manual, e também efetuar possíveis ajustes, tais como, alterar parâmetros dos postos, com a finalidade de melhorar o processo. Qualquer erro ou falha do sistema, que ocorra durante o seu funcionamento, é também visível neste dispositivo. As mensagens de erro podem surgir em qualquer ecrã, alertando assim o operador da existência de anomalias. Na Figura 54 é possível visualizar alguns ecrãs da HMI CDPX, estando os restantes disponíveis no Anexo 3.

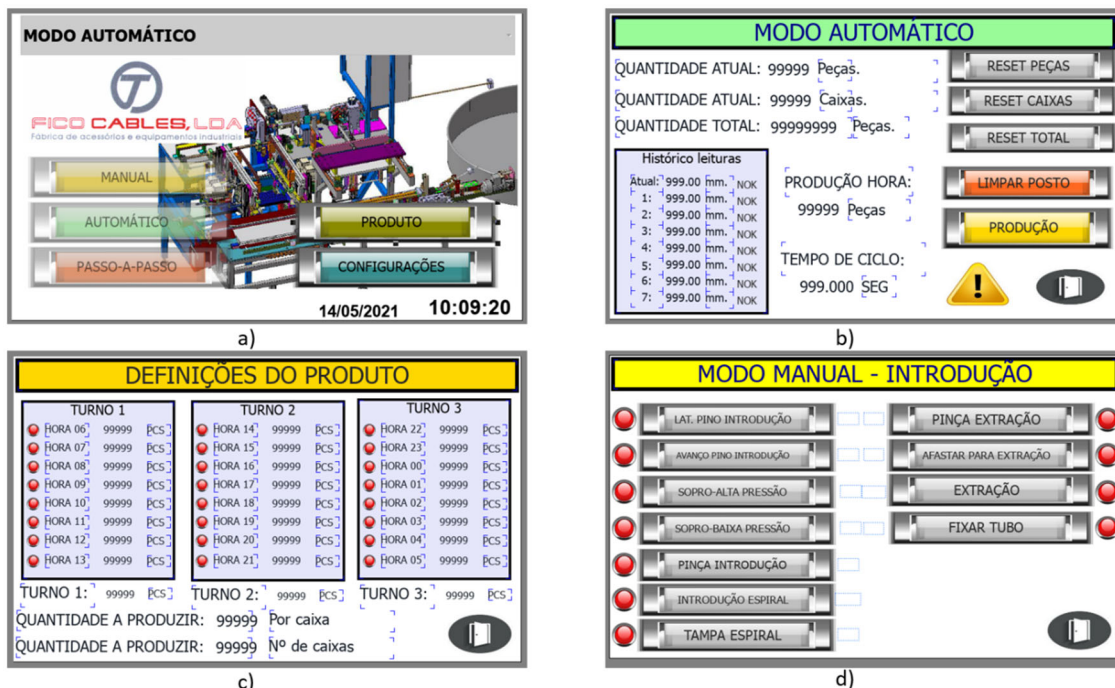


Figura 54 – Consola HMI CDPX ;a) ecrã principal; b) ecrã do modo automático; c) ecrã da quantidade de peças produzidas; d) ecrã do modo manual;

Por outro lado, a consola HMI X2 Base é utilizada para efetuar os comandos necessários no posto um. À semelhança do que acontece na consola principal, esta permite ao operador modificar parâmetros que ache necessário, assim como, acionar qualquer dispositivo que pertença ao posto 1, estando o sistema em modo manual. Permite também visualizar o modo de funcionamento em que o sistema se encontra, assim como a referência de trabalho. No entanto, não permite que o operador proceda à alteração dos mesmos. Tal acontece, com o intuito de garantir que todos os postos que

constituem o sistema, estão em conformidade. Na Figura 55 é possível visualizar alguns ecrãs da HMI X2 Base, estando os restantes disponíveis no Anexo 4.

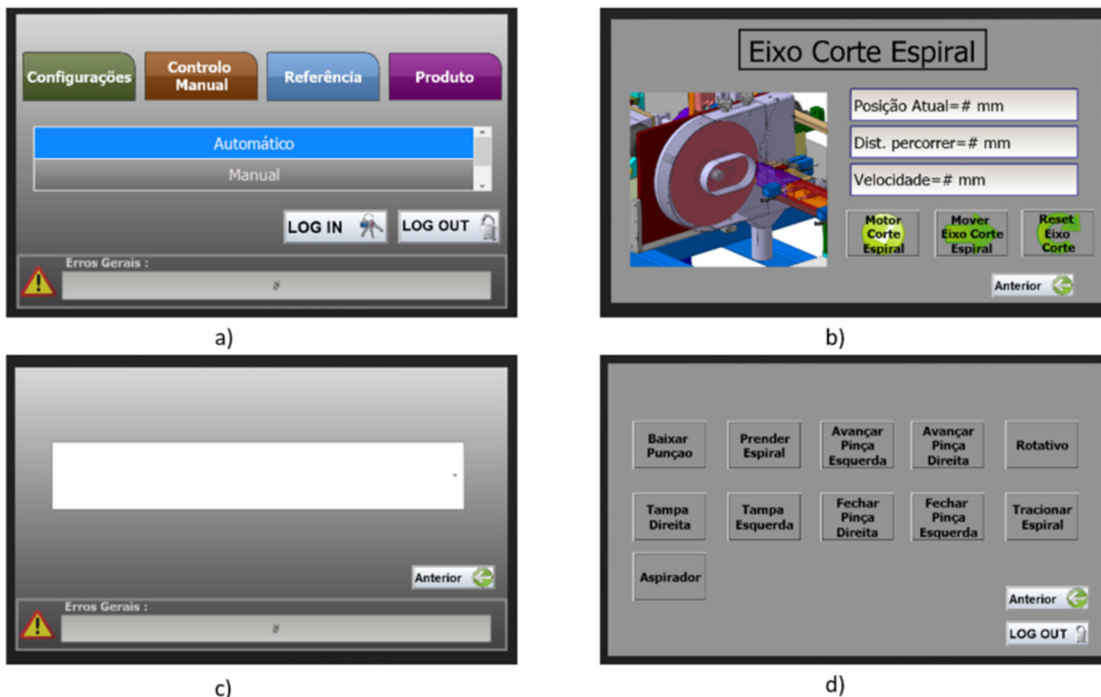


Figura 55 - Consola HMI X2 Base ;a) ecrã principal; b) ecrã dos parâmetros do eixo de corte de espiral; c) ecrã da referência de trabalho; d) ecrã do modo manual.

Outro aspeto importante a salientar, na construção do programa destes dispositivos, é o seu acesso. Para efeitos de segurança, o acesso às consolas HMI's deve ser restrito, sendo apenas acessível, por defeito, ao operador e aos técnicos de manutenção. Isto acontece, não por causa da informação que as HMI's apresentam, mas para evitar que terceiros acedam a parâmetros do sistema e modifiquem estes, danificando o equipamento e pondo em causa a produção e qualidade da mesma.

Concluída a programação dos autómatos e das HMI's, o equipamento será ainda inspecionado por membros de diferentes departamentos, a fim de garantir que este cumpre os requisitos internos e os requisitos do cliente. Uma das verificações efetuadas é a segurança do equipamento e se este não põe em causa a integridade física do operador e de quem rodeia o equipamento.

4.6 Resultados Obtidos

A implementação deste equipamento na linha produtiva JLR, tinha como propósito aumentar a quantidade de peças produzidas e eliminar o número de operadores que a linha incorporava. Esperava-se que este novo equipamento produzisse 500 unidades/hora, pois os postos que se encontravam à posterior dele já apresentavam

esta capacidade produtiva. No entanto, como os postos antecedentes não conseguiam apresentar a mesma cadência, eles tinham que funcionar a um ritmo inferior e/ou em certos casos, interromperem o seu funcionamento.

Assim sendo, após concluir a fase de testes do programa, foi posto o equipamento em funcionamento automático durante 24 horas. Na Figura 56 é possível visualizar a quantidades de peças que foram produzidas nesse espaço de tempo. Através da sua análise é possível concluir que foi possível atingir o que era pretendido e, consequentemente, diminuir os tempos de produção.

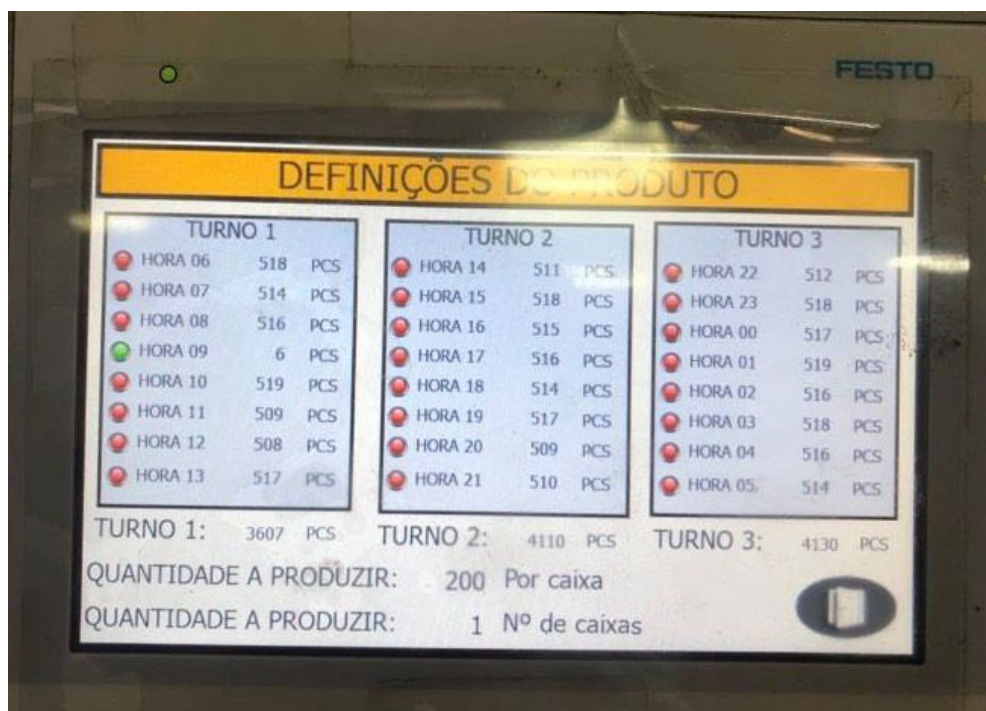


Figura 56 – Quantidade de peças produzidas pelo equipamento

Sem este posto, são produzidos 450 subconjuntos, sendo o tempo de ciclo de 8 segundos por unidade. Com este equipamento, é possível produzir a quantidade pretendida, 500 subconjuntos, com um tempo de ciclo de 7,2 segundos. Outra vantagem conseguida é, a eliminação de postos intermédios, funcionando a linha de forma bastante mais fluida.

4.7 Manual de Operação

O equipamento irá funcionar de forma automática, durante a maior parte do seu ciclo de vida. No entanto, será necessária a utilização de um operário por curtos períodos de tempo, para supervisionar o funcionamento do equipamento. Deste modo, o operário destacado para essa tarefa, será responsável por efetuar as seguintes operações:

- Iniciar o equipamento;
- Efetuar o enchimento das caixas com o material produzido e, posteriormente, transportá-lo para o equipamento seguinte;
- Substituir os tambores de alimentação;
- Efetuar as configurações necessárias, sempre que houver mudança de referência;
- Efetuar ações de manutenção de primeiro nível;
- Parar o equipamento, sempre que houver anomalias.

A empresa possui um conjunto de regras, transversais para qualquer equipamento, que os operários devem seguir, sempre que intervém nos equipamentos. No entanto, devido à versatilidade de dispositivos que as suas linhas produtivas possuem, certas regras e procedimentos são únicos para cada máquina. Deste modo, o operário antes de colocar o equipamento em funcionamento deve:

- Verificar a existência de detritos ou objetos a obstruir os movimentos dos conjuntos móveis e os movimentos dos elementos de guiamento linear, evitando eventuais falhas;
- Verificar se estão garantidas as condições de segurança (inexistência de mensagens de erros nas HMI, portas de vedação devidamente fechadas, botões de emergência desativadas, etc.).

Quando o equipamento se encontra em funcionamento, e o operador necessita de efetuar uma intervenção, deve também seguir um conjunto de regras para que a sua própria segurança seja sempre salvaguardada e que não seja posta em causa a sua integridade física, nem o correto funcionamento da máquina. Assim sendo, o operador quando necessita de efetuar uma intervenção, deve proceder da seguinte forma:

1. Parar o equipamento, e garantir que este se encontra efetivamente inativo antes de intervir;
2. Abrir as portas da vedação, após garantir a paragem do sistema;
3. Caso seja necessário, proceder ao corte geral de energia nos quadros elétricos;
4. Pressionar no mínimo um botão de emergência, para garantir que as condições de segurança estão estabelecidas;
5. Dentro da vedação, efetuar as operações solicitadas com o máximo de cuidado e atenção;
6. Finalizada a operação, deve restabelecer as condições necessárias para que o equipamento possa funcionar corretamente.

Na Tabela 14 é possível visualizar a sinalização que se encontra junto do equipamento. Esta tem como propósito alertar dos perigos, obrigações ou proibições, fazendo com

que, quem se encontre junto da máquina, adeque o seu comportamento, de forma a evitar acidentes.

Tabela 14 - Sinalização

Símbolo	Descrição
	Uso obrigatório de óculos de proteção. Podem ser projetados detritos durante o funcionamento do equipamento.
	Uso obrigatório de proteção auricular. O som produzido pelo equipamento pode ser prejudicial para a saúde dos operários.
	Uso obrigatório de roupa de proteção, protegendo assim, a integridade física do operário.
	Sinal de perigo geral, que alerta para a existência de vários perigos na zona onde se encontra.
	Sinal de perigo de eletrocussão. Nas zonas onde aparece este sinal, deve-se garantir que o equipamento não se encontra alimentado com corrente elétrica.
	Sinal de perigo de esmagamento, causado por componentes móveis. Adverte para que o operador tenha cuidado com a colocação das mãos nos corpos com esta sinalética.
	Sinal de perigo de projeção de partículas. Zonas onde este sinal está presente é estritamente obrigatório a utilização de óculos de proteção.

4.8 Manual de Manutenção

A norma EN 13306:2010 define a manutenção como a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e gerenciais durante o ciclo de trabalho de um item, com a finalidade de retê-lo ou restaurá-lo em um estado no qual ele possa desempenhar as suas funções [65].

O tempo de vida útil de um equipamento é fortemente influenciado pelo tipo de manutenção a que é sujeito. Na FicoCables, estão implementados dois tipos de manutenção, sendo eles os seguintes:

- Manutenção corretiva;
- Manutenção preventiva;

A manutenção corretiva é efetuada sempre que ocorre uma avaria no equipamento, sendo necessária a intervenção de um técnico de manutenção da empresa. Este tipo de manutenção não é planeada e exige intervenções mais complexas, demoradas e dispendiosas.

No que concerne à manutenção preventiva, esta é planeada, tendo uma periodicidade definida e pode ser subdividida em três níveis. No primeiro nível, estão as operações mais simples, sendo por este modo, efetuadas pelos operários que trabalham no equipamento. Por outro lado, as ações de segundo nível englobam ações mais complexas, sendo necessário operadores especializados e o agendamento periódico para a realização das mesmas.

Na Tabela 15 estão presentes algumas ações a realizar como manutenção preventiva, assim como, a sua periodicidade.

Tabela 15 – Ações de manutenção preventiva

Ações	Periodicidade	Manutenção de 1º nível	Manutenção de 2º nível
Verificação do correto funcionamento dos motores, servomotores, <i>encoders</i> , cilindros pneumáticos, etc.)	Mensal	x	x
Verificação da existência de fugas de ar nos equipamentos pneumáticos (conectores, cilindros, tubos)	Mensal	x	x
Verificação dos componentes eletrónicos e das ligações elétricas (estado dos fios elétricos)	Trimestral		x
Verificação das condições de segurança, tais como, vedação e proteções	Mensal	x	x

Ações	Periodicidade	Manutenção de 1º nível	Manutenção de 2º nível
Verificação das peças de desgaste	Trimestral		x
Lubrificação dos componentes	Mensal		x
Verificação da existência de componentes soltos ou ligações aparafusadas em mau estado.	Semestral		x
Limpeza de equipamentos e do posto de trabalho	Semanal	x	
Realização de ensaios e testes de verificação, após ações preventivas	Trimestral		x

Sempre que, o técnico de manutenção realizar operações no equipamento, deve garantir as condições de seguranças e respeitar a sinalização da Tabela 14.

4.9 Análise de Custos

Na Tabela 16, é apresentado de forma resumida, os custos associados ao equipamento, divididos por categorias. Os valores utilizados têm por base dados fornecidos pela empresa Fico Cables, através do *software* TCTP.

Tabela 16 – Orçamentação do equipamento

Descrição	Valor (€)
Engenharia	
Projeto 3D/2D	7000 €
Material	
Peças metálicas, Estrutura metálica e Proteção	11000 €
Normalizados (componentes <i>Standard</i>)	8650 €
Tratamentos Térmicos e Superficiais	3500 €
Componentes Elétricos (incluindo acessórios)	13000 €
Componentes Pneumáticos (incluindo acessórios)	4500 €
Processos de Fabrico	
CNC;Fresadora;Torno	10000 €
Montagem	

Montagem (Mecânica; Pneumática; Elétrica), programação e afinações	15000 €
Descrição	Valor (€)
Formação e Suporte/Assistência	
Formação para operador e assistência técnica	2350 €
	Total 75000 €

Uma vez que, era pretendido pela empresa reduzir ao mínimo o investimento feito, foram utilizados materiais e componentes de outras linhas que já se encontravam desmanteladas. Esta ação, para além de permitir poupar cerca de 45000 €, sendo necessário apenas investir 30000 € para a construção do equipamento, possibilita também a reutilização de materiais.

De modo, a analisar os contributos que este equipamento irá ter para a empresa, é necessário estudar toda a linha produtiva JLR. Analisando os dados fornecidos na Tabela 17, verifica-se que o custo da linha, sem o novo equipamento, é substancialmente inferior, no entanto, ao adicionar esta alteração à linha produtiva consegue-se apresentar um tempo de ciclo de 7,2 s, em vez dos 8 s. Consequentemente, este valor irá influenciar o número de peças produzidas, passando de 450 unidades/hora para 500 unidades/hora, traduzindo assim, um aumento de cerca de 5%, aproximadamente. Também é conseguido reduzir o custo com mão de obra, sendo necessário apenas três operadores, em vez dos quatro até então utilizados.

Tabela 17 – Análise financeira

	Linha JLR Antiga	Linha JLR Modificada
Custo da linha (€)	88000	118000
Nº de operários/turno	4	3
Horas efetivas/turno	7,5	7,5
Turnos/dia	3	3
Produtividade (PHH)	112,50	166,67
Custo produtivo/ano (€)	145820	98428
Custo/unidade (€)	0,15	0,12
OEE(%)	85	85
EBIT(%)	2,36	15,69

Ao fim de um dia de trabalho (22,5 horas), a linha JLR modificada produz mais 1125 unidades que a linha antiga. Anualmente, 235 dias úteis, são mais de 264 mil unidades. Admitindo um OEE DE 85%, assume-se que 15% da produção é defeito. Assim sendo, ao fim de um ano, são produzidas cerca de 224 mil peças OK.

Uma vez que, consegue-se obter um ganho à volta dos 0,5 € (varia consoante o tipo de cabo/referência), existirá um retorno adicional de 112000 €/ano.

No sentido de se realizar uma análise, para verificar o número de meses necessários para que haja amortecimento do capital investido (*Payback*), foi necessário estimar alguns valores, como a margem de lucro de cada cabo e os custos anuais associados ao funcionamento do equipamento, nomeadamente, os custos de manutenção e os custos com a mão de obra. Na Tabela 18 são apresentados os valores estimados.

Tabela 18 – Fatores estimados para análise do *Payback*

Fator	Valor Estimado
Margem de Lucro	50%
Custo de manutenção (anual)	10000 €
Custo de mão de obra (3 turnos – anual)	36000 €

Através da equação (1), pode-se proceder ao do tempo necessário para amortizar o investimento realizado na linha produtiva JLR, ou seja, a introdução do equipamento automatizado.

$$Payback (anos) = \frac{Investimento\ na\ linha\ produtiva}{Ganho\ da\ linha\ produtiva} \quad (1)$$

Substituindo, na equação (1) os valores, teremos:

$$Payback (anos) = \frac{75000 + 10000 + 36000}{0,5 \times 112000} \approx 1,2 \rightarrow 15\ meses$$

Assim, conclui-se que ao fim de 15 meses, aproximadamente, é possível amortizar o investimento feito na linha produtiva JLR. Se tivermos em conta, que grande parte do material foi reaproveitado de outras linhas e que o real investimento efetuado foi de 30000€, consegue-se então alcançar um *payback* de 9 meses.

CONCLUSÕES E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

5.2 Proposta de Trabalhos Futuros

5 CONCLUSÕES E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões


A automatização e a melhoria de processos são alguns dos principais focos do setor industrial. Através do desenvolvimento e introdução deste novo equipamento automatizado, foi possível aumentar a produtividade e minimizar a ação humana nas diversas operações. Outra grande vantagem conseguida, é a eliminação de inventários intermédios e de alguns postos, uma vez que, este permite agregar três num só.




É possível também apresentar vantagens ao nível financeiro. Uma vez que é conseguido impulsionar a produtividade, com menos recursos, o custo de produção diminuiu, sendo possível economizar cerca de 186 mil euros até atingir a produção total. A construção do equipamento, recorrendo maioritariamente a dispositivos reutilizados, permite também minimizar o investimento. Deste modo, é conseguida uma amortização do investimento realizado, num período de 9 meses.

Por outro lado, com o trabalho desenvolvido ao longo deste estágio, foi possível interagir com os diversos processos envolvidos no desenvolvimento de um projeto. A constante interação com técnicos de várias áreas foram crucias para o incremento da minha aprendizagem pessoal, e também permitiu perceber as dificuldades que estão associadas a cada posto de trabalho.

Em suma, foi feita um balanço dos objetivos propostos, permitindo uma melhor análise do seu cumprimento e das vantagens das soluções encontradas. A Tabela 17 mostra a análise efetuada.

Tabela 19 – Análise ao cumprimento dos objetivos propostos para o projeto

Objetivos	Conclusões	Avaliação
Definir os dispositivos necessários para que seja possível automatizar o equipamento, tais como: sensores; servomotores; <i>drivers</i> ; entre outros.	Os dispositivos elétricos e alguns pneumáticos foram, definidos no subcapítulo 4.3. Sem eles, não seria possível proceder ao desenvolvimento do <i>software</i> e muito menos automatizar o posto.	

Objetivos	Conclusões	Avaliação
Efetuar o programa para que a máquina desempenhe as funções para as quais foi concebida.	A programação dos autómatos e das HMI's foi concluída com sucesso, permitindo também desenvolver o conhecimento adquirido até à realização do estágio.	
Implementar e testar as soluções desenvolvidas.	A implementação e testagem dos programas desenvolvidos foi sem duvida, um ponto forte do estágio. Deste modo, foi possível visualizar potenciais erros que pudessem existir no programa e, ao mesmo tempo efetuar ajuste para que o equipamento pudesse cumprir com o que era expectável.	
Otimizar o tempo de ciclo do equipamento e assim, ter tempos de produção inferiores aos atuais.	Uma vez conseguido automatizar o posto e garantir que este produzia as unidades pretendidas, automaticamente é conseguido otimizar o tempo de ciclo. Com este novo equipamento, o tempo de ciclo ou o tempo necessário para produzir uma peça passa de 8 segundos para 7,2 segundos.	

5.2 Proposta de Trabalhos Futuros

As empresas e a indústria evoluem e prosperam, tendo como base uma política de melhoria continua. Deste modo, de forma a melhorar ainda mais a capacidade da linha produtiva JLR, uma possível proposta de trabalhos futuros a realizar, passaria por encontrar uma solução que permitisse que o equipamento efetuasse todas as configurações necessárias, quando é necessário alterar a referência de trabalho.

Como visto anteriormente, sempre que é necessário efetuar a mudança de referência, o operador deve proceder a um conjunto de configurações, podendo cometer possíveis erros.

Consequindo que o equipamento, realizasse essas mesmas configurações, é possível minimizar o erro e ainda mais a ação humana, tornando o equipamento mais autónomo e flexível.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

6 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] OEM. (2018, Acedido em 29/09/2020). *OEM off-highway. Ficosa Opens New Facilities in Portugal*. Disponível em: <https://www.oemoffhighway.com/electronics/press-release/21037903/ficosa-ficosa-opens-new-facilities-in-portugal>
- [2] Organization, I. L., "The future of work in the automotive industry: The need to invest in people`s capabilities and decent and sustainable work," presented at the ILO Centenary Declaration For the Future of Work, Geneva, Switzerland 2020.
- [3] Araújo, W.F.S., Silva, F.J.G., Campilho, R.D.S.G.C., e Matos, J., "Manufacturing cushions and suspension mats for vehicle seats: a novel cell concept," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90, 1539–1545, 2017.
- [4] Moreira, B.M.D.N, Gouveia, R. M., Silva, F.J.G., Campilho, R.D.S.G., "A novel concept of production and assembly processes integration," *Procedia Manufacturing*, 11, 1385-1395, 2017.
- [5] AEP. (2017, Acedido em 7/1/2021). *Associação Empresarial de Portugal. Outlook do Setor Automovel na Europa*. Disponível em: <https://www.portugalbusinessontheway.com/outlook-do-setor-automovel-na-europa/>
- [6] Costa, R.J.S., Silva, F.J.G., e Campilho, R.D.S.G., "A novel concept of agile assembly machine for sets applied in the automotive industry," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(9-12), 4043–4054, 2017.
- [7] Brigato, J. (2020, Acedido em 20/10/2020). *Toyota é a marca de carros mais vendida no mundo em 2019*. Disponível em: <https://www.icarros.com.br/noticias/top-10/toyota-e-a-marca-de-carros-mais-vendida-no-mundo-em-2019/27554.html>
- [8] ENEI. (2020, Acedido em 10/10/2020). *Estratégia Nacional de Investigação de Inovação para uma especialização inteligente. Diagnóstico de Apoio às Jornadas de Reflexão Estratégica*. Disponível em: https://www.fct.pt/esp_inteligente/docs/Automoveis_ENEI_Evora.pdf
- [9] ACEA. (2020, Acedido em 10/10/2020). *Página inicial da European Automobile Manufacturers Association*. Disponível em: <https://www.acea.be/>
- [10] AFIA. (2020, Acedido em 20/10/2020). *Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel*. Disponível em: <https://afia.pt/>
- [11] WYSER. (2020, Acedido em 16/12/2020). *Setor Automóvel: Um passo em frente ou um passo atrás depois do covid-19?* Disponível em: <https://pt.wyser-search.com/setor-automovel-covid/>
- [12] Malakauskaite, A. e Navickas, V., "Contribution of clusters to the competitiveness of companies: revelation and evaluation," *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, vol. 22, 2011.
- [13] Kahn, B. K., Strong, D. M., e Wang, R. Y., "Information quality benchmarks: product and service performance," vol. 45, 2002.
- [14] Pinto, H. e Silva, F., "Optimisation of die casting process in Zamak alloys," *Procedia Manufacturing*, 11, 517-525, 2017.
- [15] Pinto, G.F.L., Silva, F.J.G., Campilho, R. D.S.G., Casais, R.B., Fernandes, A.J., Baptista, A. "Continuous improvement in maintenance: a case study in the automotive industry involving Lean tools", *Procedia Manufacturing*, 38, 1582-1591, 2019.

- [16] Rosa, C., Silva, F.J.G., Ferreira, L.P., Campilho, R. SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 13, 1034–1042, 2017.
- [17] Rosa, C.; Silva, F.J.G.; Ferreira, L.P.; Pereira, T.; Gouveia, R. Establishing Standard Methodologies to Improve the Production Rate of Assembly Lines Used for Low Added-Value Products. *Procedia Manufacturing*, 17, 555–562, 2018.
- [18] Silva, F.J.G., Soares, M.R., Ferreira, L.P., Alves, A.C., Brito, M., Campilho, R.D.S.G., Sousa, V.F.C., "A Novel Automated System for the Handling of Car Seat Wires on Plastic Over-Injection Molding Machines, *Machines*, 9, 141, 2021.
- [19] Martins, N. G. O., "Desenvolvimento de Novo Conceito de Equipamento Flexível Para o Fabrico de Cabos de Comando," Dissertação de Mestrado de Engenharia Mecânica Instituto Superior de Engenharia do Porto Porto, Portugal, 2019.
- [20] Martins, N., Silva, F., Campilho, R., e Ferreira, L., "A novel concept of Bowden cables flexible and full-automated manufacturing process improving quality and productivity," *Procedia Manufacturing*, vol. 51, 438-445, 2020.
- [21] Rosa, C., Silva, F., e Ferreira, L. P., "Improving the quality and productivity of steel wire-rope assembly lines for the automotive industry," *Procedia Manufacturing*, vol. 11, 2017.
- [22] Pinto, G., Silva, F., Baptista, A., Fecheira, J., Campilho, R., e Viana, F., "Studying the ZnO formation in coated steel wire ropes for the automotive industry," *Procedia Manufacturing*, vol. 51, 2020.
- [23] Ribeiro, R., Silva, F., Pinto, A., Campilho, R., e Pinto, H., "Designing a Novel System for the Introduction of Lubricant in Control Cables for the Automotive Industry," *Procedia Manufacturing*, vol. 38, 2019.
- [24] Costa, M.J.R.; Gouveia, R.M.; Silva, F.J.G.; Campilho, R.D.S.G. How to solve quality problems by advanced fully-automated manufacturing systems. *Int. J. Adv. Manuf. Tech.* 94, 3041–3063, 2018.
- [25] Santos, P., Campilho, R., e Silva, F., "Design of a novel equipment for automated clothing manufacturing," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, 2018.
- [26] Santos, R., Silva, F., Gouveia, R., Campilho, R., Pereira, M. T., e Ferreira, L. P., "The Improvement of an APEX Machine involved in the Tire Manufacturing Process," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, 2018.
- [27] Silva, F., Swertvaegher, G., Campilho, R., Ferreira, L., e Sá, J., "Robotized solution for handling complex automotive parts in inspection and packing," *Procedia Manufacturing*, vol. 51, 2020.
- [28] Magalhães, A., Silva, F., e Campilho, R., "A novel concept of bent wires sorting operation between workstations in the production of automotive parts," *Brazilian Society of Mechanical Sciences*, vol. 41, no. 1, 2019.
- [29] OOSGA. (2020, Acedido em 19/11/2020). *Industry 4.0*. Disponível em: <https://oosga.com/en/industry4-0/>
- [30] ElMaraghy, H. A., "Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms," *International journal of flexible manufacturing systems*, vol. 17, 2005.
- [31] Santos, B. P., Alberto, A., Lima, T. D. F. M., e Charrua-Santos, F. M. B., "Indústria 4.0: desafios e oportunidades," *Revista Produção e Desenvolvimento*, vol. 4, 2018.
- [32] Silva, F.J.G., Ferreira, L.P., "Lean Manufacturing - Implementation, Opportunities and Challenges, Silva, F.J.G., Ferreira, L.P., (Eds.), Nova Science, New York, NY, U.S.A., 2019. ISBN: 978-1-53615-725-3.
- [33] Pinto, B., Silva, F., Costa, T., Campilho, R., e Pereira, M. T., "A strategic model to take the first step towards Industry 4.0 in SMEs," *Procedia Manufacturing*, vol. 38, 2019.
- [34] Vaidya, S., Ambad, P., e Bhosle, S., "Industry 4.0—a glimpse," *Procedia Manufacturing*, vol. 20, 2018.
- [35] Figueiredo, D., Silva, F.J.G., Campilho, R.D.S.G., Silva, A., Pimentel, C., Matias, J.C.O., A new concept of automated manufacturing process for wire rope terminals, *Procedia Manufacturing*, 51, 431-437, 2020.

- [36] Santos, R.F.L., Silva, F.J.G., Gouveia, R.M., Campilho, R.D.S.G., Pereira, M.T., Ferreira, L.P., "The Improvement of an APEX Machine involved in the Tire Manufacturing Process", *Procedia Manufacturing*, 17, 571-578, 2018.
- [37] David, H., "Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation," *Economic Perspectives*, vol. 29, 2015.
- [38] Grolach, I. e Wessel, O., "Optimal Level of Automation in the Automotive Industry," *Engineering Letters*, vol. 16, 2008.
- [39] LLP, D., "The impact of technology on jobs in the UK," (in), London, England: Deloitte LLP, 2015.
- [40] Mehta, B. R. e Reddy, Y. J., *Industrial process automation systems: design and implementation*. London, United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2014.
- [41] Hentz, J.-B. et al., "An enabling digital foundation towards smart machining," *Procedia Manufacturing*, vol. 12, 2013.
- [42] Bolton, W., *Mechatronics: electronic control systems in mechanical and electrical engineering*, SIXTH ed. London, United Kingdom: Pearson Education, 2003.
- [43] Verma, P. K. et al., "Machine-to-Machine (M2M) communications: A survey," *Procedia Manufacturing*, vol. 66, 2016.
- [44] Wilson, J. S., *Sensor technology handbook*. Oxford, United Kingdom: Elsevier, 2004.
- [45] BRESIMAR. (2020, Acedido em 10/01/2021). BRESIMAR AUTOMAÇÃO. Disponível em: <https://www.bresimar.pt/pt/marcas/beckhoff/>
- [46] FESTO. (2020, Acedido em 22/01/2021). Automação Industrial. Disponível em: <https://www.festo.com/pt/pt/>
- [47] REER. (2020, Acedido em). YOUR FUTURE'S SAFE! Disponível em: <https://www.reersafety.com/us/en/>
- [48] Lempereur, G., "Development of an embedded servomotor controller," Electrical Engineering, University of Liege, Liege, Belgium, 2016.
- [49] Hackworth, J. R. e Hackworth, F. D., *Programmable logic controllers: programming methods and applications*. London, United Kingdom: Pearson New Jersey, 2004.
- [50] World, L. L. (2020, Acedido em 15/12/2020). PLC Manufacturers: The latest PLC Brands, Rankings & Revenues. Disponível em: <https://ladderlogicworld.com/plc-manufacturers/>
- [51] Alves, T. e Morris, T., "OpenPLC: An IEC 61,131-3 compliant open source industrial controller for cyber security research," *Procedia Manufacturing*, vol. 78, 2018.
- [52] Verl, A. et al., "An approach for a cloud-based machine tool control," *Procedia Manufacturing*, vol. 7, 2013.
- [53] Pinto, B., "INDÚSTRIA 4.0 NO CONTEXTO DO CONTROLO DA PRODUÇÃO," Dissertação de Mestrado de Engenharia Mecânica Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2020.
- [54] Ficosa. (2021, Acedido em 4/02/2021). Ficosa. Disponível em: <https://www.ficosa.com>
- [55] BECKHOFF. (2021, Acedido em 20/03/2021). New Automation Technology. Disponível em: <https://www.beckhoff.com>
- [56] TECHTOP. (2021, Acedido em 31/02/2021). Electric Motors. Disponível em: <https://www.techtotopind.com/>
- [57] Invertek. (2021, Acedido em 31/04/2021). View our World class innovation & manufacturing facilities. Disponível em: <https://www.invertekdrives.com>
- [58] Global, F. E. (2021, Acedido em 27/03/2021). Disponível em: <https://www.fujielectric.com>
- [59] SEW. (2021, Acedido em 4/05/2021). Driving the world.
- [60] OMRON. (2021, Acedido em 7/02/2021). Disponível em: <https://omron.pt/pt/home>
- [61] PILZ. (2021, Acedido em 11/02/2021). The spirit of safety. Disponível em: <https://www.pilz.com>
- [62] IFM. (2021, Acedido em 8/03/2021). Disponível em: <https://www.ifm.com>

-
- [63] Patlite. (2021, Acedido em 18/03/2021). *New frontiers in safety, security and comfort*. Disponível em: <https://www.patlite.com>
- [64] SMC. (2021, Acedido em 5/04/2021). *Expertise-Passion-Automation*. Disponível em: <https://www.smc.eu>
- [65] 13306:2010, B. E., "Maintenance- Maintenance terminology," *BSI Standards Publication*, August 2010 2010.

ANEXOS

7.1 ANEXO 1

7.2 ANEXO 2

7.3 ANEXO 3

7.4 ANEXO 4

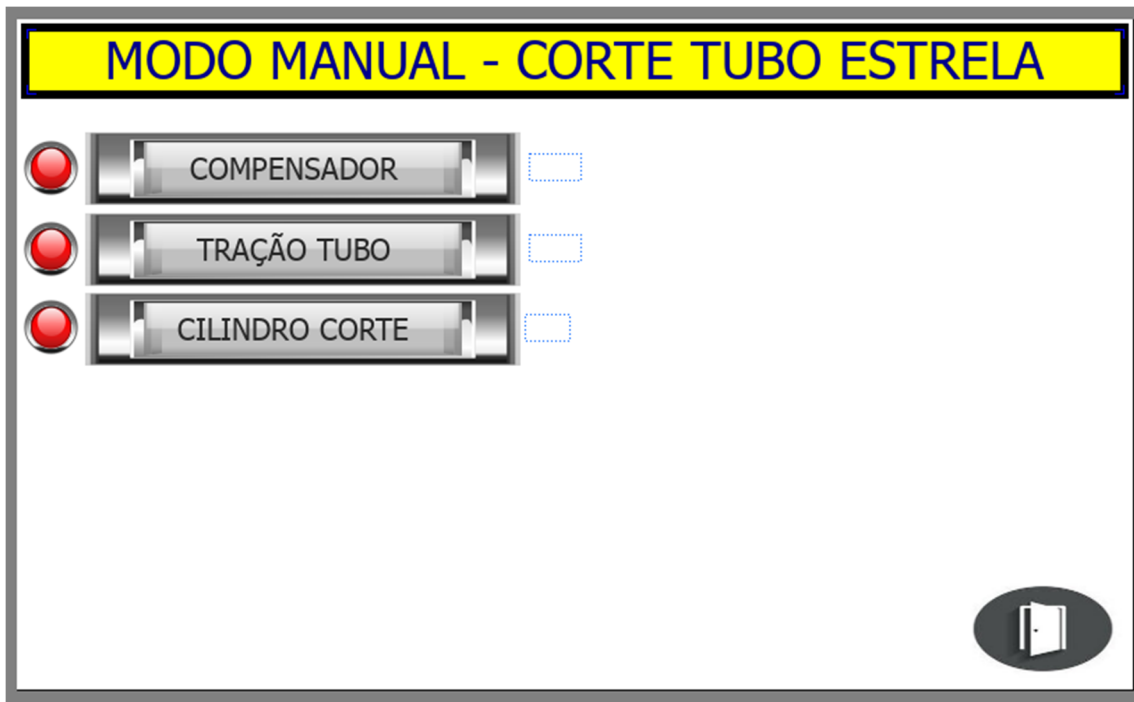
7 ANEXOS

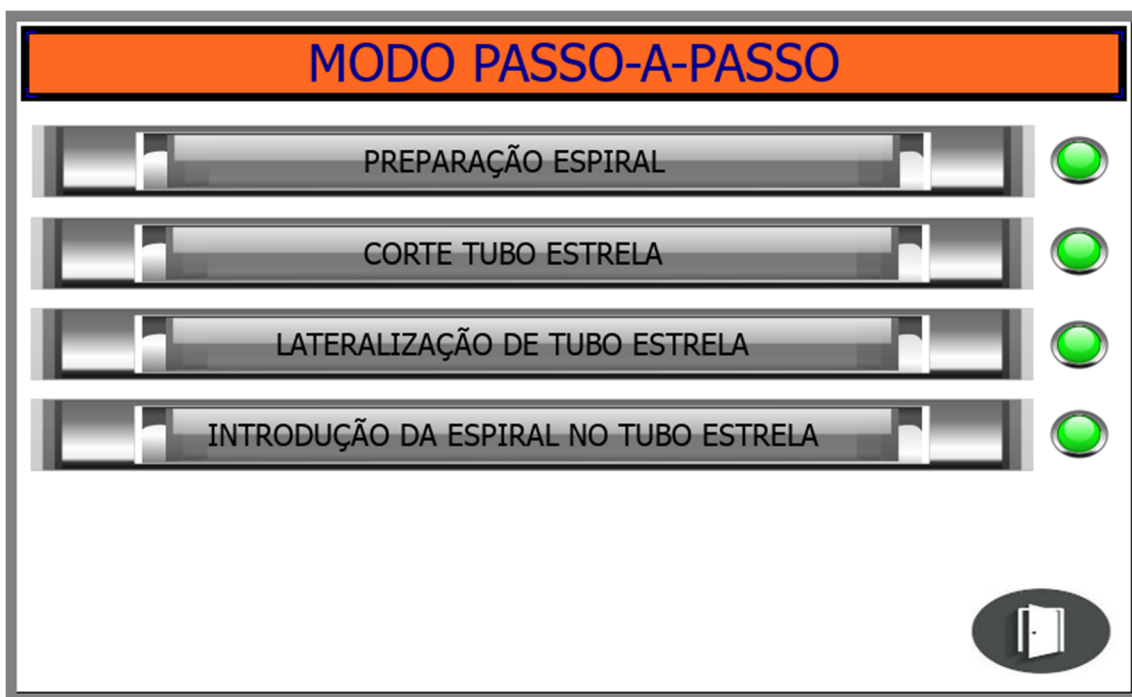
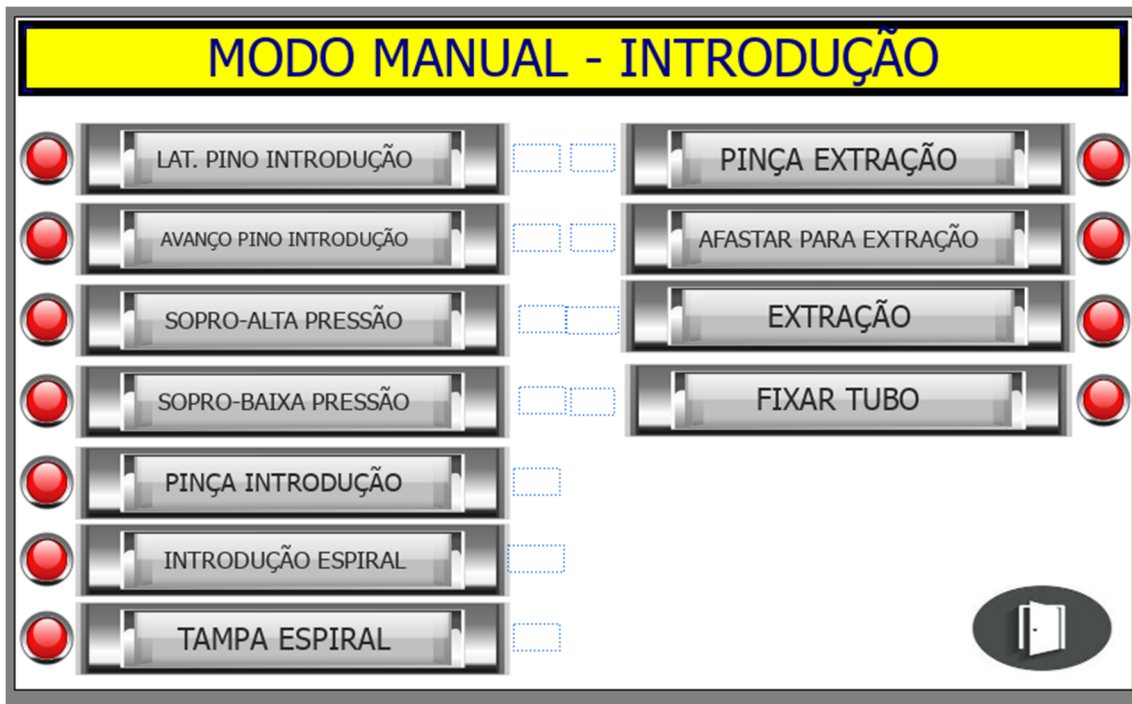
7.1 ANEXO 1

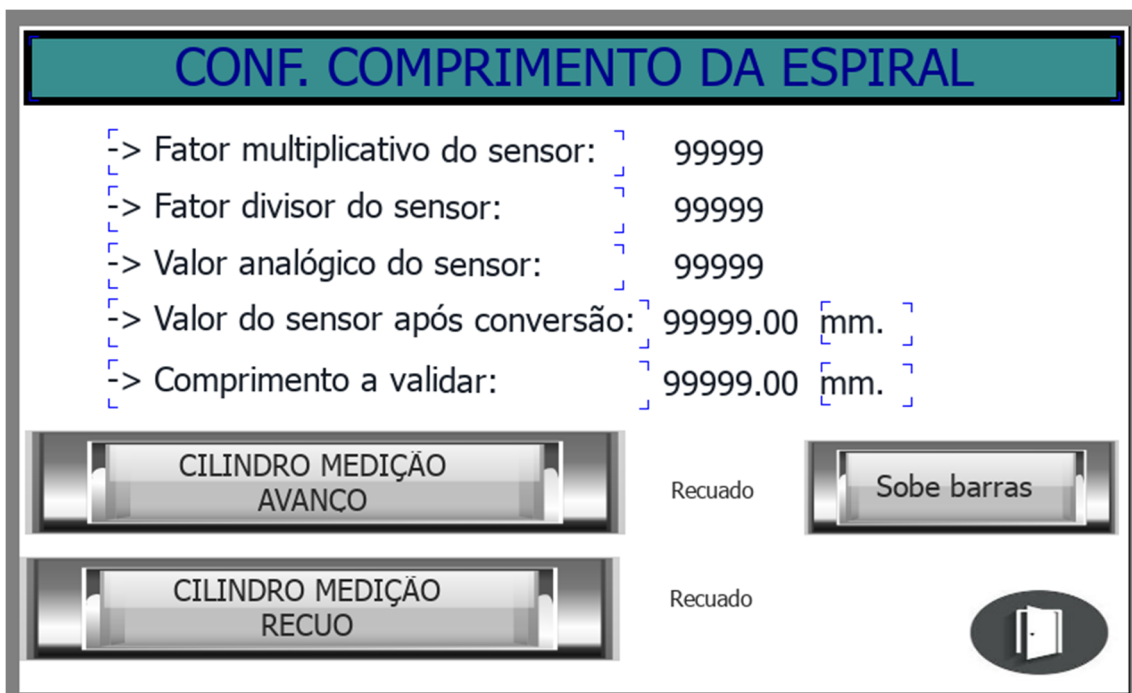
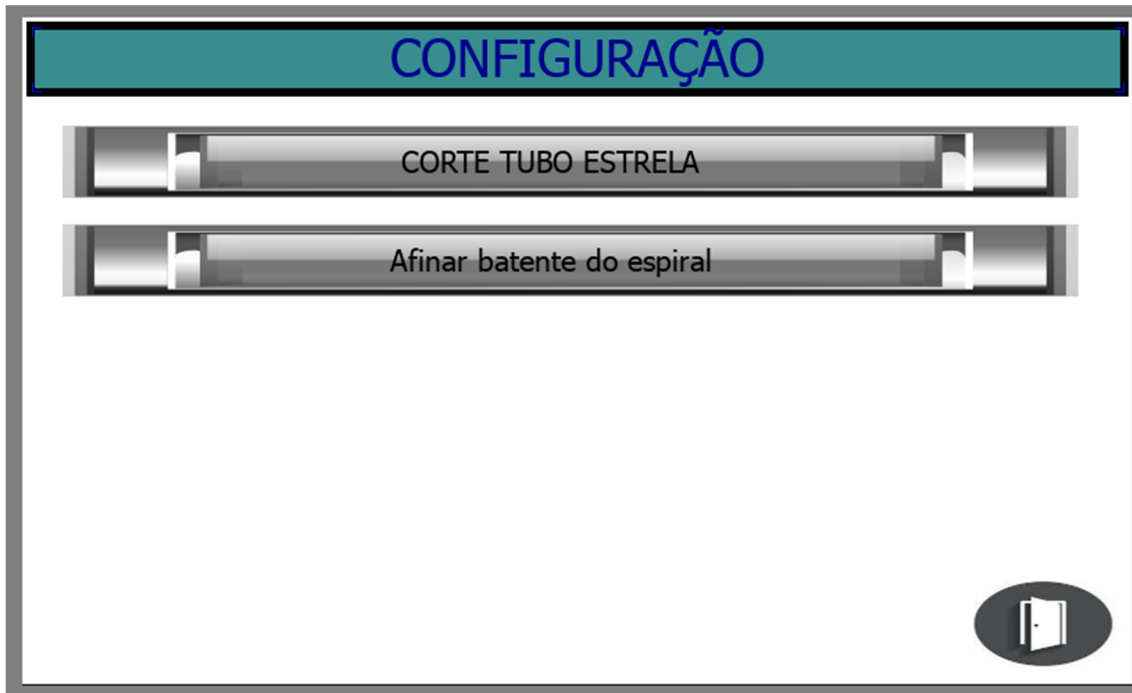
7.2 ANEXO 2

7.3 ANEXO 3









CONF. SISTEMA CORTE TUBO ESTRELA

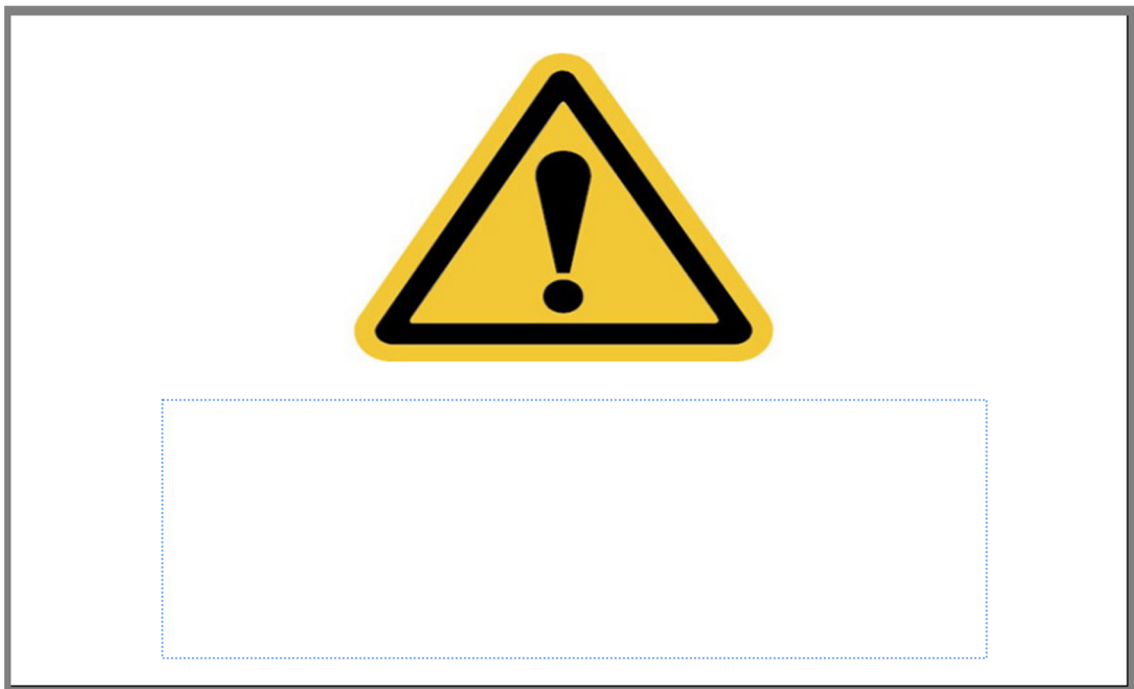
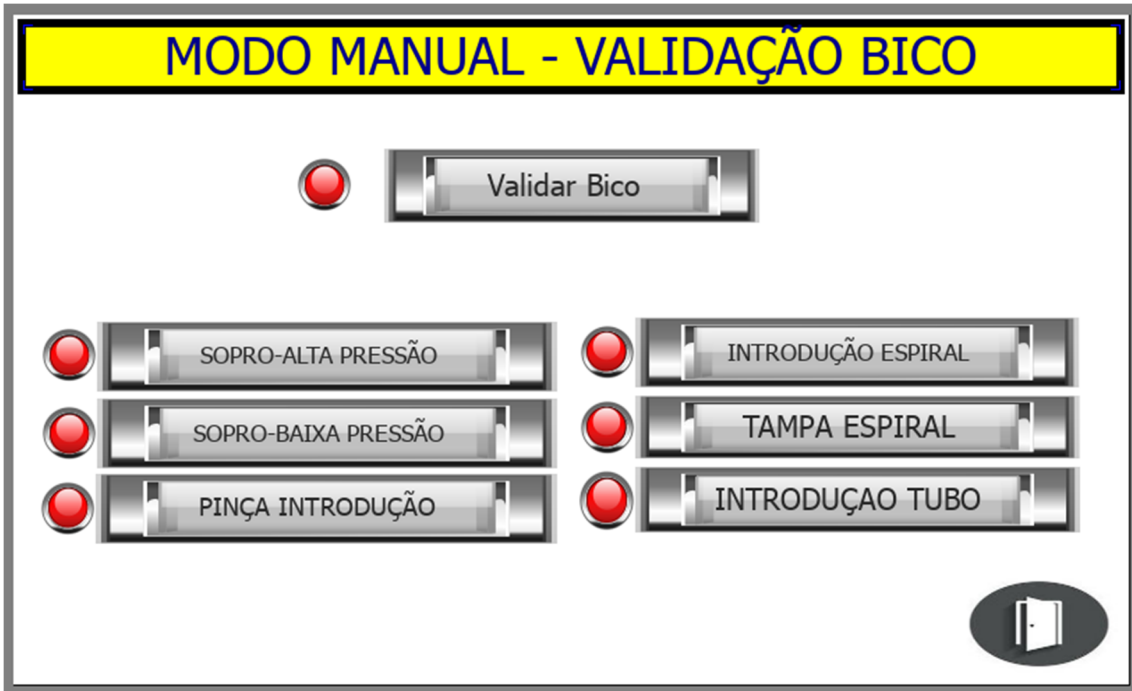
[-> Fator multiplicativo do encoder: 99999
 [-> Fator divisor do encoder: 99999
 [-> Distância de Mute: 99999.00 [mm.]
 [-> Offset de paragem: 99999.00 [mm.]



DEFINIÇÕES DO PRODUTO

[-> Comprimento da espiral: 999.00 [+ 999.00 [mm.]
 [-> Comprimento do tubo estrela: 999.00 [mm.]
 [-> Ajuste medida corte do tubo estrela 999.00 [mm.]
 [-> Cota pretendida do tubo estrela : 999.00 [mm.]





7.4 ANEXO 4

