

Lavadora de Anéis Automóvel - Estágio na Streak - Engenharia em Automação, Lda.

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Autor

Filipe Alberto Bento Raimundo

Orientadores

Doutor Inácio Fonseca

Supervisor na Empresa

Engenheiro Sérgio Correia

Instituição

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, Dezembro, 2013

Agradecimentos

Considero que o bom êxito de qualquer trabalho não depende apenas do esforço e empenho dos seus autores mas também do apoio, crítica e incentivo de outros. Quero, por isso, expressar a minha gratidão e reconhecimento:

Em primeiro lugar ao Professor Doutor Inácio Fonseca, meu orientador, pela competência, pelos conhecimentos transmitidos, pelas reflexões partilhadas, pelo apoio, disponibilidade, estímulo, crítica e cordialidade com que sempre me recebeu sem os quais a concretização deste trabalho não seria possível.

Quero agradecer também ao meu supervisor na STREAK Eng.º Sérgio Correia por todos os conhecimentos transmitidos, disponibilidade e orientação no estágio dado que foram imprescindíveis para o sucesso deste estágio.

Aos meus colegas pela troca de experiências profissionais que foram sem dúvida uma mais-valia para a realização deste relatório.

À minha namorada Diana, família, amigos e todos os que demonstraram, implícita ou explicitamente preocupação, interesse e me transmitiram ânimo e apoio incondicional para a realização deste trabalho.

Um agradecimento de forma muito especial também a todos os que me apoiaram de forma incondicional nos momentos em que pensei em desistir e me motivaram a não o fazer.

A todos, o meu muito obrigado.

Resumo

O presente relatório pretende descrever o estágio de Mestrado em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia, na área de especialização em Sistemas Industriais, sendo este ministrado no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), por sua vez pertencente ao Instituto Politécnico de Coimbra (IPC).

Este estágio decorreu na empresa Streak – Engenharia em Automação, Lda. Esta empresa tem como principal objetivo criar soluções nas áreas da Automação Industrial e Gestão Técnica de Edifícios.

O estágio é uma oportunidade prática pré-profissionalizante, que tem como objetivo promover a aquisição de conhecimentos e o desenvolvimento de competências. Pretende-se a aplicação dos conhecimentos e dos saberes, que foram adquiridos ao longo do curso, à prática profissional. Este estágio foi direcionado essencialmente para a elaboração de projetos de automação e inspeção industrial por visão artificial, áreas de evolução contínua e fortemente presente na indústria dos dias de hoje. O estágio culminou com o desenvolvimento de um projeto que será aplicado à indústria automóvel.

Numa primeira fase foi dada a oportunidade de conhecer o mundo do trabalho, entrando em contacto com equipamentos e tecnologia que até então pertenciam exclusivamente ao “mundo da teoria”.

No desenrolar do projeto foram aplicados os conhecimentos adquiridos durante a formação académica, associados à experiência adquirida com o desenrolar do estágio, fruto da convivência com colegas de trabalho mais experientes.

Posto isto, é possível encontrar no presente relatório uma abordagem teórica aos principais equipamentos e tecnologias exploradas durante o estágio bem como uma explicação detalhada da Lavadora de Anéis Automóvel, testes, problemas e respetivas soluções.

Palavras-chave: Automação; Inspeção Industrial; Visão Artificial.

Abstract

This report intends to describe the master's internship in Communications and Automation in Energy Systems, specialization area of Industrial Systems, which is taught at the Engineering Institute of Coimbra (ISEC), which in turn belongs to the Polytechnic Institute of Coimbra (IPC).

This internship took place in the company Streak - Automation Engineering, Ltd. This company aims to create solutions in the areas of Industrial Automation and Building Management.

The internship is a pre-professional practice opportunity, which intends to promote the acquisition of knowledge and development of skills. It intends to apply the knowledge that was acquired over the graduation, into professional practice.

This internship was directed essentially for the drafting of industrial automation projects and industrial inspection by artificial vision, areas of continuous evolution, strongly present in the industry nowadays. The internship culminated with the design of a project that will be applied in the automobile industry.

Initially, the internship gave the opportunity to experience the working world, coming into contact with equipment and technology that previously belonged exclusively to "theory world".

In the design of the project were applied the knowledge acquired during academic training, coupled with the experience gained from the conduct of the internship, result of living together with more experienced colleagues.

Finally, it's possible to find in this report a theoretic approach to the main equipments and technologies explored during the internship as well as a detailed explanation of the Ring Car Washer, tests, problems and respective solutions.

Key-words: Automation, Industrial Inspection, Artificial Vision.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice	vii
Índice de figuras	ix
Índice de tabelas	xiii
Simbologia e abreviaturas	xv
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	1
1.2 Apresentação da Empresa Streak	1
1.3 Organização do documento	2
2 Tecnologias Utilizadas	3
2.1 Controladores Lógicos Programáveis	3
2.1.1 Arquitetura	3
2.1.2 Norma IEC 61131-3.....	5
2.1.3 Outras Linguagens	10
2.2 Comunicações.....	10
2.2.1 <i>PROFIBUS</i>	11
2.2.2 <i>PROFINET</i>	12
2.2.3 Inspeção Industrial por Visão Artificial	13
2.2.4 <i>Sistemas de Aquisição</i>	13
2.2.5 Unidades de Processamento	16
3 Lavadora de Anéis Automóvel	18
3.1 Enquadramento	18
3.2 Anéis de Pistão.....	19
3.3 Componentes Variados.....	20
3.3.1 Relés de Segurança	20
3.3.2 Bloco de Válvulas	22
3.3.3 Sondas de Temperatura.....	23
3.4 Objetivos e Requisitos.....	29
3.5 Constituição Mecânica	30
3.6 Constituição Elétrica e Comunicações.....	31
3.6.1 Quadros Elétricos	31

3.6.2	Esquema Elétrico.....	32
3.6.3	Ligações.....	33
3.7	Receitas.....	33
3.8	Gestor de Cestos.....	34
3.9	Gestor de Pedidos.....	35
3.10	Transportador.....	38
3.10.1	Eixo Horizontal.....	38
3.10.2	Eixo Vertical.....	48
3.10.3	Restrições ao Movimento.....	49
3.10.4	Ciclo Automático.....	49
3.11	Cubas de Lavagem.....	51
3.11.1	Ciclo Automático.....	53
3.12	Cubas de Enxaguamento e Passivação.....	59
3.13	Cubas de Secagem.....	60
3.13.1	Ciclo Automático.....	60
3.14	Interface Homem-máquina.....	64
3.15	Conclusão.....	67
4	Fase de Testes.....	68
4.1	Notas Introdutórias.....	68
4.2	Afinações.....	68
4.2.1	Transportador.....	68
4.2.2	Portas das Cubas de Secagem.....	69
4.2.3	Ultrassons.....	69
4.2.4	Níveis e Agitadores.....	69
4.3	Try Out.....	70
4.3.1	Problemas e Soluções.....	70
5	Conclusões.....	72
5.1	Lavadora de Anéis Automóvel.....	72
5.1.1	Comportamento do Sistema.....	72
5.1.2	Melhorias.....	72
	Referências Bibliográficas.....	75
	Anexo A – Esquema Elétrico.....	79
	Anexo B – Programa das Principais Funções.....	113

Índice de figuras

Figura 2.1 – PLC S71214 com algumas expansões, Siemens.....	3
Figura 2.2 – Estrutura básica de um autômato [1] (adaptado).	4
Figura 2.3 – Ciclo de processamento de um PLC.	4
Figura 2.4 – Excerto de um código em Ladder.	7
Figura 2.5 – Excerto de um código em IL.	8
Figura 2.6 – Excerto de um código em ST.....	8
Figura 2.7 – Excerto de um código em FBD.	9
Figura 2.8 – Excerto de um código em SFC.	9
Figura 2.9 – Excerto de um código em SCL.	10
Figura 2.10 – Exemplo de uma rede com os três tipos de <i>PROFIBUS</i>	11
Figura 2.11 – Exemplo da aplicação de redes <i>PROFINET</i> [7].	12
Figura 2.12 – Exemplo de uma Linha de inspeção de qualidade por visão artificial [10].	13
Figura 2.13 – Esquemático de funcionamento CMOS e CCD [11].	14
Figura 2.14 – Sensor CCD (esquerda) e sensor CMOS (direita) [9].	14
Figura 2.15 – Câmara de 29 Mega Pixéis com comunicação em <i>Dual Gigabit Ethernet</i> , Allied.	15
Figura 2.16 – Exemplo de três lentes macro, μ Tron.	15
Figura 2.17 – Iluminação LED coaxial, CCS.	16
Figura 3.1 – Conjunto composto por uma biela, pistão e os respetivos segmentos [19 e 20].	19
Figura 3.2 – Exemplo de alguns tipos de anéis de pistão.	19
Figura 3.3 – Relé de emergência [21].	21
Figura 3.4 – Botoneira de emergência com dois contatos NC, Schneider.	21
Figura 3.5 – Relé de controlo de zonas [21].	22
Figura 3.6 – Interruptor magnético codificado, Schneider.	22
Figura 3.7 – Exemplo de uma configuração de um bloco de válvulas [22].	23
Figura 3.8 – Sonda PT100, STE.	24
Figura 3.9 – Constituição interna de uma termo-resistência [25].	24
Figura 3.10 – Curvas Características das termo-resistências [24].	24
Figura 3.11 – Detalhe da solda de um termopar [24].	25
Figura 3.12 – Junção dupla [24].	25
Figura 3.13 – Junção simples [24].	25
Figura 3.14 – Transferência de calor por efeito de Thompson [24].	26
Figura 3.15 – Gráfico da f.e.m. dos diversos tipos de termopar [24].	26
Figura 3.16 – Transmissor de temperatura TDU1219 [26].	27

Figura 3.17 – Esquemático interno de um TDU1219 [26].	28
Figura 3.18 – <i>Software</i> de configuração dos transmissores de temperatura Tekon.	28
Figura 3.19 – Exemplificação da disposição dos anéis numa vara.	29
Figura 3.20 – Fluxograma básico da Máquina de Lavar Anéis de Pistão.	30
Figura 3.21 – Lavadora de Anéis Automóvel (estrutura base).	31
Figura 3.22 – Quadro elétrico principal	32
Figura 3.23 – Quadro elétrico auxiliar.	32
Figura 3.24 – Diagrama de comunicações e ligações entre os principais componentes. As funcionalidades do <i>servo drive</i> e do respetivo <i>servomotor</i> são descritos na secção 3.10.	33
Figura 3.25 – Fluxograma do sistema de gestão de pedidos.	37
Figura 3.26 – Transportador.	38
Figura 3.27 – Servomotor da serie BSH [28].	39
Figura 3.28 – <i>Encoder SKS36 Singleturn</i> [31].	39
Figura 3.29 – <i>Servo drive</i> da série Lexium 32 [29].	40
Figura 3.30 – Módulo de comunicações <i>PROFIBUS</i> para <i>servo drives</i> Lexium32 [30].	41
Figura 3.31 – Constituição das mensagens a ser enviadas pelo PLC [30].	41
Figura 3.32 – Constituição das mensagens a ser enviada pelo <i>servo drive</i> [30].	42
Figura 3.33 – <i>Word</i> “dmControl” [30].	43
Figura 3.34 – Fluxograma do modo de referenciamento do transportador.	45
Figura 3.35 – Fluxograma do modo JOG do transportador.	46
Figura 3.36 – Fluxograma do modo posição do transportador.	47
Figura 3.37 - Janela do transportador no HMI.	48
Figura 3.38 – Eixo vertical (fase de testes).	48
Figura 3.39 – Fluxograma do ciclo automático do transportador.	50
Figura 3.40 - Esquema do sistema de filtragem das cubas de lavagem.	51
Figura 3.41 – Transdutores [32].	52
Figura 3.42 – Gerador de ultrassons [32].	52
Figura 3.43 – Fluxograma do controlo de nível referente às cubas de lavagem.	53
Figura 3.44 – Sensor de nível básico por boia, Kobold.	54
Figura 3.45 – Esquemático do sinal obtido com a posição deste tipo de sensores de nível.	54
Figura 3.46 – Fluxograma do controlo de temperatura das cubas de lavagem.	55
Figura 3.47 – Fluxograma do controlo automático dos ultrassons das cubas de lavagem.	56
Figura 3.48 – Fluxograma do controlo automático dos agitadores das cubas de lavagem.	57
Figura 3.49 – Fluxograma do controlo automático de cada uma das cubas de lavagem.	58
Figura 3.50 – Sonda de nível duas posições, Shenzhen.	59
Figura 3.51 – Fluxograma de controlo dos ventiladores e resistências das cubas de secagem.	61
Figura 3.52 – Fluxograma abertura de portas em automático nas cubas de secagem.	62

Figura 3.53 – Fluxograma de ciclo automático das cubas de secagem.....	63
Figura 3.54 – Ecrã principal do HMI.....	64
Figura 3.55 – Informações e comandos no HMI.....	65
Figura 3.56 – Diagrama de sequência de comandos e permissões no HMI.....	66
Figura 4.1 – Circuito básico do funcionamento de um cilindro pneumático, SMC.....	69
Figura 4.2 – Interior de uma cuba de lavagem.....	70

Índice de tabelas

Tabela 3.1 – Especificações materiais de alguns anéis de pistão da Federal Mogul [19].	20
Tabela 3.2 – Descrição das ações dos <i>bits</i> constituintes do segundo <i>byte</i> da <i>word</i> “dmControl” [30].	43
Tabela 3.3 – Ações resultantes da conjugação binária com o cinco primeiros <i>bits</i> da <i>word</i> “dmControl” [30].....	43
Tabela 3.4 – Tipos de movimento relacionados com o valor inteiro inserido na <i>word</i> RefA32 [20].	46
Tabela 3.5 – Descrição do significado do código inteiro associado às posições da linha.	49

Simbologia e abreviaturas

Abreviaturas Gerais	Descrição
AC	<i>Alternating current</i>
ADC	<i>Analog-to-digital converter</i>
API	<i>Application programming interface</i>
AS	<i>Actuator Sensor</i>
AVX	<i>Advanced Vector Extensions</i>
CCD	<i>Charge Coupled Device</i>
CBA	<i>Component Based Automation</i>
CMOS	<i>Complementary metal oxide semiconductor</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DB	<i>Data block</i>
DC	<i>Direct current</i>
DCS	<i>Distributed Control System</i>
DP	<i>Decentralized Periphery</i>
FB	<i>Function block</i>
FBD	<i>Function Block Diagram</i>
FC	<i>Function</i>
FMS	<i>Fieldbus Message Specification</i>
Gpu	<i>Graphics processing unit</i>
HMI	<i>Human-machine interface</i>
I/O	<i>input/output</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IL	<i>Instruction List</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISEC	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
LD	<i>Ladder diagram</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>

MACSE	Mestrado de Automação e Comunicações em Sistemas de Energia
MBP-IS	<i>Manchester coded Bus Powered</i>
NC	<i>Normally closed</i>
NO	<i>Normally open</i>
OB	<i>Organization block</i>
PA	<i>Process Automation</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PID	<i>Proportional-integral-derivative</i>
PLC	<i>Programmable logic controller</i>
POU	<i>Program Organisation Unit</i>
PWM	<i>Pulse-width modulation</i>
RPM	Rotações por Minuto
RPN	<i>Reverse Polish notation</i>
RTD	<i>Resistance Temperature Detectors</i>
Scada	<i>Supervisory control and data acquisition</i>
SCL	<i>Structured Control Language</i>
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>
SI	<i>International System of Units</i>
SSE2	<i>Streaming SIMD Extensions 2</i>
ST	<i>Structured text</i>
STO	<i>Safe Torque Off</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TIA	<i>Totally Integrated Automation</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

1 Introdução

Ao longo dos séculos o homem tem pesquisado novas formas para melhorar os seus processos produtivos. A partir da segunda metade do século XX a tecnologia tem vindo a sofrer uma evolução muito positiva e notável que permitiu automatizar processos. Observando o que se passava há alguns anos atrás, para elaborar determinados produtos eram necessários vários colaboradores, hoje em dia com uma só máquina, que em muitos casos nem necessita de supervisão humana constante, é produzido mais e melhor. A automação industrial contribuiu de forma muito positiva para que isto fosse possível.

Surgiu pela primeira vez na década de vinte por intermédio de Henry Ford na sua linha de produção de automóveis. Desde então não tem parado de evoluir. Com o surgimento dos transístores na década de sessenta dá-se o grande salto que nos leva até aos dias de hoje. Este progresso permitiu à indústria otimizar os seus processos melhorando significativamente os seus produtos finais. Esta evolução, conciliada à exigência na qualidade que é cada vez maior, por parte dos clientes, obriga as empresas a evoluir e a investir cada vez mais na otimização dos seus processos e na busca incessante pela excelência dos seus produtos.

É para ajudar a indústria na sua contínua evolução que surgem empresas como a que me acolheu na realização deste estágio no qual me foi possível tomar contacto com esta realidade tão distante quando se é estudante.

1.1 Objetivos

O estágio realizado, inserido no plano curricular do curso de Mestrado em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia (MACSE) tem como objetivos fornecer o primeiro contacto com o mundo do trabalho e dar a possibilidade de aplicar, aprofundar e solidificar os conhecimentos adquiridos no decorrer da formação académica, em ambiente industrial.

Irá focalizar-se no desenvolvimento de sistemas em automação industrial desde a receção da ideia/problema à implementação final culminando na criação de uma solução para a indústria e finalmente na elaboração do presente relatório.

1.2 Apresentação da Empresa Streak

Fundada em Setembro de 2002, a STREAK – Engenharia em Automação, Lda., tem como objetivo principal criar soluções nas áreas da Automação Industrial e Controlo de Processos.

Nesse sentido tem desenvolvido a sua atividade nos seguintes pontos:

- Projeto de Engenharia (Elétrico e Mecânico);
- Instalação;
- *Software* de Automação e Supervisão;
- Base de Dados de Gestão de Energia/Produção;
- Reconversão de Sistemas Industriais;
- *Software* de inspeção por visão industrial.

Embora seja recente, a Streak conta já com um vasto portefólio de soluções particularmente direccionadas para indústria visando sempre a excelência.

1.3 Organização do documento

O presente relatório está dividido em cinco capítulos:

- O primeiro capítulo contém a introdução ao relatório, os objetivos, a descrição da empresa acolhedora e a organização do documento;
- No segundo capítulo são apresentadas as principais tecnologias/equipamentos com as quais o estagiário teve contacto no decorrer do estágio curricular, tais como PLC, comunicações industriais (*PROFIBUS* e *PROFINET*) e sistemas de inspeção industrial por visão artificial;
- O terceiro capítulo consiste na apresentação da máquina que dá nome a este relatório, Lavadora de Anéis Automóvel. Neste capítulo são descritas as características pretendidas, principais constituintes, constituição mecânica e elétrica, funcionamento, algoritmos e HMI;
- No quarto capítulo está exposta a fase de testes contendo as afinações e ajustes levados a cabo e a última etapa, o *try out* contendo os problemas encontrados e a respetiva resolução;
- O sexto e último capítulo apresenta as principais conclusões a retirar do estágio e do processo de desenvolvimento de uma nova máquina para a indústria automóvel.

2 Tecnologias Utilizadas

2.1 Controladores Lógicos Programáveis

Os controladores lógicos programáveis (PLC) [4] [5], também denominados de autômatos programáveis apresentam como principal função comandar circuitos de automatismos.



Figura 2.1 – PLC S71214 com algumas expansões, Siemens.

Surgiram no final da década de sessenta para fazer face à complexa tarefa de desenvolver, montar e modificar os sistemas de controlo atuais que não passavam de circuitos a relé. Estes circuitos, por vezes eram abismalmente grandes e qualquer alteração, ou até mesmo reparação era extremamente cara e demorada.

Os PLCs consistem em equipamentos eletrónicos que permitem ser programados pelo utilizador, funcionando de forma cíclica de acordo com o programa. Atualmente são a base da automatização de pequenos e grandes sistemas, devido à existência de uma gama muito variada de equipamentos com os mais variados preços e características.

Por outro lado, podemos considerar que um PLC se assemelha a um computador, mas especialmente adaptado ao meio industrial. Este tipo de equipamento encontra-se concebido para funcionar em ambientes industriais agressivos como por exemplo alterações de temperaturas, oscilações de tensão, ruído elétrico entre outros, constatando-se portanto a robustez destes equipamentos.

2.1.1 Arquitetura

Um autômato programável é constituído basicamente por:

- Unidade central de processamento também denominada de CPU;
- Memória de programa e de dados;
- Entradas e saídas (I/O);
- Fonte de alimentação;
- Porta de periféricos.

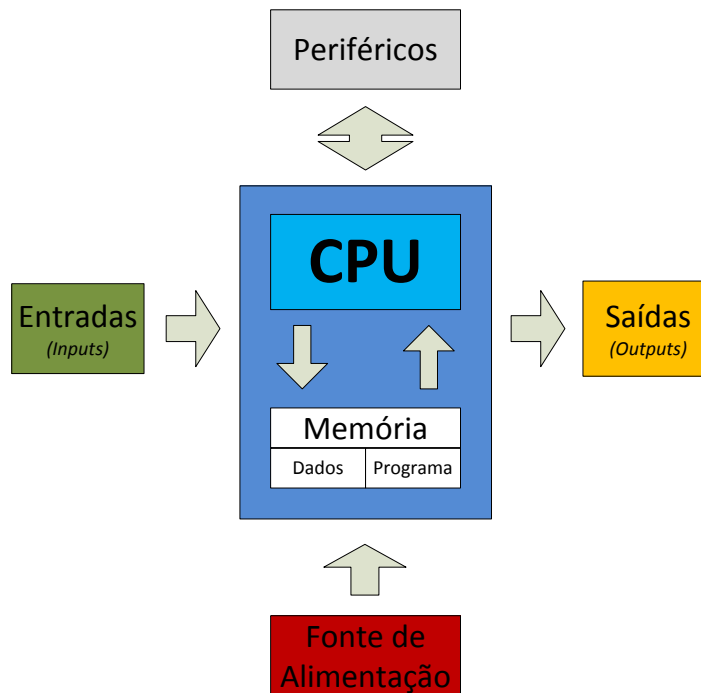


Figura 2.2 – Estrutura básica de um autômato [1] (adaptado).

A CPU é considerada o cérebro do autômato, tem como função realizar operações aritméticas, lógicas e funções de controlo. Esta lê os valores lógicos das entradas que se encontram na memória, faz as operações que são determinadas pelas instruções (programa em memória) e posteriormente atualiza na memória o valor das saídas (Figura 2.3). Apresenta também como função a gestão dos periféricos e o diagnóstico dos defeitos que possam ocorrer internamente.

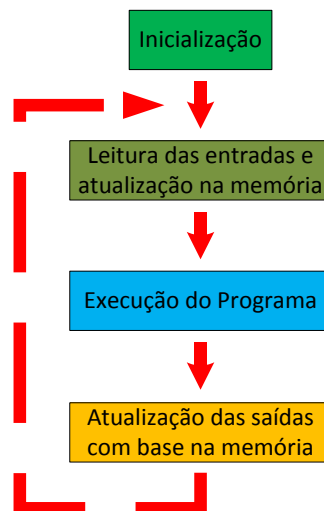


Figura 2.3 – Ciclo de processamento de um PLC.

Um PLC pode conter entradas e saídas de dois tipos:

- Digitais;
- Analógicas.

As digitais têm dois estados possíveis, ligado ou desligado. Usualmente as entradas são utilizadas para receber informação vinda de dispositivos externos como botões, interruptores, detetores, interruptores fim de curso, sensores, entre outros. Quanto às saídas, podem ser realizadas a relés, transístores ou TRIACs e coordenam o ligar e desligar de bobines de contadores, bobines de electroválvulas etc.

Quanto aos I/O analógicos, basicamente as entradas convertem sinais analógicos, de corrente ou tensão para palavras binárias (digitais) recorrendo a ADCs internos, as saídas são o inverso, convertem palavras binárias contidas na memória do PLC para sinais analógicos, também em corrente ou tensão. As palavras binárias podem apresentar dimensões (resolução) entre 8,10,12, 14 e 16 bits, consoante a gama do PLC. Geralmente, as entradas analógicas são utilizadas para obter feedback de sensores analógicos como sondas de temperatura, pressão entre outros, enquanto que, as saídas analógicas são habitualmente utilizadas para controlar dispositivos de campo como válvulas, motores, etc.

Na alimentação há também um leque de opções pois é possível encontrar PLCs alimentados a 24V DC, 120V AC (normalmente utilizados na indústria norte americana) e 230V AC.

Quando é necessário alimentar atuadores com tensão de 24VDC e com corrente superior à suportada pelas saídas do PLC, torna-se imperativo a utilização de uma fonte externa no automatismo.

Por fim, os periféricos mais utilizados são as consolas e o computador, dado ser o elemento mais comum na programação de um autómato mas também por desempenhar funções de supervisão. No fundo, os periféricos mais utilizados desempenham essencialmente a função de HMI.

2.1.2 Norma IEC 61131-3

Com a evolução dos PLC surgiu uma nova problemática relacionada com a grande diversidade de fabricantes e com os respetivos *hardwares/softwares* contendo linguagens de programação e métodos de trabalho diferentes embora com mecanismos semelhantes. Para fazer face a este problema, no início da década de noventa foi criada a norma IEC 1131 que não é mais que um padrão para PLCs. Alguns anos mais tarde, esta norma foi revista e surgiu a norma IEC 61131 sendo a terceira parte, ou seja IEC 61131-3, direcionada às linguagens de programação e tem como objetivo simplificar a sua análise e uniformizar metodologias de programação.

A norma inclui diferentes conceitos já utilizados na programação de PLCs, bem como novos métodos de programação adicionais. No entanto, a IEC 61131-3 é considerada uma diretriz para a programação de PLCs e não se cinge apenas a um conjunto de regras.

A norma fornece também uma referência que permite aos fabricantes e clientes fazerem a avaliação do quão perto se encontra cada sistema de programação do padrão, isto é, verificar se se encontra em conformidade com a norma IEC 61131-3.

De acordo com a norma IEC-61131, a programação de controladores é realizada a partir da utilização de componentes comuns e uma ou mais linguagem das cinco definidas pela mesma.

Hoje em dia existem vários tipos de controladores programáveis disponíveis que possuem uma boa compatibilidade com a norma, tanto PLCs, DCSs, híbridos em versões *hardware* ou em *software*, ou qualquer outro sistema programável de controlo.

De acordo com o *software* IEC, um PLC que está a processar um programa armazenado na memória necessita das seguintes *interfaces*:

- *Interface* de entrada/saída a partir do qual temos acesso aos dispositivos para leitura de sinais do processo como por exemplo pressões, temperaturas, bem como o comando de dispositivos de campo (por exemplo motores);
- *Interfaces* de comunicação que permitem a troca de informações com outros PLCs e HMI.

Existem cinco tipos de linguagens definidas pela norma, entre as quais, lista de Instruções (IL), Texto Estruturado (ST), Diagrama de contactos (LD), Diagrama de Blocos Funcionais (FBD) e por fim Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC).

A linguagem a ser utilizada deve ser feita de forma a simplificar:

- A solução do problema de controlo;

- A implementação e entendimento do código;
- A aplicação da linguagem de acordo com as suas vantagens;
- O envolvimento de diferentes profissionais a solucionar os diferentes problemas;
- A capacidade de auto-documentação da aplicação;
- A estruturação do programa.

Os ambientes de programação compatíveis com a norma IEC permitem o uso de várias linguagens de programação no interior do mesmo programa, de modo a que cada parte do problema de controlo possa ser tratada com a linguagem mais apropriada. Uma das funções mais importantes da norma consiste em não restringir nenhuma linguagem face aos elementos comuns. Isto é, cada utilizador pode usar a linguagem que mais lhe convier de forma a utilizar todos os elementos comuns.

Nas linguagens definidas pela norma, os elementos comuns também são implementados. Desta forma, a norma elucida que sejam utilizadas algumas construções específicas para facilitar a sua utilização exigindo o uso da linguagem mais compatível com a aplicação. Podemos considerar o exemplo seguinte, a declaração da POU's (unidades de organização de programas), que não deve ser executada com a linguagem SFC, pois de acordo com a sua utilização a aplicação exige memória de estados e a função por definição não a possui, incompatibilizando a aplicação da linguagem SFC. No entanto, a SFC pode utilizar as funções declaradas usando outras linguagens para a implementação de outras POU's, com os blocos funcionais e programas.

De acordo com a norma pode-se constatar que preconiza o uso do SFC para a estruturação de programas de acordo com as suas características nomeadamente de aplicação e facilidade de utilização

Cada utilizador pode usar a linguagem com que tenha uma maior facilidade de utilização. As linguagens LD e IL começam a perder alguma notoriedade quando comparadas com outras linguagens mais estruturadas e que possuem um entendimento mais facilitado, entre as quais se destacam FBD, SFC e ST.

De acordo com os avanços tecnológicos os controladores mais avançados têm funcionalidades mais próximas de computadores de processo recorrendo ao uso de programação de nível mais elevado, sendo estes favorecidos com a utilização de linguagens mais atuais. Desta forma, como os controladores modernos possuem funcionalidades mais próximas de computadores de processo, é cada vez mais comum o emprego de estruturas de programação mais sofisticadas, as quais favorecem as linguagens mais modernas.

Uma questão muito frequente pelos utilizadores relativamente à norma consiste na possibilidade de conversão de código entre diferentes linguagens. A norma, não especifica esta capacidade com sistemas compatíveis com a mesma, evidenciando que alguns tipos de construções em algumas linguagens são de difícil representação em outras, como uma construção *IF- THEN- ELSE* em ST, por exemplo.

Em muitos casos a conversão não é possível em todos os tipos de construção dado que, por vezes a conversão não é bidirecional. Por outro lado, o desempenho do controlador para execução do código é equivalente nas diferentes linguagens. Isto é, observam-se alterações na ocupação da CPU e de memória para programas equivalentes em diferentes linguagens.

2.1.2.1 Ladder

A linguagem *Ladder* (exemplo Figura 2.4), tem como sigla LD (*Ladder Diagram*), consiste numa linguagem gráfica que deriva da linguagem relés e usa um conjunto de determinados símbolos gráficos para a elaboração do programa. Os símbolos contêm três formas básicas entre os quais os contactos, as bobinas e por fim os blocos de funções.

Os contactos exibem condições lógicas de entrada, por exemplo interruptores, botões de pressão, condições internas entre outros.

Já as bobinas representam condições lógicas de saída atuando sobre lâmpadas, motores etc.

Por fim, os blocos de funções mostram operações adicionais como temporizadores, contadores e operações aritméticas.

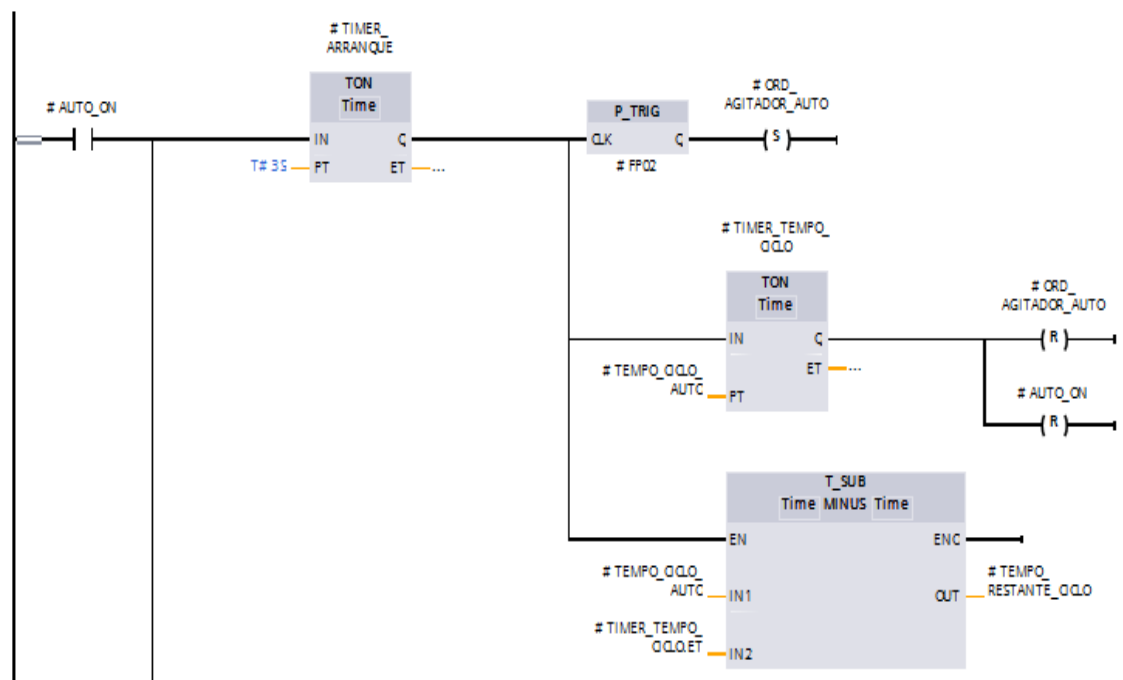


Figura 2.4 – Excerto de um código em Ladder.

O esquema ou diagrama de contactos que é utilizado em linguagem Ladder consiste numa sucessão de redes de contactos que levam as informações lógicas das entradas para as saídas.

As redes de Ladder são ligadas na horizontal, iniciando-se à esquerda, com as instruções de entrada e finalizam à direita com as instruções de saída.

Quando a programação é realizada através de um computador é direta. O software incumbe-se de efetuar a conversão da linguagem de contactos para linguagem de instruções e vice-versa.

A linguagem de diagrama de contactos é rápida simples e tem como principal vantagem o facto da representação dos símbolos das instruções básicas ser praticamente igual nos diferentes fabricantes de autómatos o que facilita a programação.

2.1.2.2 IL

A linguagem IL ou lista de instruções (exemplo Figura 2.5) é caracterizada por ser de baixo nível. É um tipo de linguagem muito eficiente por ser mais próxima da forma de processamento da CPU do PLC.

A lista de instrução consiste numa linguagem unicamente sequencial que é determinada por instruções que contêm um operador que, de acordo com o tipo de operação, podem ter um ou vários operandos, separados por vírgulas. Esta linguagem tem como principais indicações PLCs pequenos, ou para controlar processos simples.

Esta linguagem é pouco estruturada, de difícil compreensão quando o programa se torna mais complexo. O modelo de execução é baseado no uso de acumulador simples, semelhante às calculadoras com notação polonesa reversa (RPN), ou pós-fixada.

```

BLK          %C0
LD           %I0.0
CU
LD           %I0.1
CD
OUT_BLK
LD           D
ST           %Q1.1
END_BLK

```

Figura 2.5 – Excerto de um código em IL.

2.1.2.3 ST

A linguagem ST (exemplo Figura 2.6) apresenta um carácter textual de nível elevado e muito poderosa, inspirada na linguagem pascal que possui todos os elementos fulcrais de uma linguagem de programação moderna, contendo as instruções condicionais como: *IF, THEN, ELSE, CASE OF*, e instruções de iterações como: *FOR, WHILE* e *REPEAT*. Tal como o seu nome indica encoraja o desenvolvimento de programação estruturada, sendo muito eficaz na definição de blocos funcionais complexos que podem ser utilizados em qualquer outra linguagem IEC. De todas as linguagens textuais é a mais potente, sendo desta forma a mais recomendada em aplicações complexas que envolvam a descrição de comportamentos sequenciais.

```

R_TRIG_S_StartStopOverride(CLK := InternalS_StartStopOverride);
Q_R_TRIG_S_StartStopOverride := R_TRIG_S_StartStopOverride.Q;

IF (TRUE = Activate) THEN
    InternalState := InternalState1;
ELSE
    InternalState := 0000;
    InternalStateWORD := WORD#0000;
END_IF;

```

Figura 2.6 – Excerto de um código em ST.

2.1.2.4 FBD

É uma linguagem de carácter gráfico muito comum na Europa, em que os seus elementos são expressos em blocos integrados, parecidos aos utilizados em electrónica digital. Esta permite um desenvolvimento hierárquico e modular do *software*, dado que podem ser elaborados blocos de funções mais complexos através de outros menores e mais simples (exemplo Figura 2.7).

Esta linguagem é poderosa e versátil recebendo desta forma uma atenção especial por parte dos fabricantes. A sua utilização está indicada em processos químicos geralmente em processamentos descentralizados ou distribuídos.

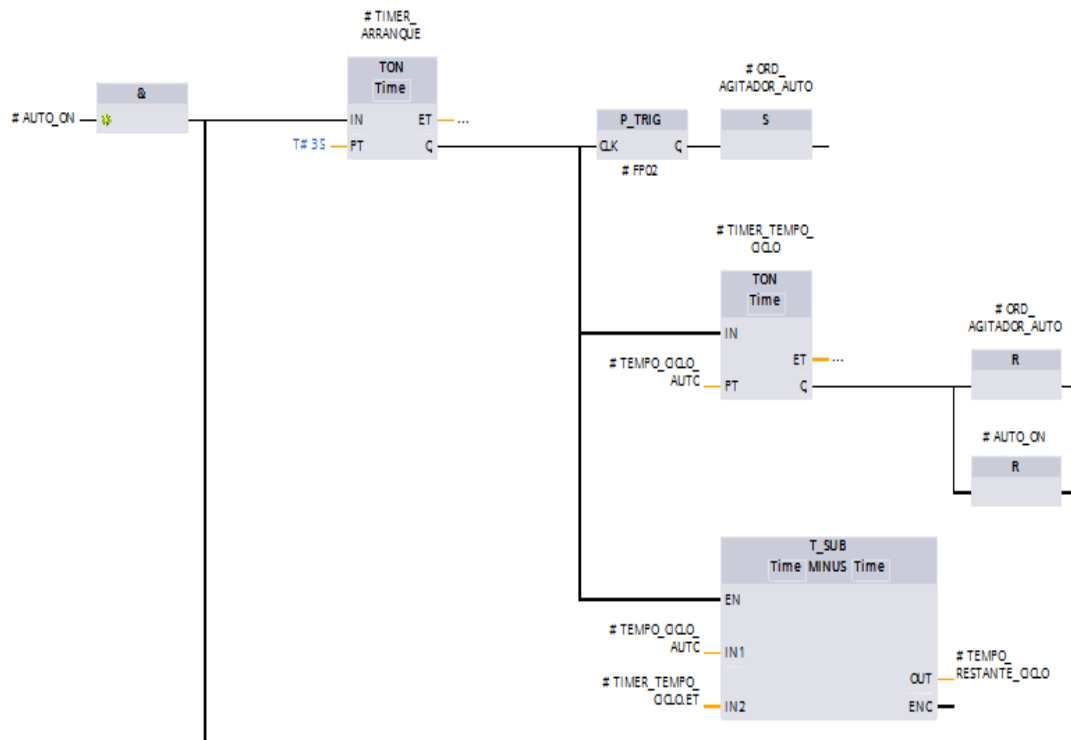


Figura 2.7 – Excerto de um código em FBD.

2.1.2.5 SFC

O SFC (exemplo Figura 2.8) constitui uma linguagem gráfica que admite a descrição e ações sequenciais, paralelas e alternativas que existem numa aplicação de controlo. Apresenta-se como ascendente direto do *Grafcet*, o SFC proporciona meios para estruturar uma unidade de organização num conjunto de etapas separadas por transições. Em cada etapa encontra-se associado um conjunto de ações. Já a cada transição está coligada uma representatividade que terá que ser satisfeita para que a transição da transição decorra, para que o sistema evolua para a etapa seguinte. Hoje em dia o SFC vem recebendo diversas implementações nos PLCs de grande porte, sendo linguagem preferencial para processos sequenciais. É uma linguagem muito útil para programação de controlo sequencial, receitas, máquina de estados finitos, tomada de decisão, entre outras.

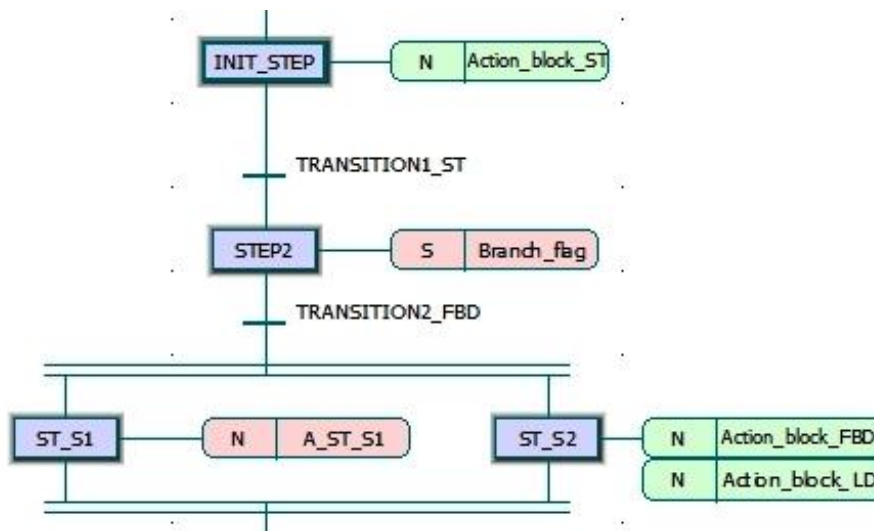


Figura 2.8 – Excerto de um código em SFC.

2.1.3 Outras Linguagens

Hoje em dia, cada vez mais além das suas tarefas tradicionais de controlo, os controladores lógicos programáveis têm que executar tarefas de gestão de dados e complexas operações matemáticas. Para fazer face a estas exigências foi criada a linguagem em texto estruturado SCL.

2.1.3.1 SCL

O SCL (*Structured Control Language*, Figura 2.9) consiste numa linguagem textual de alto nível que se baseia na linguagem de programação estruturada Pascal e na norma IEC-61131-3.

Além de elementos de linguagem de alto nível, o SCL inclui também elementos típicos de PLC's, como entradas, saídas, temporizadores, bits de memória, bloco chamadas, etc.

É uma linguagem fácil de aprender quando já se dispõem de experiência na utilização de linguagens de programação de alto nível.

É ideal para lidar com todas as tarefas envolvidas na automação de projetos, o que significa que se pode combinar com outras linguagens já apresentadas.

```

17 //Alarmes
18 //Alarme superior
19 IF #PV>=#SP_ALM_HL THEN
20     #ALM_HL:=true;
21 ELSE
22     #ALM_HL:=false;
23 END_IF;
24
25 //Alarme inferior
26
27 #TIMER_ALM_LL(IN:=#PV<=#SP_ALM_LL,PT:=#DELAY_ALM_LL);
28 IF #TIMER_ALM_LL.Q THEN
29     #ALM_LL:=TRUE;
30 ELSE
31     #ALM_LL:=FALSE;
32 END_IF;
33

```

Figura 2.9 – Excerto de um código em SCL.

2.2 Comunicações

As redes de comunicações têm sido determinantes no desenvolvimento da automação industrial, acabando por estar presentes no meio industrial nos seus mais diversos setores. A capacidade de comunicação entre dispositivos e o uso de mecanismos padronizados, abertos e transparentes são componentes indispensáveis do conceito de automação de hoje. Têm-se expandindo rapidamente no sentido horizontal nos níveis inferiores (*fieldlevel*), assim como no sentido vertical integrando todos os níveis hierárquicos. De acordo com as características da aplicação e do custo máximo pretendido, uma combinação gradual de diferentes sistemas de comunicação, tais como o *PROFIBUS*, *PROFINET* e *AS-interface*, oferece todas as condições necessárias para obter redes abertas em processos industriais (ver Figura 2.10).

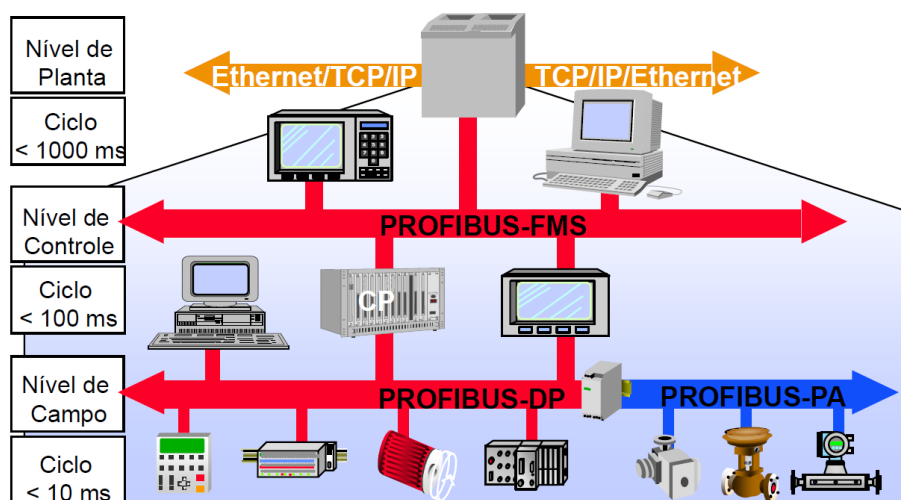


Figura 2.10 – Exemplo de uma rede com os três tipos de PROFIBUS.

Neste relatório apenas serão apresentadas as comunicações em redes PROFIBUS e PROFINET uma vez que foram as únicas com que o estagiário manteve contacto durante o estágio.

2.2.1 PROFIBUS

O PROFIBUS consiste numa rede digital que responde às necessidades de um grande leque de aplicações em automação de controlo e de processo. Atualmente é a rede de campo mais utilizada em todo mundo.

No início do século XX é padronizado com a norma internacional IEC 61158. Esta norma respondeu às necessidades de abertura e independência dos fornecedores em prol de garantir a comunicação de multiconstrutores.

O PROFIBUS é de origem alemã, criado em 1987 por uma dezena de construtores suportados pelo poder público. A esta iniciativa juntaram-se vinte e uma empresas e instituições de pesquisa de forma a criarem *fieldbus*. O Objetivo era a realização e estabilização de um barramento de campo *bitserial*, tendo como requisito básico a padronização do *interface* de dispositivos de campo. A primeira etapa deste processo consistiu na criação de um protocolo de comunicação complexa, PROFIBUS FMS (específico para mensagens *fieldbus*). Em 1993 surgiu o PROFIBUS DP. Atualmente assenta em 3 versões diferentes DP-V0, DP-V1 e DP-V2. Existe ainda o PROFIBUS PA que é similar ao DP.

Pode ser utilizado tanto em aplicações com transmissão de dados em alta velocidade como em tarefas complexas de comunicação. Oferece diferentes protocolos de comunicação, que de acordo com a aplicação, pode-se utilizar como meio de transmissão, qualquer um dos seguintes padrões:

- RS-485
- IEC 61158-2
- Fibra Ótica.

O PROFIBUS FMS é um protocolo de comunicação universal e, de todos os protocolos PROFIBUS, é o mais completo, utilizado para comunicações entre PLC e DCS sendo usualmente utilizada ao nível do controlo.

Quanto ao PROFIBUS DP, como já foi dito existem três versões. A primeira versão, DPV0, é do tipo mestre escravo, permite apenas uma comunicação cíclica. Contém as funcionalidades básicas do DP, incluindo a troca cíclica de dados, assim como diagnóstico de estações, de módulos e de canais específicos. A versão DP-V1 oferece troca de dados acíclica entre mestre escravo. Este possui características para automação de processos, mais concretamente em comunicações de dados acíclicos para parametrização, operação, visualização e manipulação de alarmes de dispositivos inteligentes, paralelamente à comunicação cíclica do utilizador. Isto permite acesso *online* para

estações utilizando ferramentas de engenharia. A última versão, DP-V2, contém funções adicionais à versão DP-V1 como a comunicação entre escravos, sincronização de relógio, *timestamping*, redundância, entre outras funções.

O *PROFIBUS PA (Process Automation)* é utilizado de forma particular em automação de processos fazendo a ponte entre os sistemas de controlo e os equipamentos de campo tais como transmissores de temperatura, posicionadores, conversores, etc. Permite alimentar os equipamentos que sobre ele comunicam, contém funções de autodiagnóstico, dispõem de sistemas de segurança em caso de falha e utiliza o meio físico definido pela norma IEC 61158-2.

2.2.2 PROFINET

O *PROFINET* (exemplo Figura 2.11) é um padrão de comunicação para automação da *PROFIBUS & PROFINET*.

Com a difusão da *Ethernet* industrial surgiu o *PROFINET* que utiliza UDP/IP como protocolo de nível superior para troca de dados que são orientados consoante a procura. Em paralelo com a comunicação UDP/IP, a troca cíclica de dados no *PROFINET* é baseada num conceito de tempo real. Permite a integração de redes de campo existentes como o *PROFIBUS*, *AS-Interface*, *INTERBUS*, *Foundation Fieldbus*, e *DeviceNet* sem alterações nos dispositivos existentes.

O *PROFINET* assenta em duas vertentes a *PROFINET CBA* e *PROFINET I/O*. O *PROFINET CBA* está vocacionado para comunicações entre máquinas, funciona por TCP/IP, a comunicação é feita em tempo real e é ideal para projetos modularizados. Este facilita um projeto de fábricas e linhas de produção baseado na gestão distribuída utilizando configurações gráficas entre módulos inteligentes. O *PROFINET CBA* e o *PROFINET I/O* podem ser executados separadamente ou de forma combinada, de forma que um dispositivo *PROFINET I/O* apareça na visualização da fábrica como um módulo *PROFINET CBA*.

Esta comunicação apresenta uma solução flexível para todas as aplicações de mercado. Pode ser implementada em aplicações de automação e processo, aplicações com segurança funcional e tecnologias de acionamento, incluindo também aplicações de controlo de movimentos isócronos, ou seja movimentos que ocorrem em simultâneo.

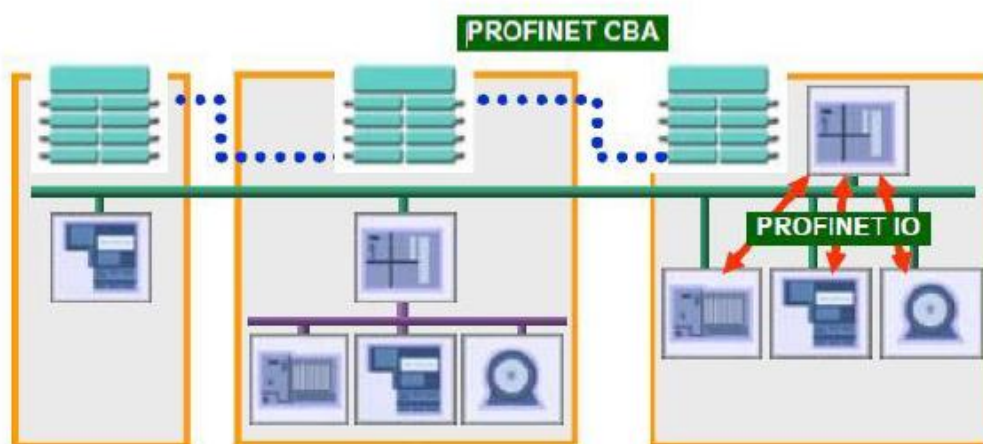


Figura 2.11 – Exemplo da aplicação de redes *PROFINET* [7].

2.2.3 Inspeção Industrial por Visão Artificial

Com o passar dos tempos, na indústria começaram a surgir novas necessidades relacionadas com a qualidade. Para satisfazer os consumidores, alguns defeitos antes ignorados, agora devem ser observados e se possível corrigidos. Este facto tem motivado um crescente investimento, pela indústria, em desenvolver e aperfeiçoar processos de inspeção de qualidade. Em determinados sectores de atividade, estes fatores são determinantes na competitividade sob pena de se perder a competitividade.

No passado, praticamente todos os processos de inspeção de qualidade eram feitos por funcionários manualmente. Uma vez que a mão-de-obra necessária a este processo o encarecia, e também motivado por outros fatores como o declínio da eficácia da inspeção com o avançar das horas de trabalho, começou-se a assistir à inserção de soluções tecnologicamente evoluídas baseadas em sistemas de visão artificial assistidos por computadores, que visavam auxiliar a inspeção feita por humanos e em alguns casos substituí-la.

Com estes sistemas, para além das melhorias já descritas, tornou-se também possível monitorizar com precisão linhas de produção de alta velocidade, algo que antes era impensável.

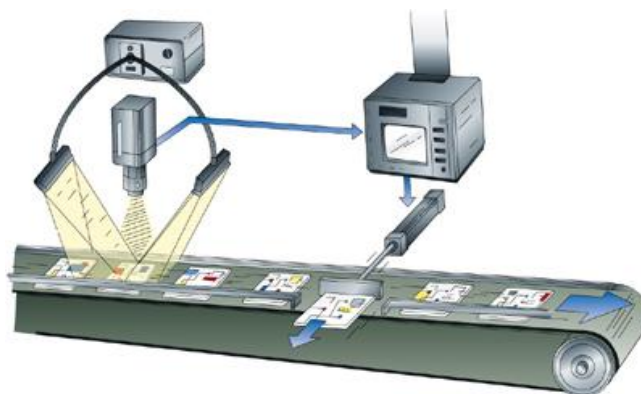


Figura 2.12 – Exemplo de uma Linha de inspeção de qualidade por visão artificial [10].

A Figura 2.12 é um bom exemplo de uma linha de inspeção de qualidade automatizada em que a inspeção é levada a cabo por um sistema de visão artificial. A câmara obtém uma imagem da peça que por ela passa, envia-a para a unidade de processamento que contém o *software* desenvolvido para o efeito, provavelmente um computador, verifica se esta está de acordo com as especificações e se não estiver, ao passar pelo sistema de rejeição, é rejeitada.

Estes sistemas são compostos por várias tecnologias. Geralmente as soluções são compostas por vários subsistemas podendo assumir diversas configurações.

2.2.4 Sistemas de Aquisição

Os sistemas de aquisição, como já foi dito, têm como missão capturar imagens do conteúdo a analisar. São compostos por câmaras, lentes e dispositivos de iluminação podendo ainda conter sensores, filtros entre outros componentes.

2.2.4.1 Câmaras

As câmaras são responsáveis por transformar a luz numa imagem digital, possuem uma matriz de sensores sensíveis à luz, sendo por cada elemento da matriz obtida a intensidade de luz que sobre ele incide. A luz captada é o resultado da reflexão da luz que é projetada no objeto de interesse pelo dispositivo de iluminação. A cada elemento da matriz dá-se o nome de *pixel*.

Atualmente os sensores integrantes das câmaras são do tipo CCD (*Charge Coupled Device*) ou CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*).

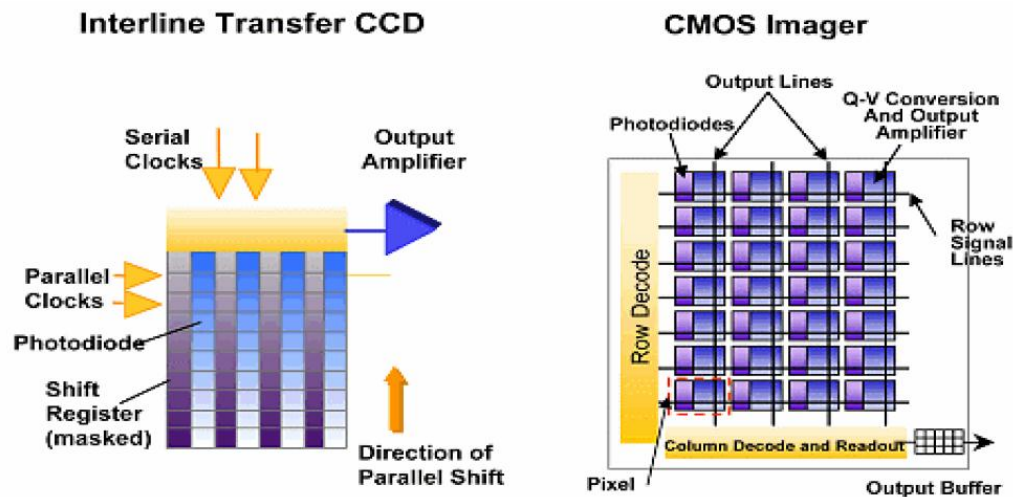


Figura 2.13 – Esquemático de funcionamento CMOS e CCD [11].

O princípio que rege os sensores CCD e os sensores CMOS é o mesmo que rege os painéis fotovoltaicos. Tem na base um pedaço de silício que gera elétrons após incidência da luz gerando carga elétrica (Figura 2.13 e Figura 2.14).

A grande diferença entre os dois tipos de sensores está na forma como são tratados e lidas as cargas elétricas.

Nos sensores CCD, a carga é transportada ao longo do sensor (conjunto de pixels) e lida num dos seus cantos. Após a captação ou integração, são utilizados amplificadores e ADC's, que convertem os níveis de tensão em valores binários e desta forma, tornam uma imagem analógica numa imagem digital legível pelo sistema de análise.

Na maioria dos sensores CMOS, há, em cada *pixel* vários transístores que amplificam e transferem a carga usando algo semelhante aos tradicionais fios. A etapa seguinte, criação de uma imagem digital é parecida com a levada a cabo no sensores CCD.

Consoante a aplicação, poder-se-á optar por um tipo de sensor ou por outro. Os sensores CCD são sensores mais complexos de conceber e por esse motivo mais dispendiosos, obtém imagens de maior qualidade, fiabilidade e baixo "ruído", são mais sensíveis à luz e consomem mais energia.

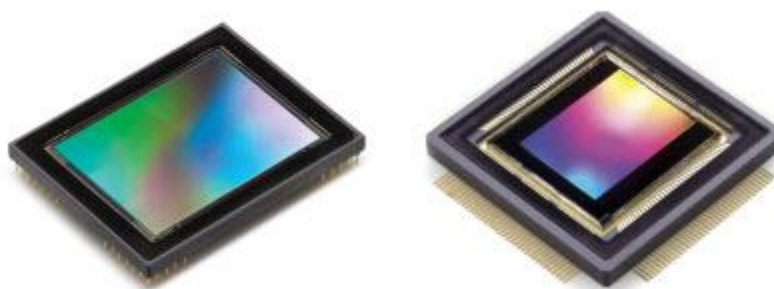


Figura 2.14 – Sensor CCD (esquerda) e sensor CMOS (direita) [9].

Quanto aos meios de comunicação atualmente utilizados, são vários, com diferentes características e capacidades, selecionados pelos fabricantes de acordo com a velocidade e qualidade das imagens a adquirir pelas câmaras que constroem. Para câmaras com menor qualidade e velocidade é utilizada a comunicação por USB e nos dispositivos mais antigos é utilizada comunicação de vídeo analógica (cabo coaxial). Para câmaras intermédias, é utilizado o *FireWire* ou *IEEE 1394 a/b* e finalmente para as câmaras mais evoluídas que conseguem criar uma cadência de imagens muito elevada ou produzir imagens com qualidades e resoluções adequadas, são aplicados comunicações em *Gigabit Ethernet*, *Dual Gigabit Ethernet* ou *Camara Link*.



Figura 2.15 – Câmera de 29 Mega Pixéis com comunicação em *Dual Gigabit Ethernet*, Allied.

As câmaras com *interface* digital (Figura 2.15), face às convencionais, permitem parametrizar grande parte dos intervenientes na aquisição, são mais robustas, e geralmente tem sinais de *interface* com o exterior como por exemplo entradas digitais por onde poderá ser dada a ordem de captura (*trigger*), saídas digitais para envio de informação, entre outras.

2.2.4.2 Sistema Óticos

Existem vários tipos de sistemas óticos aplicáveis a diferentes situações (Figura 2.16). A sua construção é meticulosa, com um grau de complexidade elevada e é por esse motivo que tem preços por vezes tão ou mais altos que as próprias câmaras.

Os tipos de lentes mais utilizados são:

- Telecêntrica – Muito utilizada para medições pois tem uma baixa distorção da imagem;
- Lente micro – Para objetos muito pequenos;
- Lente macro – Para objetos pequenos mas com grande detalhe;
- Lente normal – Imagem similar à visualizada a olho nu;
- Lente *zoom* – Com capacidade de variar a distância focal.



Figura 2.16 – Exemplo de três lentes macro, μ Tron.

2.2.4.3 Sistemas de Iluminação

Os sistemas de iluminação têm como função gerar a luz que irá incidir sobre o objeto de interesse que por sua vez a irá refletir para a câmara. Existem diversas técnicas de iluminação que variam entre si na fonte luminosa, intensidade, direção, entre outras. Muitas vezes a seleção do sistema de iluminação é difícil e morosa pois tudo depende do material em que é composto o objeto, a característica que se pretende visualizar, o local da captação, as características do meio, etc.

As técnicas de iluminação mais utilizadas são:

- Frontal;
- Lateral;
- *Darkfield*;
- *Backlight*;
- Coaxial;

- Difusa;
- Telecêntrica.

Estas têm geralmente como emissores de luz *lasers*, LED's (Figura 2.17), lâmpadas de halogênio ou lâmpadas fluorescentes compactas de alta frequência.

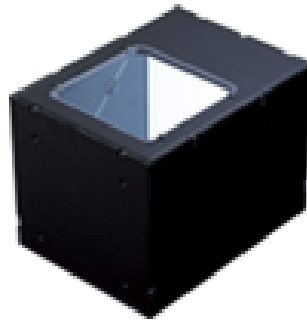


Figura 2.17 – Iluminação LED coaxial, CCS.

2.2.5 Unidades de Processamento

As unidades de processamento ou unidades de análise contêm o *software* que se irá encarregar de analisar a imagem obtida, avaliar e dar o *feedback*. Em algumas aplicações, este sistema dá também o comando às unidades de aquisição para fazerem o trabalho. Geralmente são constituídos por computadores embora haja soluções específicas para o efeito.

Atualmente a criação de *software* é mais simplificada, tendo-se assistido nos últimos anos ao aparecimento de novas bibliotecas, ambientes simplificados de desenvolvimento entre outras tecnologias, entre estas o poderoso mas simples *Sherlock* e as completas bibliotecas *Halcon*.

2.2.5.1 *Sherlock*

O *Sherlock* é um *software* de *interface* gráfica criado pela americana *Teledyne Dalsa*, projetado para visão industrial assistida por computador, baseado em ambiente *Windows*, especialmente destinado a simplificar o desenvolvimento e a implementação de sistemas de visão industrial. Incorpora ferramentas para as mais variadas situações e, após captadas as imagens do processo, o princípio da operação é baseado na definição de áreas de interesse designadas por *ROI*, às quais se podem aplicar as diferentes ferramentas.

Permite organizar graficamente toda a estratégia de visão que se pretende aplicar via *drag-and-drop*, criar algoritmos de visão personalizados, tem a possibilidade de incorporar *scripts* de código (em *javascript*), possui *interface* para um grande leque de câmaras industriais, permite efetuar *debug* ao programa criado, entre outras vantagens e potencialidades.

O fabricante, disponibiliza APIs que permitem integração da aplicação criada em ambientes de programação em alto nível .NET como C# e Visual Basic .Net.

2.2.5.2 *Bibliotecas Halcon*

O *Halcon* é basicamente um conjunto de poderosas e avançadas bibliotecas para visão industrial assistida por computador. Possui também um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) de seu nome *HDevelop* que permite desenvolver de forma rápida e interativa, com uma linguagem própria, um programa de inspeção. Tem associado o *HDevEngine* que permite executar os mesmos comandos mas desta vez integrados em aplicações desenvolvidas em diversas linguagens:

- C;
- C++;
- C#;

- *Visual Basic .NET*;
- *Delphi*.

As aplicações desenvolvidas no *HDevelop* podem ser facilmente exportadas e integradas numa das linguagens anteriormente referidas.

Suporta a plataforma *multi-core* SSE2 e AVX bem como o parcial processamento na GPU permitindo a construção de aplicações com um excelente desempenho. Está disponível para integração em ambientes *Windows*, *Linux* e *Mac OS* quer em plataformas 32, quer plataformas 64 bits.

O *Halcon* garante a independência de *hardware*, fornecendo *interfaces* para centenas de câmaras industriais, também para padrões bem como para *GenICam*, *GigE Vision*, e *IIDC 1394*.

A arquitetura aberta do *Halcon* permite aceder a estruturas de dados definidas e, assim, integrá-lo com outros componentes de *software*, como uma *interface* de utilizador ou controle de processo.

O *software Halcon* tem sido utilizado pelo autor, para criar aplicações de controlo de qualidade na indústria automóvel nomeadamente na inspeção de anéis de pistão automóvel.

3 Lavadora de Anéis Automóvel

3.1 Enquadramento

Durante o processo de fabrico de determinados componentes, sejam eles metálicos ou não, é necessário limpá-los de forma exemplar para que possam avançar na etapa de fabrico, ou para que possam conhecer o seu destino final. Para tal existem no mercado vários tipos de máquinas de lavar (lavadoras) com processos distintos entre os quais se destacam as:

- Máquinas com lavagem a alta pressão;
- Máquinas de cubas sequenciais com recurso a sistemas vibratórios.

Estes dois sistemas são os mais utilizados na limpeza de anéis para motores, sendo sobre estes que o presente relatório se vai debruçar.

As máquinas de lavar a alta pressão, geralmente suportam apenas uma carga, tal como o nome indica, limpa o conteúdo através da projeção de uma mistura de água com detergente a grandes pressões, existindo no seu interior um conjunto de expressores que projetam a mistura contra as peças em limpeza. Geralmente, após lavagem existe ainda uma sequência de etapas dentro da câmara entre as quais a secagem.

As máquinas de lavar com cubas sequenciais têm, como o próprio nome indica uma sequência de cubas com diferentes finalidades dispostas de acordo com a sequência da lavagem pretendida. Desta forma é possível inserir peças para limpar na primeira cuba tendo outras já a secar, ou a passivar ou em outra qualquer tarefa (depende do processo).

Cada uma das máquinas de lavagem apresenta vantagens e desvantagens. Uma das desvantagens baseia-se no custo, pois as máquinas com lavagem a alta pressão requerem menos equipamento e espaço sendo mais baratas que as máquinas de cubas sequenciais. Contudo, nos testes realizados na indústria, as máquinas de cubas sequenciais provaram ser mais eficientes, versáteis e produtivas uma vez que permitem lavar mais produtos em menos tempo.

No projeto que vai ser exposto um pouco mais à frente, o principal objetivo consiste em lavar anéis de pistão. Para a sua concretização optou-se por construir uma máquina de lavar com cubas sequenciais.

Uma vez que o programa de algumas funções é demasiado extenso, será colocado em anexo.

3.2 Anéis de Pistão

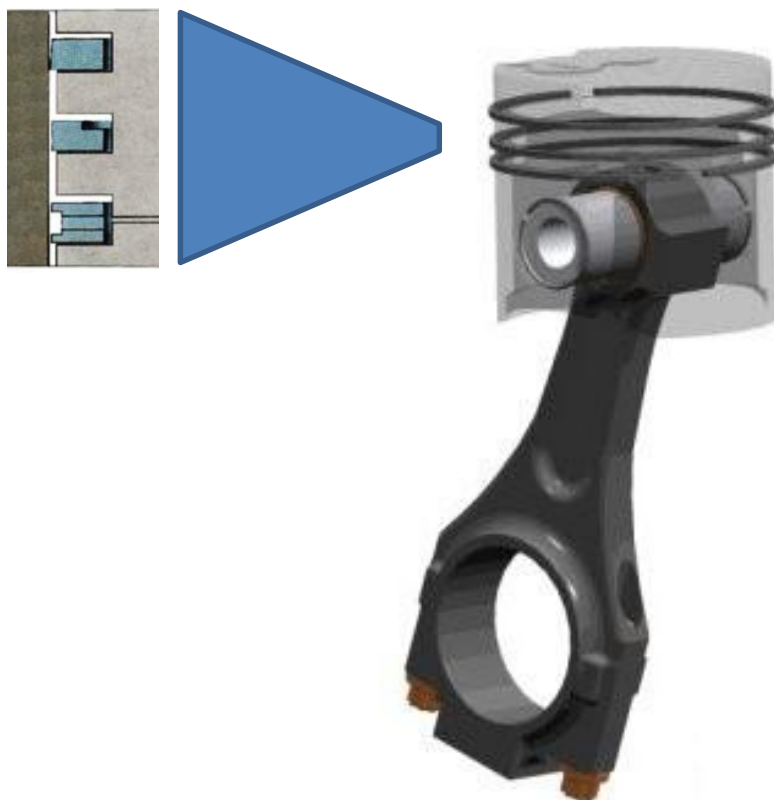


Figura 3.1 – Conjunto composto por uma biela, pistão e os respectivos segmentos [19 e 20].

Os anéis de pistão (ver Figura 3.2) também designados por anéis elásticos, ou mais vulgarmente por segmentos são componentes muito importantes para o funcionamento correto de um motor de combustão/explosão. Tal como a Figura 3.1 ilustra, estão inseridos em algumas ranhuras criadas no pistão designadas por canaletas. Cada uma destas ranhuras tem diferentes tipos de anéis pois cada um deles desempenha uma determinada função e como tal tem de ter características mecânicas diferentes. Geralmente existem três ranhuras em cada pistão.



Figura 3.2 – Exemplo de alguns tipos de anéis de pistão.

Na primeira canaleta, a mais próxima do topo do pistão e conseqüentemente da zona de explosão/combustão, são inseridos anéis de compressão que têm como função conter a pressão gerada durante a combustão/explosão do combustível, durante o segundo tempo do motor. O material de eleição para o seu fabrico é o ferro fundido modelar. Geralmente têm uma seção retangular, trapezoidal ou abaulada. Usualmente são anéis que ganham oxidação com facilidade e como tal é necessário ter alguns cuidados no seu manuseamento e no tempo que se encontram expostos ao ar sem qualquer proteção.

Na segunda canaleta, os anéis possuem duas grandes funções, ajudar o anel da primeira canaleta a reter a compressão e criar uma película de óleo quando raspa as paredes da camisa. Estes podem ser concebidos em ferro fundido, ou em aço existindo uma grande diversidade de superfícies exteriores para este tipo de anéis (perfil). Estes sofrem também alguns processos de tratamento quer de dureza quer para proteção como fosfatação, cromação ou nitruração.

Na terceira canaleta estão presentes anéis designados por raspadores de óleo e apresentam como função raspar o excesso de óleo para que os anéis colocados nas canaletas posteriores se possam deslocar com o mínimo possível de atrito evitando o seu desgaste. A constituição é semelhante à dos anéis da segunda canaleta, tendo também uma grande variedade de superfícies, sendo as mais usuais em bisel, cónicos, em degrau ou com fenda.

Tabela 3.1 – Especificações materiais de alguns anéis de pistão da Federal Mogul [19].

Material Specification Material	Minimum Bending Strength **) (N/mm ²)	Modulus of Elasticity **) 10 ³ x (N/mm ²)	Grade
GOE 61 - 18% Cr-Steel GOE 65C - 13% Cr- Steel GOE 64 - SAE 9254	Tensile strength *) 1300 1150 1020	230 210 206	Martensitic Chromium Steel Spring Steel
GOE 52 - KV1 GOE 56 - KV4	1300 1300	>150 >150	Nodular Cast Iron, unalloyed, <u>heat-treated</u>
GOE 44	800	>165	Malleable Cast Iron
GOE 32 - F14	650	130 - 160	Grey Cast Iron, alloyed, <u>heat-treated</u>
GOE 12 - STD GOE 13	350 420	85 - 115 95 - 125	Grey Cast Iron, unalloyed, pearlitic

3.3 Componentes Variados

Na presente solução existem diversos equipamentos com funções e características diferentes. Sendo assim, serão em seguida descritos os com maior ênfase que não se inserem apenas numa zona ou função da máquina.

3.3.1 Relés de Segurança

Os relés de segurança eletrónicos foram concebido para monitorizar constantemente os sinais vindos dos dispositivos de segurança e para desligar o sistema de segurança na eventualidade de

uma emergência. Podem ser relés de emergência, relés de controlo de movimento, relés de controlo de zonas ou relés de monitorização. Nesta máquina apenas existem relés de emergência e relés de controlo de zonas estando inseridos no quadro principal.

3.3.1.1 Relés de Emergência



Figura 3.3 – Relé de emergência [21].

Nesta máquina apenas existe um relé de emergência (Figura 3.3). Desempenha uma função essencial de monitorização constantemente das duas botoneiras de emergência iguais à exemplificada pela Figura 3.4, uma posicionada no quadro principal abaixo do HMI e outra posicionada na zona de descarga.



Figura 3.4 – Botoneira de emergência com dois contactos NC, Schneider.

Esta botoneira contém dois contactos normalmente fechados (NC). Se for pressionada ou se por algum motivo um condutor for danificado, interrompendo a ligação, o relé de emergência detetará e automaticamente interromperá a alimentação das saídas do PLC (saídas a relé), a alimentação das válvulas pneumáticas contidas no bloco de válvulas e os sinais de segurança do *servo drive*. Após a interrupção da alimentação pelo relé de emergência, a máquina irá parar e passará automaticamente para manual. Contudo, devido ao tipo de válvulas que foram escolhidas (válvulas retentivas), se a emergência for acionada durante um movimento pneumático este irá concluir a sua tarefa.

Para rearmar e limpar a falha, o operador terá de pressionar a botoneira de *Reset*.

3.3.1.2 Relés de Controlo de Zonas



Figura 3.5 – Relé de controlo de zonas [21].

Os relés de controlo de zonas (Figura 3.5) recebem os sinais dos sensores magnéticos (XPSDmB1132P, Figura 3.6) presentes em cada uma das portas e têm como função informar o PLC e o relé de segurança se alguma porta se encontrar aberta. Na eventualidade de o operador abrir uma porta, não poderá haver qualquer movimento por parte do transportador contudo, não será afetada mais nenhuma função da máquina.



Figura 3.6 – Interruptor magnético codificado ao modelo, Schneider.

3.3.2 Bloco de Válvulas

A construção de sistemas pneumáticos nas máquinas, consoante o grau de complexidade e a quantidade de ligações é muitas vezes uma tarefa aborrecida, complexa e confusa consumindo muito tempo. Além disso quando existia algum problema, era complicado de desvendar a sua origem e até mesmo o resolver pois existiam uma série de fios, tubos, válvulas, entre outros, que tornavam a tarefa penosa.

Tendo isto em conta, os produtores de componentes pneumáticas como a gigante japonesa SMC e a gigante alemã FESTO, desenvolveram blocos de válvulas que condensam no mesmo bloco atuadores pneumáticos (válvulas comandadas) e entradas de sinais abolindo uma infinidade de cabos. Estes sinais serão enviados/recebidos via comunicações.

Para esta máquina optou-se por uma bloco de válvulas modelar da SMC com comunicação em *PROFIBUS DP*, oito entradas digitais e doze atuadores pneumáticos similar ao representado pela Figura 3.7.



Figura 3.7 – Exemplo de uma configuração de um bloco de válvulas [22].

A sua utilização simplificou bastante o processo de montagem pois foi inserido na estrutura da mesma sendo apenas necessário enviar para o quadro elétrico dois cabos, um com alimentação de energia (24V DC) quer para o módulo em si quer para os atuadores pneumáticos e um cabo de comunicações *PROFIBUS DP*.

A inserção deste equipamento na rede e posterior aplicação no código é bastante simples. Deve-se proceder ao *download* do ficheiro de configuração GSD no *site* do fabricante e instalá-lo no *hardware*. Depois os comandos e sinais dos seus módulos são configurados como meras entradas ou saídas digitais similares às do PLC.

3.3.3 Sondas de Temperatura

Na indústria e também na vida quotidiana, a temperatura é a grandeza física que é medida com maior frequência. O conceito de temperatura está ligado à nossa noção de quente e frio.

O instrumento responsável por medir a temperatura é o termómetro e a unidade de medida definida pelo Sistema Internacional de Unidade (SI) é o Kelvin. Contudo, em Portugal e na maioria dos países da Europa, a unidade utilizada é o grau Celsius.

Na indústria existem vários tipos de termómetros, alguns elétricos, outros mecânicos com diferentes características físicas, elétricas, tempos de resposta e escalas.

Na presente aplicação, apenas foram utilizados dois tipos de termómetros, vulgarmente chamados de sondas de temperatura, os termopares e as sondas PT-100. Cada uma delas está ligada a um transmissor de temperatura universal.

3.3.3.1 PT100

As sondas de temperatura do tipo PT-100 (Figura 3.8 e Figura 3.9) estão englobadas nas chamadas termo-resistências, também conhecidas como RTD, cujo seu princípio se baseia na variação da resistência elétrica de um metal com a variação da temperatura. Embora esta variação não seja linear, para determinadas gamas de funcionamento restritas não se afasta muito da linearidade. A grande vantagem destas sondas é sem dúvida a sua simplicidade e fiabilidade. São constituídas por um núcleo de cerâmica, podendo este ser de vidro ou de outro material isolante em volta do qual se encontra enrolada a resistência, que pode ser constituída por um fio ou um filme metálico e por uma proteção.



Figura 3.8 – Sonda PT100, STE.

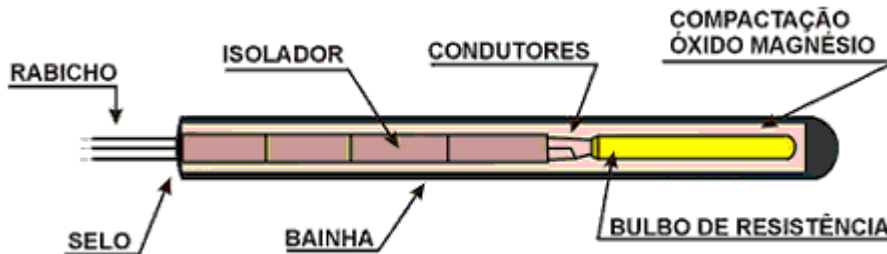


Figura 3.9 – Constituição interna de uma termo-resistência [25].

A liga metálica das sondas de temperatura PT-100 é a platina (PT → Platina) e apresenta a curva representada pela linha azul no gráfico da Figura 3.10.

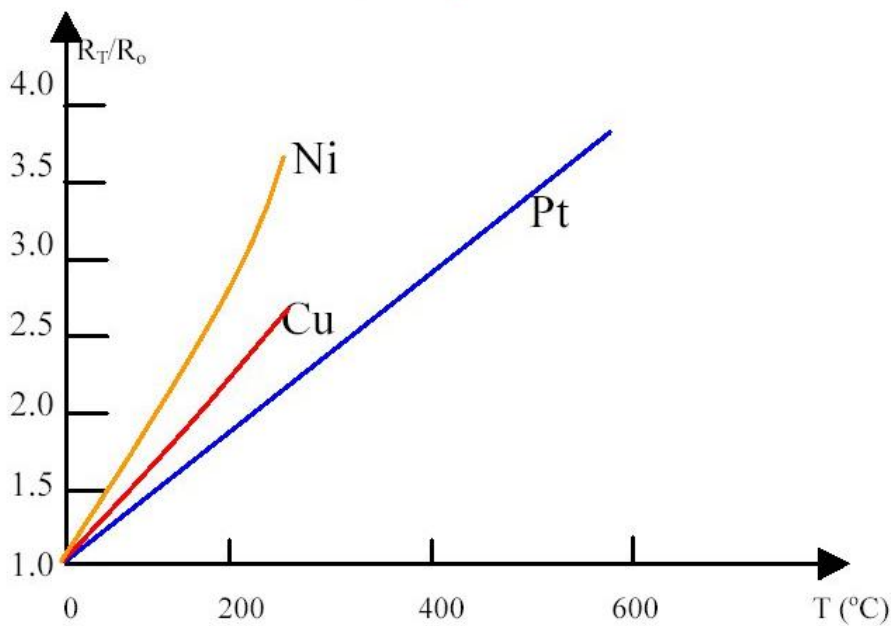


Figura 3.10 – Curvas Características das termo-resistências [24].

Para obter a resistência em função da temperatura utiliza-se a seguinte aproximação polinomial:

$$R = R_0(1 + \gamma_1 T + \gamma_2 T^2 + \dots + \gamma_n T^n)$$

Onde:

- $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ – Coeficientes de temperatura da termo-resistência;
- T – Temperatura em graus Celcius;
- R – Resistência do elemento à temperatura;
- R_0 – Resistência do elemento à temperatura de referência (normalmente 0°C).

Para a sonda temperatura em questão, PT-100, o valor da resistência do elemento à temperatura de referência é de 100Ω e para esta aplicação foram utilizadas sondas a três fios, estando aplicados nas cubas de lavagem, enxaguamento e passivação.

3.3.3.2 Termopar

Um termopar ou termoelétrico (Figura 3.11, Figura 3.12 e Figura 3.13) é um sensor de temperatura formado pela junção de dois materiais condutores ou semicondutores diferentes soldados nas suas extremidades. São sensores ativos pois geram a sua própria f.e.m., não sendo portanto necessário alimentá-los. O conversor de sinal apenas terá como tarefa converter este valor de tensão para um valor de temperatura normalizado.

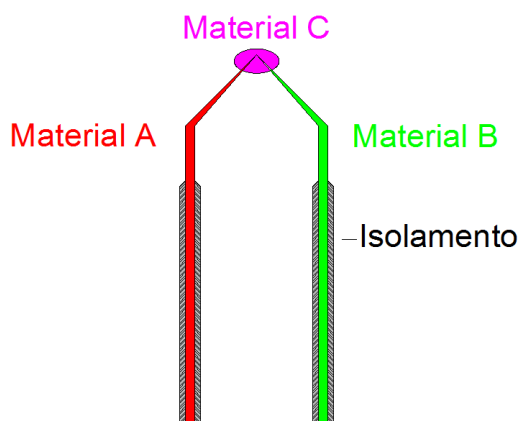


Figura 3.11 – Detalhe da solda de um termopar [24].

Um termopar baseia-se em algumas leis da eletricidade chamadas efeitos termoelétricos:

- Efeito de Seebeck;
- Efeito de Thompson;
- Efeito de Peltier.

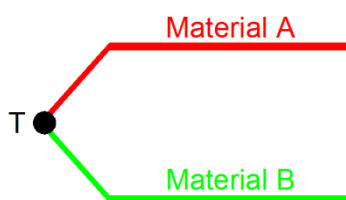


Figura 3.13 – Junção simples [24].

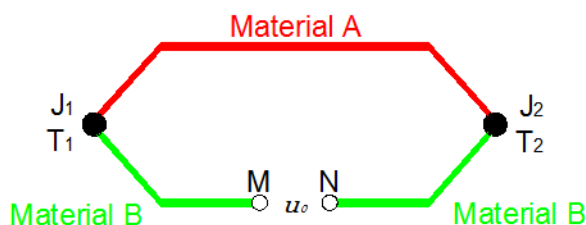


Figura 3.12 – Junção dupla [24].

O efeito de Seebeck (ou de contato) consiste no aparecimento de uma f.e.m. na junção entre o material A e B, a uma temperatura uniforme T , cujo valor depende dos materiais e da sua temperatura:

$$Q_T = \sigma I \Delta T$$

Onde:

- Q_T – Quantidade de calor gerada/absorvida por ação da corrente I com determinada diferença de temperatura;
- σ – Coeficiente de Thompson;
- I – Corrente elétrica aplicada no material;
- ΔT – Diferença de temperatura.

A Figura 3.14 representa um pedaço de um condutor elétrico em que A e B se encontram às temperaturas T_1 e T_2 . Considerando R a resistência elétrica do pedaço AB e U_1 e U_2 os potenciais dos pontos A e B, tem-se:

$$I = \frac{(U_1 - U_2)}{R}$$

$$Q_T = \sigma I (T_1 - T_2)$$

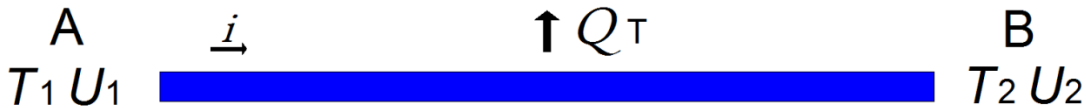


Figura 3.14 – Transferência de calor por efeito de Thompson [24].

O funcionamento de um termopar tem na sua base estes três conceitos pois o efeito de Seebeck origina a f.e.m. a partir da qual se podem medir temperatura e é para esse efeito que entram os dois restantes métodos na absorção/criação de calor. É claro que podem surgir erros na medição da temperatura sendo necessário minimizá-los.

Nas sondas de temperatura baseadas em termopares, a junção será sempre dupla como a exemplificada na Figura 3.12. A temperatura T_1 será a temperatura a medir e T_2 a temperatura de referência, geralmente a 0°C . É utilizada esta configuração para evitar possíveis tensões de contacto ao ligar ao conversor de sinal uma vez que os terminais M e N são do mesmo material.

Considerando a referência 0°C e uma configuração igual à exemplificada pela Figura 3.12, a tensão aos terminais M e N é dada pelo gráfico contido pela Figura 3.15.

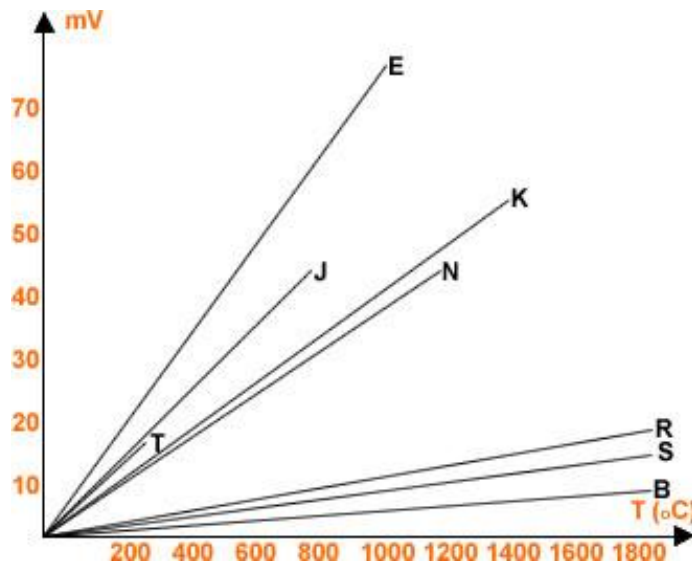


Figura 3.15 – Gráfico da f.e.m. dos diversos tipos de termopar [24].

Na presente aplicação, foram aplicados termopares do tipo J sendo utilizados para medir a temperatura nas cubas de secagem.

3.3.3.3 Transmissores de Temperatura

Os sinais recebidos de qualquer termómetro elétrico sem serem convertidos, praticamente não têm utilidade e como tal é necessário convertê-los para grandezas que outros equipamentos possam ler, como é o caso do PLC. Este apenas tem capacidade para receber sinais analógicos em tensão

(0-10V DC) ou em corrente (0mA- 20mA ou 4mA-20mA). É essa a função de um transmissor de temperatura que pode estar inserido no cabeçote da sonda ou não.

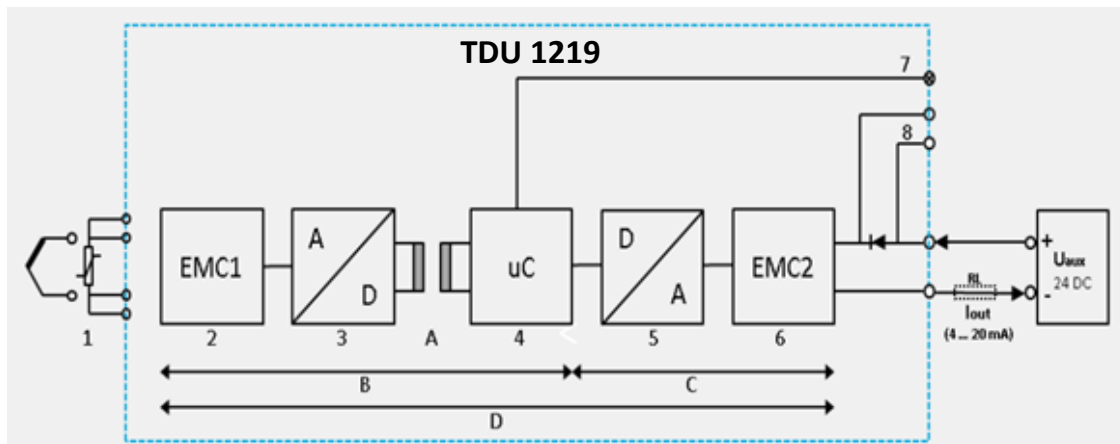
Na máquina criada, os transmissores estão inseridos no quadro mais próximo de cada uma das sondas de temperatura.

Os transmissores escolhidos são desenvolvidos pela portuguesa Tekon, Figura 3.16, e abrangem uma grande gama de sensores de temperatura desde PT100, PT500, PT1000, todos termopares *standard* existentes no mercado e como espetável tem a função de ohmímetro e de voltímetro. Convertem o valor fornecido/medido no sensor para um valor em corrente de 4mA a 20mA interpretado pela maioria dos PLC existentes no mercado.



Figura 3.16 – Transmissor de temperatura TDU1219 [26].

Internamente é composto por um conjunto de circuitos eletrónicos, como está representado na Figura 3.17 e basicamente lê o sinal disponibilizado pelo sensor de temperatura, converte-o num conversor analógico-digital para um sinal digital, processa-o no microcontrolador corrigindo-o de acordo com a curva característica do sensor para o qual está parametrizado e realiza o cálculo do respetivo valor que devera por na saída analógica. Em seguida, através de um conversor digital-analógico, o sinal é convertido para um sinal em corrente de 4mA a 20mA.



- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Sensor de temperatura (RTD,TC,Ω,mV); 2. Módulo de proteção das entradas; 3. Conversor Analógico-Digital (16 bits); 4. Microcontrolador; 5. Conversor Digital-Analógico (16 bits); 6. Módulo de proteção da saída; 7. LED sinalizador do estado da operação; 8. Terminais de teste. | <p>RL – Carga do loop;
 U_{aux} – Fonte de alimentação;
 I_{out} – Corrente de saída;
 A – Isolamento galvânico;
 B – Precisão de medição digital;
 C – Precisão da medição digital/
 analógica;
 D – Precisão de medição global.</p> |
|--|---|

Figura 3.17 – Esquema interno de um TDU1219 [26].

É um equipamento que permite a fácil integração em quadros elétricos pois possui um sistema de encaixe para calha Din, tem uma excelente relação qualidade/preço, e é facilmente parametrizável através de uma ligação USB e de um computador com o *software Tekon Configurator* instalado (Figura 3.18).

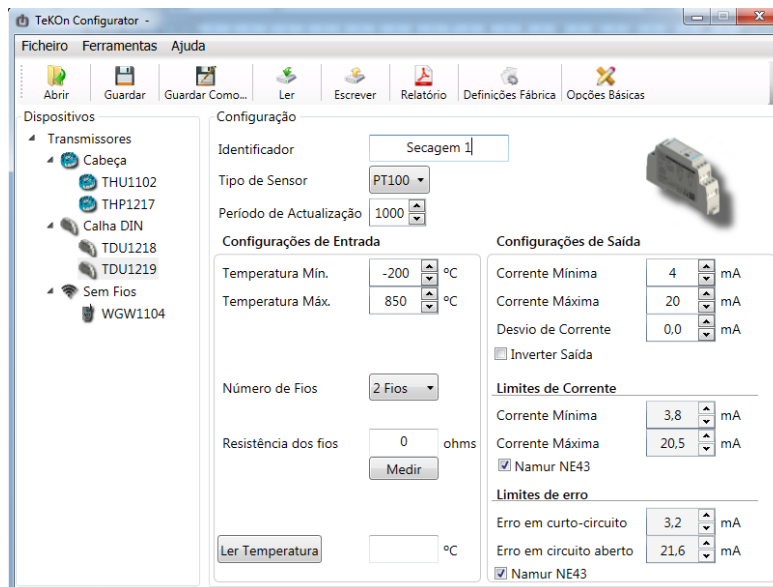


Figura 3.18 – Software de configuração dos transmissores de temperatura Tekon.

Através do *Tekon Configurator* (Figura 3.18) é possível parametrizar as principais características quer do lado da entrada (sensor) quer do lado da saída (PLC). É também possível efetuar as banais operações. Este *software* foi desenvolvido para todos os transmissores de temperatura da marca e, ao contrário da maioria dos fabricantes de equipamentos para automação, é gratuito.

3.4 Objetivos e Requisitos

Existem no mercado várias empresas que se dedicam quase exclusivamente à produção de máquinas industriais para este fim. No entanto, o seu custo é bastante avultado.

Sendo assim, foi necessário desenvolver uma máquina que preenchesse os seguintes requisitos:

- Efetuar uma lavagem total;
- Conter uma cuba de passivação;
- À saída, todos os anéis devem estar bem secos;
- Permitir ter o maior número possível de cestos nas cubas para otimizar o processo;
- O seu custo de produção ser mais reduzido do que a concorrência.

Um dos grandes problemas na limpeza de anéis de pistão é o magnetismo dos anéis e a consequente dificuldade em retirar todo o óleo e restos metálicos resultantes da maquinação pois são colocados em varas sem espessamento como mostra a Figura 3.19.

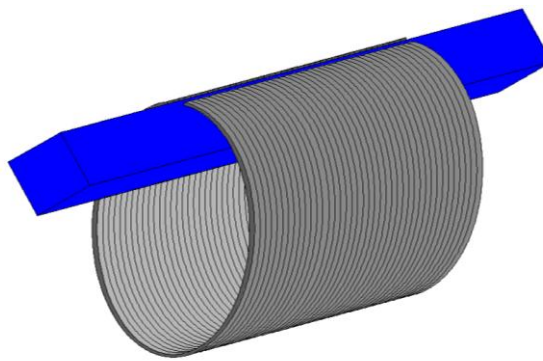


Figura 3.19 – Exemplificação da disposição dos anéis numa vara.

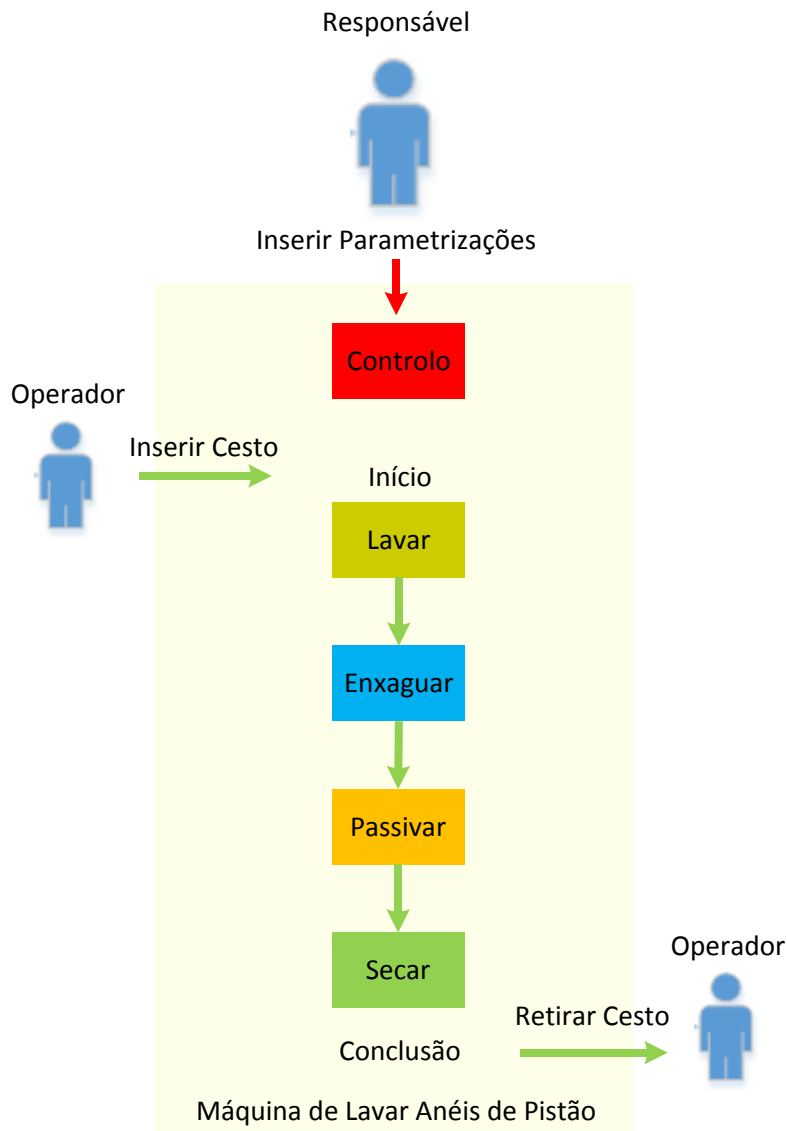


Figura 3.20 – Fluxograma básico da Máquina de Lavar Anéis de Pistão.

O funcionamento geral da máquina pretendido encontra-se descrito na Figura 3.20, bem como a interação com os operadores.

3.5 Constituição Mecânica

Tendo em atenção os requisitos mencionados anteriormente, foi projetada uma máquina com as seguintes características mecânicas:

- Seis cubas (tanques):
 - Duas cubas de lavagem;
 - Uma cuba de enxaguamento (apenas com água limpa);
 - Uma cuba de passivação;
 - Duas cubas de secagem;
- No início da linha está colocada a zona de carga de cestos e no outro extremo a zona de descarga;
- O transporte será assegurado por um transportador posicionado sobre as cubras;
- O eixo horizontal será movido por um servo motor para garantir precisão na posição;
- O eixo vertical será movido pneumáticamente;
- Às cubas de lavagem estão associados sistemas de filtragem;

- Toda a estrutura foi construída em aço inoxidável Austenítico e perfil de alumínio.



Figura 3.21 – Lavadora de Anéis Automóvel (estrutura base).

3.6 Constituição Elétrica e Comunicações

O sistema elétrico desta máquina contém inúmeros componentes elétricos quer dentro dos quadros quer dispersos pela máquina.

3.6.1 Quadros Elétricos

Uma vez que estamos perante uma máquina com aproximadamente seis metros de comprimento, optou-se por inserir dois quadros elétricos na máquina. Um quadro principal de dimensões consideráveis e outro de pequenas dimensões.

O quadro principal (Figura 3.22) está próximo da zona de carregamento dos cestos e alberga:

- Entrada de energia da máquina e respetivo corte geral;
- Disjuntores diferenciais;
- Disjuntores magneto-térmicos;
- PLC e respetivas expansões;
- Fonte de alimentação 24V DC;
- *Servo Driver*;
- HMI;
- Porta fusíveis e respetivos fusíveis;
- Relés;
- Contatores;
- Disjuntores motor (semelhantes aos disjuntores magneto-térmicos);
- Conversores de sondas PT100 para corrente (4mA a 20mA).

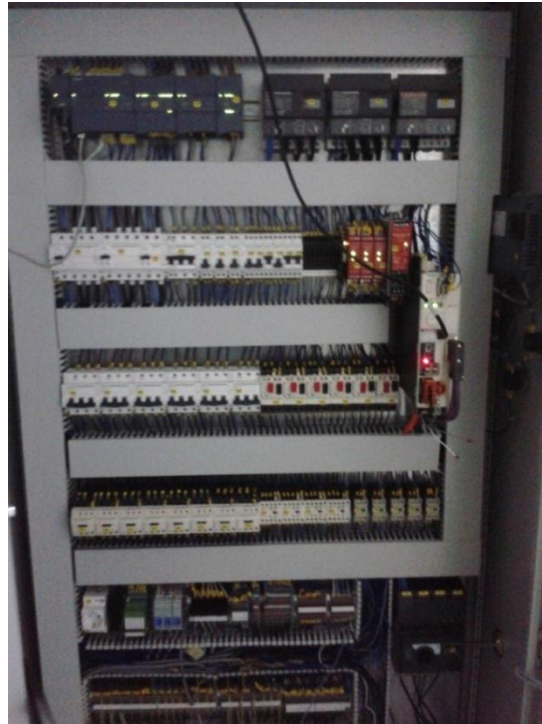


Figura 3.22 – Quadro elétrico principal

O segundo quadro (Figura 3.23) também designado por quadro auxiliar está inserido perto da zona de descarga tendo apenas como função receber sinais dos diversos sensores sondas das três últimas cubas. Contém também os conversores inerentes às sondas que a ele chegam.

Os níveis de tensão presentes são:

- 24V DC – Tensão de comando e controlo.
- 240V AC – Para alimentação de componentes monofásicos.
- 400V AC – Para alimentação de equipamentos trifásicos.



Figura 3.23 – Quadro elétrico auxiliar.

3.6.2 Esquema Elétrico

O esquema elétrico foi desenvolvido no conhecido *software EPLAN Electric P8*. A sua disposição tem como principal objetivo ser de simples compreensão para que sejam mais fáceis de diagnosticar problemas elétricos e resolvê-los. Nele estão contidos:

- Lista de peças;
- Disposição dos diversos equipamentos dentro dos quadros;
- Diagrama de ligações elétricas dentro do quadro e mapeamento de bornos para ligações com o exterior;
- Diagrama de comunicações.

Este esquema elétrico pode ser consultado nos anexos deste relatório.

3.6.3 Ligações

Nos dias que correm é normal encontrar-se em máquinas pequenas ou grandes, circuitos de comunicação sejam eles em *PROFIBUS*, *CANopen* ou outro qualquer protocolo similar, com o objetivo de minimizar a quantidade de fios dispersos pela estrutura. A presente máquina não foge à regra e tem no seu interior duas redes de comunicação industrial, o *PROFIBUS DP* e o *PROFINET*.

Na Figura 3.24 está um diagrama que mostra onde estão inseridas essas comunicações e qual a sua finalidade.

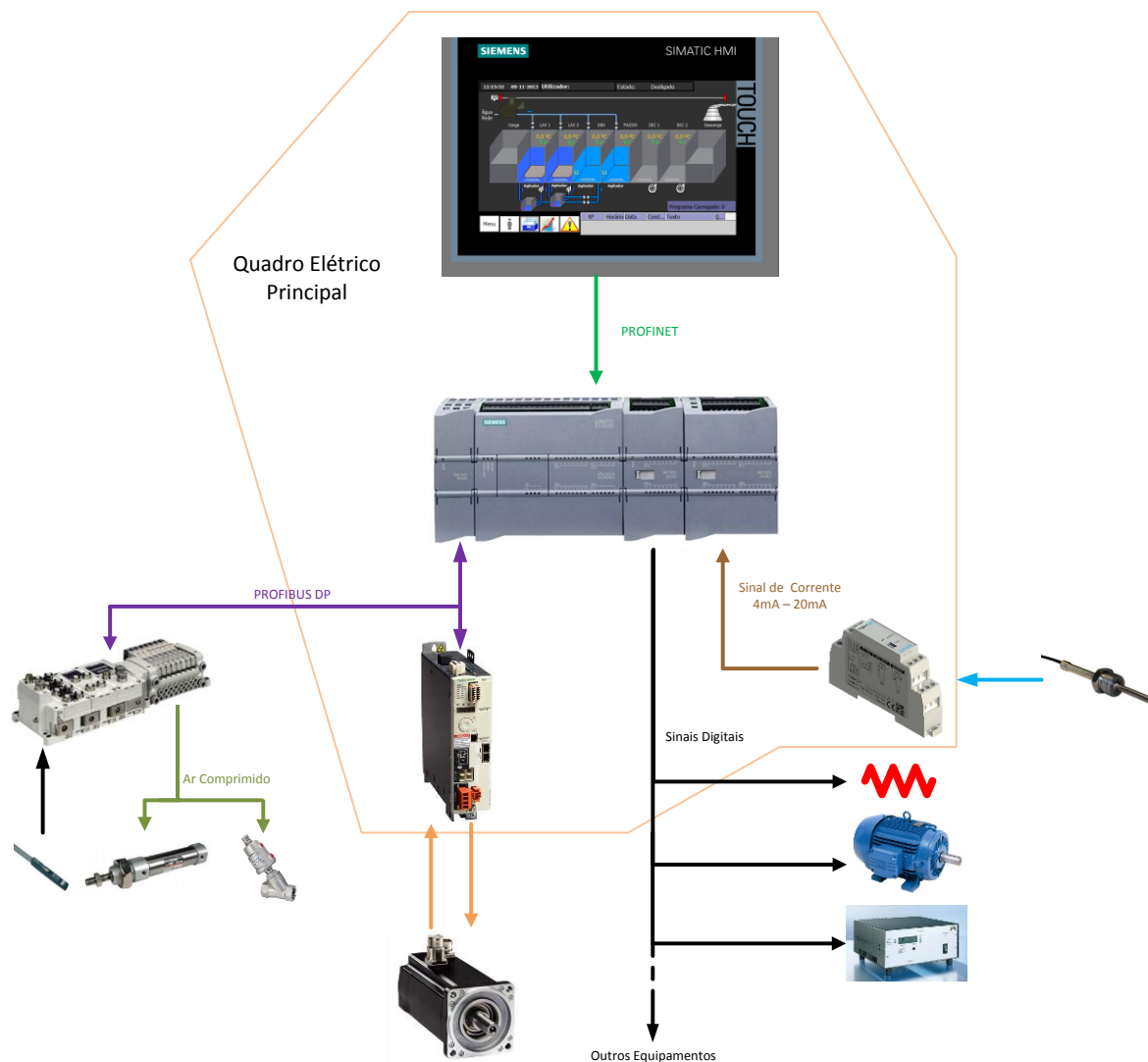


Figura 3.24 – Diagrama de comunicações e ligações entre os principais componentes. As funcionalidades do *servo drive* e do respetivo *servomotor* são descritos na secção 3.10.

3.7 Receitas

Na indústria, para facilitar a parametrização de sistemas e não só, foram criadas as chamadas receitas. Estas funcionam como um banal arquivo ao qual está associado um nome único contendo determinadas parametrizações para o sistema ao qual pertence. Desta forma, após concluído o trabalho minucioso de criar e configurar as receitas, basta seleccionar a receita que se pretende e descarregar para o sistema. Outra vantagem é o facto de se poder limitar a ação dos operadores, não os deixando parametrizar, apenas carregar para a máquina. Os operadores com permissão, além de criar também podem modificar e até mesmo apagar.

Os dados ficam guardados na memória da consola (HMI) sendo apenas descarregado para a memória retentiva do PLC os dados com que se pretende ter a máquina em funcionamento.

Na solução criada, foi limitado o número de receitas para apenas cinco e renomeado para programas a fim de simplificar a compreensão e manuseamento por parte dos operadores.

A receita contém:

- Ligar/desligar lavagem (booleana);
- Ligar/desligar enxaguamento (booleana);
- Ligar/desligar passivação (booleana);
- Ligar/desligar secagem (booleana);
- Duração da lavagem (segundos);
- Duração do enxaguamento (segundos);
- Duração da passivação (segundos);
- Duração da secagem (segundos);
- Atraso arranque dos ultrassons (segundos).

São estes os parâmetros que vão mudar de lavagem para lavagem estando diretamente relacionados com o tipo de anel, as suas características físicas e a quantidade de sujidade associada.

3.8 Gestor de Cestos

Quando a máquina foi idealizada, para poupar algum dinheiro foi abandonada a ideia de colocar identificadores nos cestos e os respetivos leitores no suporte para cestos do transportador e nos suportes inseridos nas cubas. A falta deste sistema obrigou à criação de um sistema substituto que permitisse gerir eficazmente a movimentação dos cestos entre posições. Foi então que surgiu a ideia de virtualmente criar uma identificação numérica incremental para os sucessivos cestos inseridos na zona de carregamento, funcionando essencialmente como um identificador e simultaneamente como um simples contador. Basicamente, quando um cesto é inserido na zona de carregamento, é-lhe atribuído um número com base na sua ordem de chegada, número esse que o irá acompanhar até ao fim do seu percurso. Além da identificação numérica, é-lhe atribuído um índice de um a sete que corresponde à etapa/cuba seguinte. Esta atribuição é dada com base na receita descarregada (etapas ativas) e com a disponibilidade das cubas, quando redundantes como é o caso das cubas de secagem e de lavagem. A cada posição está atribuída uma linha da tabela que tem por função guardar a identificação do cesto, a etapa seguinte e o tempo restante para a conclusão da etapa respetiva, ou seja, à linha 0 estão associados os dados do cesto na zona de carregamento, à linha 1 estão associados os dados do cesto na cuba de lavagem um e assim sucessivamente até à zona de descarga que será a linha número sete. Nas posições zero e sete, o tempo restante para a finalização da etapa é desprezado uma vez que não tem qualquer utilidade.

Os eventos que desencadeiam a limpeza da linha e a inserção dos dados são gerados pelo transportador. Quando este retira o cesto de uma posição, os dados na respetiva linha são movidos para um tabela auxiliar indexada ao transportador que, quando chega ao destino gera uma informação de descarregamento. Quando esta surge, são movidos os dados contidos na tabela auxiliar para a linha correspondente à posição onde foi descarregado o cesto sendo em seguida substituído o valor da etapa seguinte pelo novo valor que será gerado nesse momento.

O fim da linha é a etapa sete, ou seja, a zona de descarga. Nela, como na zona de carregamento, está presente um sensor indutivo que tem como função informar a presença de cesto. Assim que este deixa de detetar, automaticamente os dados do cesto contidos pela linha associada a esta posição, são eliminados.

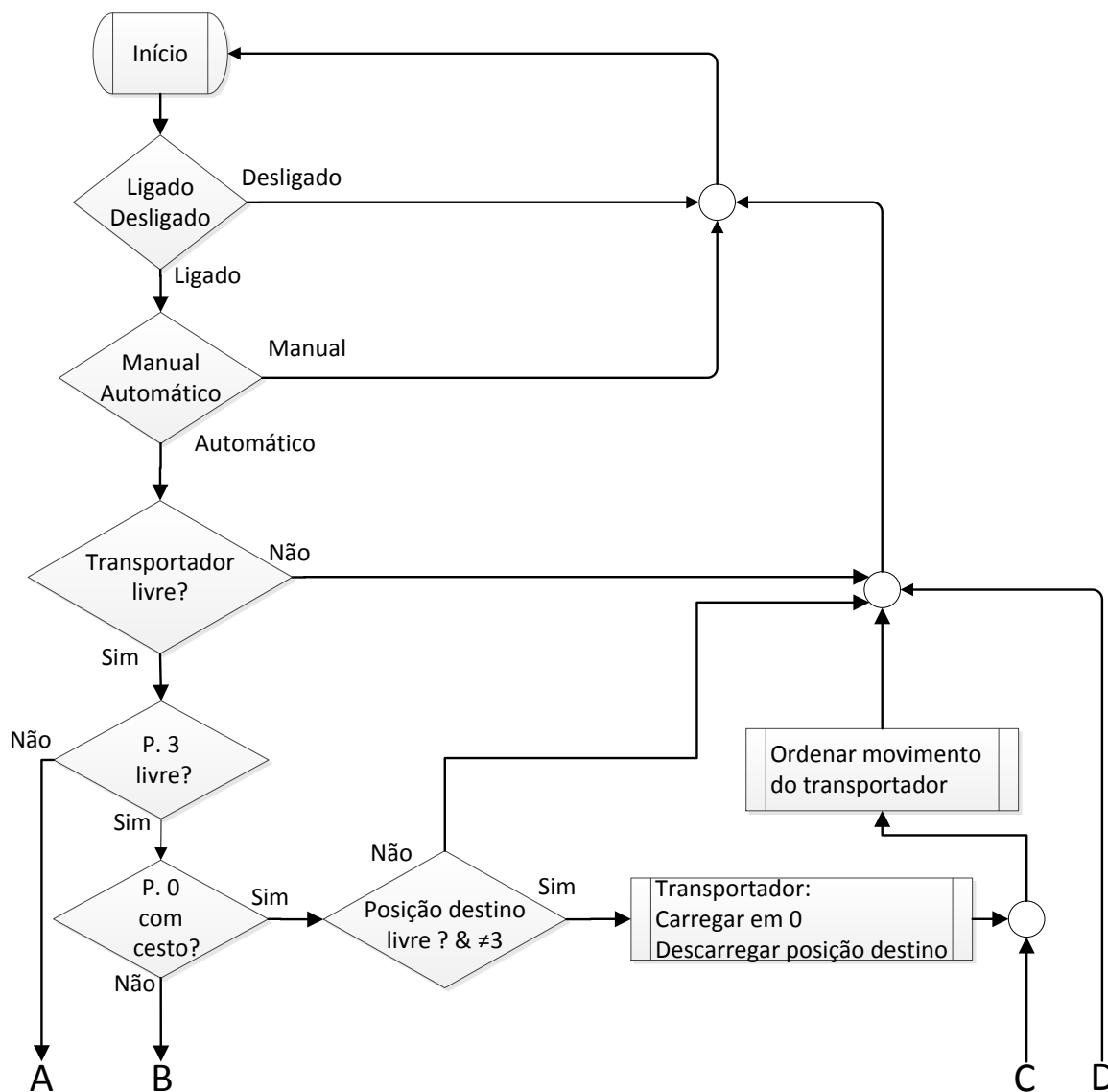
A limpeza da tabela é feita sempre que se troca de programa e obriga a que o operador se certifique que realmente todas as cubas estão vazias. Permite também a limpeza total ou parcial quando em modo manual. Escusado será dizer que se uma posição for apagada mas continuar a estar um cesto na posição respetiva, para o sistema este cesto não existe o que pode originar danos graves no sistema mecânico da máquina.

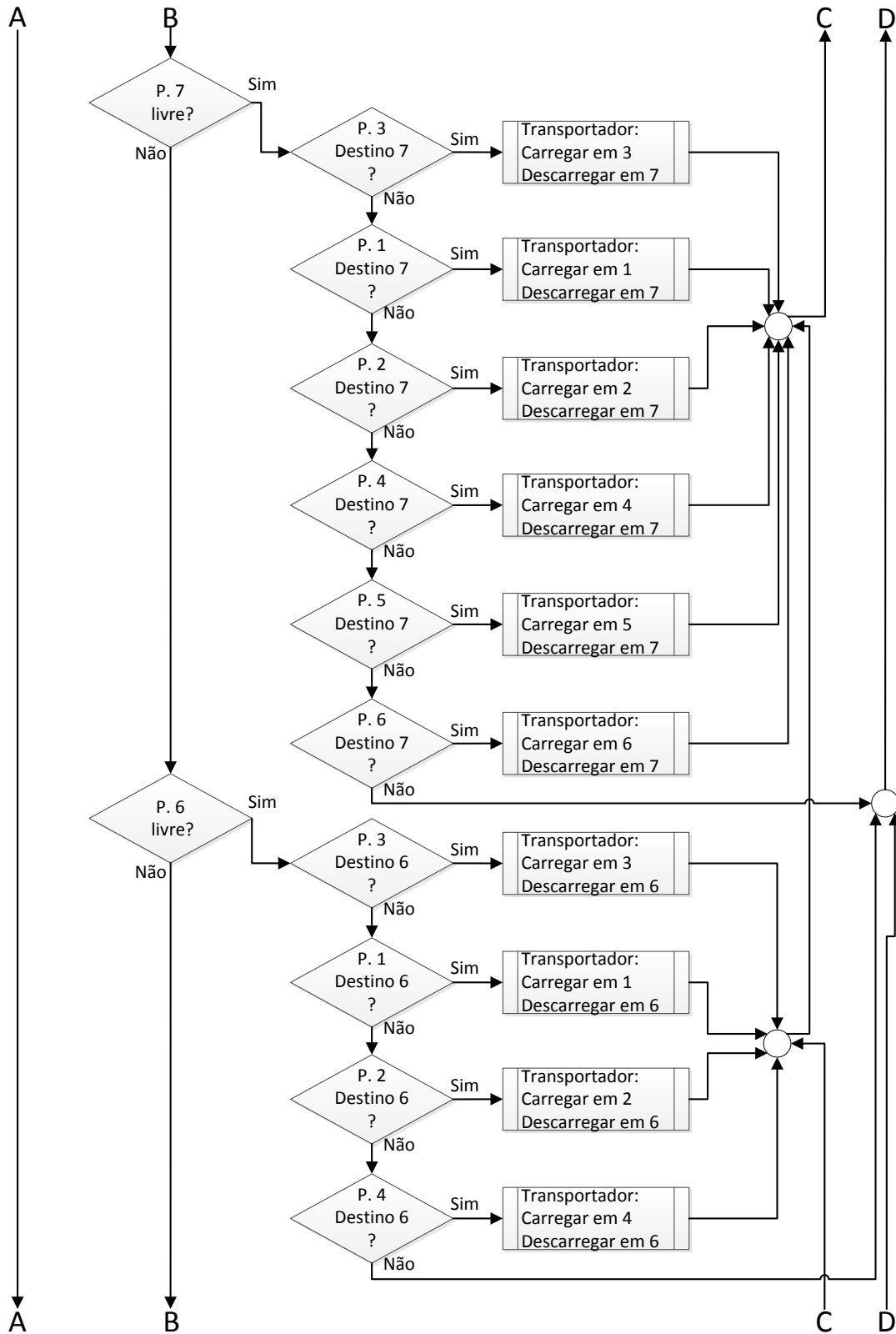
Este sistema tem algumas vantagens pois permite saber onde estão e quais são os cestos em cada posição, funciona também como um contador de cestos e permite essencialmente dinamizar o sistema. A grande desvantagem prende-se com o fato de não estar integralmente associado a sinais físicos tornando-se permissivo às falhas enunciadas no parágrafo anterior.

3.9 Gestor de Pedidos

O gestor de pedidos é basicamente o *interface* entre o gestor de cestos, as diversas posições e o transportador. Ciclicamente analisa o estado de cada posição e, se existir alguma posição com um cesto apto para ser movido (fim do ciclo de trabalho e etapa seguinte livre) e o transportador estiver apto para executar uma transladação, envia-lhe uma ordem de carregamento para a posição em causa com a posição de descarga anexada. Há também algumas restrições nas transladações relacionadas com a cuba de enxaguamento, posição três. Só é movido um cesto para esta posição se a posição seguinte estiver vazia, ou seja, só será possível carregar a posição três se a posição para a qual o cesto irá no fim de terminar o seu ciclo na posição três estiver vazio. Isto acontece porque o tempo de ciclo na posição três é muito pequeno e é a única posição que não permite funcionar como *buffer* sobre pena de os anéis nela contidos sofrerem oxidação.

No fluxograma da Figura 3.25 está uma explicação simplificada deste sistema.





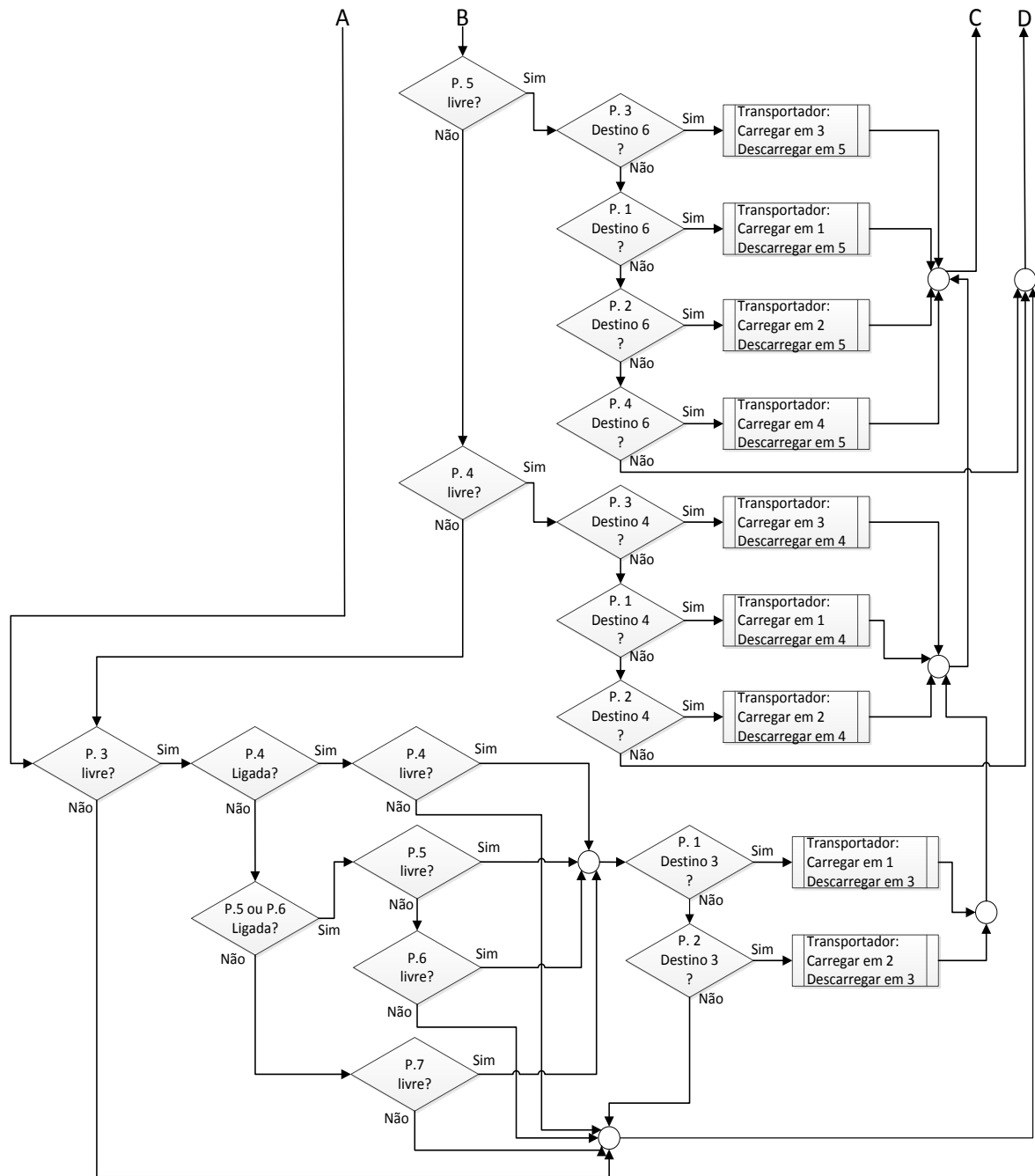


Figura 3.25 – Fluxograma do sistema de gestão de pedidos.

3.10 Transportador

Para movimentar os cestos entre as diversas posições existe um sistema de transporte que, como já foi dito anteriormente contém dois eixos, um vertical acionado pneumaticamente e um horizontal acionado por um servo (Figura 3.26).



Figura 3.26 – Transportador.

3.10.1 Eixo Horizontal

Neste eixo optou-se por utilizar um servomotor pelas seguintes razões:

- Precisão no movimento;
- Consegue manter a posição como se tivesse bloqueado;
- Após referenciado fornece um *feedback* da posição do transportador;
- Consegue imprimir no sistema uma gama vasta de velocidades (entre 1 rpm a 6000 rpm ou seja de 3,33mm/s a 20000mm/s);
- *Feedback* do consumo energético em tempo real;
- Resposta muito rápida;
- Fácil integração com PLC;
- Comunicação em *PROFIBUS DP*.

A grande desvantagem deste sistema é o custo do equipamento.

3.10.1.1 Constituintes

Este eixo é composto por uma guia horizontal posicionada sobre as cubas com um servomotor BSH1002P21A2A fabricado pela *Schneider Electric* acoplado diretamente e o seu respetivo *servo drive*, LXM32CD18N4 também fabricado pela *Schneider Electric*, inserido no quadro elétrico principal.

3.10.1.1.1 Servomotor

O *servomotor* (Figura 3.27) geralmente é um motor de corrente contínua de ímanes permanentes, ou de corrente alternada síncrona, que permite um controlo preciso da posição angular, velocidade e aceleração. Tem acoplado um *encoder* (Figura 3.28) que fornece o feedback da posição e com base nesta é controlado o seu movimento para que chegue à posição de destino ou para que a mantenha. Este controlo não é feito pelo servo mas sim pelo *servo drive* a ele associado.



Figura 3.27 – Servomotor da serie BSH [28].

Como já foi dito anteriormente, o servomotor escolhido é da série BSH, série essa que tem como principais características:

- Baixo momento de inércia;
- Grande desempenho;
- Excelente dinâmica;
- Com proteção contra sobrecarga através do sensor de temperatura integrado;
- Grande capacidade de sobrecarga;
- Gama ampla de binário;
- Enrolamentos especiais para correntes de fase baixas;
- Ligações ao motor através de conectores circulares ou por caixa de terminais;
- Comissionamento simplificado graças ao *encoder* absoluto do tipo *SinCos*;
- Necessidade de pouca manutenção.

O *encoder* incorporado neste servomotor é um *SKS36 Singleturn* semelhante ao representado na Figura 3.28. Mede um valor absoluto dentro de uma volta durante a entrada em funcionamento e continua a contar incrementalmente a partir desse ponto, ou seja, o ponto de referenciamento. A sua resolução é de 128 períodos seno/cosseno por cada 360° de rotação.

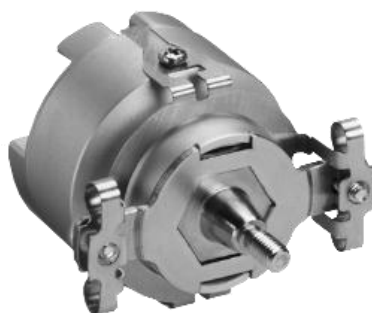


Figura 3.28 – Encoder SKS36 Singleturn [31].

3.10.1.1.2 Servo Drive

O Servo drive (Figura 3.29) é o equipamento responsável pelo controlo do servomotor (Figura 3.27). Lê o comando de posição vindo do controlador externo (geralmente um PLC), compara-o com o valor de posição enviado pelo *encoder* (Figura 3.28) e decide se deve, ou não colocar o servomotor a rodar até que o comando de posição seja satisfeito, isto é seja igual à posição atual do veio. Basicamente é um sistema em malha fechada.



Figura 3.29 – Servo drive da série Lexium 32 [29].

Em grande parte dos equipamentos utilizados na indústria, além de controlar a posição, o servo drive gere também a velocidade e a aceleração recorrendo para isso a um sofisticado algoritmo de controlo, o PID. A junção de tudo isto possibilita obter maior rapidez na chegada à posição pretendida e maior precisão nos movimentos com menor *overshooting*.

Quanto ao servo drive escolhido, é um equipamento avançado da família Lexium 32. Permite uma grande variedade de tarefas, contém uma função de segurança de extrema importância designada por STO (*Safe Torque Off*) de acordo com a norma IEC 61800-5-2 e tem à disposição um leque alargado de módulos de comunicações, a adquirir em separado, para redes CANopen/CANmotion, DeviceNet, PROFIBUS e Ethernet/IP.

A função STO, já referida anteriormente, é simplesmente o corte em segurança da alimentação ao servomotor sem que para isso seja necessário desligá-la externamente. O seu princípio de funcionamento assenta em duas entradas digitais redundantes que dão permissão à energização e movimento do servomotor quando ambas estão em nível alto (alimentadas com 24V DC) desde que essa transição seja quase simultânea (offset <1s) entre as duas entradas. Na presente aplicação, este sinal está associado ao sinal normalmente fechado (normalmente com 24V DC) do relé de emergência. Após acionado, será necessário limpar o alarme gerado através do envio de um comando por comunicações que será explicado um pouco mais à frente.

Na configuração inserida na máquina, foi necessário acoplar um módulo de comunicações PROFIBUS DP, VW3A3607, ao servo drive para que possa ser integrado na rede de comunicações interna da máquina (na Figura 3.30, o módulo de comunicações presente é destinado à integração em redes CANopen).



Figura 3.30 – Módulo de comunicações PROFIBUS para servo drives Lexium32 [30].

Através deste equipamento é possível ler e alterar parâmetros, monitorizar entradas e saídas, efetuar diagnósticos e monitorizar funções de erro.

Permite comunicar em:

- PROFIBUS DP;
- PROFIBUS PA;
- PROFIBUS FMS.

Este módulo apenas poderá funcionar como um escravo na rede PROFIBUS DP e, na presente máquina estará integrado numa rede PROFIBUS DP sendo seu mestre a expansão do PLC destinada para o efeito.

À semelhança do bloco de válvulas e de todos os equipamentos que se pretendam ligar via PROFIBUS DP a um PLC Siemens, é necessário configurá-lo no hardware. Essa configuração é feita através da instalação do ficheiro GSD correspondente e depois executar os passos normais para este tipo de processos.

Falando agora no conteúdo das mensagens trocadas entre o servo drive e o PLC. Estas são cíclicas e cada mensagem entre os dois equipamentos será composta por 26 bytes.

O formato das mensagens enviadas pelo PLC para o servo drive encontra-se representado na Figura 3.31.

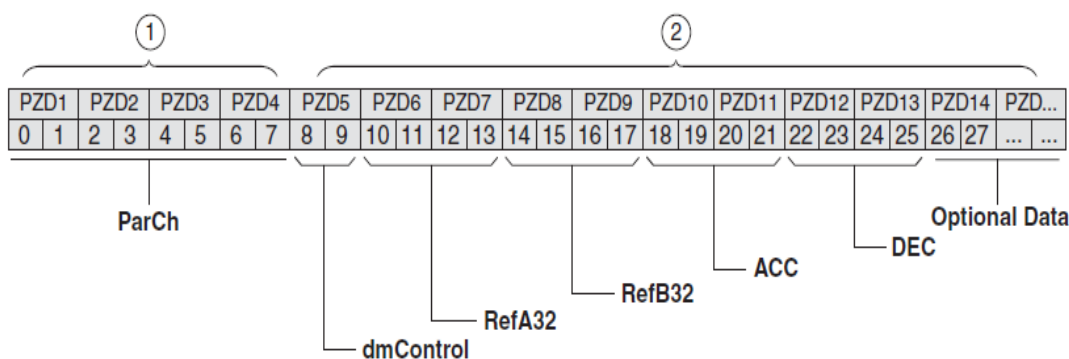


Figura 3.31 – Constituição das mensagens a ser enviadas pelo PLC [30].

Em que:

- ParCh – Conjunto de oito *bytes* destinados à leitura ou alteração de parâmetros do servo *drive*;
- dmControl – *Word* de controlo do modo de funcionamento do *drive* e de comandos diversos;
- RefA32 e RefB32 – *Words* de comando auxiliares à *word* dmControl;
- ACC – Usada para definir o valor da rampa de aceleração (RAMP_v_acc);
- DEC – Usada para definir o valor da rampa de desaceleração (RAMP_v_dec);
- *Optional Data* – Poderá ser parametrizada pelo utilizador para conter determinados parâmetros não presentes na mensagem genérica.

O formato das mensagens recebidas pelo PLC vindas do servo *drive* está representado na Figura 3.32.

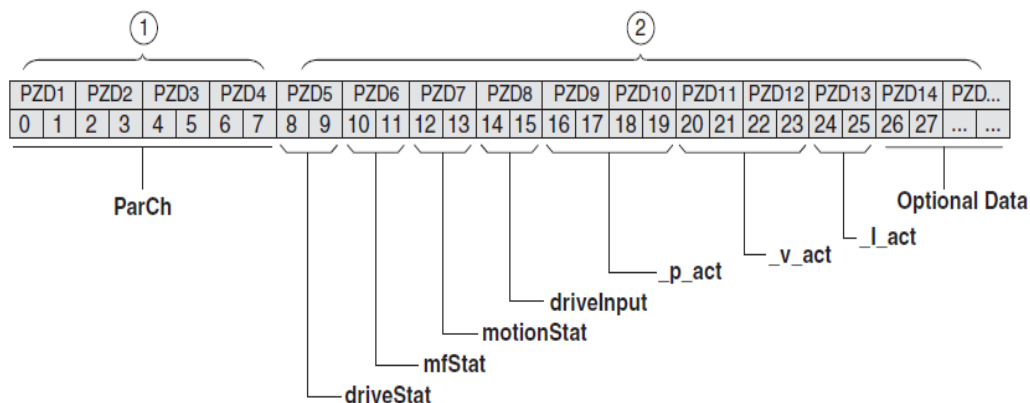


Figura 3.32 – Constituição das mensagens a ser enviada pelo servo *drive* [30].

Onde:

- ParCh – Conjunto de oito *bytes* destinados à leitura ou escrita de parâmetros solicitados pelo *master* (PLC);
- driveStat – Estado atual do servo *drive*;
- mfStat – Modo de funcionamento atual;
- motionStat – Fornece informações atuais sobre o servomotor;
- driveInput – *Feedback* atual das entradas digitais do servo *drive*;
- _p_act – Fornece a posição atual do eixo;
- _v_act – Indica qual a velocidade atual do servomotor;
- _I_act – Mostra a corrente atualmente consumida pelo servomotor;
- *Optional Data* – Poderá ser parametrizada pelo utilizador para conter determinados parâmetros não presentes na mensagem genérica.

A configuração deste equipamento é feita através de um *software* gratuito de nome *SoMove*, facilmente adquirido no site do fabricante. Nele é possível alterar todos os parâmetros, modificar escalas de trabalho, executar afinações automáticas, diagnosticar problemas, visualizar entradas digitais, modificar saídas digitais, executar comandos e por fim, claro testar as alterações efetuadas dando ordens locais ao sistema.

3.10.1.2 Modos de Funcionamento

Existem sete modos de funcionamento neste sistema, no entanto apenas serão apresentados os utilizados na presente máquina, o modo posição, o modo de referenciamento e o modo JOG.

Cada um deles é utilizado em momentos diferentes e para fins distintos embora todos eles visem, como é óbvio, movimentar o eixo.

Após finalização da configuração do *servo drive* através do *software SoMove*, o controlo do *servo drive* pode efetuar-se via rede *PROFIBUS*. A seleção do modo de funcionamento será desencadeada através de um código binário a ser enviado na *word* com o nome “dmControl” representada na Figura 3.33, para executar as alterações descritas na Tabela 3.2.

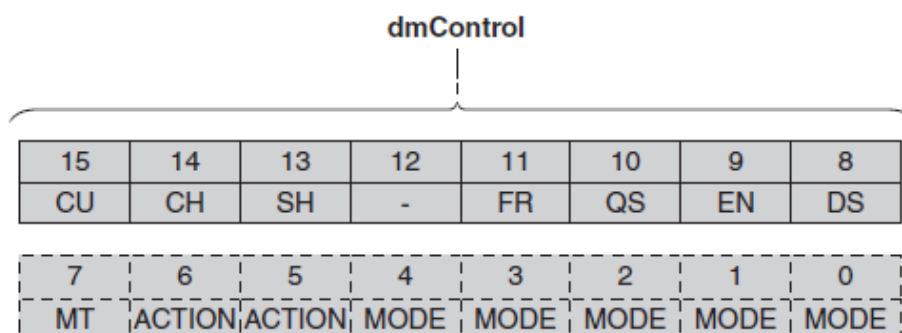


Figura 3.33 – Word “dmControl” [30].

Nesta *word*, o primeiro *byte* está relacionado com o modo de funcionamento e o segundo *byte* relacionado com ordens diversas disponíveis para serem dadas ao *servo drive*. Estas ordens são mostradas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Descrição das ações dos *bits* constituintes do segundo *byte* da *word* “dmControl” [30].

Número do Bit	Sigla	Descrição
8	DS	Desabilita a energia
9	EN	Habilita a energia
10	QA	Ordem de “Quick Stop”
11	FR	Ordem de limpeza de falhas
12	-	Reserva
13	SH	Executar “halt”
14	CH	Limpar “Halt”
15	CU	Operação ativa

No primeiro *byte*, é a conjugação binária dos cinco primeiros *bits* que gera o modo de funcionamento (ver Tabela 3.3 – Ações resultantes da conjugação binária com o cinco primeiros *bits* da *word* “dmControl” [30].Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Ações resultantes da conjugação binária com o cinco primeiros *bits* da *word* “dmControl” [30].

Bit					Decimal	Modo
0	1	2	3	4		
0	0	0	0	0	0	Sem modo definido
1	0	0	0	0	1	Posição

1	1	0	0	0	2	Velocidade
0	0	1	0	0	4	Modo força
0	1	1	0	0	6	Referenciamento (<i>homing</i>)
1	1	1	1	1	31	JOG
1	1	1	1	0	30	Engrenagem eletrónica (electronic gear)
1	1	1	0	1	29	Sequência de movimentos

Conciliando esta combinação binária com os *bits* designados por “*Action*”, ou seja, os *bits* 5 e 6, é possível aceder a modos “extra” de funcionamento, mas não serão explorados neste relatório.

Os passos para se alterar o modo de funcionamento são:

1. Colocar o valor binário correspondente ao modo pretendido nos respetivos bits;
2. Colocar o *bit* RT a 1;
3. Aguardar ± 200 milissegundos e limpar o *bit* RT.

3.10.1.2.1 Modo de Referenciamento

Vulgarmente designado por *Homing*, tal como o nome indica irá desencadear os passo necessário para que o eixo se autorreferencie. Esta etapa é fundamental, pois sem o sistema corretamente configurado não é possível mover o transportador mesmo noutros modos.

O método de referenciamento é selecionável na parametrização base do servo *drive*. Existem ao todo vinte e três métodos, no entanto, destes há dois mais utilizados:

17. LIMN – Referenciar pelo sensor de limite negativo;
18. LIMP – Referenciar pelo sensor de limite positivo.

O modo de referenciamento do *servo drive* utilizado neste trabalho é o modo 17.

Com base na informação cedida pelo fabricante, para melhor compreensão da sequência de comandos necessária para referenciar o eixo elaborou-se o fluxograma contido pela Figura 3.34.

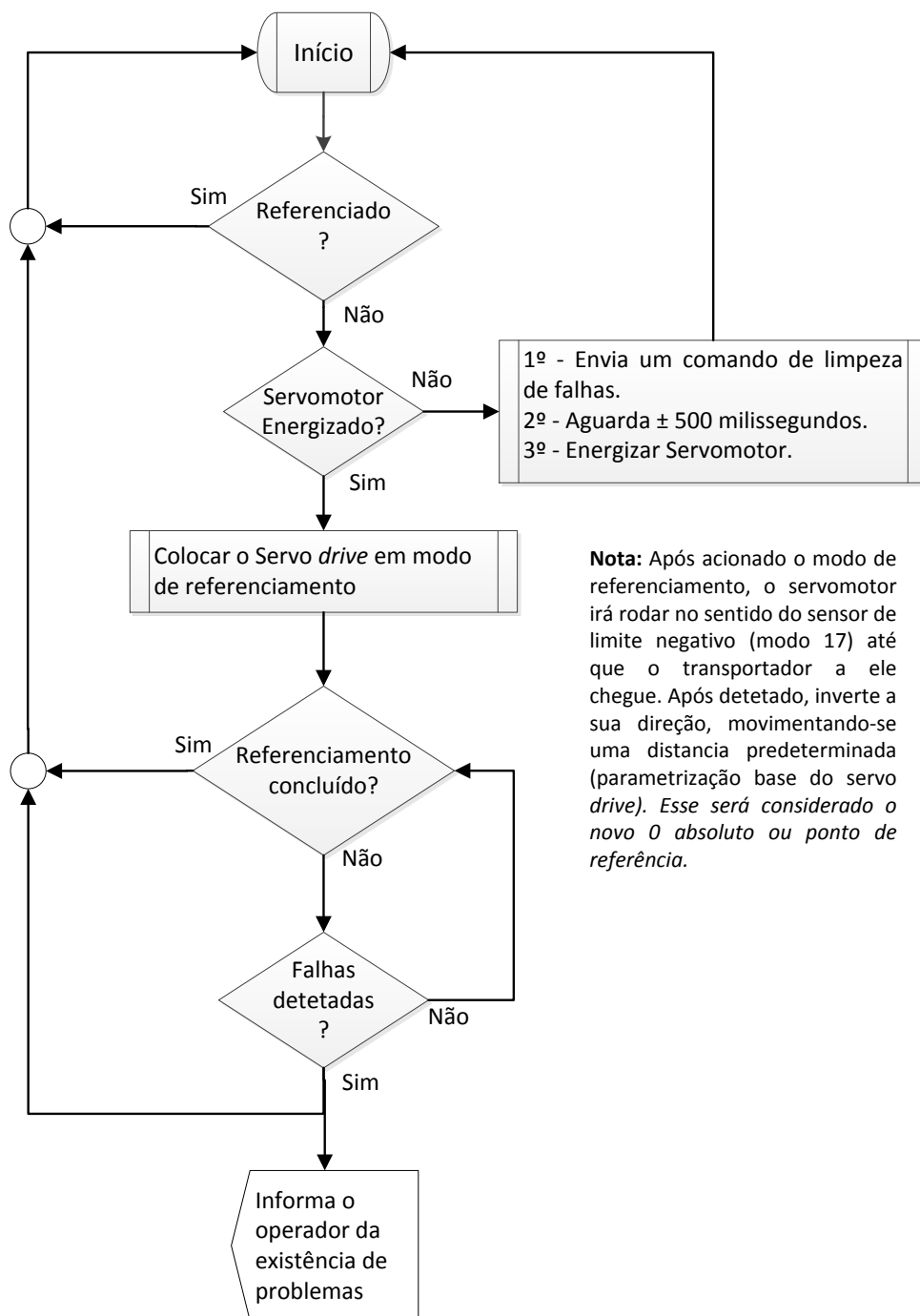


Figura 3.34 – Fluxograma do modo de referenciamento do transportador.

3.10.1.2.2 Modo JOG

O modo de JOG permite ao operador ter o controlo manual do eixo, ordenando-lhe que se mova na direção positiva (JOG positivo) ou na direção negativa (JOG negativo), com duas velocidades seleccionáveis para cada movimento. Este movimento pode ser feito de forma contínua ou passo a passo.

Os valores que regem estes movimentos são parametrizáveis, sendo possível alterá-los através do *software* de configuração, SoMove.

A seleção do tipo de deslocamento é feita através de um código numérico a inserir na *word* RefA32 da mensagem a enviar pelo PLC, representado pela Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Tipos de movimento relacionados com o valor inteiro inserido na *word* RefA32 [20].

RefA32	Descrição do movimento
0	Sem movimento
1	Movimento lento no sentido positivo do eixo
2	Movimento lento no sentido negativo do eixo
5	Movimento rápido no sentido positivo do eixo
6	Movimento rápido no sentido negativo do eixo

Com base na informação cedida pelo fabricante, para melhor compreensão da sequência de comandos necessária para movimentar o eixo em modo JOG, elaborou-se o fluxograma da Figura 3.35.

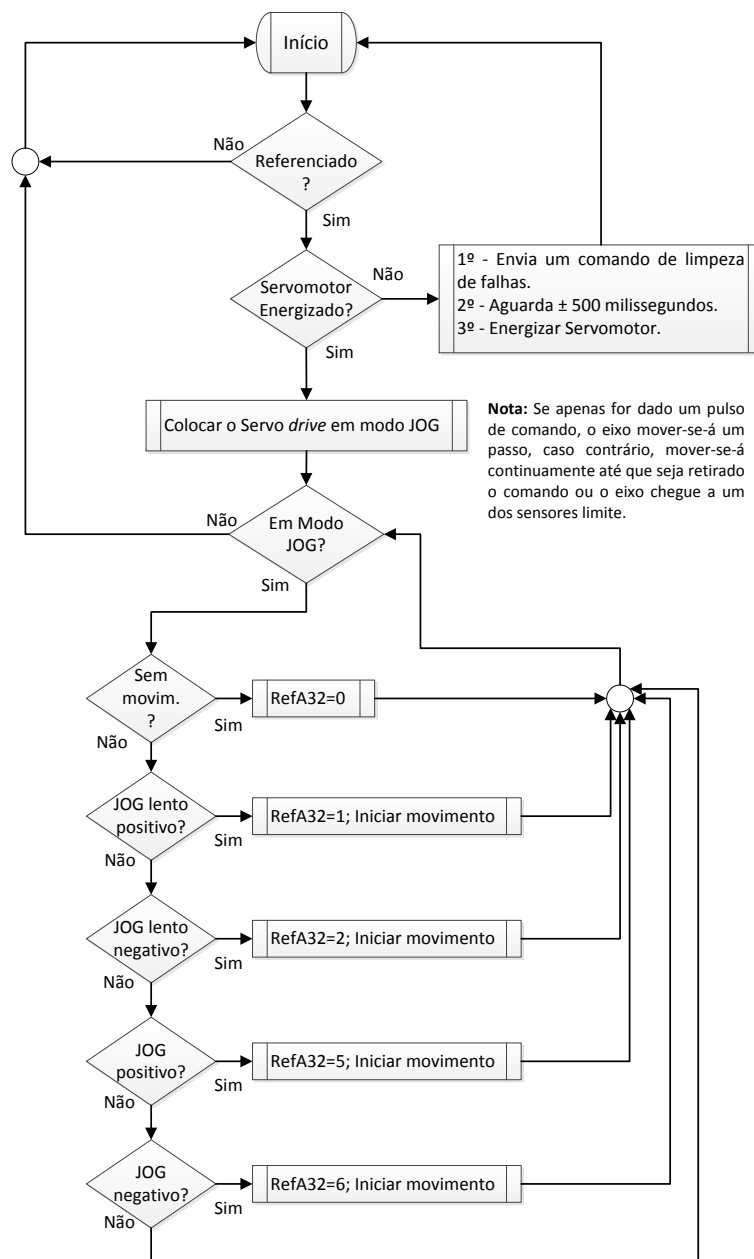


Figura 3.35 – Fluxograma do modo JOG do transportador.

Este modo de funcionamento é de extrema utilidade quando se pretende ajustar posições ou resolver algum problema que tenha surgido durante o transporte.

Na solução criada, apenas estão disponíveis os modos de JOG na velocidade mais lenta e não esta acessível através do HMI a parametrização das velocidades de JOG. Para evitar problemas, este modo só poderá funcionar quando o eixo vertical estiver recolhido.

3.10.1.2.3 Modo Posição

Este é o modo de funcionamento que é utilizado quando em automático. Consiste no movimentar do eixo para a posição ordenada pelo PLC. Quando se indica a posição pretendida é também especificada a velocidade.

Para ajudar a compreender o procedimento foi criado o fluxograma da Figura 3.36.

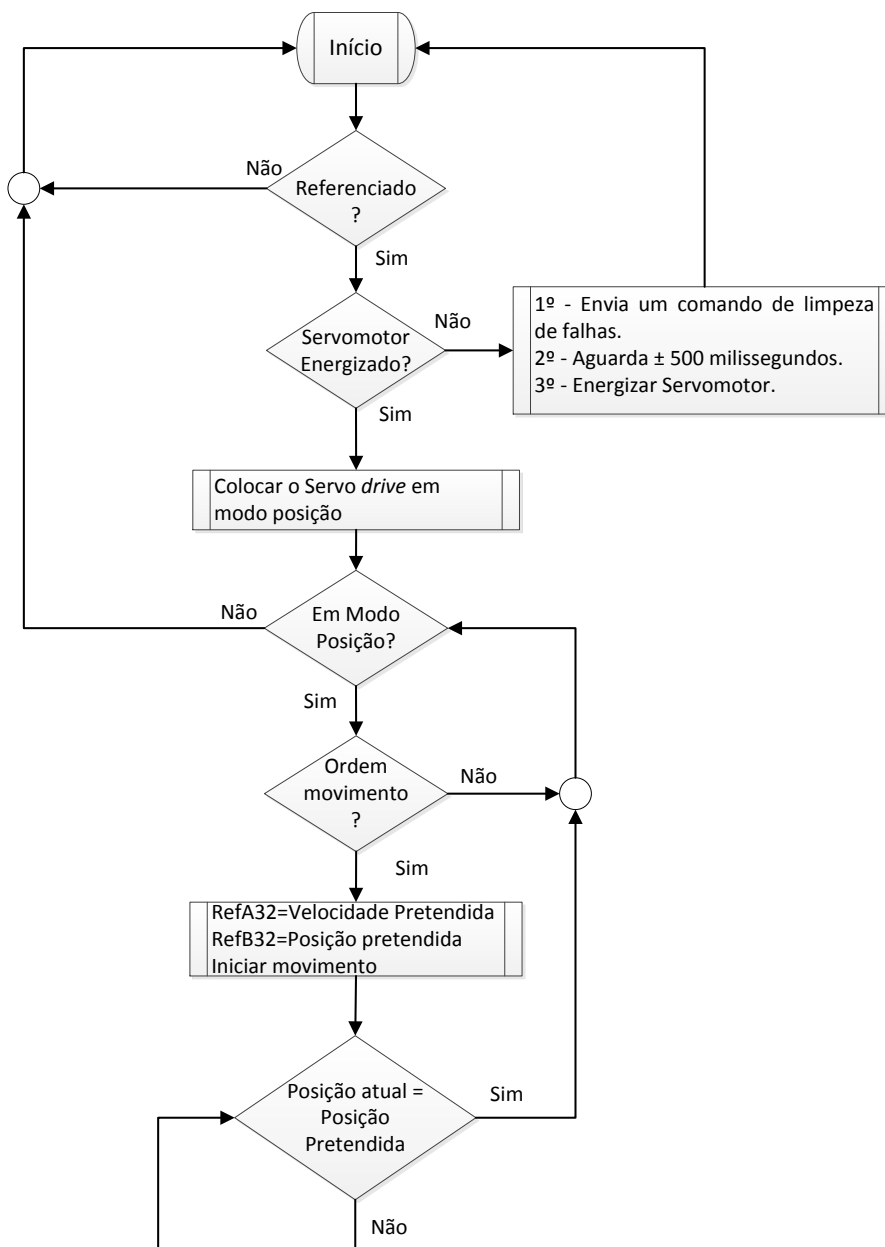


Figura 3.36 – Fluxograma do modo posição do transportador.

Na presente aplicação, quando em modo manual e com permissão para tal, é possível definir oito posições de trabalho tal como demonstrado na Figura 3.37, movendo o eixo em modo JOG e pressionando os respetivos botões.

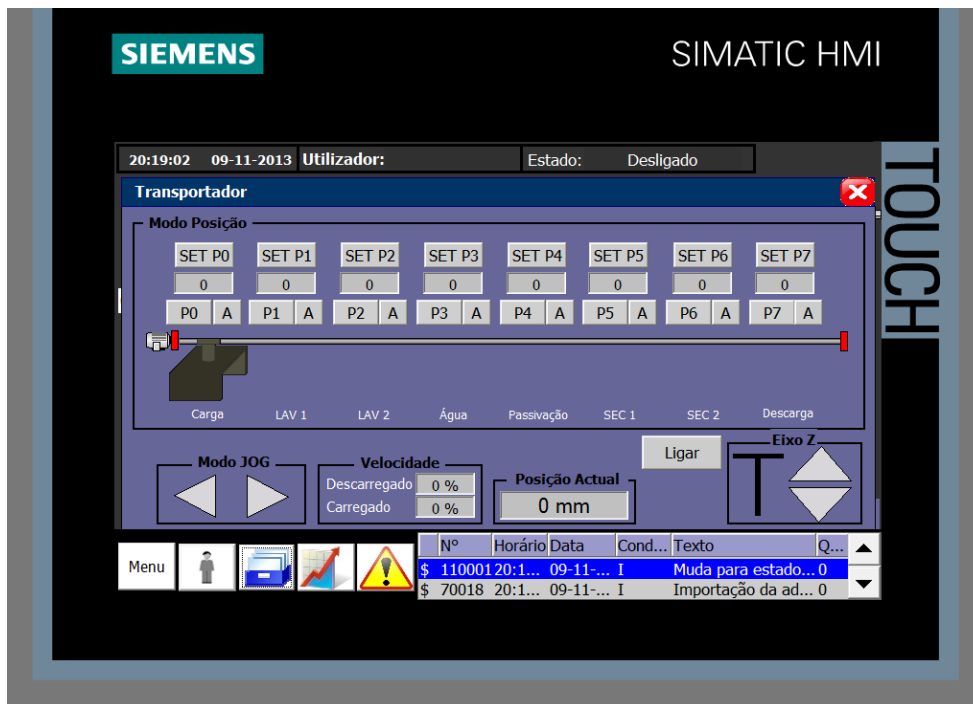


Figura 3.37 - Janela do transportador no HMI.

3.10.2 Eixo Vertical

Para reduzir gastos, neste eixo optou-se por utilizar um cilindro pneumático que se limitará a erguer/baixar os cestos nas cubas (Figura 3.38). Tem acoplado dois sensores indutivos de deteção do êmbolo do cilindro pneumático, posicionados de forma a informar se este está recolhido ou distendido.



Figura 3.38 – Eixo vertical (fase de testes).

3.10.3 Restrições ao Movimento

Embora estejam contempladas proteções criadas para tentar evitar ou minimizar danos materiais ou até mesmo humanos, existem restrições, algumas físicas, outras em código, que bloqueiam o movimento totalmente do transportador sendo estas:

- Paragem de emergência;
- Abertura de uma qualquer porta traseira (só existem portas na parte de trás da máquina);
- Falha na linha de ar comprimido;
- Excesso de corrente consumida pelo conjunto servo drive/servomotor;
- Falha nos sensores do eixo vertical;
- Eixo horizontal sobre um dos sensores de limite do eixo.

3.10.4 Ciclo Automático

De todos os sistemas que compõem a Máquina de Lavar Anéis de Pistão, o transportador é sem dúvida o mais complexo de gerir, frágil e perigoso para a integridade física das pessoas razão pela qual o seu acesso está bloqueado por portas, e protegido por equipamentos de segurança, inativando-se em situações anómalas. Para evitar problemas no seu manuseamento, a estrutura da função que o gere limita-se a receber o índice da posição de carga e o índice da posição de descarga (ver Tabela 3.5).

Tabela 3.5 – Descrição do significado do código inteiro associado às posições da linha.

Índice	Nome da Cuba/Zona
0	Zona de Carregamento
1	Cuba de Lavagem 1
2	Cuba de Lavagem 2
3	Cuba de Enxaguamento
4	Cuba de Passivação
5	Cuba de Secagem 1
6	Cuba de Secagem 2
7	Zona de descarga

Para melhor compreender o funcionamento do transportador em Automático, foi criado o fluxograma contido na Figura 3.39.

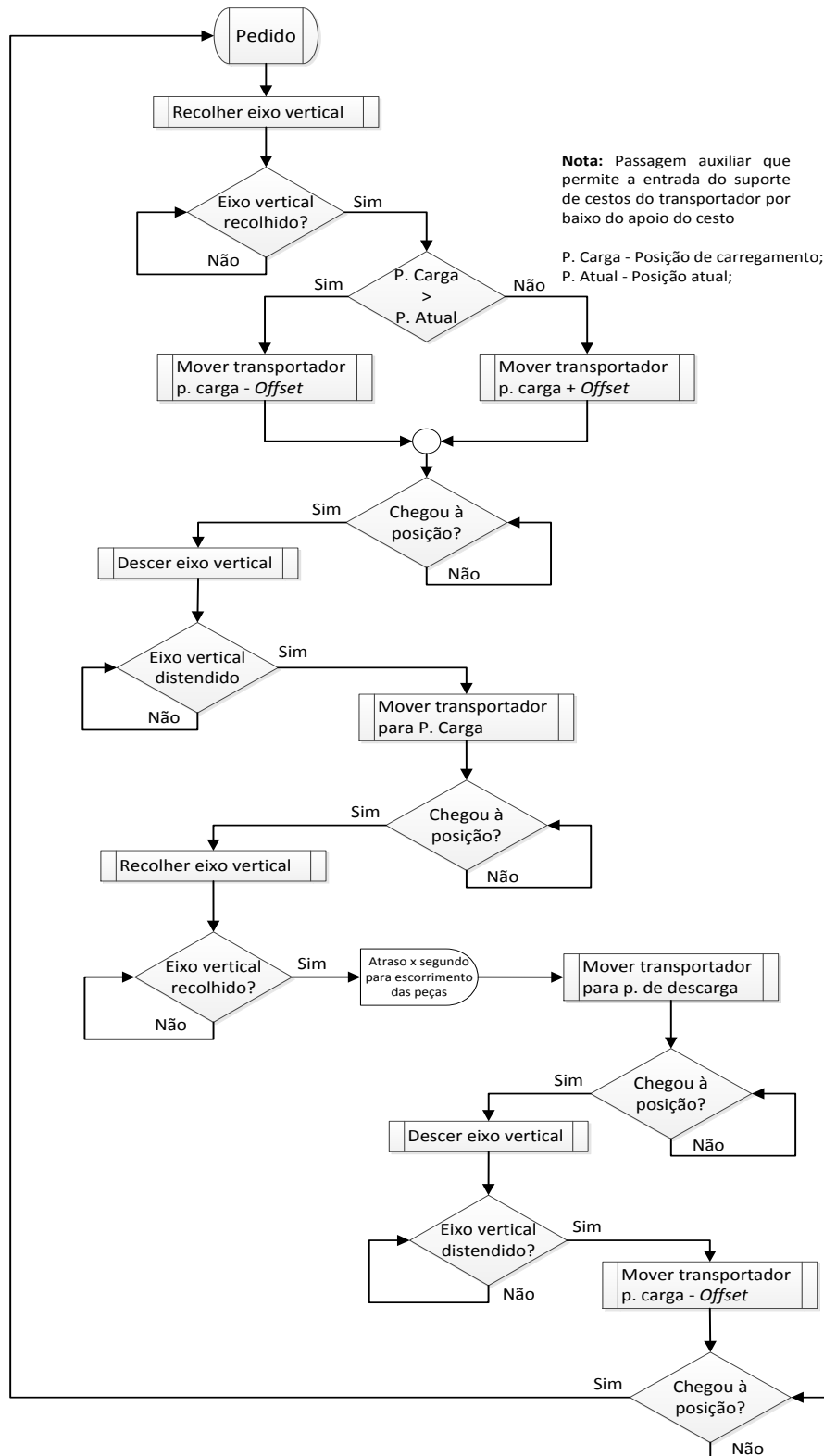


Figura 3.39 – Fluxograma do ciclo automático do transportador.

Nota: Na conceção do fluxograma da Figura 3.39 foram desprezadas as inicializações e todas as falhas que possam surgir durante o ciclo pois estas levam ao imediato interromper do ciclo, colocando a máquina em modo manual. É de salientar também que, no programa implementado no PLC, em cada etapa há um *watchdog* responsável por verificar se esta demora mais tempo do que deveria. Se tal acontecer o ciclo para e surge o alarme respetivo.

3.11 Cubas de Lavagem

Nas cubas de lavagem, conciliando água com a adição de detergente específico para o efeito, agitação do cesto (movimento vertical), temperatura e vibração é possível lavar corretamente os anéis. A etapa associada a estas cubas é a mais importante em todo o ciclo. É, geralmente a mais demorada e é essencialmente por esse motivo que existem duas cubas de lavagem a fim de dinamizar ao máximo o ciclo.

Associado a cada cuba está também um sistema de filtragem que, através de um processo de decantação auxiliado por filtros, separa a líquido de limpeza (água mais detergente) do óleo. Dentro da cuba há uma cascata que tem por objetivo receber o óleo que flutua na cuba e enviá-lo para o sistema de filtragem por ação da gravidade. Este sistema possui uma bomba de circulação que faz regressar o líquido de limpeza à cuba após filtragem.

A reposição da água que se perde por evaporação e na filtragem é feita automaticamente, contudo, existem duas origens possíveis para a água que será recebida. Poderá vir diretamente da rede externa ou vir da cuba de enxaguamento. Desta forma é possível manter a água da cuba de enxaguamento mais limpa e despende menos energia ao aquecer a cuba de lavagem que recebeu a água (a cuba de lavagem tem um volume muito maior do que a cuba de enxaguamento).

Os sensores de nível estão dentro dos tanques dos sistemas de filtragem e as sondas de temperatura dentro das cubas embora afastadas das resistências pelo que é possível nos tanques dos sistemas de filtragem existir líquido suficiente para acionar positivamente o nível mínimo (nível mínimo correto) e ter em simultâneo a sonda de temperatura fora do líquido ou até mesmo ter as resistências e os ultrassons praticamente fora do líquido. Se o operador colocar antes as bombas de circulação em funcionamento, estas irão nivelar os níveis nos dois recipientes e, se não existir líquido suficiente para submergir quer a sonda quer os componentes, o nível mínimo será acionado uma vez que o líquido gira em ciclo fechado entre os dois recipientes podendo apenas escapar por evaporação ou filtragem (algo reduzido). Por este motivo o acionar das resistências e dos ultrassons em manual é da inteira responsabilidade do operador. Na Figura 3.40 está exposto um esquema demonstrativo do circuito que liga uma cuba de lavagem ao tanque do respetivo sistema de filtragem e está exposto também o posicionamento dos sensores de nível e da sonda de temperatura.

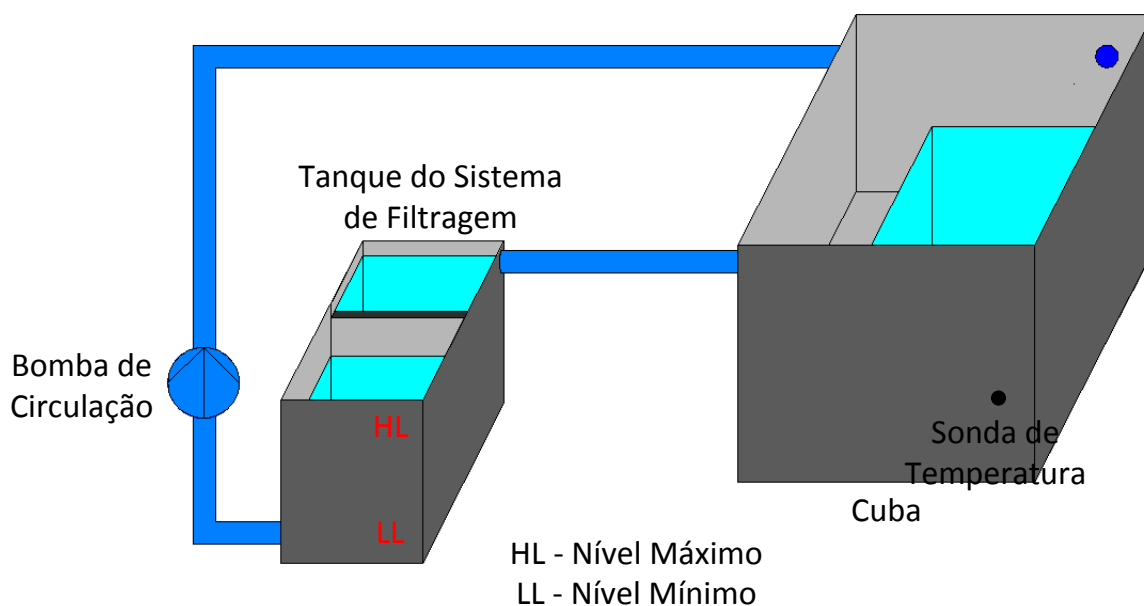


Figura 3.40 - Esquema do sistema de filtragem das cubas de lavagem.

A vibração enunciada anteriormente é obtida através de um gerador de ultrassons inserido no fundo de cada uma das cubas. Consiste num dispositivo que converte a energia elétrica recebida (230V AC 50Hz) em energia elétrica com uma frequência, tensão e corrente apropriadas aplicando-a

num conjunto de transdutores, Figura 3.41, que a converte em vibração ultrassónica, ou seja com uma frequência a partir dos 25 kHz. Grosseiramente poder-se-á assemelhar um gerador de ultrassons a um sistema de som que converte energia elétrica em ondas sonoras que não são mais do que ondas de deslocamento, densidade e pressão que se propagam pelos meios compressíveis (gasosos, sólidos ou líquidos).

A utilização destes equipamentos tem sempre associado um ruído constante dependente da frequência de trabalho utilizada, não relacionado diretamente com a frequência de saída mas sim com as frequências geradas nos choques das ondas com os diversos materiais que rodeiam a caixa de transdutores (os humanos conseguem ouvir frequências entre os 20 Hz e os 20 kHz). Uma boa afinação da frequência de trabalho e uma construção sólida da estrutura serão essenciais para que o ruído audível seja suportável ou inexistente.



Figura 3.41 – Transdutores [32].

Os geradores de ultrassons aplicados na solução têm uma potência de entrada de 2000 watt e conseguem gerar uma gama de frequências entre os 25 kHz e 150 khz. A sua afinação é feita de forma manual pelo operador no gerador de ultrassons representado pela Figura 3.42.



Figura 3.42 – Gerador de ultrassons [32].

Estas cubas, quando em manual permitem ao operador aceder e comandar todos os seus componentes, no entanto existem algumas regras de segurança:

- Bombas de circulação só poderão ser acionadas se o nível mínimo do respetivo sistema de filtragem estiver estabelecido para evitar que as bombas desferrem e consequentemente fiquem danificadas.
- Os ultrassons e as resistências só poderão funcionar se existir líquido no tanque (uma vez que não há sensores no interior dos tanque, deverá ser o operador a ter esse cuidado).

Em manual, o operador pode acionar as resistências desde que a temperatura do líquido seja inferior à temperatura limite de 120°C definida pelo fabricante e tenha o nível mínimo preenchido.

3.11.1 Ciclo Automático

Quando o sistema passa para automático, as cubas que estiverem seleccionadas (poderá só trabalhar uma ou ambas) iniciaram o seu processo de preparação para receber cestos. Este processo reúne varias tarefas em simultâneo (em paralelo) pelo que se decidiu separar em vários fluxogramas a fim de melhorar a compreensão.

Sendo assim explica-se primeiro o sistema de controlo de nível, essencial ao bom funcionamento dos restantes sistemas que compõem uma cuba de lavagem. O fluxograma contido pela Figura 3.43 exemplifica o controlo de nível.

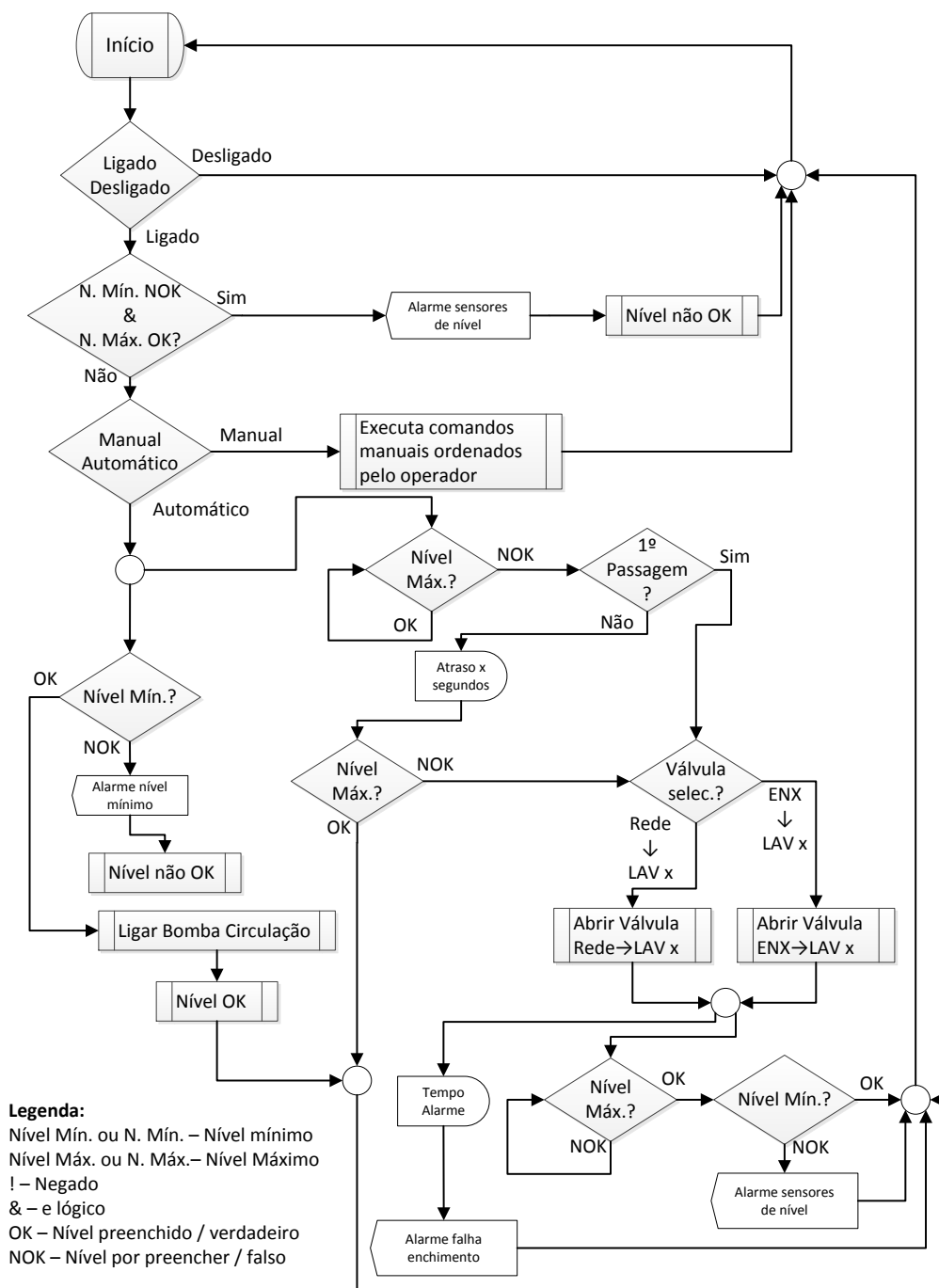


Figura 3.43 – Fluxograma do controlo de nível referente às cubas de lavagem.

Pode-se considerar que este sistema é crítico pois a falta de líquido na cuba leva à imediata interrupção do seu ciclo de lavagem para evitar danos na bomba de circulação, ultrassons e resistências de aquecimento.

É de salientar o funcionamento invertido dos sensores de nível pois o sensor de nível mínimo estará sempre fechado (NC) enquanto o nível mínimo de líquido no recipiente estiver preenchido e o sensor de nível máximo também estará fechado enquanto o nível máximo de líquido no recipiente estiver preenchido. Desta forma se por algum momento um sensor ficar danificado ou um dos seus condutores ficar corrompido, este deixará de enviar sinal (neste tipo de sensores de nível a avaria mais usual é não fechar o contacto interno e consequentemente deixar de ter continuidade elétrica) informando o sistema de que algo de errado se passa com os sensores. Como é muito improvável que ambos fiquem danificados em simultâneo uma vez que são sensores extremamente simples, se for detetado nível mínimo e passado algum tempo for detetado nível máximo será também assinalado com um alarme crítico. É de salientar também que embora haja ordem para abertura de válvulas para enchimento, uma vez que não há sinalizadores de caudal nas tubagens, esta pode não se realizar. Para detetar esta situação, em paralelo com a leitura dos sensores de nível, existe um temporizador responsável por informar se há falhas no enchimento.



Figura 3.44 – Sensor de nível básico por boia, Kobold.

O sensor representado na Figura 3.44 é um sensor de nível do tipo boia, aplicado nos tanques dos sistemas de filtragem das cubas de lavagem. São robustos, muito fiáveis, de fácil implementação e com uma particularidade, consoante a sua direção podem tornar-se normalmente fechados ou normalmente abertos. A Figura 3.45 permite perceber melhor o conceito.

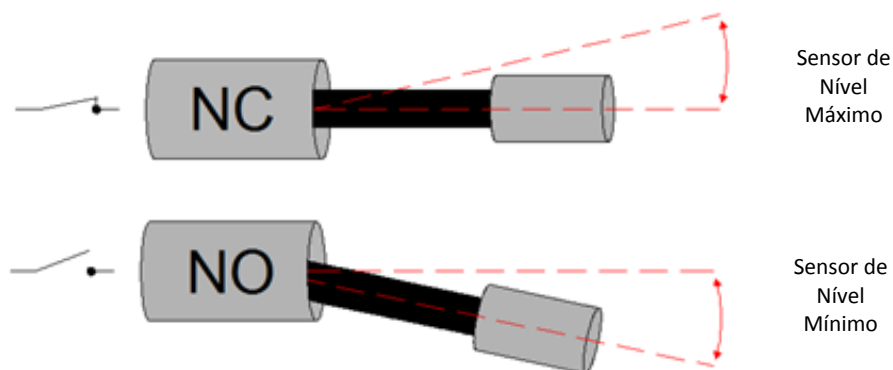


Figura 3.45 – Esquemático do sinal obtido com a posição deste tipo de sensores de nível.

Falando agora do controlo da temperatura, como já foi dito, estas são as cubas com maior volume, não só por serem maiores que as restantes mas também por terem associado um sistema de filtragem e respetivas tubagens de ligação. Embora estas cubas estejam relativamente bem isoladas, devido ao seu volume, são as cubas que mais tempo necessitam para aquecer e também as que perdem mais temperatura. Para a maioria dos anéis de pistão que por elas vão passar, a temperatura média de trabalho rondará os 70° Celsius pelo que o tempo médio de aquecimento desde a

Basicamente o controlo de temperatura representado na Figura 3.46 é um controlo por histerese. É um dos métodos de controlo mais simples e fiáveis utilizados na indústria embora não o mais eficaz pois não possui a capacidade de manter a temperatura constante numa baixa gama de variação como acontece com um controlo a PID bem parametrizado. Esta limitação é essencialmente física uma vez que o comando às resistências é feito através de contactores. Estes equipamentos não têm a capacidade de variar do estado num curto espaço de tempo devido aos seus acionamentos eletromecânicos similares aos de um simples relé. Ao fim de algumas transições rápidas, este equipamento ficará danificado.

Outro equipamento de extrema importância e que é fundamental para a eficiência da lavagem é o gerador de ultrassons. Este, quando em automático só irá funcionar durante o período de lavagem, podendo ou não iniciar o seu trabalho assim que a lavagem começa. Um dos parâmetros da lavagem é o atraso no arranque dos ultrassons, ou seja é o período de tempo entre o início da lavagem e o arranque do gerador de ultrassons. O seu funcionamento está descrito no fluxograma da Figura 3.47.

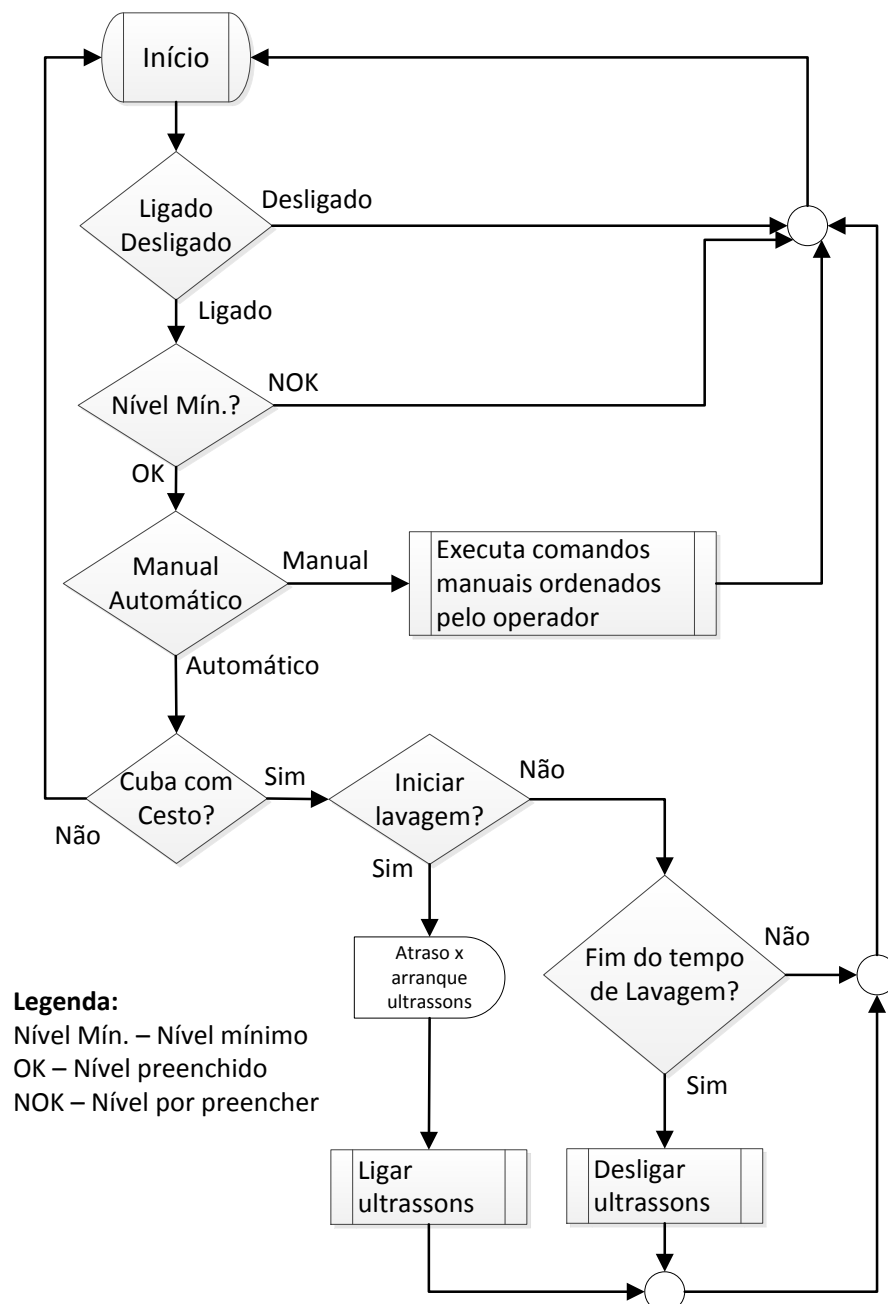


Figura 3.47 – Fluxograma do controlo automático dos ultrassons das cubas de lavagem.

Por fim temos o sistema de agitação que não é mais do que um sistema mecânico acoplado aos suportes que acolhem o cesto e que o fazem oscilar na vertical. Tal como os ultrassons, só funcionam durante o período de lavagem mas iniciam assim que este começa. Para melhor compreender este processo foi criado o fluxograma da Figura 3.48.

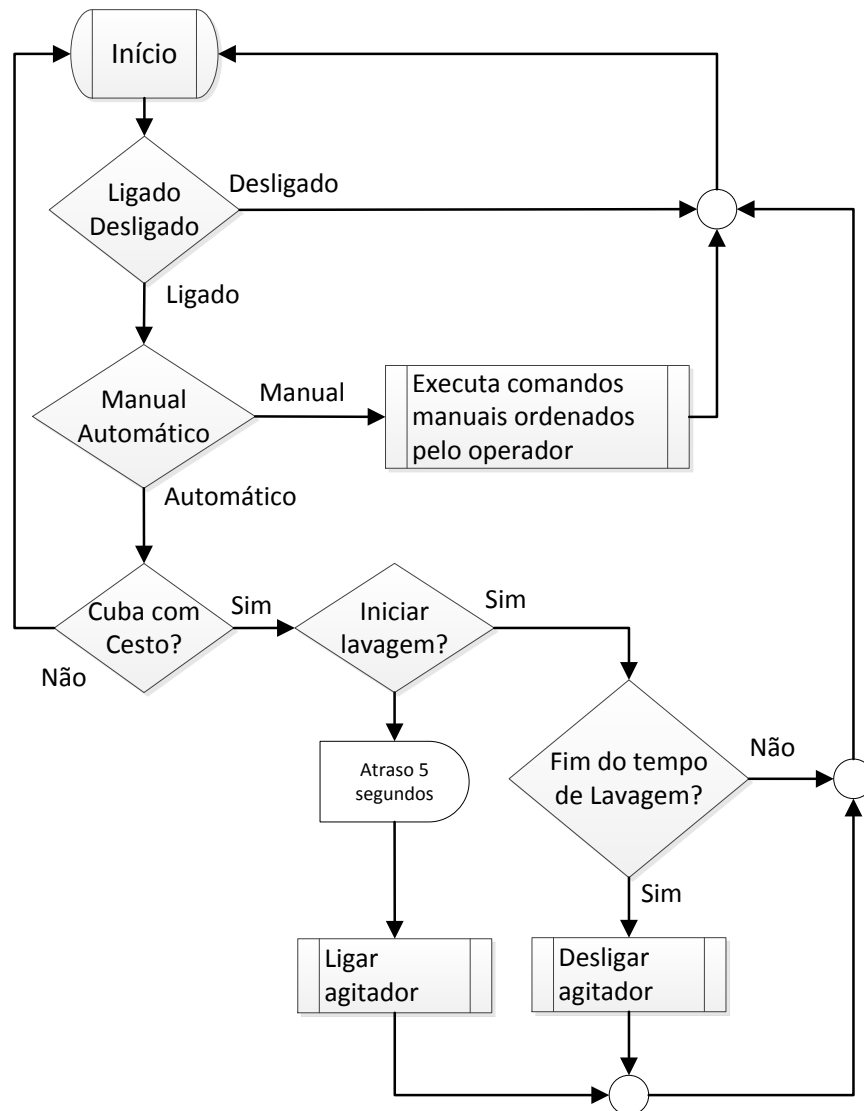


Figura 3.48 – Fluxograma do controlo automático dos agitadores das cubas de lavagem.

Todos estes sistemas estão ligados ao gestor base que, em automático verifica se as condições mínimas para permitir a passagem ao modo automático estão estabelecidas, recebe a informação de cesto colocado ou retirado da cuba e dá ordem aos sistemas dependentes para arrancaram e terminaram após fim do tempo de lavagem. Para exemplificar este sistema foi criado o diagrama da Figura 3.49.

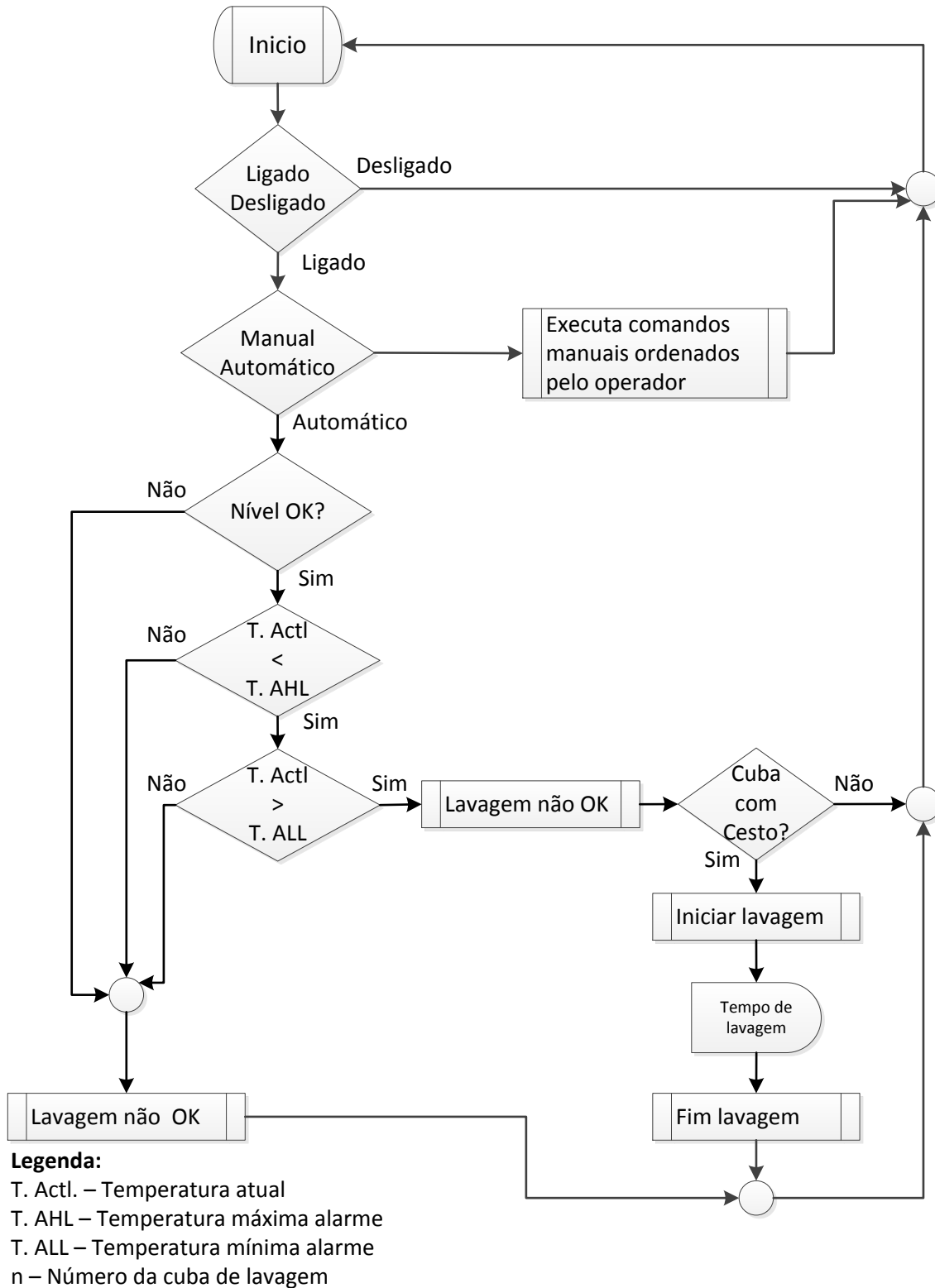


Figura 3.49 – Fluxograma do controlo automático de cada uma das cubas de lavagem.

Por cada banho dado, é incrementado um contador que tem por objetivo contar o número de banhos dados desde a última verificação da composição e qualidade da solução contida pela cuba.

Após ultrapassar o número de banhos máximo será dado um alarme para informar o operador que deverá verificar o estado da solução – água mais detergente que poderão estar inadequados para realizar a lavagem. O número de banhos máximo será arbitrado pelo cliente.

3.12 Cubas de Enxaguamento e Passivação

Após a lavagem das peças é necessário retirar o excedente de detergente que fica sobre estas. É para esse efeito que existe a cuba de enxaguamento. Esta tem água aquecida relativamente limpa que, com o auxílio da agitação do cesto irá conseguir desempenhar a sua função. Esta é a única cuba que não pode ser utilizada como *buffer* uma vez que o contacto prolongado das peças com a água gera sobre estas, oxidação. Este é geralmente o banho mais rápido pelo que é também o mais crítico pelos factos já enunciados.

Quanto à cuba de passivação, é responsável por dar às peças uma camada protetora contra a corrosão. Geralmente a aplicação deste tipo de proteção baseia-se na cinética eletroquímica, que resulta da formação de películas protetoras sobre a superfície de metais por imposição de correntes anódicas. No sistema existente não há injeção de corrente no banho pelo que são os componentes químicos (ácidos fortemente oxidantes) pertencentes à mistura que desempenham essa função.

Ambas as cubas têm uma gestão semelhante e os mecanismos que delas fazem parte são iguais.

O sistema de controlo da temperatura, controlo de nível e o agitador são similares aos utilizados nas cubas de lavagem, no entanto, uma vez que não possuem sistema de filtragem, os sensores de nível são diferentes existindo apenas um, também do tipo boia mas com um funcionamento diferente. O sensor utilizado, fisicamente é similar ao da Figura 3.50 e internamente tem duas zonas de deteção distintas, zona mínima e zona máxima, quando a boia está sobre uma delas, fecha o contacto respetivo. A zona de deteção inferior que vai indicar o nível mínimo é um contacto normalmente fechado ou seja, quando a boia está sobre esta zona, o contacto irá abrir cortando a continuidade na ligação. Quanto à zona superior direcionada para a deteção de nível máximo, é um contacto normalmente aberto que é fechado assim que a boia se posiciona sobre ele. Considerando que os sensores indutivos presentes nas referidas zonas estão em boas condições, será impossível obter sinal fechada do nível máximo tendo sinal aberto no nível mínimo uma vez que só existe uma boia e as duas zonas tem entre si uma distância superior ao comprimento da boia.



Figura 3.50 – Sonda de nível duas posições, Shenzhen.

3.13 Cubas de Secagem

Tal como o nome indica, as cubas de secagem são responsáveis pela secagem das peças, utilizando a circulação de ar quente.

O seu manuseamento em manual obriga a alguns cuidados para evitar danificar as resistências:

- Ligar sempre o ventilador respetivo alguns segundos antes de ligar as resistências;
- Após desligar resistências, permanecer com o ventilador em funcionamento pelo menos durante 10 segundos.

Uma vez que nestas cubas apenas existe ar, enquanto nas restantes existem soluções líquidas, é complicado manter a temperatura dentro da cuba. A pensar nisso, e tendo em conta o espaço disponível, foi criado um sistema de portas automáticas, que em automático, apenas abrem para por ou retirar cestos das cubas. Este sistema de portas é similar a uma convencional arca de gelados, onde só é possível abrir uma tampa/porta de cada vez. O mesmo se passa neste sistema, para abrir uma porta é necessário fechar em primeiro lugar a porta complementar.

Mecanicamente, o sistema de portas automáticas é acionado pneumáticamente por dois cilindros com direções opostas aos quais estão acoplados sensores indutivos de fim de curso que permitem saber qual é a posição atual das portas.

3.13.1 Ciclo Automático

Nestas cubas, o ciclo automático tem três fases:

1. Pré-aquecimento;
2. Secagem das peças;
3. Manutenção da temperatura.

A primeira fase, à semelhança das restantes cubas, tem como objetivo chegar à temperatura mínima para alarme. A segunda fase é a que realmente importa, ou seja a fase da secagem das peças contidas pelo cesto. Por fim a terceira fase é o manter da temperatura dentro das cubas embora com limites um pouco abaixo dos limites para secagem de peças. O objetivo destas etapas é essencialmente acelerar o processo pois, quando frias, demoram algum tempo a chegar à temperatura mínima de secagem, levando a que o tempo de secagem se dilate e o rendimento da máquina diminua. Como hermeticamente as cubas estão bem isoladas, estando as porta fechadas, a dissipação térmica para o exterior não é muito grande levando a que este sistema consuma menos energia do que se poderia antever uma vez que, mesmo sem cesto no seu interior, estará a manter a temperatura.

Para melhor compreender o sistema de gestão de temperatura foi criado o fluxograma presente na Figura 3.51.

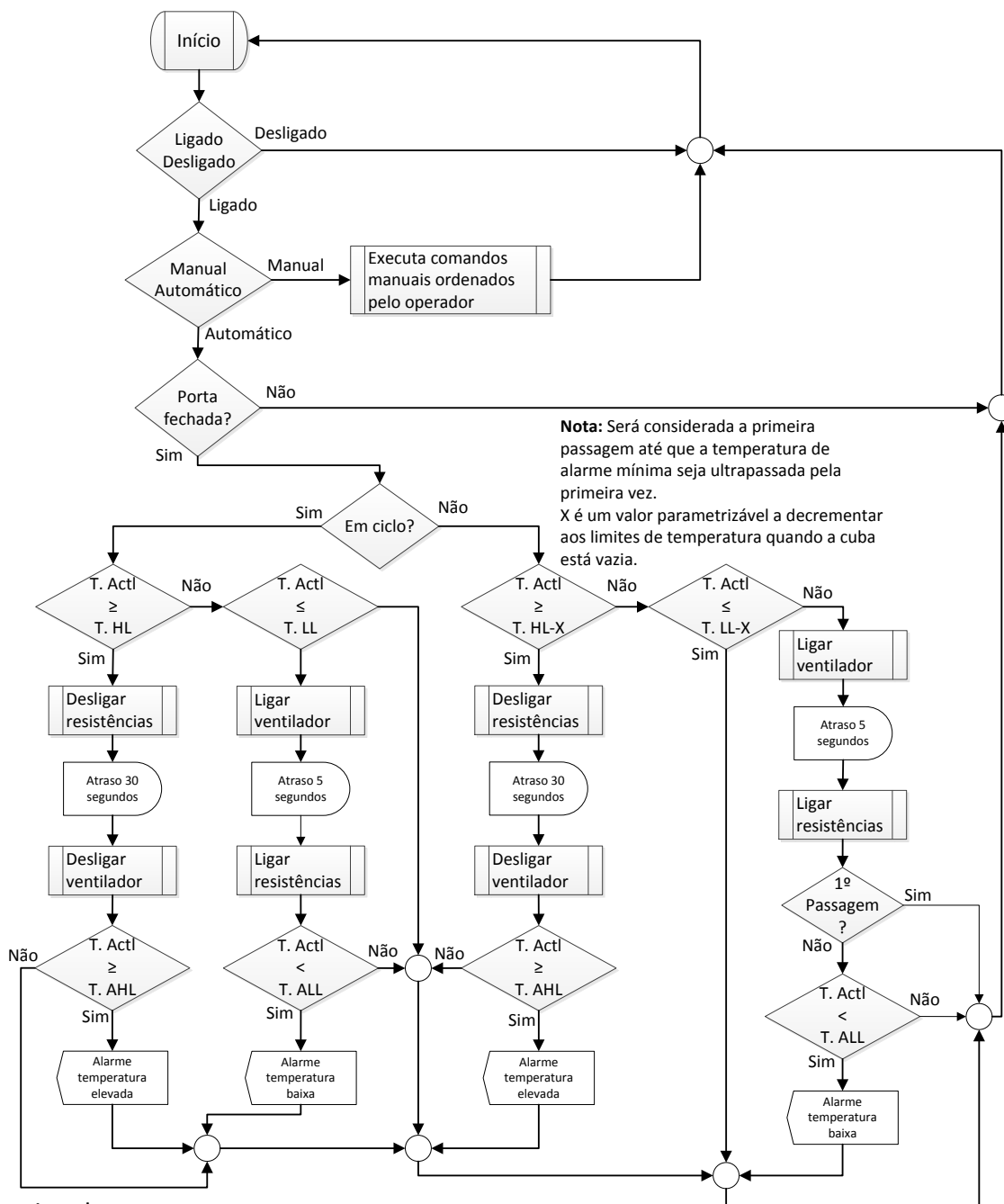


Figura 3.51 – Fluxograma de controlo dos ventiladores e resistências das cubas de secagem.

É possível verificar que, consoante a presença de cesto ou não no interior da cuba, as rampas de controlo de temperatura são diferentes, diferindo linearmente de determinado valor de temperatura a parametrizar pelo operador.

Comentando agora a gestão das portas, estas estão diretamente ligadas aos pedidos vindos do Gestor de Pedidos. O funcionamento, em separado de cada uma das portas é explicado no fluxograma da Figura 3.52.

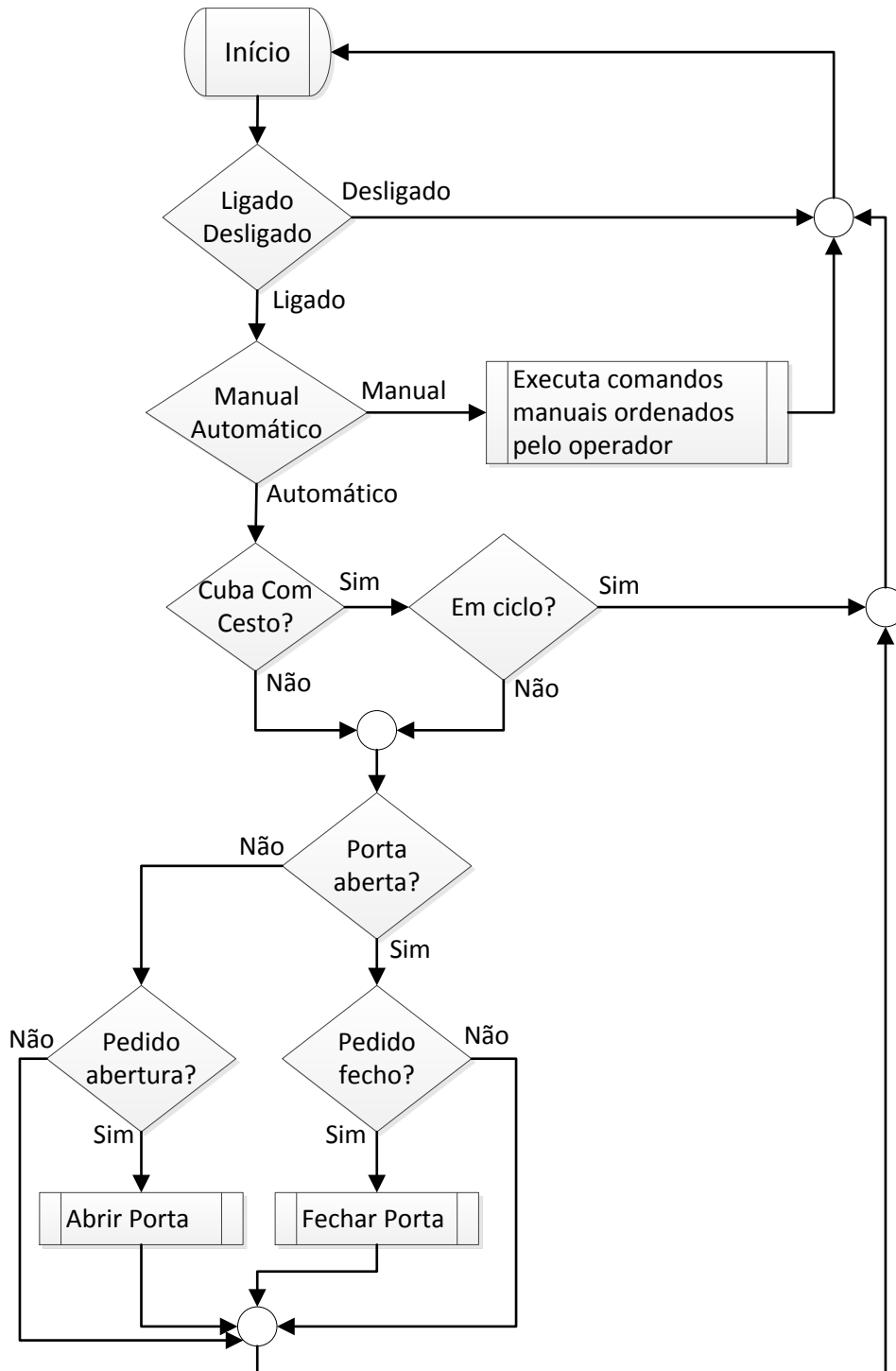
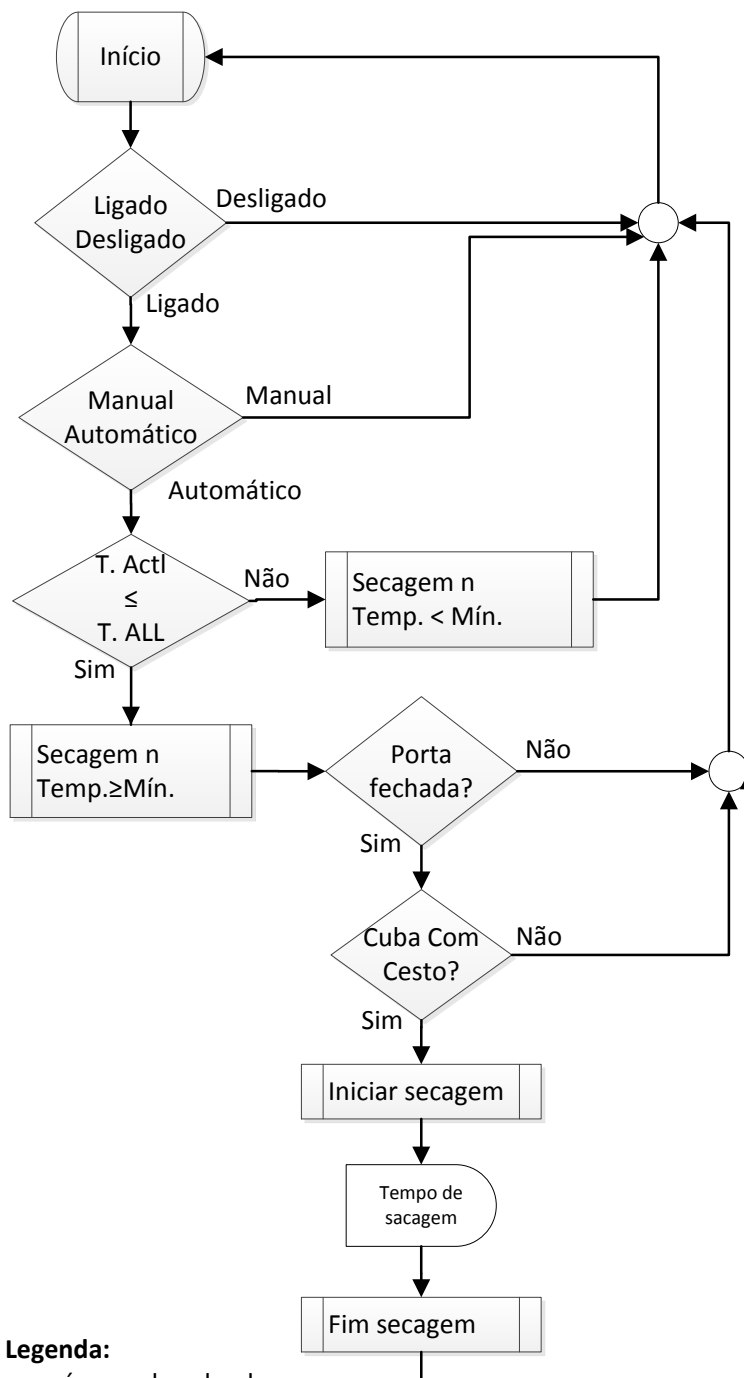


Figura 3.52 – Fluxograma abertura de portas em automático nas cubas de secagem.

A gerir as temporizações e ordens internas, está uma pequena função que informa as restantes quando devem começar a secagem e parar. Além disso, informa o Gestor de Cestos sobre o estado da respetiva cuba de secagem como demonstra no fluxograma da Figura 3.53.



Legenda:

- n – número da cuba de secagem
- T. Actl – Temperatura atual
- T. ALL – Temperatura de alarme mínima

Figura 3.53 – Fluxograma de ciclo automático das cubas de secagem.

3.14 Interface Homem-máquina

O *interface* Homem-máquina, vulgarmente chamado por HMI (*Human Machine Interface*), consiste num canal de comunicação entre o homem e a máquina no qual interagem. Basicamente é o meio físico onde o homem recebe *feedback* da máquina e envia ordens a esta.

Estes sistemas podem ir desde um básico conjunto de botões com sinalizações luminosas até um PC integrante de um complexo sistema de SCADA.

Na presente solução, o HMI é composto por uma consola *Siemens TP700 Comfort* (Figura 3.54), e um conjunto de botoneiras com algumas sinalizações luminosas embutidas.

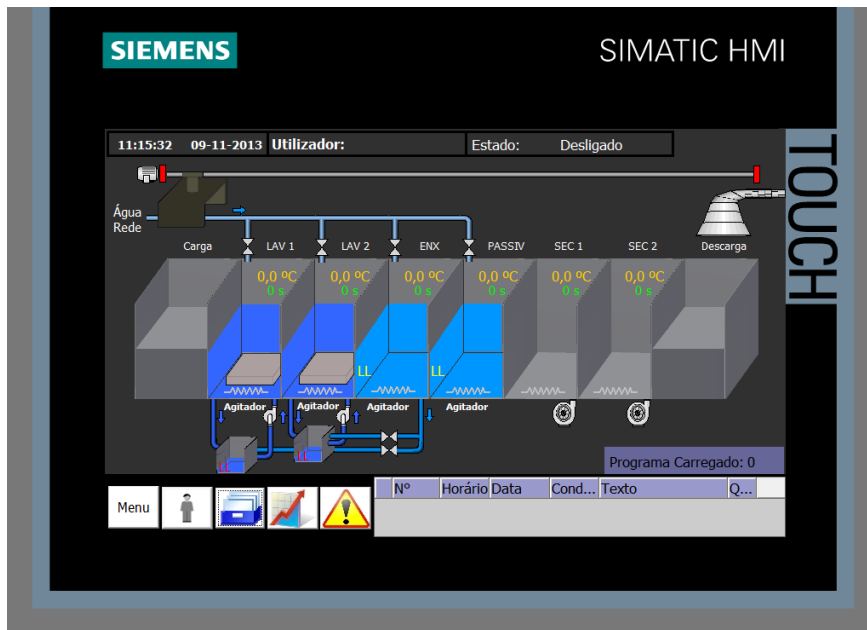


Figura 3.54 – Ecrã principal do HMI.

As botoneiras referidas são quatro, duas de emergência posicionadas nos dois extremos da máquina, e duas outras com sinalização luminosa embutida, posicionadas abaixo da consola, uma verde e uma amarela. A botoneira verde é nomeada por *Start* e tem como função informar quanto ao modo de funcionamento da máquina atual, se está ou não inserido um cesto na zona de carga e, quando pressionada, se realmente estiver algum cesto na zona de carga, informa a máquina que este está pronto para ser carregado. Quanto à botoneira amarela, é designada por *Reset*, dá o *feedback* quanto ao estado das emergências e existência de falhas recorrendo à alternância luminosa da sua iluminação. Quando pressionada, se possível, rearma o relé de emergência e limpa os alarmes críticos que possam ter ocorrido desde que estes não permaneçam ativos.

Quanto à consola, é tecnologicamente evoluída, possui um ecrã tátil, é de dimensão razoável (7 polegadas *widescreen*) com uma resolução de 800x480 píxéis e vários *interfaces* com o exterior como terminais RJ45 para comunicações PROFINET, terminal DB9 para PROFIBUS e USB. Esta consola é programável através do *software* de engenharia *SIMATIC WinCC Comfort V11* ou *V12* contido no *software TIA Portal*.

Comunica com o PLC via PROFINET, e guarda internamente todas as receitas criadas. Existe a possibilidade de inserir um cartão SD ou uma *Pen Drive* USB para guardar históricos de alarmes e dados de variáveis de controlo. Esta opção não foi implementada, pois na aplicação em causa não era justificável pois a memória interna do equipamento era suficiente para o volume de dados existente.

Falando da aplicação desenvolvida para a consola, esta permite obter *feedback* em tempo real de todos os equipamentos e sistemas que constituem a máquina, alterar modos de funcionamento, parametrizações, executar ordens entre outras funcionalidades inerentes à consola. Para melhor compreender foi criado o organograma da Figura 3.55 e Figura 3.56.

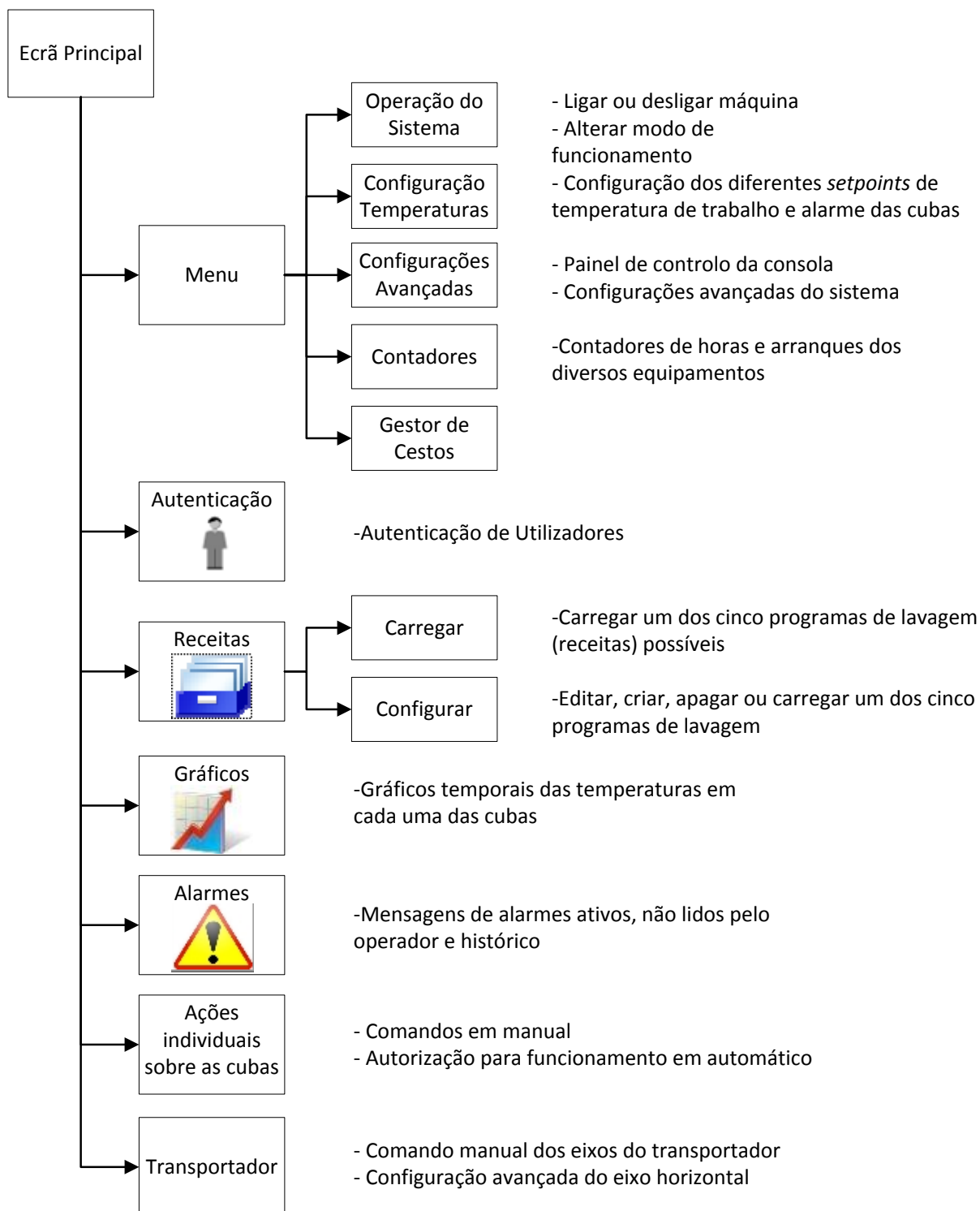


Figura 3.55 – Informações e comandos no HMI.

A nível hierárquico, apenas existem três patamares. Um básico para o qual não é necessário autenticação, o de operador que permite controlar a máquina e carregar programas e o administrador que tem controlo total.

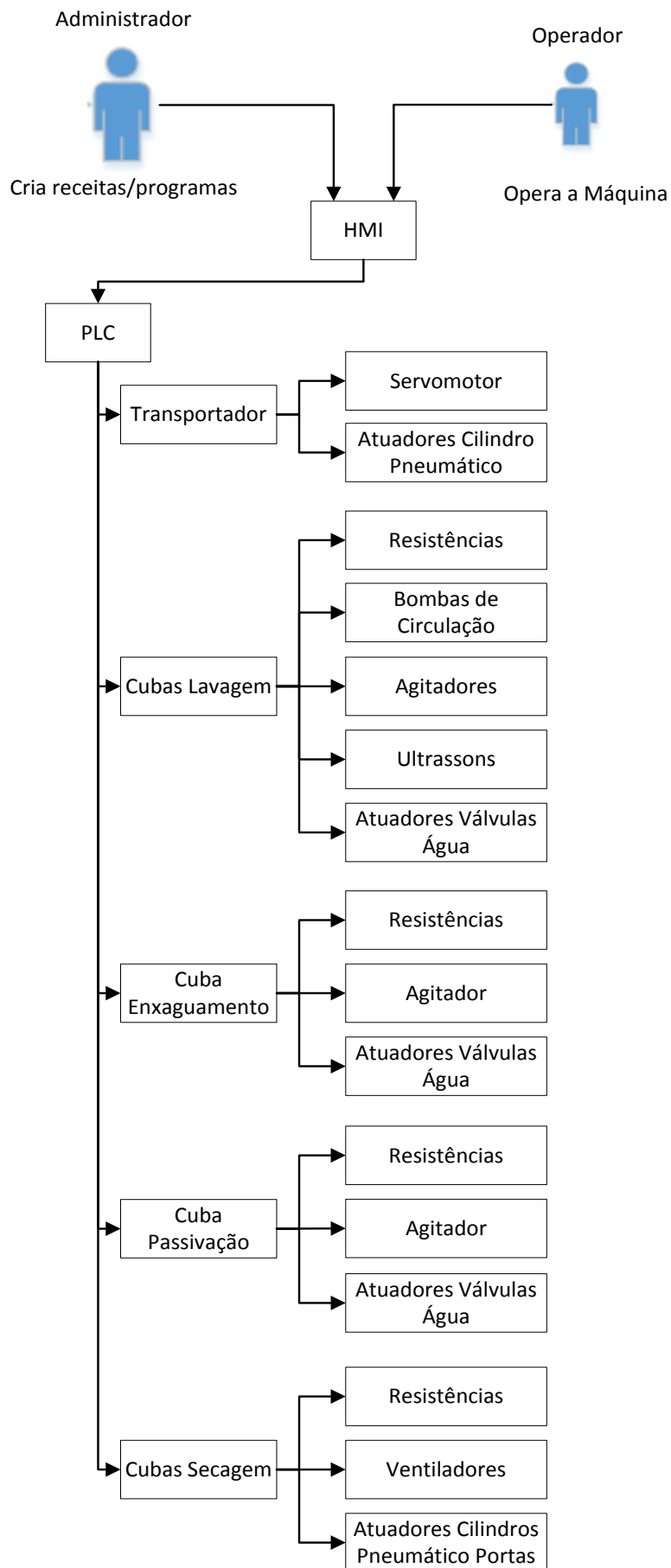


Figura 3.56 – Diagrama de sequência de comandos e permissões no HMI.

3.15 Conclusão

A conclusão desta máquina e posterior implementação nas instalações do cliente, permitirá a este melhorar a produtividade e dá-lhe a hipótese de no futuro implementar novos processos que necessitam de uma limpeza eficaz para serem aplicados.

A máquina fica capacitada para lavar eficazmente diversos modelos de anéis de pistão entre os sessenta e os cento e cinquenta milímetros de diâmetro, permitirá aplicação de uma camada protetora contra a corrosão e todos os anéis à saída, estarão completamente secos.

4 Fase de Testes

4.1 Notas Introdutórias

Quando se desenvolvem novas soluções, nem sempre é possível, por razões temporais, financeiras ou técnicas, comprovar ou testar determinados sistemas/processos sem que para isso seja necessário conceber um protótipo similar ao sistema final.

Na presente máquina, pode-se considerar que este problema não se põe uma vez que é baseada numa tecnologia mais do que testada embora alguns dos seus sistemas nunca tenham sido usados para este fim.

Após a montagem quase total do sistema mecânico e elétrico, foi possível proceder aos primeiros testes. Estes visaram comprovar o correto funcionamento do transportador, tempos de aquecimento e sobretudo eficácia da lavagem.

No final destes testes chega a etapa crítica, o *try out*. Consiste basicamente em por à prova a solução criada na presença do cliente. São efetuados todos os tipos de testes, analisadas possíveis melhorias ou alterações sugeridas pelo cliente e, seguidamente implementadas. Após superada esta etapa, a máquina é considerada como aprovada, estando finalmente pronta a ser entregue ao cliente.

4.2 Afições

Foram levadas a cabo afiões no transportador, sensores de posição dos pneumáticos das portas das cubas de secagem, nos níveis da potência dos ultrassons e nos níveis do líquido contido nas cubas de lavagem.

4.2.1 Transportador

Como já foi referido anteriormente, o transportador é composto por dois eixos, um vertical e um horizontal.

No eixo vertical, as afiões foram poucas e visaram o ajuste dos sensores indutivos de posição acoplados ao cilindro pneumático, o ajuste de dois amortecedores internos do cilindro pneumático posicionados nas extremidades do mesmo a fim de evitar oscilações dos cestos quando o cilindro chega à posição pretendida.

Relativamente ao eixo horizontal, a sua afiação e parametrização foi um pouco mais demorada em comparação com a afiação do eixo vertical. Foi necessário:

- Ajustar posição dos sensores de limites inferior e superior do eixo;
- Ajustar escalas, para se obter um valor de posição mais próximo da realidade;
- Afinar parâmetros do controlo PID para obter uma resposta suave (evitar retirar os anéis das respetivas posições nas varas);
- Testar e parametrizar limites de:
 - Velocidade;
 - Aceleração;
 - Corrente consumida;
 - Deslocamento;
- Ajustar o valor em mm de cada uma das sucessivas posições na linha;
- Afinar o valor a subtrair ou somar às posições definidas anteriormente para se obter as posições auxiliares.

Após todos estes testes e afinações, o transportador estava pronto para poder desempenhar a sua tarefa quer em manual quer em automático.

4.2.2 Portas das Cubas de Secagem

Os sensores indutivos acoplados aos cilindros pneumáticos responsáveis pela movimentação das portas das cubas de secagem, deram alguns problemas na sua afinação pois tinham uma zona de deteção muito curta e a forma como foram concebidos os eixos de deslocamento das portas davam-lhes alguma folga levando a que estas por vezes terminassem o seu movimento fora da posição normal.

A afinação passou por melhorar o eixo das portas diminuindo-lhe a margem de oscilação, aumentar um pouco a pressão nos cilindros pneumáticos (definidos na Figura 4.1 como “*Speed controller*”) e por último, ajustar o melhor possível a posição dos sensores de fim de curso presentes em cada um dos cilindros.

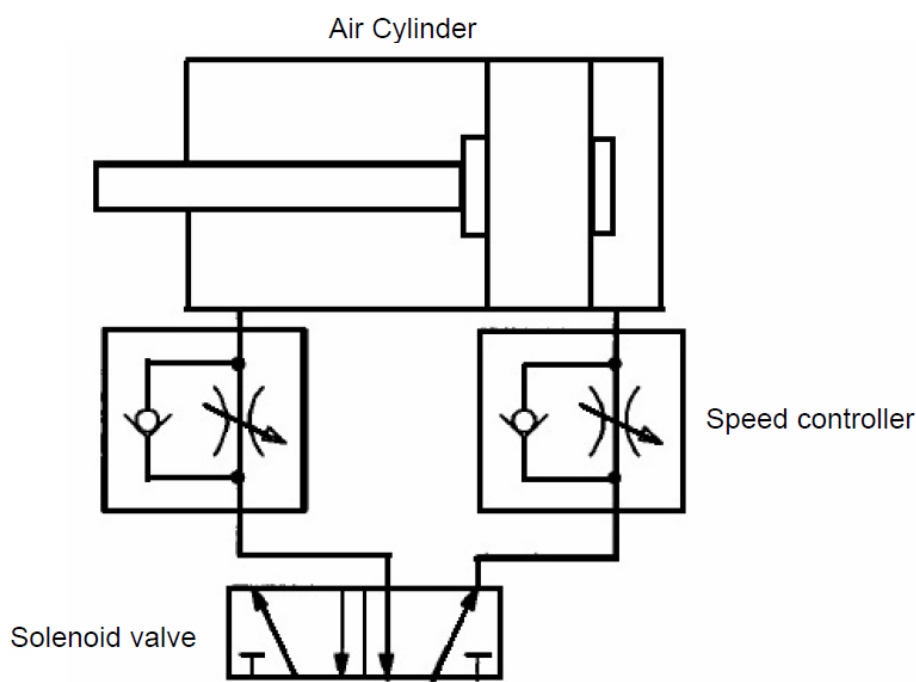


Figura 4.1 – Circuito básico do funcionamento de um cilindro pneumático, SMC.

4.2.3 Ultrassons

A afinação na frequência aplicada pelo gerador de ultrassons nos transdutores inseridos nos tanques de lavagem foi também demorada uma vez que dependia muito do meio envolvente e da carga que era inserida na cuba. Nesta primeira fase o objetivo era tentar eliminar possíveis fontes de ruído geradas com o choque das ondas ultrassónicas, tais como pontos oscilantes dentro das cubas e possíveis zonas de ressonância entre superfícies metálicas.

4.2.4 Níveis e Agitadores

Nas cubas de lavagem, o espaço é mais reduzido uma vez que na sua base estão implementados os transdutores de ultrassons. Por este motivo foi necessário ajustar a posição mínima dos agitadores para que, quando com o cesto repleto de anéis com cento e cinquenta milímetros de diâmetro, estes não toquem nos transdutores de ultrassons. Este ajuste criou um novo problema pois ao elevar os cestos nas cubas, estes ficam com uma menor quantidade de líquido

sobre si prejudicando os resultados. Sendo assim foi necessário reajustar os níveis em todas as cubas com banhos. Nas cubas três e quatro, foi necessário apenas reajustar os sensores de nível. Quanto às cubas de lavagem, ou seja um e dois, este ajuste foi mais complicado abrindo à subida das cascatas.



Figura 4.2 – Interior de uma cuba de lavagem.

4.3 Try Out

Como já foi mencionado anteriormente, o *Try Out* é a etapa que antecede a entrega da máquina ao cliente. É uma etapa crítica mas fortemente benéfica pois permite levar a cabo alterações, a maioria das vezes sugeridas pelo cliente com base nos ensaios levados a cabo durante a referida etapa.

Durante o *try out* da presente máquina, foram limpos inúmeros anéis de pistão de diferentes modelos, diferentes características físicas, diferentes tipos de sujidade e diferentes parametrizações sugeridas pelo cliente com base nos resultados que se iam obtendo e também com experiências passadas.

4.3.1 Problemas e Soluções

Ao longo da realização dos inúmeros testes levados a cabo na máquina, o cliente assinalou os seguintes problemas ou questões a melhorar:

- Demasiada informação fornecida na gestão das receitas;

- Confusão entre receitas e programas por parte do cliente;
- Na transição de cestos entre cubas, os restos de líquidos que ficam agarrados ao cesto caem sobre as zonas por onde passam;
- Em alguns tipos de anéis com determinadas características de sujidade, a vibração não é bem-vinda durante todo o processo de lavagem;
- Falta de informação quanto ao número de lavagens efetuadas em cada cuba.

A resolução dos problemas e melhorias assinaladas passou por:

- Criar duas janelas referentes a receitas, uma destinada exclusivamente ao carregamento de programas e a segunda com acesso total exclusivo aos administradores;
- Trocar o termo receitas por programas;
- Criar um parâmetro configurável de atraso temporal no arranque dos ultrassons quando em automático e em ciclo de lavagem;
- Criar contadores de cestos por banho para cada cuba e respetivos alarmes configuráveis.

5 Conclusões

O estagiário considera que todos os objetivos inicialmente propostos foram alcançados devido ao forte apoio e motivação fornecido quer por colegas de trabalho quer pelo orientador.

Durante o estágio, surgiram diversas situações onde o estagiário pôde aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos durante a sua formação académica e desta forma compreender melhor a sua utilidade. Teve oportunidade de conhecer tecnologias até então desconhecidas que o ajudaram certamente a abrir novos horizontes enquanto profissional na área.

5.1 Lavadora de Anéis Automóvel

Um dos objetivos do estágio era tomar contacto com o desenvolvimento e produção de soluções para a indústria, objetivo esse que julga-se ter sido concretizado com o desenvolvimento da máquina que dá o nome a este relatório. Durante o seu desenvolvimento surgiram momentos difíceis motivados por dificuldades normais deste tipo de processo. No entanto conseguiu-se levar este projeto a bom porto pelo que o estagiário está bastante feliz com o resultado final.

5.1.1 Comportamento do Sistema

Analisando agora o trabalho desenvolvido na idealização e implementação do controlo da lavadora, julga-se que, apesar de algumas limitações financeiras, obteve-se uma solução robusta, fiável com uma gestão de ciclo bastante eficaz. O sistema está pensado para minimizar o tempo em que há cubas sem cestos. No entanto esta minimização é fortemente influenciável pela mão Humana pois está dependente desta para o carregamento de cestos na sua zona de carga.

5.1.2 Melhorias

É bem certo que tudo o que é construído pode sempre ser melhorado e esta máquina não foge à regra. Uma das primeiras melhorias que ajudariam certamente a simplificar o ciclo e desta forma otimizar-lo ainda mais seria a implementação de detetores de cesto nos diversos suportes para os mesmos, presentes nas cubas, zonas de carregamento e descarga e claro no transportador. Estes detetores deveriam ter a possibilidade de identificar qual o cesto sobre eles posicionado e para tal seria obviamente necessário identificar todos os cestos. A inserção desta melhoria poderia abolir a complexa função de Gestão de Cestos por uma muito mais simples e o facto de se ter identificação nos cestos poder-se-ia ter vários cestos dentro da linha associados a diferentes programas (receitas).

Outra grande melhoria seria a substituição dos contadores que alimentam as resistências por relés de estado sólido permitindo assim efetuar um controlo, por exemplo por PWM e desta forma obter uma maior estabilidade nas temperaturas das cubas. É de salientar que substituindo exclusivamente os contadores, não seria suficiente uma vez que as saídas do PLC que os acionam, são a relé e não tem capacidade para tais velocidades de comutação pelo que seria também necessário alterar as ditas carta de saídas digitais.

Por fim as melhorias no transportador poderiam passar por colocar um redutor entre o servomotor e a guia do eixo horizontal. Desta forma seria possível aumentar a rotação de funcionamento do servo que atualmente é demasiado baixa limitando a sua ação e complicando a sua afinação. Ainda dentro do transportador, uma das grandes diferenças entre esta máquina e as concorrentes está no eixo vertical que é impulsionado pneumáticamente. Na concorrência este movimento é feito com recursos a um servomotor semelhante ao utilizado no eixo horizontal. A utilização do servomotor, embora mais dispendiosa traz alguns benefícios desde logo pela maior liberdade de controlo na posição e resposta do eixo.

Embora se considere que as melhorias apresentadas trariam mais-valias para o sistema, estas iriam encarecer bastante a máquina, fugindo a um dos requisitos do cliente que era o preço.

Referências Bibliográficas

- [1] A. Francisco, Autômatos Programáveis, 4ª edição, Lisboa: ETEP, 2007. [Acedido em 30 Outubro 2013].
- [2] C. M. Franchi, V. L. A. D. Camargo, Controladores Lógicos Programáveis, São Paulo: Editora Érica, 2009. [Acedido em 30 Outubro 2013].
- [3] J. R. Caldas Pinto, Técnicas de Automação, Lisboa: ETEP, 2007. [Acedido em 30 Outubro 2013].
- [4] IEC, "IEC 61131-3 Programming Industrial Automation System", 2013 [Online]. Available: http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/Artnum_PK/47556. [Acedido em 9 Agosto 2013].
- [5] Siemens, "Structured Control Language (SCL) for S7-300/S7-400 Programming", 1999. [Online]. Available: <http://support.automation.siemens.com/US/lisapi.dll?query=scl&func=cslib.cssearch&content=adsearch%2Fadsearch.aspx&lang=en&siteid=cseus&objaction=cssearch&searchinprim=0&nodeid=10805400>. [Acedido em 30 Outubro 2013].
- [6] PI, "PROFIBUS System Description Technology and Application," 2010 [Online]. Available: [http://www.profibus.com/download/?pxdprofibusfilter_technology\[0\]=2&pxdprofibusfilter_technology\[1\]=3](http://www.profibus.com/download/?pxdprofibusfilter_technology[0]=2&pxdprofibusfilter_technology[1]=3). [Acedido em 8 Dezembro 2013].
- [7] PI, "PROFINET System Description Technology and Application", 2013 [Online]. Available: http://www.profibus.com/download/?pxdprofibusfilter_technology=1. [Acedido em 8 Dezembro 2013].
- [8] M. E. Stivanello, Inspeção Industrial Através de Visão Computacional, 2004. [Online]. Available: [http:// campeche.inf.furb.br/tccs/2004-II/2004-2mauricioestivanelloap.pdf](http://campeche.inf.furb.br/tccs/2004-II/2004-2mauricioestivanelloap.pdf). [Acedido em 2 Dezembro 2013]
- [9] Teledyne Dalsa, "CCD vs CMOS", 2013 [Online]. Available: <http://www.teledynedalsa.com/imaging/knowledge-center/appnotes/ccd-vs-cmos/>. [Acedido em 2 Dezembro 2013]
- [10] Imatic, "Sistemas de Visão", 2005 [Online]. Available: <http://www.imatic.com.br/tecnologia.htm>. [Acedido em 29 de Outubro 2013]
- [11] Joe Rubinstein "How does a Global Shutter Work?", 2013 [Online]. Available: <http://www.digitalbolex.com/global-shutter/>. [Acedido em 2 Dezembro 2013]
- [12] Infaimon, "Objetivas/Filtros", 2011 [Online]. Available: <http://www.infaimon.com/pt/catalogo-industria/objectivas-filtros-59.html>. [Acedido em 2 Dezembro 2013]
- [13] Vision Doctor, "Lighting techniques for machine vision", 2013 [Online]. Available: <http://www.vision-doctor.co.uk/illumination-techniques.html>. [Acedido em 10 Dezembro 2013]

- [14] D. Martin, "A Practical Guide to Machine Vision Lighting", 2007 [Online]. Available: <http://www.graftek.com/pdf/Marketing/MachineVisionLighting.pdf>. [Acedido em 10 Dezembro 2013]
- [15] Teledyne Dalsa, "Sherlock Vision System Software", 2013 [Online]. Available: <http://www.teledynedalsa.com/imaging/products/software/sherlock/>. [Acedido em 2 Dezembro 2013]
- [16] MVTec, "Halcon Overview" , 2012 [Online]. Available: <http://www.halcon.com/halcon/overview/>. [Acedido em 2 Dezembro 2013]
- [17] Dumencio Lucchesi, O Automóvel, Vol. 2, Lisboa: Editorial Presença,1989. [Acedido em 2 Novembro 2013]
- [18] H. M. Chollet, Curso Prático e Profissional Para Mecânicos de Automóveis – O Motor e Seus Acessórios, Brasil:Hemus,1996. [Acedido em 2 Novembro 2013]
- [19] Federal-Mogul, "Piston Ring Materials", 2008 [Online]. Available: http://korihandbook.federalmogul.com/en/section_41.htm. [Acedido em 2 Novembro 2013]
- [20] IST," Trabalhos dos Alunos, 2001 [Online]. Available: http://www.dem.ist.utl.pt/~m_desl/TrabAlunos_Des_I_2001.html [Acedido em 2 Novembro 2013]
- [21] Schneider Electric, "Preventa XPS - Safety Modules", 2013 [Online]. Available: <http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/3900-pac-plc-other-controllers/3960-safety-controllers-and-modules/626-preventa-xps/>. [Acedido em 3 Novembro 2013]
- [22] SMC, "Fieldbus System", [Online]. Available: http://stevenengineering.com/tech_support/PDFs/70FIELDDBUS_EX600.pdf. [Acedido em 1 Novembro 2013]
- [23] SMC, "EX-600 Operation Manual", 2008 [Online]. Available: http://content2.smcetech.com/pdf/manuals/EX600-SPR_E.pdf. [Acedido em 1 Novembro 2013]
- [24] G. V. M. d. Silva, Instrumentação Industrial, Vol. 1, Setúbal: Escola Superior de Tecnologia de Setúbal,2004. [Acedido em 23 Novembro 2013]
- [25] "Termopares", "CONSTRUÇÃO FÍSICA DA TERMORESISTÊNCIA PT-100", 2013 [Online]. Available: http://www.termopares.com.br/teoria_sensores_temperatura_termoresistencia_pt100_caracteristicas_fisicas_bulbo_resistencia/. [Acedido em 23 Novembro 2013]
- [26] Tekon Electronics, "TDU121X - Transmissor de temperatura universal", 2012 [Online]. Available: <http://www.tekonelectronics.com/Cache/binImagens/TDU1218PT-948.pdf>. [Acedido em 23 Novembro 2013]
- [27] Schneider Electric, "Lexium 32 & Motors - Servo drives and servo motors from 0.15 to 7 kW", [Online]. Available: http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/2900-motion-drives/2935-servo-drives-motors/2302-lexium-32-motors/?p_url=http://www.ops-ecat.schneider-electric.com/ecatalogue/browse.do%3fel_typ=product%26cat_id=BU_AUT_2302_L3%26prd_id=BSH1002P21A2A%26scp_id=Z000%26xtmc=BSH1002P21A2A%26xtcr=1. [Acedido em 30

Novembro 2013]

- [28] Schneider Electric," BSH Servo motor - Motor manual", 2012 [Online]. Available: http://download.schneider-electric.com/files?L=pt&p=1162&p_docId=41&p_docId=&p_Reference=0198441113837-EN&p_EnDocType=User guide&p_File_Id=27772504&p_File_Name=BSH_Manual_V203_EN.pdf [Acedido em 27 Novembro 2013]
- [29] Schneider Electric,"LXM32C AC servo drive - Product manual", 2013 [Online]. Available: http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=47589844&p_File_Name=LXM32C_Manual_V107_EN.pdf. [Acedido em 27 Novembro 2013]
- [30] Schneider Electric," LXM32C Profibus DP-V1 module - Fieldbus manual",2012 [Online]. Available:http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=28738063&p_File_Name=LXM32M_ProfibusDPV1_Manual_V105_EN.pdf. [Acedido em 27 Novembro 2013]
- [31] Sick, "SinCos SKS36, SKM36,SKS36 Standalone, SKM36 Standalone: Motor Feedback Systems with HIPERFACE - Interface for Servo Motors", 2007 [Online]. Available: http://www.sick-automation.ru/images/File/pdf/DIV07/SKS36_SKM36.pdf. [Acedido em 27 Novembro 2013]
- [32] Weber Ultrasonics, "Weber Ultrasonics Surface Technology", [Online]. Available: http://www.weber-ultrasonics.de/downloads/120314_WU_Prodktblatt4S_GB_06_web200.pdf [Acedido em 30 Novembro 2013]

Anexo A – Esquema Elétrico

A empresa considerou este anexo Confidencial,
(Não disponível nas versões das bibliotecas)

Anexo B – Programa das Principais Funções

A empresa considerou este anexo Confidencial,
(Não disponível nas versões das bibliotecas)