

Egon Santos Rodrigues

Automatização de um processo industrial.
Aplicação a um caso: Colocação de escorredor em
embalagem de esfregões saponificados.



Egon Santos Rodrigues

Automatização de um processo industrial.
Aplicação a um caso: Colocação de escorredor em
embalagem de esfregões saponificados.

Tese de Mestrado

em Engenharia Electrotécnica - Energia e Automação Industrial

Professor Doutor Miguel Francisco Martins de Lima



Aos meus pais, esposa e filhos.

Sê humilde se queres adquirir
sabedoria; sê mais humilde ainda,
quando a tiveres adquirido.

Helena P. Blavatsky

RESUMO

A automação é responsável pela automatização de processos maioritariamente manuais. Estes processos são predominantemente repetitivos, com cadência, por vezes, elevada, levando à exaustão de qualquer ser humano.

O presente trabalho teve por objetivo criar uma solução industrial automatizada capaz de executar a aplicação de escorredor em estojo de esfregões saponificados. Esta tarefa era, anteriormente, executada de forma manual.

Trata-se de uma solução desenvolvida à medida, completamente de raiz, única no mercado, integrada na máquina existente, com automação própria. Como resultado final, obteve-se um só equipamento integrado, responsável pela tarefa de abrir o estojo, colar as abas, tampas e inserir o escorredor de forma automática; de forma manual, são inseridos apenas os esfregões.

Para além da explicação do processo de desenvolvimento até chegar à solução, a dissertação apresenta as fases da construção mecânica e implementação de atuadores e respetivo comando para se atingir os objetivos pretendidos.

Assim, a presente dissertação aborda as etapas necessárias na integração de dois equipamentos industriais, provenientes de diferentes fornecedores, em que o existente está em laboração contínua.

Por fim, o estudo descreve o processo de arranque e otimização em ambiente industrial, bem como a formação e interação das equipas de operação e manutenção com o novo equipamento.

ABSTRACT

Automation is responsible for the automation of processes that are mostly manual. These processes are predominantly repetitive, with a high cadence at times, leading to exhaustion of any human being.

The present study aimed at creating an automated industrial solution that would be capable of performing the application of a drainer in a case of saponified sponges. Previously, this task was performed manually.

This is a tailored-made solution, designed completely from scratch, unique on the market, integrated into the existing machine, with its own automation. As a final result, a sole integrated equipment was obtained, which is responsible for the task of opening the case, adhering the tabs and lids, and inserting the drainer automatically; only the sponges are inserted manually.

Besides the explanation of the developmental process until attaining the solution, the dissertation presents the stages of the physical construction and implementation of the actuators and their command, so as to achieve the desired goals.

Thus, this dissertation discusses the steps required in the integration of two industrial equipments from different suppliers, being the existing one in continuous operation.

Finally, the study describes the start-up and optimization procedure in industrial environments, as well as the training and interaction of operation and maintenance teams with the new equipment.

PALAVRAS-CHAVE

Escorredor
Saponificados
Sistemas de embalamento
Automação
Variação eletrónica de velocidade
HMI
Pneumática
Codificador angular
Controlo
Paletização
Despaletização

KEYWORDS

Drainer
Saponified
Packaging Systems
Automation
Electronic speed variation
HMI
Pneumatics
Encoder
Control
Palletizing
De-palletizing

AGRADECIMENTOS

Deixo escrito o meu reconhecimento às pessoas e entidades que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho de mestrado.

Ao meu orientador, Prof. doutor Miguel Francisco Martins de Lima, pelo conhecimento transmitido, dedicação e disponibilidade.

Ao Prof. doutor Paulo Moisés, pelo aconselhamento em alturas decisivas, pela disponibilidade e dedicação, durante o mestrado.

Aos meus colegas de mestrado, pelo espírito de entreajuda e solidariedade nos momentos mais difíceis.

À D.^a Ana, pelo constante apoio, compreensão, carinho e aconselhamento.

Ao Bruno Castro, pelo profissionalismo na construção mecânica e à sua capacidade de resiliência.

Aos responsáveis da Favir, fábrica de produtos de limpeza, pela facilidade de acesso a zona fabril e pela autorização da cedência de imagens.

Termino agradecendo àqueles que, incondicionalmente, sempre estiveram a meu lado, a minha família. Aos meus pais, a ti, Joselito e, em especial, aos meus filhos e à minha mulher, Graça Ferreira, pela admirável companheira que tem sido, pedindo-lhes desculpa pelo tempo que não lhes pude dedicar.

Para todos os que aqui não foram mencionados, que contribuíram para a concretização desta Dissertação, o meu profundo e sentido agradecimento.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
ÍNDICE DE QUADROS.....	xxi
ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xxiii
1. Introdução.....	1
1.1 Introdução	1
1.2 Motivação.....	1
1.3 Objetivos	2
1.4 Estrutura da dissertação	5
2. Implementação mecânica	7
2.1 Introdução	7
2.2 Soluções existentes no mercado	7
2.3 Enquadramento do problema	8
2.4 Desenvolvimento do mecanismo de separação dos escorredores	13
2.5 Desenvolvimento do mecanismo de abastecimento	18
2.5.1 Evolução do desenvolvimento até à estruturação do projeto final.....	18
2.5.2 Desenvolvimento da solução para o abastecimento à torre de descarga	19
2.5.3 Constituição final do projeto em termos de processo	21
2.5.4 Fases de evolução do projeto	22
2.5.5 Plano de execução	24
2.5.6 TDE final.....	24
2.5.7 Sistema de abastecimento à torre de descarga	26
2.5.8 Dispositivos mecânicos.....	30
2.5.9 Conclusão do capítulo.....	32
3. Automação e controlo	33
3.1 Introdução	33
3.2 Princípio de funcionamento	33
3.2.1 Ciclo de descarga.....	34

3.2.2	Ciclo de carga	35
3.2.3	Separação da pilha de escorredores e alimentação à zona de separação	37
3.2.4	Abastecimento da TDE	37
3.2.5	Mudança do armazém para a célula seguinte	38
3.3	Operação do SAIE	40
3.3.1	Modo de operação a partir da consola	42
3.3.2	Modo manual de operação	43
3.3.3	Modo manual técnico.....	43
3.3.4	Modo automático.....	44
3.4	Alarmes e eventos.....	44
3.4.1	Alarmes	44
3.4.2	Eventos.....	45
3.5	<i>Hardware</i> utilizado	46
3.5.1	HMI.....	47
3.5.2	Autómato.....	48
3.5.3	Sensores.....	48
3.5.4	Variador eletrónico de velocidade - VEV	54
3.5.5	Motores	60
3.5.6	Sistema pneumático	61
3.5.7	Quadro elétrico e esquemas de <i>hardware</i>	63
3.6	Desenvolvimento e implementação do <i>Software</i>	69
3.6.1	Constituição e desenvolvimento do controlo	69
3.6.2	Estrutura e implementação	72
3.7	Conclusão do capítulo.....	79
4.	Resultados.....	81
4.1	Introdução.....	81
4.2	Condições de produção encontradas e condições solicitadas.....	81
4.3	Resultados obtidos	82
4.4	Conclusão	88
5.	Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	89
5.1	Introdução.....	89
5.2	Conclusões.....	89

5.3	Principais dificuldades encontradas.....	90
5.4	Perspetiva de desenvolvimentos futuros.....	93
	Referências	95
	Apêndice 1.....	97
	Apêndice 2.....	99
	Apêndice 3.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esfregão saponificado	2
Figura 1.2. Estojo cartonado: a) Aspeto exterior do estojo cartonado; b) Aspeto interior com esfregões e o escorredor.....	3
Figura 1.3. Vista frontal do escorredor	3
Figura 2.1. Dimensões em (mm) do escorredor: a) Vista de topo; b) Vista lateral.....	9
Figura 2.2. Pilha de escorredores.....	9
Figura 2.3. Dimensões da cartolina do estojo: a) Tampas; b) Abas	10
Figura 2.4. Sequência de etapas da máquina primária.....	10
Figura 2.5. Formação do estojo cartonado: a) Pilha dos estojos por montar; b) e c) Formação do estojo; d) Estojo montado.....	11
Figura 2.6. a) Bloco de injeção de cola; b) Braço angular superior	12
Figura 2.7. Localização na máquina primária das etapas.....	12
Figura 2.8. SAIE integrado na máquina primária.....	13
Figura 2.9. Espaço disponível para aplicar o mecanismo separador de escorredor	15
Figura 2.10. Espaço entre os escorredores	15
Figura 2.11. Terceira versão dos garfos: a) Vista lateral; b) Vista de topo.....	16
Figura 2.12. Terceira versão da gaveta: a) Gaveta fechada; b) Gaveta aberta.....	16
Figura 2.13. Terceira versão da torre de descarga: a) Alimentação; b) Torre e mecanismo de separação	17
Figura 2.14. Orifício de abastecimento da torre	19
Figura 2.15. Exemplo de tapete utilizado em testes	20
Figura 2.16. Armazém para pilhas de escorredores.....	20
Figura 2.17. Diagrama de blocos do processo de embalagem de esfregões saponificados ..	21
Figura 2.18. Diagrama de blocos simplificado do SAIE	22
Figura 2.19. Torre em alumínio.....	24
Figura 2.20. Sistema de separação (versão final)	25
Figura 2.21. Aspeto da gaveta: a) Fechada; b) Aberta.....	25
Figura 2.22. Torre com o garfo separador da pilha de escorredores	26
Figura 2.23. Aspeto do armazém numa versão intermédia.....	27
Figura 2.24. Versão final do armazém com as pilhas de escorredores: a) Vista de topo; b) Vista lateral.....	27
Figura 2.25. Sistema de deslocamento do armazém: a) Pormenor das guias no topo; b) Estrutura de suporte	28
Figura 2.26. Garfos de suporte: a) Projeto; b) Utilização	28
Figura 2.27. Gaveta.....	29
Figura 2.28. Sistema de deslocamento do armazém: a) Suporte do armazém e mesa de descarga; b) Veios dos motores e guias lineares de movimento XY.....	29
Figura 3.1. Estojo em posição de descarga	34

Figura 3.2. Ciclo de descarga: Elementos que intervêm na separação do escorredor	35
Figura 3.3. Elementos intervenientes no ciclo de carga e descarga.....	37
Figura 3.4. Parte superior da torre de descarga	38
Figura 3.5. Percurso de descarga do armazém em modo automático.....	39
Figura 3.6. Sistema de abastecimento da torre de descarga	40
Figura 3.7. Painel de operação.....	41
Figura 3.8. Seleção do modo de operação: a) Automático para manual; b) Manual para automático	42
Figura 3.9. Pedido de movimento.....	43
Figura 3.10. Diagrama de blocos da parte de comando e potência	47
Figura 3.11. Consola TD 200	48
Figura 3.12. Sistema de deteção com eliminação de plano posterior: a) Dentro da zona de trabalho; b) Fora da zona de trabalho.....	50
Figura 3.13. Sensor compacto modelo WT B4-3P2161 do fabricante Sick	51
Figura 3.14. Sistema de retro reflexão numa aplicação incorreta.....	51
Figura 3.15. Sensor compacto modelo WL 15-P2430 do fabricante Sick	51
Figura 3.16. Exemplo do cilindro com sensor magnético e íman permanente.....	52
Figura 3.17. Sinal de saída do codificador angular incremental	53
Figura 3.18. Codificador angular incremental série DBS36E do fabricante Sick.....	54
Figura 3.19. Fim de curso compacto: a) Corpo; b) Ponteira de ataque.....	54
Figura 3.20. Diagrama de blocos típico de um variador eletrónico de velocidade	55
Figura 3.21. a) Variador de velocidade; b) Painel de programação	56
Figura 3.22. Diagrama de blocos e ligações do variador aplicado do fabricante Siemens.....	58
Figura 3.23. Relação entre rampas e tempos do variador na transição entre células.....	60
Figura 3.24. Placa de ligações do motor: a) Ligação em estrela; b) Ligação em triângulo	61
Figura 3.25. <i>Layout</i> dos quadros elétricos e das caixas de ligação local	65
Figura 3.26. Quadro elétrico: a) SAIE; b) Máquina primária	66
Figura 3.27. Ilustração do esquema de malhas e terras implementado.....	67
Figura 3.28. Diagrama de ligações multifilar das malhas de controlo de posição	69
Figura 3.29. Exemplo de programa dividido por áreas.....	70
Figura 3.30. Estrutura do programa do projeto: a) Estrutura geral; b) Estrutura dos blocos de dados	72
Figura 3.31. Bloco de dados: a) USER 1; b) TD_DATA_0.....	72
Figura 3.32. Sistema de controlo do posicionamento	77
Figura 3.33. Ponto de referência dos eixos	78
Figura 4.1. Abastecimento manual de escorredores	82
Figura 4.2. Resultado da solução obtida, para a operação manual encontrada	87
Figura 4.3. Linha de abastecimento e embalamento de esfregões em produção.....	88

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1. Elementos do sistema mecânico.....	31
Quadro 3.1. Sequência de acontecimentos para separação do escorredor	36
Quadro 3.2. Alarmes do SAIE.....	45
Quadro 3.3 Eventos do SAIE	46
Quadro 3.4. Fatores de correção para sensores óticos	50
Quadro 3.5. Características dos motores.....	60
Quadro 3.6 Material pneumático utilizado.....	63
Quadro 3.7. Rotinas do controlo desenvolvido (parte 1)	73
Quadro 3.8. Rotinas do controlo desenvolvido (parte 2)	74
Quadro 3.9. Rotinas do controlo desenvolvido (parte 3)	75
Quadro 4.1. Resumo dos resultados.....	83
Quadro 4.2. Resultados físicos obtidos no processo de desenvolvimento (parte 1).....	85
Quadro 4.3. Resultados físicos obtidos no processo de desenvolvimento (parte 2).....	86

ABREVIATURAS E SIGLAS

HSC0	High-Speed Conter
CPU	Unidade de processamento central
SAIE	Sistema automático de inserção de escorredor
TDE	Torre de separação de escorredor
VDC	Voltage direct current
VAC	Voltage alternated current
DC	Direct current
CC	Corrente contínua
PLC	Programmable logic controller
HMI	Human machine interface
IGBT	Insulated gate bipolar transistor
KM	Contactora

1. Introdução

1.1 Introdução

Neste capítulo apresentam-se, em primeiro lugar, os temas que motivaram a elaboração desta dissertação. De seguida, faz-se um enquadramento da realidade encontrada e elencam-se os objetivos pretendidos. No final, apresenta-se um resumo de cada capítulo.

1.2 Motivação

A automação é responsável pela automatização de processos, na sua maioria manuais. Os processos predominantemente repetitivos, com cadência, por vezes, elevada, levam à exaustão de qualquer ser humano.

A motivação deste trabalho refletiu-se no gosto pelo desafio da integração de diversas áreas da automação, onde se incluem a instrumentação, o controlo, a supervisão e as redes industriais. O trabalho aqui apresentado constitui um desafio de:

- Criar algo do ponto zero sem qualquer tipo de referências ou paradigmas;
- Estudar os movimentos ótimos, cadentes e repetidos de um ser humano na execução de determinada tarefa;
- Entender a matéria-prima a ser manuseada (fragilidade, robustez e reação, entre outras);
- Desenvolver atuadores à medida das ideias preconizadas para atingir os objetivos mais primários, dentro do objetivo final que se pretende alcançar;

- Quando otimizados os atuadores, pretende-se associar-lhes a automação e instrumentação presente no mercado, dando vida ao projeto.

Todo o processo de pesquisa e desenvolvimento é feito de avanços e recuos, mas, mesmo nos recuos, nunca voltamos completamente ao ponto de partida porque ficamos a conhecer melhor o processo e, assim, evoluímos sempre, de alguma forma.

1.3 Objetivos

As exigências do mercado de consumo levam a que sejam tomadas algumas medidas na comercialização de certos produtos. Assim, no caso de produtos como o esfregão saponificado, se este não for devidamente acondicionado após o seu manuseamento, poderão ser libertadas partículas de sabão indesejadas. Para evitar esta situação, este tipo de esfregões deve ser acondicionado num escorredor para uma próxima utilização. Desta forma, garante-se que a área envolvente está sempre limpa, ficando as partículas libertadas pelo esfregão depositadas no interior do escorredor.

A matéria-prima, que faz parte do processo de embalagem do esfregão é a seguinte:

- Esfregão saponificado;
- Estojo;
- Escorredor.

Esfregão saponificado

O esfregão saponificado é constituído por lã de aço com sabão impregnado, utilizado para limpezas domésticas.

O esfregão saponificado pode assumir formato oval ou quadrado e possuir diversas gramagens, perfumes e cores, consoante a especificação imposta pelo cliente. A Figura 1.1 apresenta um dos formatos do esfregão saponificado.



Figura 1.1. Esfregão saponificado

Estojo cartonado

O estojo cartonado é a embalagem que contém os esfregões saponificados e o escorredor.

A Figura 1.2 a) apresenta o aspeto exterior do estojo cartonado na sua versão comercial. No canto superior esquerdo da figura é mencionado o número de esfregões saponificados, no canto inferior direito é apresentado o escorredor e qual a sua função. A Figura 1.2 b) apresenta uma vista lateral de um estojo aberto, já pronto para ser expedido para o mercado.

Pode verificar-se que o escorredor situado no fundo do estojo deverá ser o primeiro elemento a ser colocado, seguido dos esfregões saponificados.



a)



b)

Figura 1.2. Estojo cartonado: a) Aspeto exterior do estojo cartonado; b) Aspeto interior com esfregões e o escorredor

Escorredor

O escorredor é um recipiente (figura 1.3) feito de um material plástico. Mais especificamente o material é um polímero termoplástico, formado pela reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol. Este tipo de material utiliza-se principalmente na forma de fibras para tecelagem e de embalagens para bebidas.



Figura 1.3. Vista frontal do escorredor

A situação encontrada resume-se a uma máquina, denominada neste documento de máquina primária, que prepara os estojos cartonados. Os estojos cartonados são a embalagem comercial que transporta os estojos saponificados e o escorredor.

O objetivo do presente trabalho é criar uma solução industrial automatizada, capaz de implementar a colocação do escorredor no estojo de esfregões saponificados.

Anteriormente, esta tarefa era executada manualmente, sendo os estojos preparados por uma máquina já existente e que neste documento é denominada de máquina primária.

1. Introdução

O desenvolvimento da solução baseia-se em cinco pressupostos principais:

- 1º Atravancamento físico, pois há uma grande limitação de espaço para aplicar qualquer tipo de solução;
- 2º A operadora aplica o escorredor com o estojo vazio, no início do processo. Os responsáveis da empresa põem como condição o escorredor ser aplicado no final do processo, já com o estojo cheio de esfregões. Passou-se de uma altura disponível para acomodar o escorredor dentro do estojo de 19,5 cm para 6 cm. A Figura 1.3 apresenta o escorredor individualmente e em pilha;
- 3º A inserção de escorredor no estojo deve realizar-se com a tampa inferior do estojo fechada e colada. O tempo da operação terá que ser sempre inferior a três segundos, tempo solicitado pelos responsáveis da empresa;
- 4º Deverá garantir-se que todos os estojos levam escorredor. Surgindo qualquer falha, o processo deve parar e identificar o erro. Só deve ser permitido o reinício quando a falha estiver resolvida;
- 5º A solução encontrada deve permitir o abastecimento da máquina a desenvolver sem que o processo produtivo pare.

Assim, de forma a estruturar a evolução do projeto e cumprir os requisitos, definiram-se oito objetivos:

- Criar uma solução económica e fiável, que consiga separar individualmente os escorredores empilhados;
- Conhecer todo o *hardware* e ciclos de funcionamento da máquina existente;
- Durante três semanas, testar em plena produção o protótipo da torre de descarga dos escorredores (TDE) integrado na máquina existente;
- Detetar os aspetos a melhorar, retificando-os, e testar em produção a versão melhorada;
- Criar um sistema de abastecimento automático (denominado armazém) à TDE, de forma que a máquina a desenvolver não pare em produção;
- Dimensionar e implementar a estrutura de suporte e fixação da TDE e do armazém;
- Integrar o novo equipamento no existente;
- Fazer o acompanhamento do arranque em produção e formação do pessoal.

A evolução acontece quando forem atingidos os objetivos da etapa anterior. A metodologia adotada permite garantir:

- Total operacionalidade do equipamento existente, de modo a não afetar a produção;
- O controlo de custos, pois apenas quando garantido o sucesso de uma etapa se investe na seguinte.

Desde o desenho das peças até à solução final trata-se de uma solução desenvolvida à medida, completamente de raiz e única no mercado, a ser integrada na máquina existente. O resultado final é a construção de um equipamento único, só utilizável na unidade de produção existente.

1.4 Estrutura da dissertação

Este capítulo introdutivo apresenta a motivação que esteve na origem desta dissertação, bem como os objetivos a serem alcançados.

O Capítulo 2 apresenta os resultados da pesquisa levada a cabo no sentido de encontrar soluções no mercado. Este capítulo evidencia as especificidades do material manuseado, as fases para atingir os primeiros objetivos, desde a construção mecânica inicial até à versão final. No fim deste capítulo apresenta-se o plano de execução final do projeto.

O Capítulo 3 descreve o desenvolvimento e implementação da automação e do controlo. Apresenta, igualmente, o *software* desenvolvido, enquadrando-o com as suas malhas de controlo e estas com o comando do respetivo *hardware*.

O Capítulo 4 faz um breve resumo da situação encontrada, dos requisitos pretendidos para a solução automatizada, apresentando, também, os resultados processuais e físicos da solução final.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões gerais, as dificuldades encontradas, e os aspetos a melhorar com propostas de otimização.

2. Implementação mecânica

2.1 Introdução

No presente capítulo, começa por referir-se a tecnologia que o mercado disponibiliza e que poderá servir, de alguma forma, para implementar uma solução para o problema. Verifica-se que as especificidades do material manuseado e as restrições físicas impostas para a implementação conduzem à criação de uma solução desenvolvida de raiz. Seguidamente, descrevem-se as fases para atingir o objetivo primário, que é a separação individual dos escorredores, assim como as necessidades de abastecimento automático ao sistema de separação dos escorredores. Apresentam-se as etapas de evolução e o plano de execução final do projeto. No final, enumeram-se critérios para a construção mecânica da versão final e apresentam-se as características de cada elemento no contexto geral do projeto.

2.2 Soluções existentes no mercado

Na primeira metade do século passado, surgiram na indústria máquinas projetadas para aliviar algum do trabalho repetitivo. Eram máquinas mecanicamente complexas, grande parte das vezes motorizadas num só ponto, de onde partia todo o movimento, com automatismo puramente mecânico. Na verdade, tratava-se de verdadeiras peças de relojoaria.

Com a evolução da tecnologia e, nomeadamente da eletrónica, apareceu o autómato, respondendo às exigências da indústria. Surgiram novas necessidades de controlo, com algoritmos complexos aliados à maior rapidez de processamento. Ao longo do tempo, surgiu

2. Implementação mecânica

uma enorme diversidade de equipamentos periféricos, como as áreas da instrumentação e controlo, aliadas a uma grande evolução de diversos tipos de redes industriais.

Em grandes sistemas procura-se ter um centro de operação da unidade industrial capaz de supervisionar e interagir em todo o processo produtivo em tempo real.

O mercado atual está muito desenvolvido no que respeita a técnicas e formas de paletização e despaletização, embalagem de equipamentos e materiais. A variedade da oferta está relacionada com a enorme diversidade de produtos existentes e a necessidade de transporte, mantendo a sua integridade.

Da procura efetuada, cedo se concluiu que as técnicas e tecnologias desenvolvidas estão focadas na especificidade do produto a que se aplicam. Procuram a uniformização, para o segmento de mercado em que se encontram, disputando uma vasta área geográfica, tornando-se comercialmente competitivas.

Esta pesquisa permitiu encontrar no mercado um conjunto de possíveis soluções. A que está mais próxima de fazer parte de uma solução integrada para o problema aqui retratado, embora resolvendo apenas parte do desafio, é um sistema com braços robotizados. Estes teriam que ter sempre periféricos de apoio. Este género de solução atinge custos muito elevados, com um período de retorno do investimento superior ao pretendido.

A análise do mercado não permitiu encontrar qualquer solução análoga ao que se pretende, tendo em conta a especificidade da matéria-prima a ser trabalhada, a integração no equipamento existente e o espaço disponível para o fazer e com custos aceitáveis para a empresa.

Concluiu-se que o caminho será mudar de paradigma. Assim, o desafio não passa por encontrarmos uma solução já existente, mas por focar a atenção no material a ser manipulado, tendo presente as exigências impostas e desenvolver uma resposta adequada.

2.3 Enquadramento do problema

A matéria a ser trabalhada divide-se em dois grupos, a matéria-prima propriamente dita que é utilizada no processo e os elementos intervenientes na manufatura da matéria-prima. A matéria-prima utilizada são o escorredor, os esfregões saponificados e o estojo cartonado. O elemento interveniente é o equipamento existente, denominado de máquina primária e a mão-de-obra, que são as operadoras. A seguir apresentam-se as principais características da matéria-prima e da máquina primária.

O escorredor apresenta as dimensões ilustradas na figura 2.1.

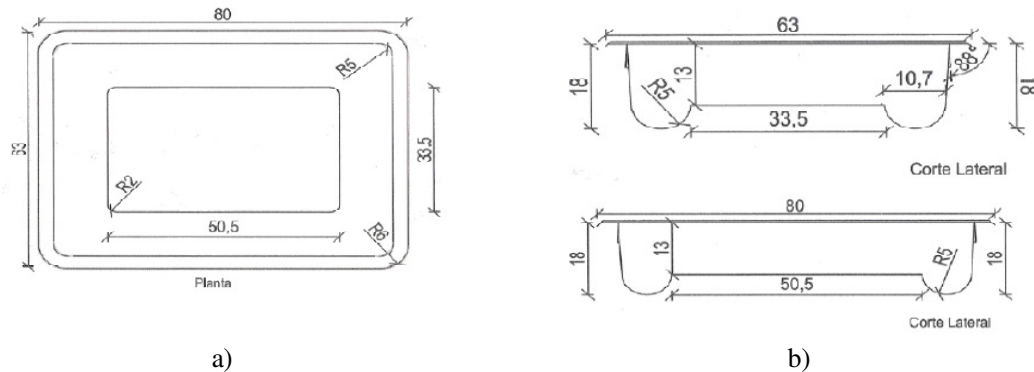


Figura 2.1. Dimensões em (mm) do escorredor: a) Vista de topo; b) Vista lateral

O escorredor, antes de ser colocado no estojo, apresenta-se sob a forma de uma pilha, como se ilustra na figura 2.2.



Figura 2.2. Pilha de escorredores

O esfregão saponificado, apresentado na figura 1.1, é constituído por lã de aço com sabão impregnado, utilizado para limpezas domésticas. Este esfregão é especialmente recomendado para a remoção da sujidade mais incrustada de tachos, panelas, tabuleiros e grelhas, entre outros utensílios.

O estojo é feito em cartolina reciclada com verso cinza, com colagem longitudinal, gramagem de 325 g/m² e espessura de 435 µm. A sua impressão é feita em *offset* a quadricromia, com aplicação de verniz, água e brilho. As dimensões do estojo são as seguintes: 111,5x70x197mm.

Na Figura 2.3 apresentam-se as dimensões da cartolina que forma o estojo, onde:

- a) Tampas superior e inferior;
- b) Abas superiores e inferiores.

2. Implementação mecânica

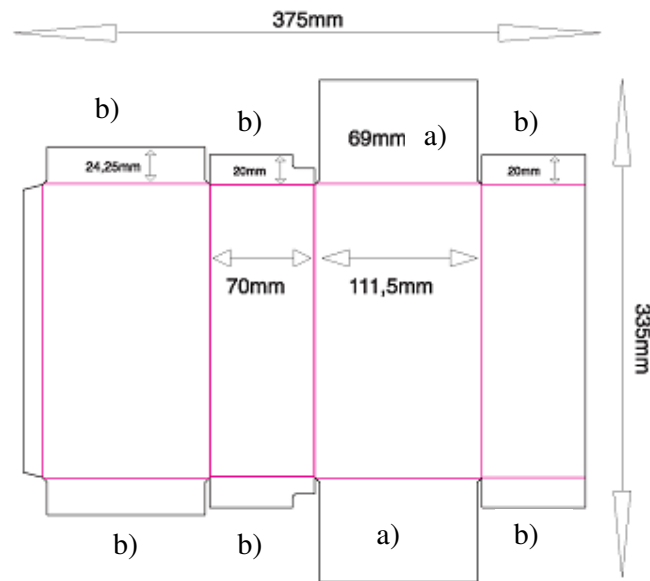


Figura 2.3. Dimensões da cartolina do estojo: a) Tampas; b) Abas

De forma automática, a máquina primária abre o estojo, cola as abas, bem como a tampa superior e inferior; de forma manual, são inseridos os escorredores e os esfregões. No final, o estojo segue para o armazém de expedição. Na Figura 2.4 enumeram-se, sequencialmente todas as etapas do processo e que são:

- Formação do estojo;
- Injeção de cola e fecho das abas da tampa inferior;
- Abastecimento manual do escorredor;
- Abastecimento manual dos esfregões saponificados;
- Injeção de cola e fecho das abas da tampa superior do estojo.

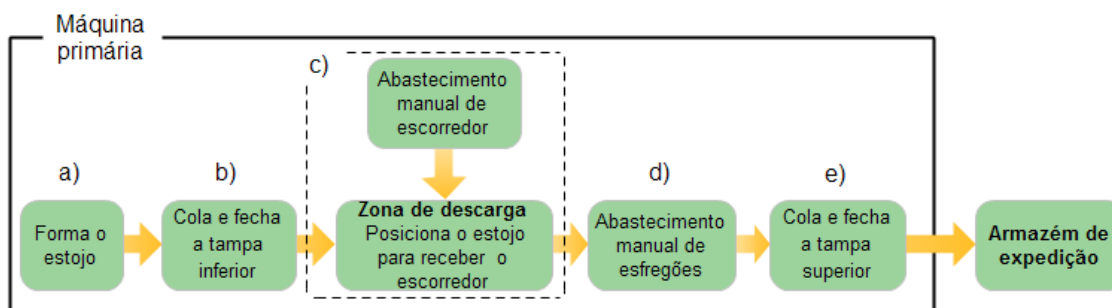


Figura 2.4. Sequência de etapas da máquina primária

A seguir descrevem-se em pormenor cada uma das etapas, localizando na máquina primária o sítio onde as mesmas ocorrem.

Etapa a) – Formação do estojo

A Figura 2.5 apresenta a sequência de acontecimentos necessários para se formar o estojo. Esta é a primeira etapa do processo de abastecimento. A Figura 2.5 a) apresenta os estojos por formar em pilha no armazém, prontos para serem posicionados individualmente no meio dos dentes do carrocel. O posicionamento é feito por um braço, que é o suporte das ventosas, situado no centro dos dentes do carrocel. Quando o braço avança, as ventosas agarram o primeiro estojo da pilha para ser formado, como se apresenta na Figura 2.5 b). Ao recuar, o braço (Figura 2.5 c) obriga o estojo a abrir e coloca-o no centro dos dentes, já devidamente formado, como se pode observar na Figura 2.5 d).

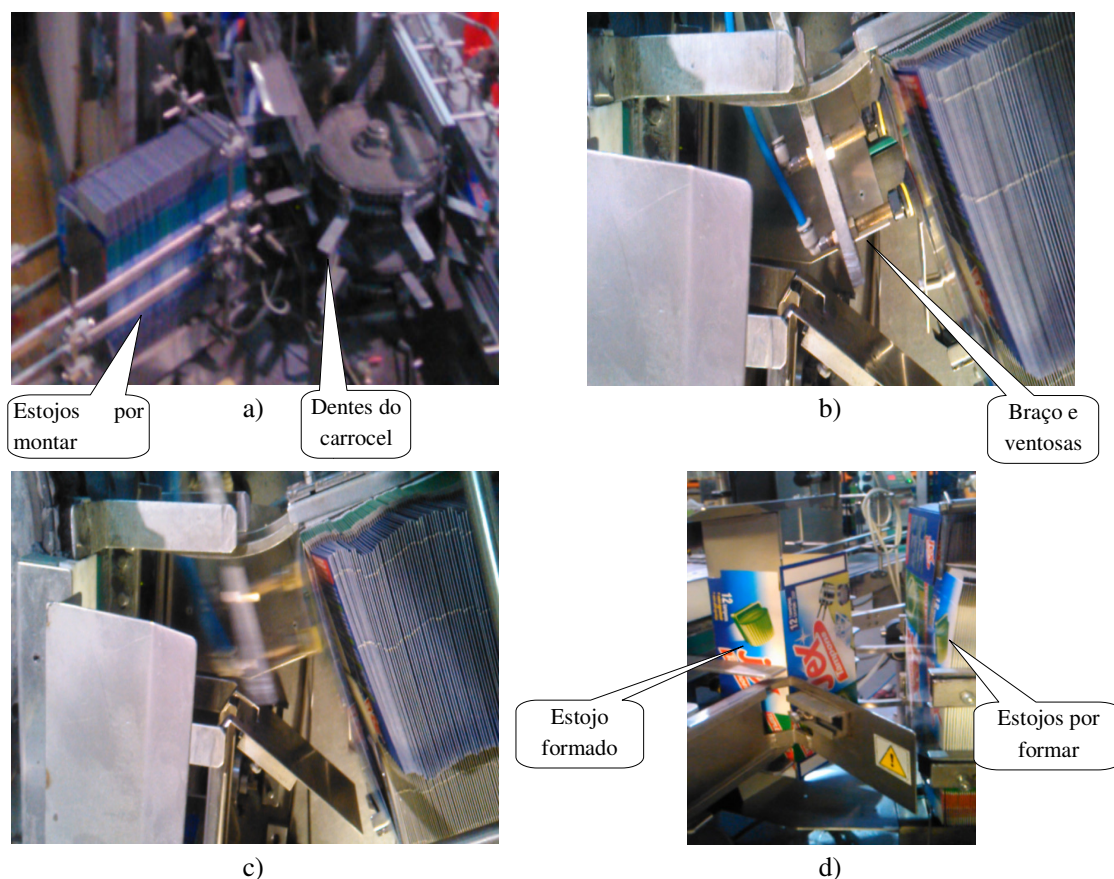
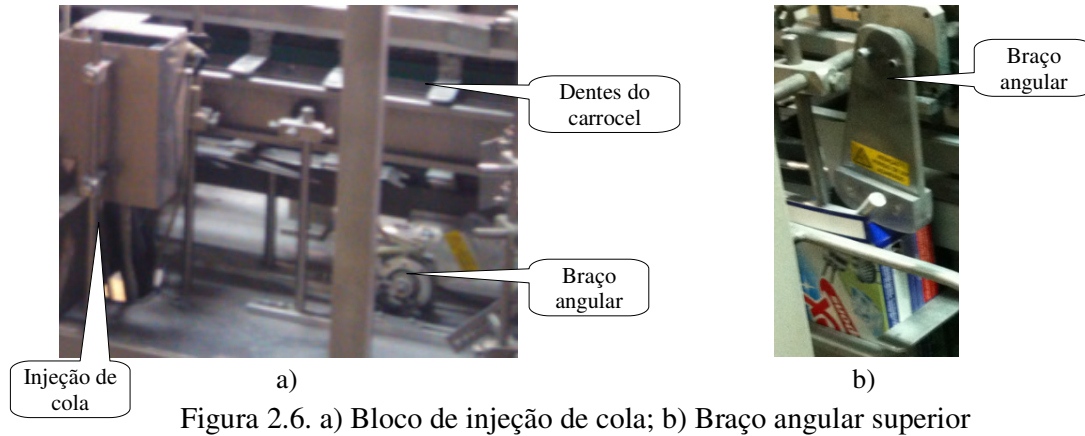


Figura 2.5. Formação do estojo cartonado: a) Pilha dos estojos por montar; b) e c) Formação do estojo; d) Estojo montado

Etapas b) e e) – Injeção de cola e fecho das abas das tampas inferior e superior do estojo

Este processo é feito em movimento, onde são dobradas as abas laterais e é injetada cola na aba frontal. No final, é dobrada a tampa para cima da aba frontal. A Figura 2.6 a) apresenta o bloco de injeção de cola e o braço angular, que fecha a aba lateral inferior do estojo. Vêm-se ainda os dentes do carrocel. A Figura 2.6 b) apresenta o braço angular a dobrar a aba lateral superior.

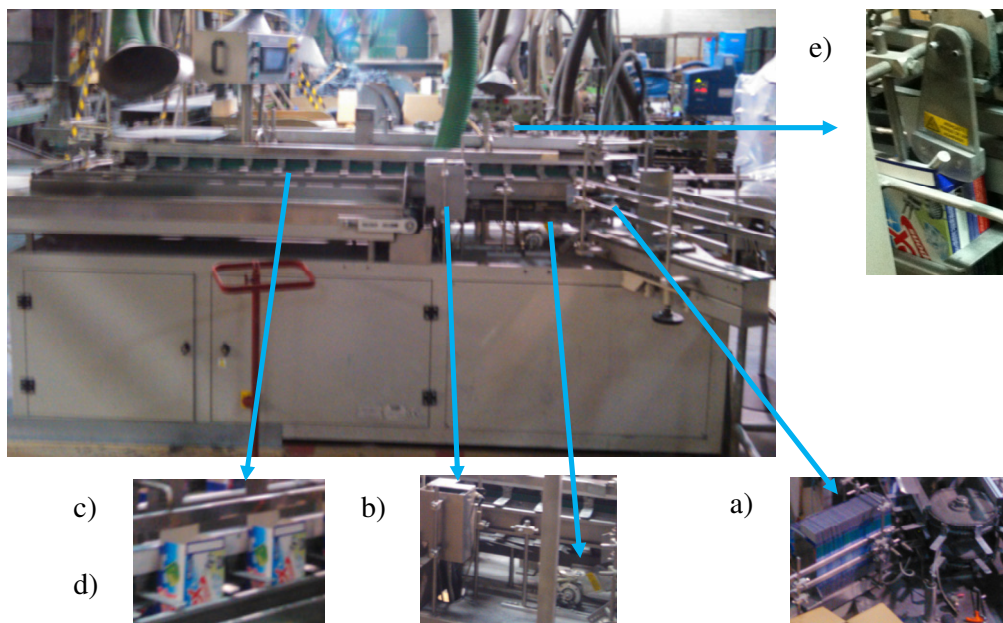
2. Implementação mecânica



Etapas c) e d) - Abastecimento manualmente do escorredor e dos esfregões

Estas duas etapas são executadas manualmente. Enquanto o carrocel se movimenta com os estojos na etapa c), uma operadora coloca o escorredor no estojo e na etapa d) outras operadoras colocam os esfregões no mesmo estojo.

A Figura 2.7 ilustra a localização, na máquina primária, dos pontos onde se realizam as etapas até agora descritas.



Dentro deste processo, o presente trabalho focou-se em criar uma solução automática para a etapa c), a qual foi denominada de Sistema Automático de Inserção do Escorredor (SAIE). A figura 2.8 mostra o SAIE integrado na máquina primária resultante de todo o trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação.

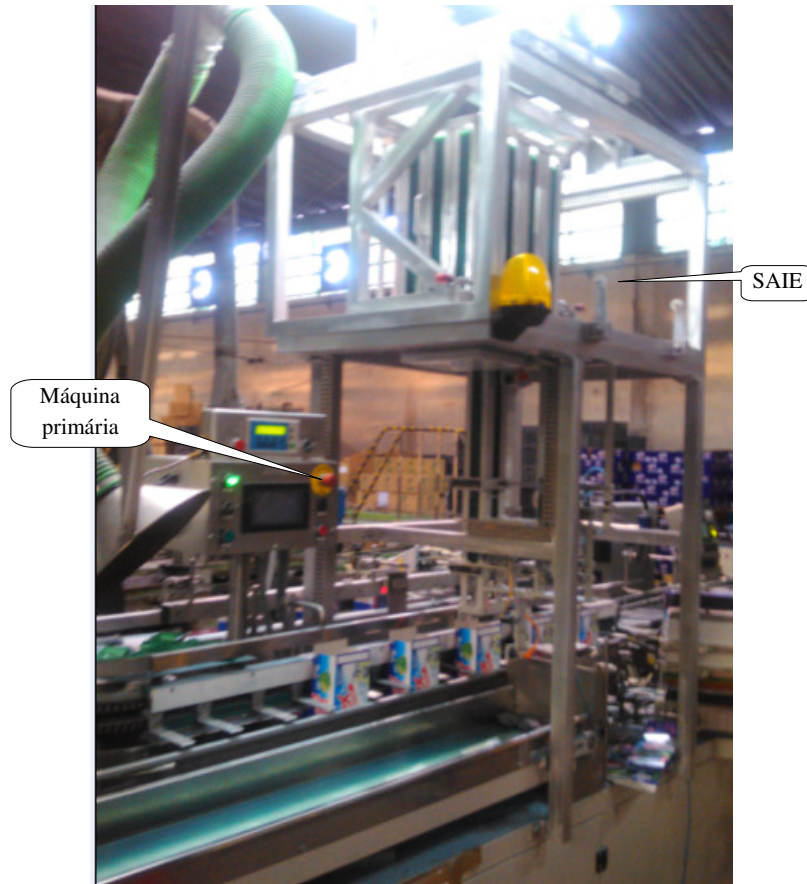


Figura 2.8. SAIE integrado na máquina primária

2.4 Desenvolvimento do mecanismo de separação dos escorredores

Excluída a possibilidade de virem a ser adotadas soluções integradas existentes no mercado, parte-se, então, da matéria-prima existente, centrando-se a atenção no objetivo a atingir.

Por outro lado, visto estar a trabalhar-se com uma fábrica que está a laborar no mercado, é necessário um tempo de resposta célere para encontrar uma solução para o problema proposto.

No desenvolvimento inicial do trabalho, estabeleceram-se fases a atingir, balizadas temporalmente. As diversas fases serviram como guia na pesquisa da solução com data limite para responder se seria ou não possível concretizar a parte primária do trabalho, o qual consistia em separar individualmente os escorredores. Apenas com esta certeza faria sentido pensar-se no projeto de forma global.

2. Implementação mecânica

As fases definidas na pesquisa da solução para a separação individual dos escorredores foram as seguintes:

- Primeira fase: Levantar várias possibilidades de solução, testando as mesmas até à exaustão;
- Segunda fase: Chegando a uma solução, com percentagem de sucesso aceitável, reunir com a empresa, apresentando os resultados. Decidir o avanço ou não do protótipo;
- Terceira fase: Sendo positiva a fase anterior, implementar esse protótipo e integrar na máquina existente para testes reais.

Primeira fase

Nesta fase inicial da pesquisa, surgiram diversas ideias para separar individualmente o escorredor, destacando-se, seguidamente, algumas delas:

- Criar uma caixa à dimensão de uma pilha dos escorredores. Lateralmente seriam aplicados dois veios motorizados, com passo de rosca suficiente para transportar a pilha, libertando o primeiro escorredor. Esta hipótese não se revelou prática e mostrou-se muito pouco fiável. Como pode observar-se em face das não uniformidades mostradas na figura 2.2, a pilha não vem do fornecedor com as abas certas. A pilha ficava torcida.
- Aplicar um braço com ventosas de vácuo que pegaria individualmente em cada escorredor, aplicando-o no estojo.
Esta hipótese revelou-se igualmente pouco fiável. O escorredor, por vezes, vem na pilha muito encaixado. Raramente a ventosa traria apenas um.
- Nos testes efetuados, ficou claro que não se pode contar com a possibilidade de o escorredor vir empilhado sempre da forma correta. Pode concluir-se que a solução passa por um sistema primário que separe o escorredor do fundo da pilha, ficando então o escorredor disponível para ser levado para o estojo.

Como resultado de algum amadurecimento da experiência, conjugada com os entraves técnicos e físicos (ver figura 2.9), tornou-se necessário um novo aperfeiçoamento da ideia de aplicar uma caixa em forma de paralelepípedo, batizada de torre de descarga, contendo, no seu interior, uma pilha dos escorredores.

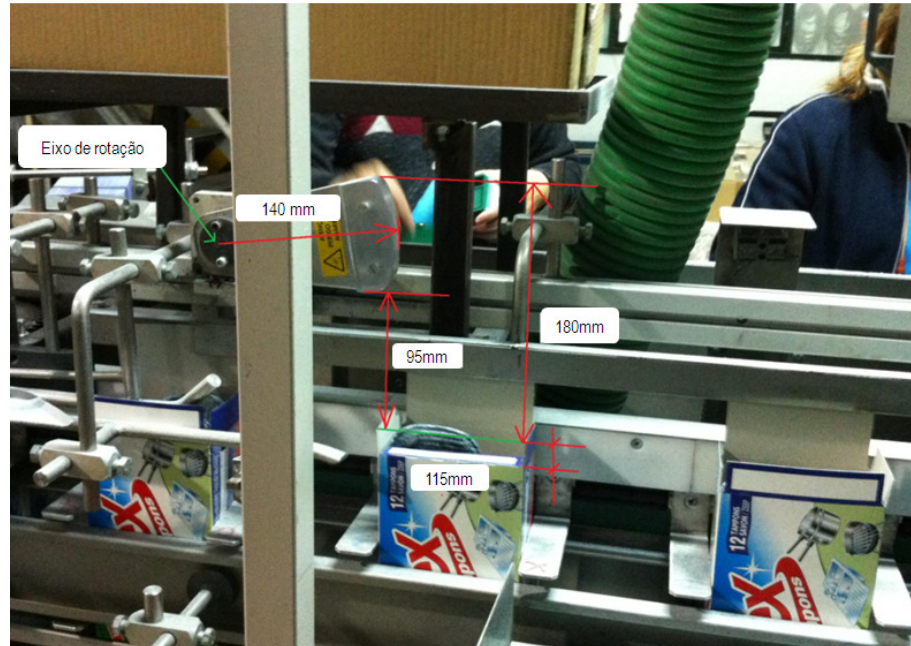


Figura 2.9. Espaço disponível para aplicar o mecanismo separador de escorredor

Após um número considerável de testes falhados, recorrendo a injetores de ar direcionados para separar o primeiro escorredor, sempre com a torre presente, chamou à atenção o espaço de aproximadamente 1,8 mm existente entre as abas de cada par dos escorredores da pilha.

Das experiências anteriores, decide-se trabalhar o pior caso, ou seja, contar com espaço entre os escorredores de 1,5 mm. A Figura 2.10 procura ilustrar o espaço entre os escorredores.



Figura 2.10. Espaço entre os escorredores

Seguidamente, desenvolveu-se um mecanismo dentado, com dois dentes em forma de cunha, designados por garfo ou mecanismo de separação do escorredor.

Com a ideia dos dentes pontiagudos em forma de cunha, com uma espessura na ponta inferior a 1,5 mm pretende-se que, num só movimento de avanço, estes encaixem entre as abas do primeiro e segundo escorredores (contando a partir da base) da pilha e, adicionalmente, sirvam também de guia. A cunha do dente faz a separação do escorredor. Na Figura 2.11 pode observar-se uma das versões dos garfos.

2. Implementação mecânica

Aplicado o garfo na base da torre e testado de forma manual, obtém-se os primeiros resultados encorajadores.

Com os outros métodos até agora testados, obteve-se uma taxa de sucesso na separação bastante baixa, da ordem dos 5%. Com o garfo, a taxa de sucesso sobe para, aproximadamente, 40%.

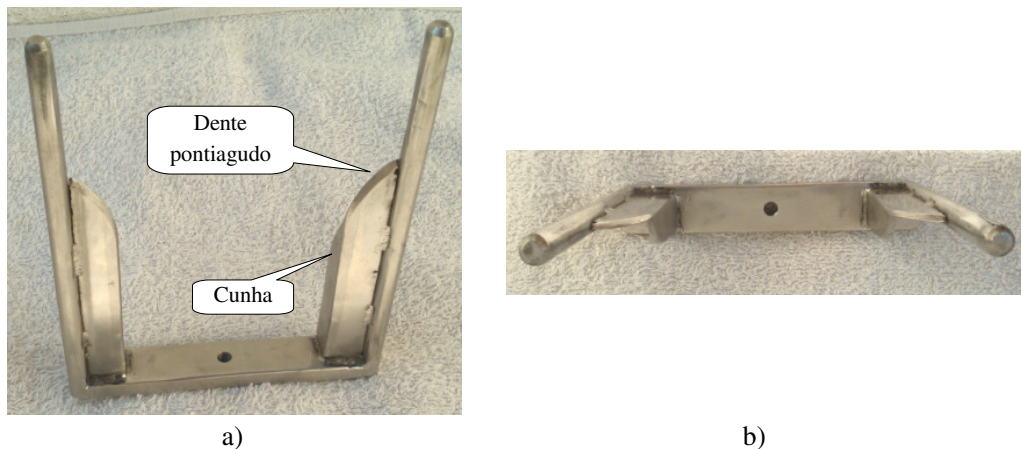


Figura 2.11. Terceira versão dos garfos: a) Vista lateral; b) Vista de topo

Com o funcionamento do garfo, surge a necessidade de segurar a pilha dos escorredores no momento em que esta não está em processo de separação do primeiro escorredor. Desenvolveu-se, então, um mecanismo apelidado de gaveta. Sem a gaveta, toda a pilha dos escorredores cai sem que o garfo faça a separação. A Figura 2.12 permite observar uma das versões da gaveta.

Na fase seguinte desta procura de solução, aplica-se a gaveta, paralelamente ao garfo, de forma que o espaço entre os dois mecanismos só permita a existência do primeiro escorredor. Feitos os testes de forma manual com os dois mecanismos, e procurando a melhor sincronização de ambos, os resultados melhoram significativamente, separando agora, aproximadamente, 65% dos escorredores.

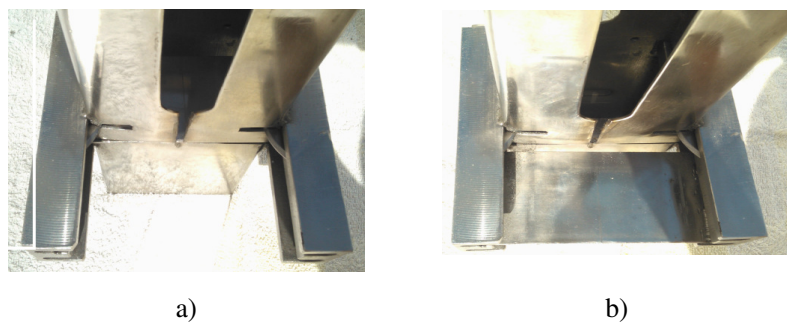


Figura 2.12. Terceira versão da gaveta: a) Gaveta fechada; b) Gaveta aberta

Neste estágio de desenvolvimento está-se a meio da resolução do problema, ainda sem a solução completa, mas com avanços inegáveis.

Recorrem-se então, uma vez mais, aos testes anteriormente executados, com injeção de ar direcionado.

A injeção de ar direcionada para o centro das duas abas do escorredor, durante o processo de avanço do garfo, obriga à separação dos escorredores, criando uma almofada de ar entre o primeiro e segundo, facilitando a entrada do garfo.

Na realização destes testes, foram aplicados dois cilindros pneumáticos, um para acionar o garfo e o outro para acionar a gaveta. A injeção de ar foi manual, procurando-se o melhor ciclo de trabalho.

Os resultados melhoram de 65% para a ordem dos 80%. Na Figura 2.13 pode observar-se a terceira versão do mecanismo constituído pela torre com os respetivos garfo e gaveta.

O protótipo em que foram feitos os testes iniciais foi desenvolvido em madeira prensada (MDF) e os atuadores aplicados de forma rudimentar.

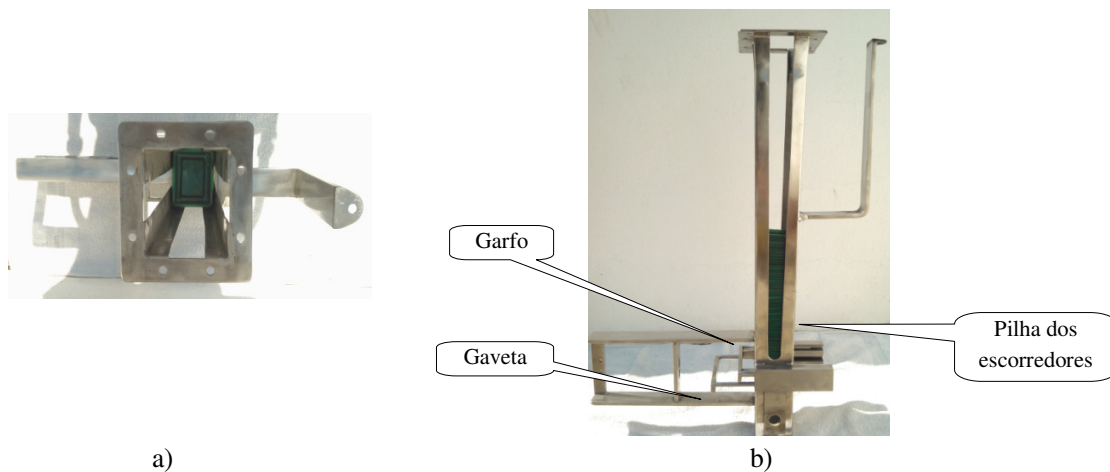


Figura 2.13. Terceira versão da torre de descarga: a) Alimentação; b) Torre e mecanismo de separação

Neste estágio do desenvolvimento, entendeu possuir-se uma solução para resolver o desafio primário de separar individualmente um escorredor da pilha. A margem de insucesso que permanece vai ser averiguada num protótipo mais aperfeiçoado, em relação ao existente.

Segunda fase

Na segunda fase, reuniu-se com os responsáveis da empresa. Foi-lhes comunicada a existência de uma solução com margem de sucesso aceitável para o projeto avançar num protótipo, capaz de ser colocado em testes integrando a máquina existente. Explicou-se de forma genérica o princípio de funcionamento aplicado. A empresa aceitou e acreditou nas virtudes da solução apresentada.

Foi, então, solicitada colaboração para a fase seguinte, nomeadamente no que se refere ao acesso à máquina primária, à cedência da informação técnica existente e autorização para alterar o seu *hardware* de forma a integrarem-se os dois equipamentos.

Terceira fase

A terceira e última fase estão relacionadas com o compromisso assumido na fase anterior. Desenvolveu-se um protótipo, aplicando as virtudes atingidas na fase anterior e procurando melhorar um outro aspeto ainda não melhorado, especificamente as dimensões internas da torre. Encontra-se uma grande percentagem dos escorredores com o corte das abas imperfeito ou inexistente, o que provocava no protótipo anterior muitas prisões durante a queda da pilha.

2.5 Desenvolvimento do mecanismo de abastecimento

2.5.1 Evolução do desenvolvimento até à estruturação do projeto final

Ultrapassado o desafio primário de separar individualmente os escorredores existentes na pilha, e aceite por parte da empresa a próxima fase de criar o protótipo de testes a integrar na máquina existente, é altura de o projeto ser pensado de forma abrangente, com vista à solução final.

Seguindo a evolução natural de um processo de desenvolvimento norteado pelas condições impostas pela empresa, só neste momento pode pensar-se de forma realista nos restantes elementos necessários ao projeto. Os resultados obtidos permitiram aumentar a confiança por parte da empresa numa solução final e, conseqüentemente, a sua abertura à necessidade de olhar para o projeto de forma global.

Assim, enquanto se avançava, em termos de serralharia mecânica, na construção do protótipo, paralelamente idealizava-se a constituição das outras partes do projeto.

Para a empresa, o objetivo deste projeto visa eliminar uma tarefa manual neste processo produtivo, deslocando a operadora responsável por essa tarefa para outro género de tarefas.

A torre, que é o elemento final de armazenamento dos escorredores (pilha com 150 escorredores), dá uma autonomia apenas de cinco minutos. Este é o desafio que se segue, e que passa por desenvolver uma solução que aumente a autonomia da máquina.

2.5.2 Desenvolvimento da solução para o abastecimento à torre de descarga

Para o estudo desta solução, considerando a experiência da pesquisa feita anteriormente no mercado para o caso do sistema de separação dos escorredores, partiu-se imediatamente para o seu desenvolvimento.

Mais uma vez, serviu de base a matéria-prima a ser trabalhada, tendo-se, nesta altura, um maior conhecimento da sua dinâmica, aliada aos movimentos de posicionamento necessários da pilha dos escorredores.

Na pesquisa para o levantamento de hipóteses de solução para o problema, serviu de base a torre, as caixas dos escorredores fornecidas, os movimentos de uma pilha de escorredores, bem como a forma como a pilha vem posicionada dentro da caixa proveniente do fornecedor.



Figura 2.14. Orifício de abastecimento da torre

Da análise efetuada, e considerando que a torre de descarga é fixa, posicionada num ponto imposto pelo setor de produção da empresa, o sistema de alimentação terá que ser móvel. Verificou-se, também, que o empilhamento do escorredor na caixa proveniente do fornecedor é feito em forma de matriz.

A procura da solução centrou-se nas seguintes possibilidades:

1. Alimentação da torre de descarga através de tapete de transporte linear;
2. Alimentação da torre de descarga através de uma matriz.

A primeira possibilidade baseou-se na aplicação de um tapete de transporte com parede lateral ajustada à dimensão da torre dos escorredores. Este tapete é carregado com várias pilhas de escorredores, que são transportadas até à zona de alimentação da torre de descarga.

2. Implementação mecânica

Esta possibilidade apresentou grandes fragilidades. As pilhas desmoronavam-se e o processo de descarga não apresentava um comportamento uniforme. A Figura 2.15 mostra um tapete *standard* idêntico ao utilizado nos testes realizados.



Figura 2.15. Exemplo de tapete utilizado em testes

Na segunda possibilidade, houve uma utilização considerável dos conhecimentos adquiridos sobre a dinâmica das pilhas dos escorredores. Concluiu-se que o sistema de abastecimento deve ser um armazém em forma de matriz, motorizado em duas direções ortogonais, X e Y.

A forma de matriz vem facilitar, e diminuir, o tempo de carga do referido armazém, por ser à imagem do que é fornecido pelo fabricante dos escorredores. Esta topologia garante, aproximadamente, 120 minutos de autonomia.

O movimento em dois sentidos do armazém está relacionado com o ponto de abastecimento da torre ser fixo e o armazém ser em forma de matriz.

O armazém não tem fundo e desloca-se de forma suspensa em cima de uma mesa, à qual é fixa a torre de descarga. A Figura 2.16 apresenta a primeira versão do armazém desenvolvido.

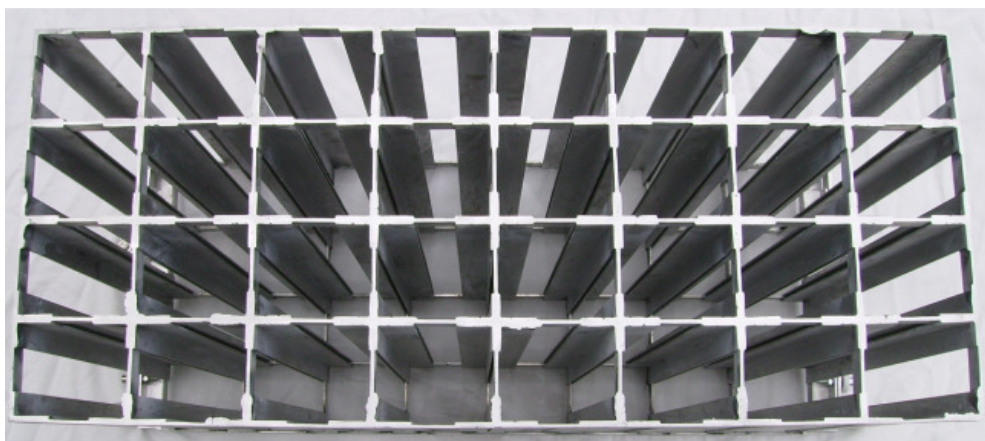


Figura 2.16. Armazém para pilhas de escorredores

2.5.3 Constituição final do projeto em termos de processo

Na Figura 2.17 pode observar-se o diagrama de blocos final do processo de abastecimento e embalagem de esfregões saponificados. Este diagrama divide-se em três grupos: (1) o SAIE, que é o sistema automático de inserção de escorredor; (2) dentro deste existe a TDE, que é a torre de descarga dos escorredores, e (3) por fim, a máquina primária, apresentada na secção 2.2.

Na parte superior da figura 2.17 apresentam-se as etapas desenvolvidas neste projeto para inserir o escorredor automaticamente no estojo. Paralelamente, apresentam-se as imagens da implementação. Na parte inferior da figura apresentam-se as principais etapas do processo de abastecimento de esfregões saponificados, escorredor e embalagem. Pode verificar-se que a etapa de inserção manual de escorredor foi substituída pelo SAIE. O armazém de expedição é o último estágio do produto antes de este ir para o mercado.

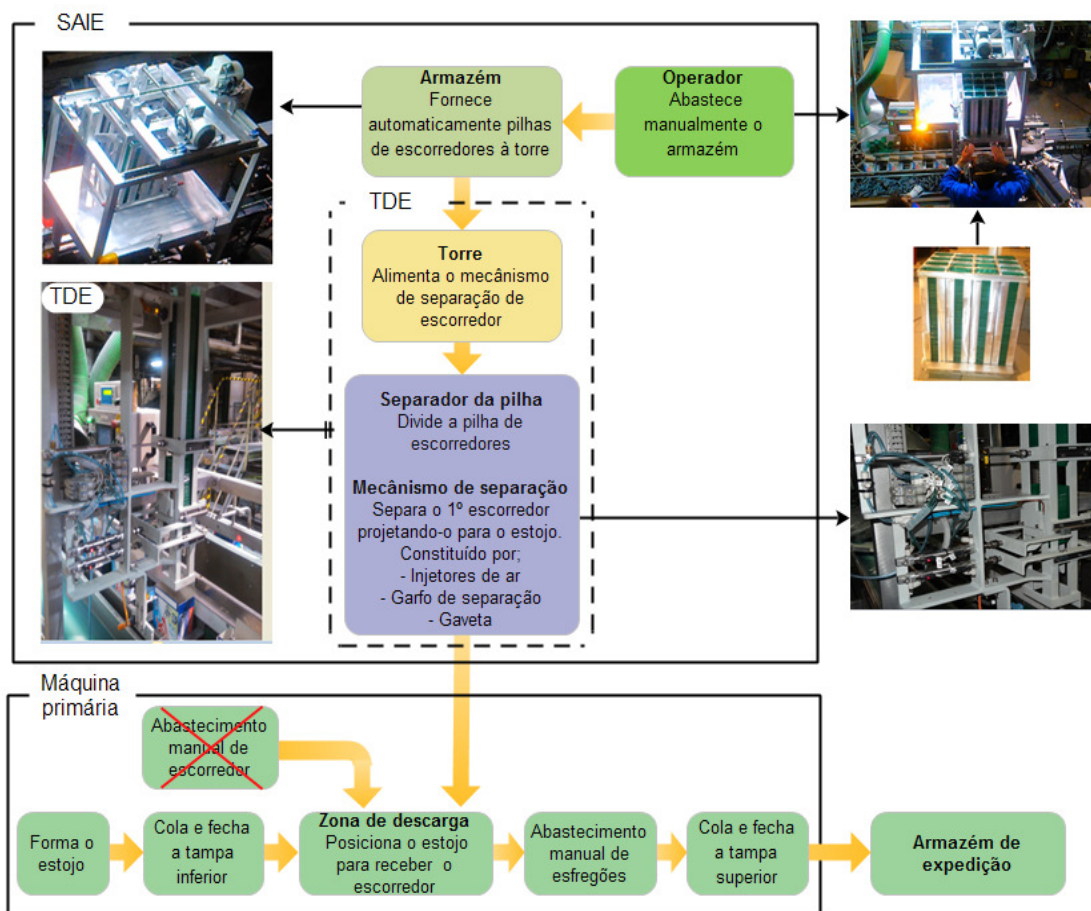


Figura 2.17. Diagrama de blocos do processo de embalagem de esfregões saponificados

A Figura 2.18 apresenta o diagrama de blocos simplificado do SAIE, constituído pelo armazém com dezasseis células, a mesa XY com o orifício de descarga, a torre de descarga

2. Implementação mecânica

constituída pelo aparador da pilha, o garfo separador da torre, o garfo separador do escorredor e a gaveta. No fundo da torre posiciona-se o estojo para receber o escorredor.

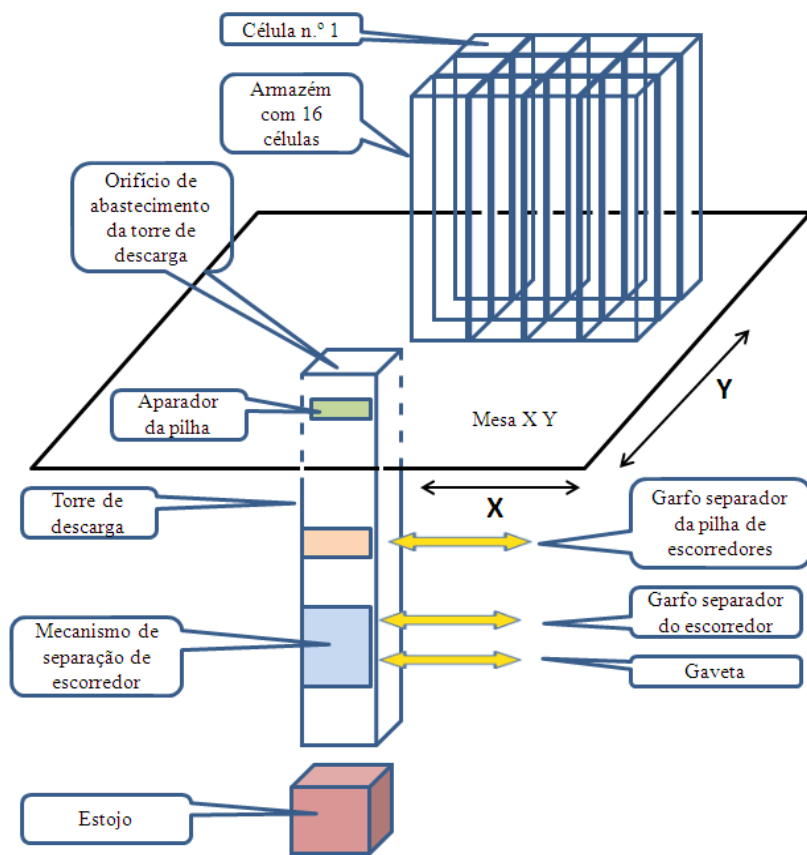


Figura 2.18. Diagrama de blocos simplificado do SAIE

2.5.4 Fases de evolução do projeto

Este projeto apresenta duas etapas de desenvolvimento. Na primeira etapa, desenvolveu-se o mecanismo de separação dos escorredores (TDE). Na segunda etapa, desenvolveu-se uma solução para aumentar a autonomia do mecanismo de separação, recorrendo, para isso, à criação de um armazém. Dentro de cada etapa ocorrem várias fases de evolução. Seguidamente descrevem-se as diversas fases de evolução do projeto.

1ª. Fase – Estudo e avaliação da viabilidade técnica de separação do escorredor

- 1.1. Separar individualmente o primeiro escorredor. Trata-se de trabalho de desenvolvimento realizado em oficina.
- 1.2. Reunião com os responsáveis da empresa para comunicar os resultados da etapa anterior. O avanço ou não do processo depende objetivamente dos resultados atingidos na etapa anterior e do seu reconhecimento por parte da empresa.

- 2ª. Fase – Implementação e integração do protótipo no processo produtivo
 - 2.1. O avanço desta fase dependia dos objetivos atingidos na primeira fase. Procedeu-se à construção de um protótipo com recurso aos conhecimentos atingidos na primeira fase; o protótipo foi dimensionado para se integrar no processo produtivo existente.
 - 2.2. Fez-se a integração do protótipo no processo produtivo. O objetivo desta fase era avaliar as soluções encontradas e detetar novas oportunidades de melhoria. Dentro do possível, procurou-se implementar as melhorias no local do processo produtivo, monitorizando os resultados.

- 3ª. Fase – Estudo e teste de soluções para aumentar a autonomia do sistema de separação de escorredor
 - 3.1. Criação de soluções de alimentação ao sistema de separação dos escorredores.
 - 3.2. Estudo da viabilidade técnica com primeiros testes em oficina.
 - 3.3. Concluída a fase anterior, procedeu-se ao delineamento do projeto global.

- 4ª. Fase – Avaliação, ponderando, em conjunto com a empresa, os resultados do protótipo da torre de descarga e apresentação da versão final do projeto, com o sistema de alimentação à torre.

- 5ª. Fase – Construção do sistema de abastecimento à TDE e da estrutura de apoio. O avanço desta fase depende da aprovação, por parte da empresa, da versão final do projeto.
 - 5.1. Dimensionamento e implementação em oficina do sistema de abastecimento à torre.
 - 5.2. Construção da versão final da TDE, com base no que se otimizou com o protótipo em produção.
 - 5.3. Dimensionamento e construção da estrutura de apoio do sistema de abastecimento e da TDE.

- 6ª. Fase – Verificação de alinhamentos, integração na estrutura da TDE e no sistema de abastecimento. Teste de alinhamentos mecânicos. Integração da nova estrutura na máquina existente (SAIE), verificando cotas.
 - 6.2. Integração da torre e sistema de abastecimento, em oficina. Eletrificação e integração dos dois programas e sua otimização.

- 7ª. Fase – Finalização da integração, arranque em produção e formaçãoIntegração do SAIE na máquina existente. Fazer o arranque em produção e proceder a ajustes e otimizações.
 - 7.2. Formação das equipas de produção e equipa de manutenção elétrica e mecânica.

2.5.5 Plano de execução

O desenvolvimento e conseqüente evolução do projeto estiveram diretamente relacionados com o alcance de objetivos considerados primordiais para o interesse da empresa e ao facto de esta acreditar nas soluções propostas para as fases seguintes. Estes períodos de avaliação, com a conseqüente concretização, causaram o aumento da duração do projeto.

Sempre que foi possível desenvolveram-se tarefas em paralelo. Por isso, na quinta, em parte da sexta e na sétima fase, o projeto evoluiu muito rapidamente. Este facto é ilustrado no apêndice 1 onde se apresenta o fluxograma do plano de execução do projeto.

Todo o desenvolvimento e construção mecânica (serralharia mecânica) dos protótipos e projeto final relevaram-se bastante morosos. Inicialmente, foram impeditivos de outro tipo de avanços em paralelo. Esta situação já não teve tanto peso na quinta fase.

2.5.6 TDE final

Como mencionado e apresentado ao longo do presente capítulo, a torre e o sistema de separação foram sendo alvo de aperfeiçoamento. Na construção da versão final, foram aplicados todos os conhecimentos adquiridos nos testes e aperfeiçoamentos implementados. Na versão final consideram-se ainda aspetos como o peso, a resistência mecânica, a fiabilidade e a facilidade de manutenção.

Considerando o peso e a resistência mecânica necessária, a versão final da torre foi construída em alumínio, como se pode observar na Figura 2.19.



Figura 2.19. Torre em alumínio

Os garfos e a gaveta foram redesenhados para trabalharem em guias lineares de deslizamento sem lubrificação e sem corrosão de baixo atrito, de modo a corresponderem à fiabilidade exigida.

O novo desenho é pensado com vista a facilitar a intervenção da equipa de manutenção. Os pontos de fixação e de ajuste ficam, agora, acessíveis ao operador. Na Figura 2.20 pode observar-se o novo desenho do sistema de separação. Na mesma figura pode ver-se o sistema de injeção de ar, os garfos de separação e a gaveta.

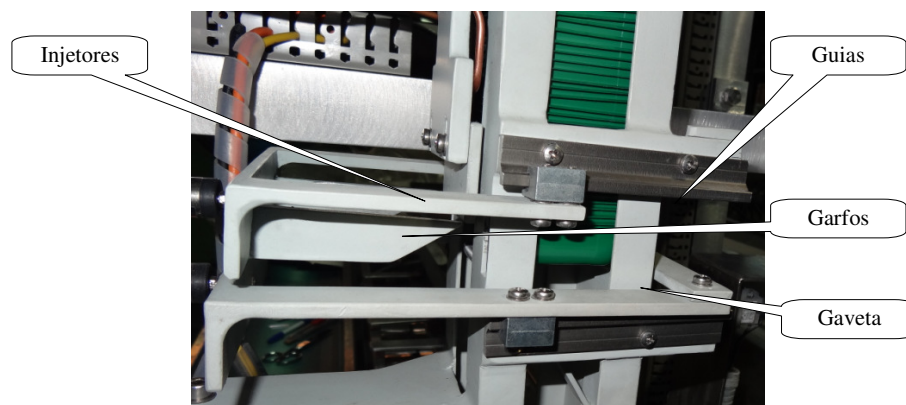


Figura 2.20. Sistema de separação (versão final)

A gaveta sofreu uma evolução adicional, como apresentado na Figura 2.21. Aplicou-se um esquadro na parte inferior da gaveta, com o objetivo de ajudar a projetar o escorredor para o estojo. Com este sistema, ganhou-se muita fiabilidade, evitando que o escorredor prendesse na parte final da torre e, simultaneamente, o escorredor ganhou velocidade no processo de descarga. Para movimentar o esquadro, aproveitou-se o movimento de fecho da gaveta, que já é feito obrigatoriamente no processo de separação do escorredor.



Figura 2.21. Aspeto da gaveta: a) Fechada; b) Aberta

2. Implementação mecânica

Objetivamente, a torre foi dimensionada para albergar uma pilha de 150 escorredores, servindo como um pré armazém, oferecendo uma autonomia de, aproximadamente, cinco minutos.

A meio da torre de descarga foi aplicado um segundo garfo, que é o separador da pilha. Durante a fase de desenvolvimento, detetou-se a necessidade de manter uma quantidade específica de escorredores em cima do sistema de separação. Se forem poucos, o ar saído dos injetores vira os escorredores, não permitindo a sua separação. Sendo muitos, o peso da pilha encaixa-os, diminuindo a abertura mínima de 1,5 mm indispensável para a correta separação. Na Figura 2.22 pode observar-se, a meio da torre, o garfo separador da pilha que limita o número de escorredores no sistema de separação.

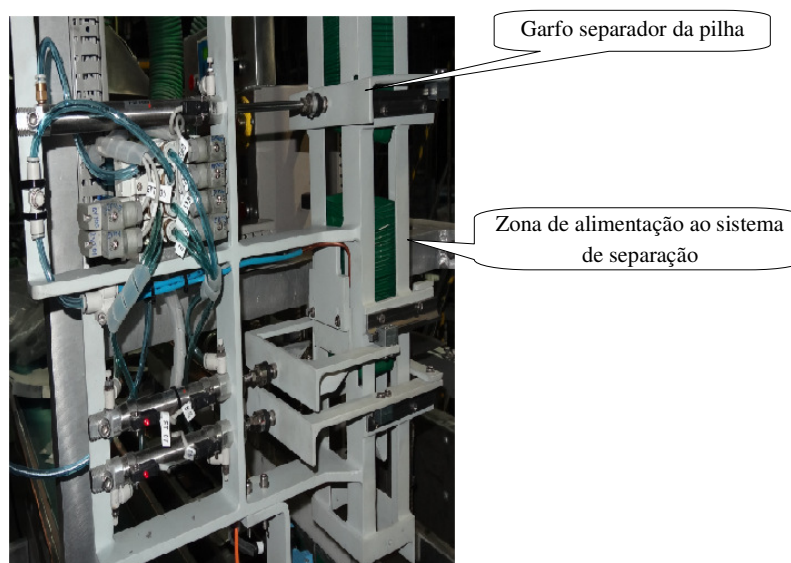


Figura 2.22. Torre com o garfo separador da pilha de escorredores

2.5.7 Sistema de abastecimento à torre de descarga

No desenvolvimento do armazém cometeu-se um erro primário. O desenvolvimento centrou-se na autonomia e em testes executados em oficina, dando origem ao armazém mostrado na Figura 2.23. Não foram tidos em conta os reais utilizadores, que são operadoras (humanas) com uma altura média de 1,60m, com braço curto e pouca força.

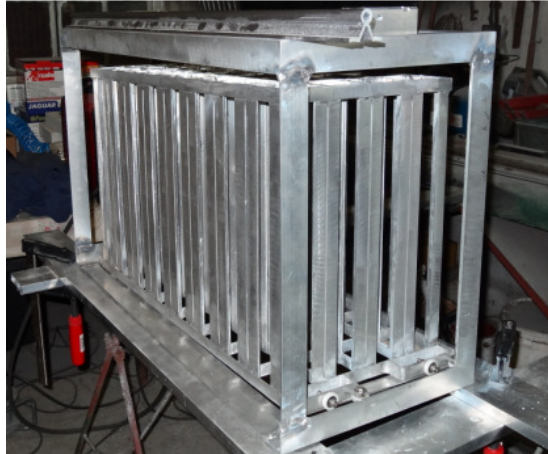


Figura 2.23. Aspeto do armazém numa versão intermédia

Assim, esta versão do armazém ficou inutilizada e fez-se uma consulta ao mercado para obter armazéns mais leves, nomeadamente de PVC ou outro género de plásticos. Os custos da solução em plástico apresentaram-se completamente incomportáveis. O construtor tem que fazer o molde apenas para duas peças. Os valores orçamentados rondaram os 6000,00€ por armazém.

A solução passou por aproveitar o armazém mostrado na Figura 2.23, fazendo-lhe um corte central, obtendo-se dois armazéns com cerca de metade da capacidade. Na Figura 2.24 apresenta-se a versão final do armazém. Este armazém final tem uma capacidade de 16 pilhas de escorredores, o que confere uma autonomia de aproximadamente 1h30min.

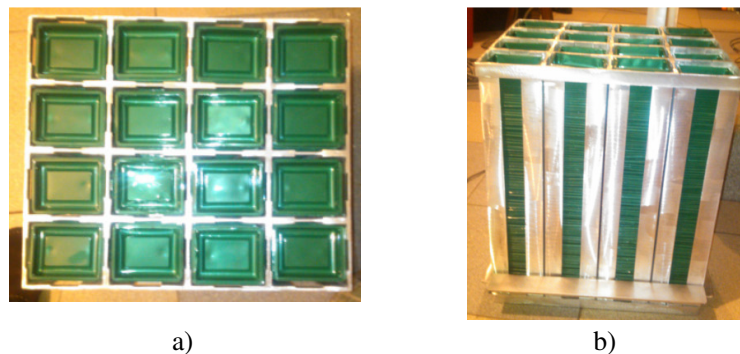


Figura 2.24. Versão final do armazém com as pilhas de escorredores: a) Vista de topo; b) Vista lateral

Desenvolvido o armazém, resta criar fisicamente o sistema de deslocamento para centrar a célula do armazém, abastecendo a torre de descarga. A Figura 2.25 ilustra os movimentos permitidos ao armazém, de modo a fazer coincidir as células do armazém com o orifício de abastecimento. Tendo em conta os movimentos necessários, idealizou-se uma solução com

2. Implementação mecânica

guias lineares para os dois movimentos. A Figura 2.25 a) apresenta o projeto, onde se observa o armazém dentro de uma estrutura de suporte. A estrutura tem duas funções: a primeira consiste em suportar o armazém, não permitindo que este assente na mesa onde se vai deslocar; a segunda função consiste em fazer o movimento em Y nas guias lineares aplicadas na parte superior. O movimento em X também é suportado por guias lineares aplicadas na parte superior da estrutura de suporte, como se pode observar na Figura 2.25 a).

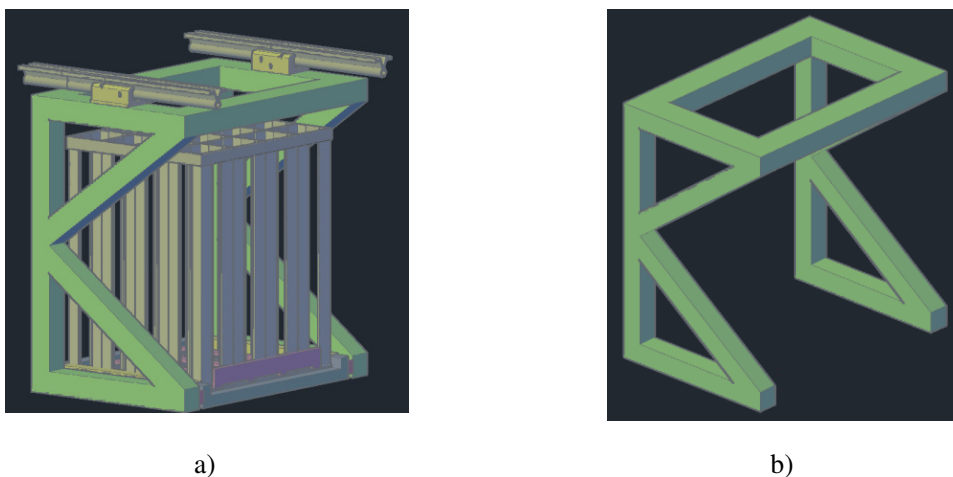


Figura 2.25. Sistema de deslocamento do armazém: a) Pormenor das guias no topo; b) Estrutura de suporte

A Figura 2.26 exibe o suporte em garfos, de modo que, durante o manuseamento do armazém pelo operador no abastecimento ou transporte, existe a garantia de que as pilhas não caem. Como referido anteriormente, o armazém não tem fundo fixo, sendo a função de suporte assegurada pelo garfo representado na Figura 2.26 a). Por seu lado, a Figura 2.26 b) apresenta o operador a retirar os garfos, após ter abastecido o armazém.

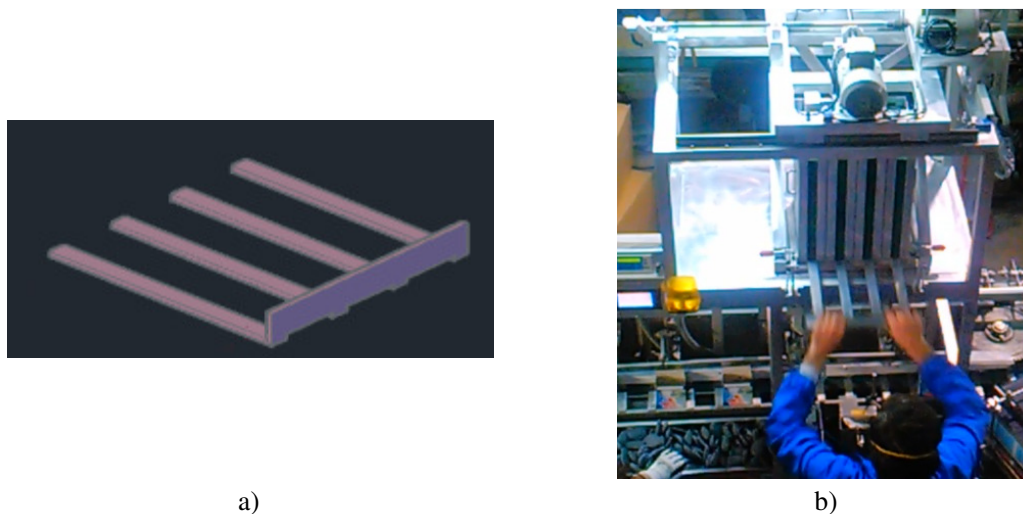


Figura 2.26. Garfos de suporte: a) Projeto; b) Utilização

Por baixo do suporte de garfos está situada a gaveta do armazém. A gaveta (Figura 2.27) é o mecanismo que permite o movimento do armazém para substituição do armazém vazio por outro cheio.

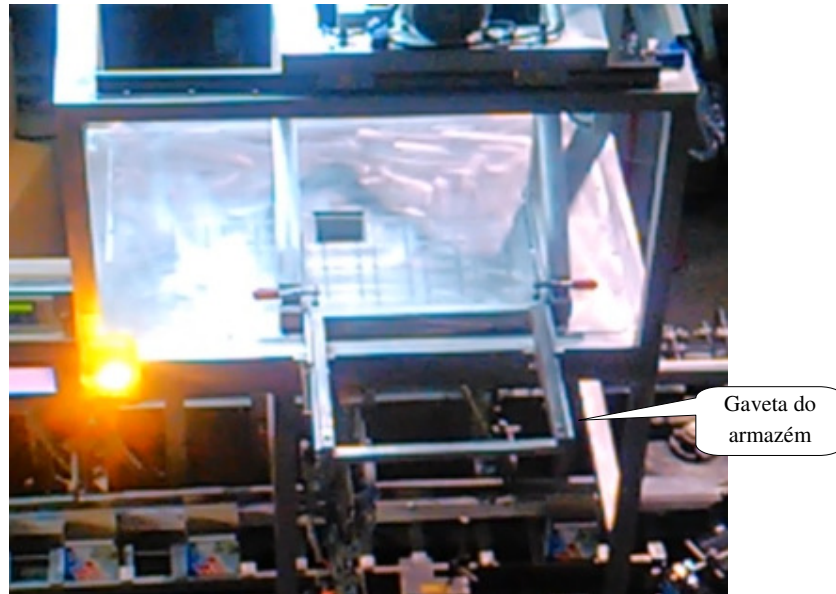


Figura 2.27. Gaveta

Na Figura 2.28 pode observar-se implementada a estrutura de suporte e deslocamento do armazém. Na parte superior situam-se os dois veios motorizados, responsáveis pelos movimentos X e Y e as respetivas guias lineares.

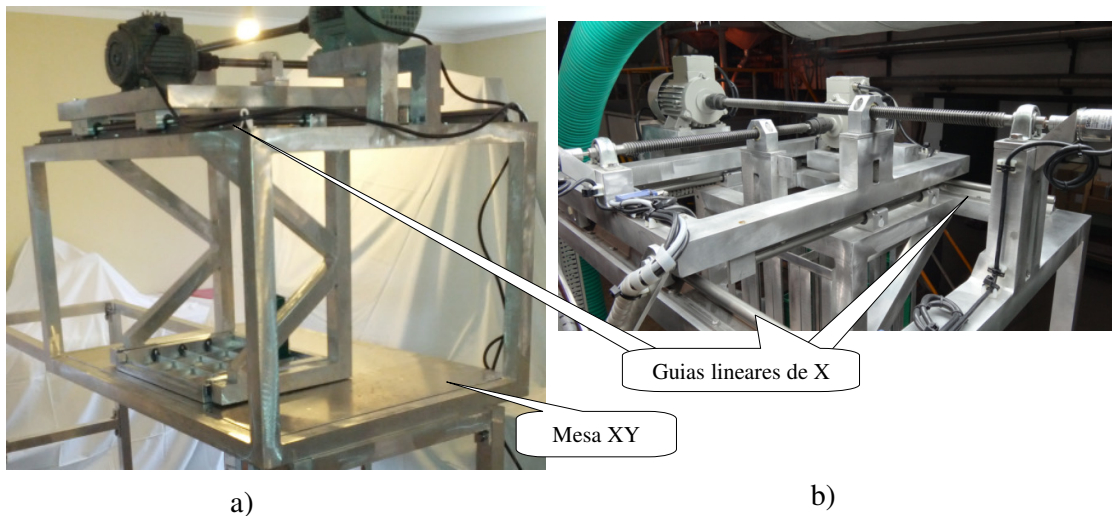


Figura 2.28. Sistema de deslocamento do armazém: a) Suporte do armazém e mesa de descarga; b) Veios dos motores e guias lineares de movimento XY

2. Implementação mecânica

Como já anteriormente se referiu, para abastecer a torre desenvolveu-se um armazém automatizado, motorizado com dois eixos, executando movimentos no plano XY. Este armazém possui capacidade para dezasseis pilhas e uma autonomia de, aproximadamente, sessenta minutos. É de referir que durante a troca do armazém a produção não pára, porque a TDE tem autonomia para o período que dura o processo de troca de armazém. Ao abastecer de novo o armazém quando este fica vazio, o processo de abastecimento e embalamento não pode parar. Assim, produziram-se dois armazéns, de modo que, quando um dos armazéns se situa na mesa XY a ser descarregado, o outro está a ser preparado no exterior por uma operadora, onde é abastecido manualmente com as pilhas dos escorredores. Desenvolveu-se um sistema de substituição rápido de armazém, com um tempo de operação inferior a cinco minutos.

2.5.8 Dispositivos mecânicos

O SAIE foi implementado na parte superior da máquina primária. A segunda e terceira versões da torre foram feitas em aço inoxidável. A guia da gaveta e do garfo separador de escorredores foi feita à medida, num torneiro (Figura 2.13). Do ponto de vista mecânico, esta constituía uma solução robusta. Todavia, para fazer o número de ciclos pretendidos num dia de produção, que, no caso, são dezasseis horas, a guia sofria fricções que, com o tempo, resultariam em empenos e falta de fiabilidade. Optou-se, então, por desenvolver de raiz uma nova versão mais leve, mais ágil, mais fiável e com material universal para dar ao cliente a possibilidade de encontrar facilmente peças de reposição no mercado (Figura 2.20).

O Quadro 2.1 apresenta o material universal usado no sistema mecânico. Este quadro é composto pela coluna “Apresentação”, “Função/Referência” e “Zona de aplicação”. Na coluna “Apresentação” mostra-se a imagem do material. Na coluna “Função/Referência” descrevem-se as características e referências do material utilizado. Na coluna “Zona de aplicação” descreve-se em que parte do SAIE foi aplicado o elemento descrito.

O material apresentado no Quadro 2.1, nos pontos a-e) e g), aplicou-se no sistema de posicionamento em X e Y do armazém. O material apresentado no ponto f) do mesmo quadro aplicou-se nos garfos da torre e na gaveta. Com estas guias, o atrito reduziu drasticamente, assim como os problemas de fiabilidade da versão em aço inoxidável.

A exemplo da torre, a estrutura foi também feita em alumínio, precisamente por este ser mais leve que os restantes materiais. As peças principais da estrutura e a torre foram soldadas para evitar vibrações e folgas. A parte da soldadura foi bastante problemática inicialmente. O serralheiro adquiriu uma máquina e, até conseguir ajustá-la, todas as soldaduras apresentavam ausência de resistência, tendo-se inutilizado muito material.

Quadro 2.1. Elementos do sistema mecânico

Apresentação	Função/Referência	Zona de aplicação
	<p>a) Veio de alumínio trapezoidal, diâmetro de 16 mm, passo de 4 mm. Modelo AWMU-16 da marca IGUS.</p>	<p>Sistema de posicionamento do armazém. Veio X e Y.</p>
	<p>b) Chumaceira linear dupla aberta. Modelo OTA-01-16 da marca IGUS.</p>	<p>Sistema de posicionamento do armazém. Chumaceira de apoio nas guias lineares para o movimento em X e Y.</p>
	<p>c) Suporte final de veio em alumínio. Modelo WAC-30 da marca IGUS.</p>	<p>Sistema de posicionamento do armazém. Suporte de tração do veio X e Y.</p>
	<p>d) Chumaceira com rolamento. Modelo YAR203/15-2F da marca SKF.</p>	<p>Sistema de posicionamento do armazém. Chumaceira de apoio dos veios.</p>
	<p>e) Porca cilíndrica para veio trapezoidal. Modelo WJ200QM-01-06 da marca IGUS.</p>	<p>Sistema de posicionamento do armazém. Porca do sistema de suporte e tração.</p>
	<p>f) Guia de veio quadrado. Modelo WSQ-16 da marca IGUS.</p>	<p>Torre. Guias lineares dos garfos e gaveta.</p>
	<p>g) Guia linear redonda. Modelo WS-16 da marca IGUS.</p>	<p>Sistema de posicionamento do armazém. Guias lineares do movimento X e Y.</p>

2.5.9 Conclusão do capítulo

O presente capítulo apresentou os critérios que foram tidos em conta na construção mecânica da versão final de todo o projeto mecânico. Salientaram-se alguns aspetos que determinaram a evolução relativamente a versões anteriores. Adicionalmente, fez-se um enquadramento das características de cada elemento no contexto geral do projeto, explicando genericamente o seu funcionamento.

Do ponto de vista do processo, o projeto desenvolvido é responsável por retirar, em cada operação elementar, um escorredor da pilha, inserindo-o num estojo cartonado.

A separação do escorredor e respetiva inserção é o culminar de um processo a montante, pensado no funcionamento em contínuo e com a ausência de tempos mortos. Para concretizar fisicamente este processo, desenvolveu-se uma torre e um sistema de separação e individualização do escorredor, incorporados num só corpo.

Verifica-se que se trata de um projeto orientado por objetivos. A evolução para novas etapas depende do sucesso das anteriores.

3. Automação e controlo

3.1 Introdução

O presente capítulo começa por apresentar o princípio de funcionamento do SAIE e a forma de operar no modo manual e automático. Descreve o *hardware* utilizado, nomeadamente os sensores e atuadores e os critérios que levaram à sua escolha. Finalmente apresenta o *software* e a sua estrutura e a forma como foi desenvolvido o programa de controlo do SAIE.

3.2 Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento pode resumir-se, de forma genérica, a seis etapas:

- 1) Detecção da presença de estojo;
- 2) Ciclo de descarga;
- 3) Ciclo de carga;
- 4) Separação da pilha e alimentação à zona de separação;
- 5) Abastecimento da TDE;
- 6) Movimento do armazém para a célula seguinte.

A deteção da presença de estojo significa que o carrocel da máquina primária posicionou o estojo na zona da TDE. A deteção do estojo é feita por um sensor ótico que dá ordem para se iniciar a etapa “ciclo de descarga”, como se pode observar na Figura 3.1.

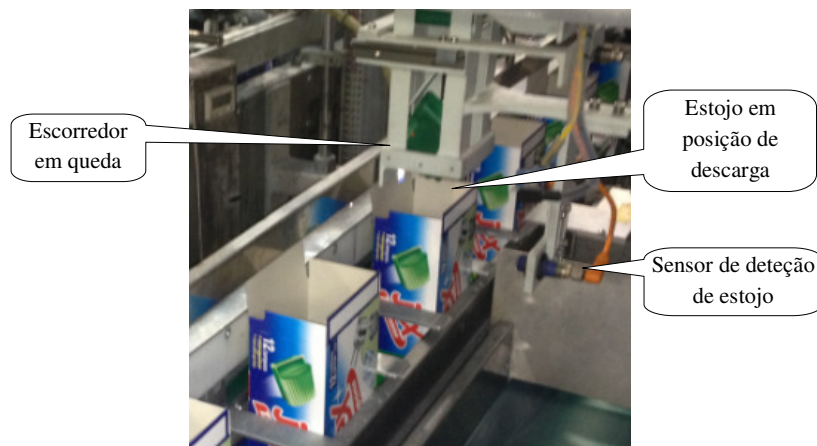


Figura 3.1. Estojo em posição de descarga

3.2.1 Ciclo de descarga

No ciclo de descarga intervêm os elementos apresentados na figura 3.2. Assim, durante o ciclo de descarga começa-se por ligar os injetores de ar, abre-se a gaveta e depois avançam os garfos de separação. O Quadro 3.1 mostra a sequência de acontecimentos para separação do escorredor, onde se ilustra também o ciclo de descarga. A sequência de ações do ciclo de descarga deve ser feita de forma sincronizada, para evitar que o escorredor seja esmagado ou que seja separado mais do que um escorredor. O escorredor pode ser esmagado se a velocidade de abertura da gaveta for inferior à velocidade de avanço do garfo. Por outro lado, em vez de separar apenas um escorredor, podem ser separados vários, se a velocidade de abertura da gaveta for superior à velocidade de avanço do garfo.

No ciclo de descarga, executam-se três funções num só movimento:

- Isola-se o escorredor da pilha;
- Projeta-se o escorredor para o estojo;
- Evita-se a queda da pilha, mantendo-a na torre.

O Quadro 3.1 apresenta estas três funções nas fases a-d).

A definição dos movimentos de descarga e de carga é fundamental para que a torre tenha capacidade de resposta, dentro dos tempos que foram inicialmente impostos. A velocidade média de descarga é de, aproximadamente, um escorredor por cada dois segundos.

A Figura 3.3 ilustra a fase final do movimento de descarga. Observa-se a gaveta aberta, completamente deslocada à direita. Nesta posição, o escorredor está separado da pilha e vai ser projetado para baixo. Pode ver-se, ainda, o garfo em cunha avançado a concluir o processo de separação. Neste momento, o garfo está a suportar a pilha presente na zona de abastecimento, evitando a sua queda para dentro do estojo (Quadro 3.1 d).

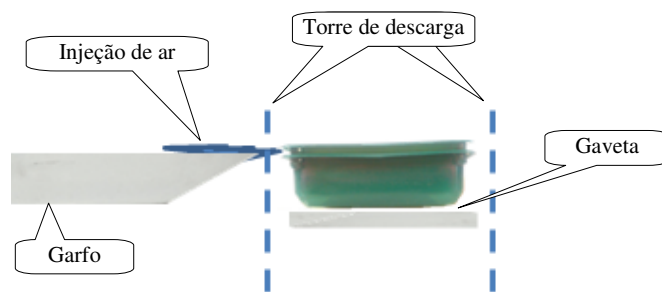


Figura 3.2. Ciclo de descarga: Elementos que intervêm na separação do escorredor

Em simultâneo com o movimento de avanço, ligam-se os injetores de ar direcionados, auxiliando no processo de separação e projeção do escorredor para o estojo.

O processo de descarga é supervisionado por dois sensores óticos que vigiam o percurso do escorredor, garantindo que, efetivamente, este entra no estojo. Se este percurso não for cumprido num determinado tempo, o ciclo de descarga repete-se de forma automática (quadro 3.1, fases a–e) até o escorredor ser separado ou cair. O ciclo é repetido até um limite de quatro vezes. Se não cair nenhum escorredor, é despoletado um alarme na HMI e bloqueado o movimento do carrocel da máquina primária. Estes e outros alarmes serão abordados adiante, na secção 3.4.

3.2.2 Ciclo de carga

O ciclo de carga consistia primeiro no fecho da gaveta e depois no recuo dos garfos, como apresentado no Quadro 3.1, (fases e-f). Este movimento foi otimizado. O garfo inicia o recuo e a gaveta inicia o fecho ao mesmo tempo, a exemplo do que se passa no ciclo de descarga, mas em sentido oposto. Isto é possível sem que a pilha de escorredores caia, porque, durante o recuo, o garfo suporta sempre a pilha que, entretanto, vai ficando apoiada na gaveta à medida que esta fecha. Esta otimização veio permitir que o SAIE fique disponível mais cedo para novo ciclo de descarga. A exemplo do que se passa no ciclo de descarga, o sincronismo é muito importante, pois o atraso no fecho da gaveta resulta na queda da pilha de escorredores dentro do estojo, implicando, inevitavelmente, algum tempo de paragem de todo o sistema para que a normalidade seja reposta.

O fecho da gaveta é acompanhado pelo esquadro (Figura 3.3), para projetar algum escorredor que, no ciclo de descarga, tenha ficado preso.

Tanto o movimento de carga como o de descarga são garantidos por sensores magnéticos aplicados nos cilindros pneumáticos responsáveis pelos movimentos.

3. Automação e controlo

O objetivo do ciclo de carga é colocar o primeiro escorredor da pilha em posição para ser individualizado no ciclo de descarga, como pode ser observado no Quadro 3.1, fase f).

Quadro 3.1. Sequência de acontecimentos para separação do escorredor

Diagrama de acontecimentos	Fase	Descrição
	a) Início do ciclo de descarga	Garfo recuado, o injetor de ar liga e a gaveta fechada.
	b) Ciclo de descarga	Injetor de ar ligado. Avanço do garfo e abertura da gaveta sincronizadamente.
	c) Ciclo de descarga	Injetor de ar ligado. Avanço do garfo e abertura da gaveta sincronizadamente. Inicia-se a separação do escorredor.
	d) Ciclo de descarga concluído	Injetor de ar ligado, garfo aberto, gaveta à frente e escorredor a ser projetado para o estojo. A pilha de escorredores fica apoiada na parte superior do garfo.
	e) Ciclo de carga	Fecho da gaveta e garfo mantém-se à frente, apoiando a pilha de escorredores.
	f) Ciclo de carga concluído	Recuo do garfo. A pilha fica apoiada na gaveta, com o primeiro escorredor em posição para ser separado.

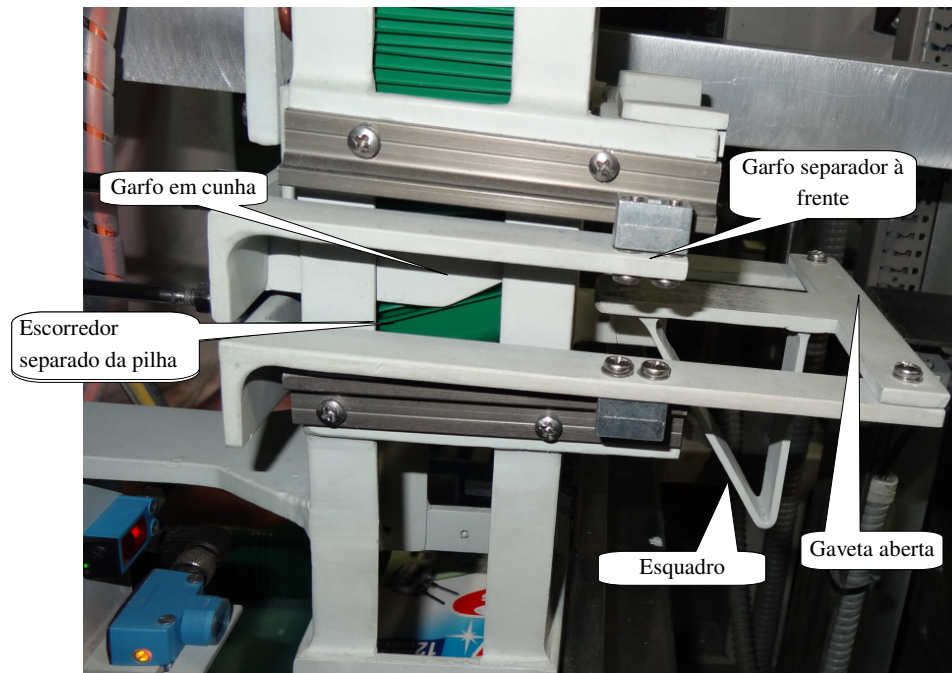


Figura 3.3. Elementos intervenientes no ciclo de carga e descarga

3.2.3 Separação da pilha de escorredores e alimentação à zona de separação

A separação da pilha de escorredores é feita por um garfo, situado a meio da torre (Figura 2.22). O objetivo é manter uma quantidade mínima de escorredores na zona de separação. Esta quantidade garante a correta separação do escorredor, evitando que este seja esmagado ou libertado mais que um.

O separador da pilha é comandado por um sensor ótico que garante o nível correto de escorredores na zona de separação.

O separador da pilha tem ainda a função de receber a pilha nova quando esta cai do armazém.

3.2.4 Abastecimento da TDE

O abastecimento da torre é feito por descarga do armazém.

O sistema de abastecimento da TDE consiste num conjunto de três partes: o armazém, a mesa e o sistema de posicionamento com dois veios no plano X e Y.

Na parte superior da torre existe um sensor ótico, responsável por verificar se a torre está vazia. Quando este sensor deixa de ver a torre e, simultaneamente, o separador da pilha atua, é

3. Automação e controlo

feito o pedido ao armazém de nova pilha. A simultaneidade destas duas condições visa evitar que, por falsas atuações do sensor, seja feito o pedido de nova pilha. Quando é feito o pedido, o armazém vai deslocar-se para a célula seguinte e, simultaneamente, avança o cilindro aparador, situado na parte superior da torre, com a função de aparar a pilha enquanto o armazém faz o posicionamento. Feito o posicionamento, o cilindro aparador recolhe, caindo a pilha dentro da torre. Na Figura 3.4 pode observar-se a aplicação do cilindro aparador e do sensor de torre vazia.

Se, no processo de abastecimento da torre pelo armazém, a pilha não cair dentro da torre em determinado tempo, esta ocorrência despoletará um alarme, o qual será abordado mais à frente neste capítulo.

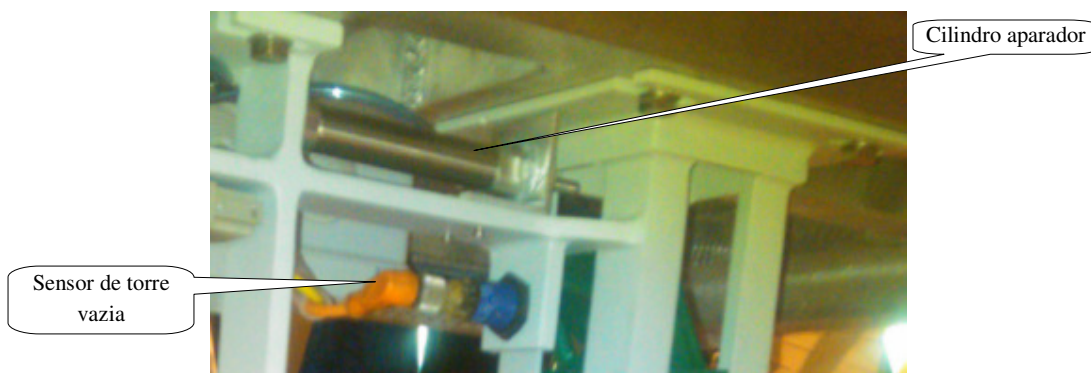


Figura 3.4. Parte superior da torre de descarga

3.2.5 Mudança do armazém para a célula seguinte

A mudança do armazém para a célula seguinte é feita a pedido da torre quando esta não tem escorredor, como referido anteriormente.

No modo automático, o armazém, após ter abastecido a torre de descarga, fica com a célula vazia posicionada no ponto de descarga. O avanço para nova célula só é feito quando surge novo pedido da torre. Na Figura 3.5 pode observar-se o percurso de descarga em modo automático do armazém. O percurso de descarga faz-se de acordo com a ordem de numeração das células.

A última célula a ser descarregada é a décima sexta. Após esta operação, o armazém desloca-se diretamente da décima sexta célula para a primeira célula, que é o ponto de troca de armazém. O posicionamento na décima quinta e décima sexta célula informa, através de um sinal luminoso (pirilampo), na secção 3.4.

O percurso de descarga, o de posicionamento para troca de armazém e a alimentação da primeira pilha estão projetados de forma a otimizar os tempos de operação, tornando o

processo de abastecimento o mais rápido possível. Desta forma, evita-se a perda de tempo desnecessária, o desgaste de equipamento em operações supérfluas e poupa-se energia.

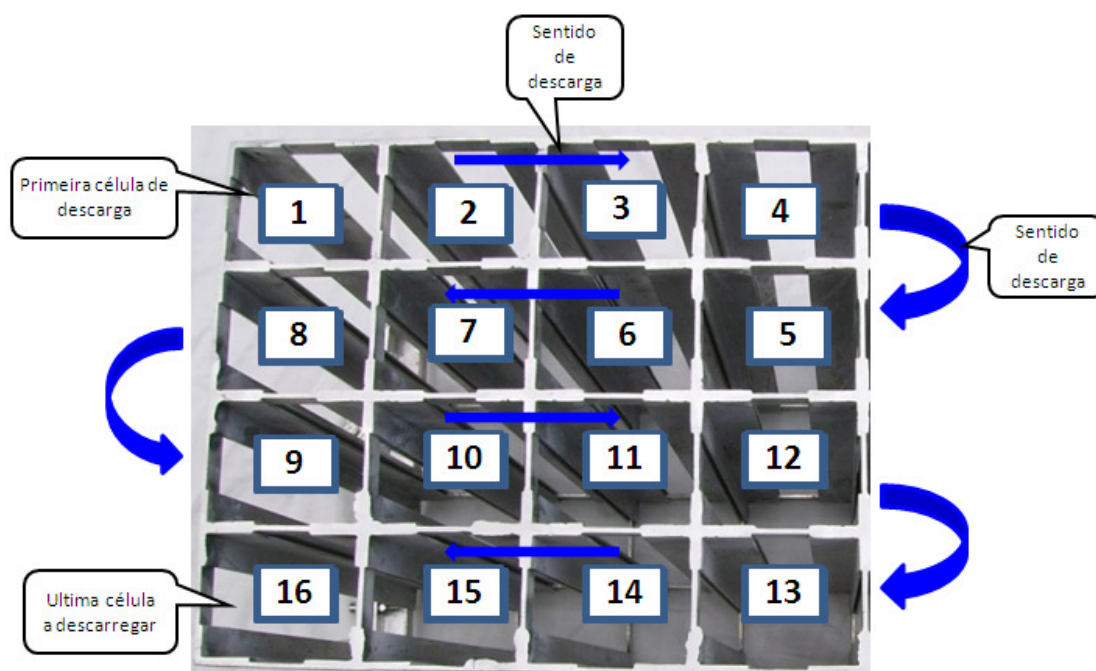


Figura 3.5. Percurso de descarga do armazém em modo automático

Como pode observar-se na Figura 3.6, a mesa é constituída pela estrutura que alberga e suporta o sistema de posicionamento e o armazém. O seu fundo serve de apoio às pilhas do armazém e possui um orifício que é o ponto de alimentação da torre de descarga. Quando uma célula com pilha coincide com o orifício, dá-se a descarga.

Em virtude da mesa ser motorizada a dois eixos, com leitura da posição feita por codificador angular incremental, e se, por algum motivo, for desligada a energia, quando esta for reposta, o sistema de posicionamento vai-se referenciar. É o ponto zero do sistema de medida. Após referenciar-se e, de forma automática, o armazém reposiciona-se na célula a seguir à última em que se encontrava, antes de a energia ser desligada.

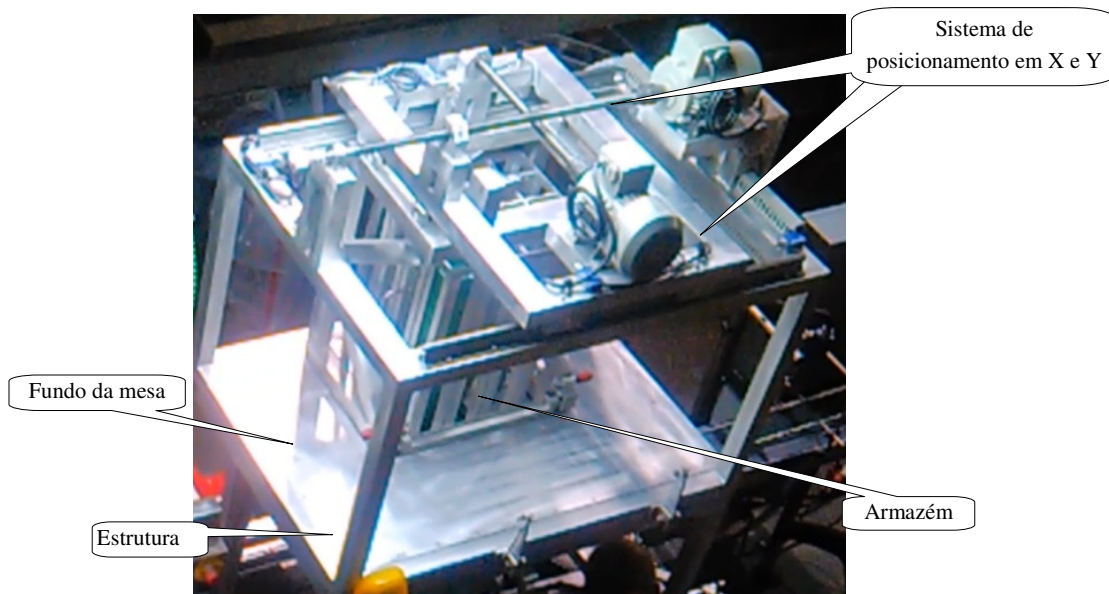


Figura 3.6. Sistema de abastecimento da torre de descarga

3.3 Operação do SAIE

Como apresentado na Figura 2.17, o SAIE constitui uma etapa no processo fabril de empacotamento de esfregões saponificados. Desta forma, o projeto desenvolvido foi integrado no já existente. A integração foi concebida de forma que, no final, ao comandar ou ao olhar para a área de produção, não se visualizassem dois equipamentos distintos, mas apenas uma área industrial.

No que respeita à interface entre o operador e a máquina, houve duas preocupações. A primeira foi seguir um pouco a linha do já existente, para facilitar a adaptação das operadoras. A segunda consistiu em criar uma interface de comandos o mais intuitiva e simples possível. Mais de 70% das operadoras estão na faixa etária dos 50 aos 65 anos, tornando-se num elemento a ter em conta no que respeita à sua adaptação à nova realidade.

A gama de produtos produzidos por esta área de produção é diversa, pois nem todos os estojos levam escorredor. O comando foi desenvolvido de forma que a inserção de escorredor só é colocada em serviço quando tal é solicitado pela operadora. Nas restantes produções, funciona apenas a máquina primária.

Na Figura 3.7 apresenta-se o painel de operação. Na parte superior da figura localiza-se o comando e o painel com a informação da etapa de inserção do escorredor. Na parte inferior localiza-se o comando da parte já existente (máquina primária).

Com a integração dos dois equipamentos, tornaram-se comuns:

- As seguranças, ou seja, o circuito de emergência;
- A tensão de comando;
- O botão de paragem;
- O botão de arranque.



Figura 3.7. Painel de operação

Circuito de emergência

O circuito de emergência da área fabril está distribuído por algumas botoneiras de emergência. Ao ser pressionada qualquer das botoneiras, esta fica bloqueada mecanicamente e a tensão de comando é desligada para toda a área. A normalidade só é reposta quando desbloqueada a botoneira e ligada de novo a tensão de comando.

Tensão de comando

A tensão de comando é ligada por seletor no início da atividade e desligada quando terminada a mesma. A tensão de comando é responsável por alimentar eletricamente todos os circuitos que comandam a máquina.

Comando manual

Existem três pontos de operação em modo manual, com diferentes funções:

- Botão de paragem;
- Botão de arranque;
- Consola de comando do SAIE.

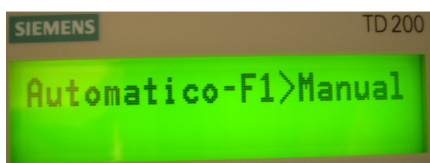
Botão de paragem e botão de arranque

O botão de paragem imobiliza a atividade fabril para toda a área, ficando assim no estado de *stand by*, até receber ordem de arranque, no botão de arranque.

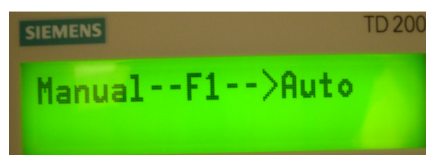
Consola de comando SAIE

O SAIE só está em serviço quando o seletor está colocado na posição “com escorredor”. Nesta posição, o SAIE pode funcionar em modo manual ou automático.

A seleção do modo é feita na consola. Como pode observar-se na Figura 3.8 a), o SAIE está em modo automático; se o comando F1 for acionado, o SAIE passa a modo manual. Na figura 3.8 b), o SAIE está em modo manual; se o comando F1 for acionado, o SAIE passa a modo automático.



a)



b)

Figura 3.8. Seleção do modo de operação: a) Automático para manual; b) Manual para automático

3.3.1 Modo de operação a partir da consola

Este modo permite operar todos os atuadores em modo manual. Para seleccionar este modo, o operador tem que pressionar F1 conforme figura 3.8 a).

Os comandos que se seguem descrevem as operações para operar em modo manual os atuadores pertencentes à torre de descarga dos escorredores.

Para movimentar em modo manual:

- O garfo separador da torre, pressionar em F3;
- O garfo separador do escorredor;
 - Para avançar, pressionar e manter a tecla *Shift* e a tecla F1;
 - Para recuar, pressionar e manter a tecla *Shift* e a tecla F2;
- A gaveta;
 - Para avançar, pressionar e manter a tecla *Shift* e a tecla F3;
 - Para recuar, pressionar e manter a tecla *Shift*, e a tecla F4;
- Os injetores de ar;
 - Pressionar em F4.

Os comandos que se seguem descrevem as operações para operar em modo manual com o sistema de posicionamento do armazém. Este sistema dispõe de dois tipos de modo manual, o de operação e o técnico.

3.3.2 Modo manual de operação

Embora fazendo parte da operação manual, por haver intervenção do operador, este modo pode considerar-se semiautomático, porque, após receber o pedido, todo o processo de posicionamento é feito de forma autónoma.

Este modo permite movimentar o armazém para qualquer célula diretamente. Para isso, deve-se:

- 1º - Pressionar e manter a tecla *Shift*;
- 2º - Dar impulso na tecla F1;
- 3º - Selecionar nas teclas sobe/desce a célula pretendida;
- 4º - Pressionar duas vezes *Enter*.

Na consola, aparece a mensagem para escolher a posição de descarga em que se pretende o armazém, como pode observar-se na Figura 3.9.



Figura 3.9. Pedido de movimento

A execução do pedido apenas é efetivada quando o sensor de torre vazia indicar a falta de escorredores. Trata-se de uma segurança, de forma que o armazém não se movimente com a pilha de escorredores presente entre o armazém e a torre. Caso contrario, o escorredor seria esmagado entre a mesa e o armazém.

3.3.3 Modo manual técnico

O modo manual técnico é reservado a operações de segurança, sendo por vezes conhecido como modo de segurança. O modo de segurança pode ser operado apenas por pessoal da área

técnica ou com formação específica para o efeito. Normalmente, este modo deve ser utilizado numa de três situações: i) por avaria ou falha da malha de controlo; ii) para calibração; iii) reencontrar as coordenadas das dezasseis células do armazém.

Quando, por avaria ou falha da malha de controlo do posicionamento dos eixos, é atingido algum fim de curso de segurança do sistema de posicionamento do armazém, este fica parado no limite desse fim de curso. O modo de segurança tem por objetivo que o técnico, após ter identificado a origem da avaria, movimente o armazém, retirando-o do limite do fim de curso. Este tipo de operação é da completa responsabilidade do interveniente. Após esta operação, o interveniente deve mandar referenciar em modo automático o sistema de posicionamento do armazém.

Quando os codificadores angulares são substituídos por outros de diferentes características, têm que se reencontrar as coordenadas das dezasseis células do armazém, que servem de base ao seu posicionamento. No fundo, trata-se de fazer coincidir o centro de cada célula com o centro do orifício de alimentação da torre de descarga. Estas coordenadas fazem parte da base de dados do programa de controlo residente no autómato.

3.3.4 Modo automático

O funcionamento em modo automático resume-se à sequência de etapas descritas anteriormente neste capítulo, na secção 3.2.

3.4 Alarmes e eventos

3.4.1 Alarmes

Os alarmes informam o operador da ocorrência de uma anomalia. Sempre que ocorre um alarme, o funcionamento da torre ou o sistema de abastecimento da torre é suspenso e surge o texto informativo na consola sobre a origem do alarme. A causa do alarme pode ter origem no processo ou ser de ordem técnica.

Sempre que surge um alarme, a parte do SAIE a que aquele diz respeito fica parada, até ser feito o reconhecimento do alarme. O reconhecimento só é permitido quando a causa que lhe deu origem for resolvida. Após a resolução, a operadora tem de fazer o reconhecimento do alarme, premindo a tecla F2, e passar de modo manual a modo automático, premindo a tecla F1.

O quadro 3.2 mostra um conjunto de alarmes que podem ocorrer. Na coluna “Alarmes” indica-se o nome do alarme que surge na consola. Por limitações do número de caracteres que a consola pode apresentar, o nome do alarme é apresentado, em alguns casos, de forma

abreviada. Na coluna “Descrição” explica-se o alarme. A coluna “Situação atual” informa em que condição se encontra o alarme. Onde surge a mensagem “Ativo” significa que está em serviço.

Quadro 3.2. Alarmes do SAIE

Alarmes	Descrição	Situação atual
Y Preso ou Avaria ou X Preso ou Avaria	O movimento em Y ou X tem um tempo limite para ser efetuado. Este alarme contempla prisões ou desacoplamento mecânico, falha no circuito de comando após o autómato ou no circuito de potência.	Ativo
Gaveta presa a abrir ou Gaveta presa a fechar	O movimento de abertura ou fecho da gaveta tem um tempo limite para ser feito. O alarme contempla prisão mecânica no mecanismo, avaria no comando elétrico após o autómato ou avaria na parte pneumática	Apenas configurado na consola
Esc Preso descarga	Significa que, ou o mecanismo da gaveta prendeu, ou a seguir à gaveta, depois da separação, o escorredor ficou preso antes do final da torre.	Ativo
Separa preso abrir Ou Separa preso fechar	O movimento de abertura ou fecho do garfo separador tem um tempo limite para ser feito. O alarme contempla prisão mecânica no mecanismo, avaria no comando elétrico após o autómato ou avaria na parte pneumática	Apenas configurado na descarga
Calgador em baixo	Significa que o calgador não recolheu.	Fora de serviço, pronto para aplicações futuras.
Esc preso fim torre	Significa que, depois da separação, o escorredor ficou preso entre a torre e o estojo.	Ativo
Por em posição carga	Significa que a gaveta ou o garfo de separação não recolheram.	Ativo
F2->Torre não Caiu	Significa que a pilha não caiu da célula do armazém para a torre.	Ativo
F2 Reconheça alarme	Só permite o reconhecimento do alarme após este ter sido resolvido.	Ativo
Indicação luminosa a piscar	Quando a pilha não caiu do armazém para a torre, a iluminação da consola pisca em simultâneo com o texto da mensagem de alarme.	Ativo

3.4.2 Eventos

Os eventos são um tipo de informação que mostra a fase do processo em que se encontra o SAIE. Os eventos surgem na consola apenas em modo automático. Existem ainda eventos que apresentam informação, apenas quando esta for solicitada pelo operador.

O Quadro 3.3 mostra um conjunto de eventos que podem ocorrer. Na coluna “Eventos” indica-se o nome do evento que surge na consola. Por limitações do número de caracteres que a

consola pode apresentar, o nome do evento é apresentado, em alguns casos, de forma abreviada. Na coluna “Descrição” explica-se o evento. A coluna “Situação atual” informa em que condição se encontra o evento. Onde surge a mensagem “Ativo” significa que está em serviço, podendo ser despoletado a qualquer instante. Existem alguns que só serão despoletados quando se trabalha em determinado modo de operação. Foram retirados alguns eventos inicialmente programados, devido às dificuldades das operadoras em lidar com um conjunto de especificidades de ordem técnica. Nalguns casos, nem ficaram em programa para implementação futura. Eram informações que indicavam sequencialmente em que fase do processo se encontrava o SAIE, como por exemplo, Carga Pronta, A descarregar, Descarga concluída, entre outros. Considerando que a velocidade média de descarga ronda os dois segundos por escorredor, a utilidade destas mensagens na fase de desenvolvimento era inquestionável. Todavia, em laboração não se justificavam, chegando mesmo a criar alguma confusão.

Quadro 3.3 Eventos do SAIE

Eventos	Descrição	Situação atual
Rápida/Lenta	No modo de manual técnico informa a velocidade a que o armazém se desloca.	Só em modo manual técnico.
Avança/Recua	No modo de manual técnico informa o sentido para onde o armazém se desloca.	Só em modo manual técnico.
Posição X/Posição Y	No modo de manual técnico informa as coordenadas atuais do armazém.	Só pode ser ativado pelo programador.
Célula atual	Indica a célula atual onde se encontra o armazém. Para ver esta informação, o operador tem que pressionar a tecla decrementar da consola.	Ativo
Indicação luminosa a piscar ou permanente	Liga de forma permanente quando o armazém está na célula quinze. Pisca quando, após a célula dezasseis ficar vazia, o armazém vai para posição de abastecimento.	Ativo

3.5 Hardware utilizado

A Figura 3.10 apresenta o diagrama de blocos da parte de comando e controlo. À esquerda, mostra-se o diagrama de blocos do SAIE implementado; à direita, apresenta-se o diagrama de blocos do processo já existente. No meio, situa-se o bloco de interface, responsável pela interligação dos dois sistemas de comando.

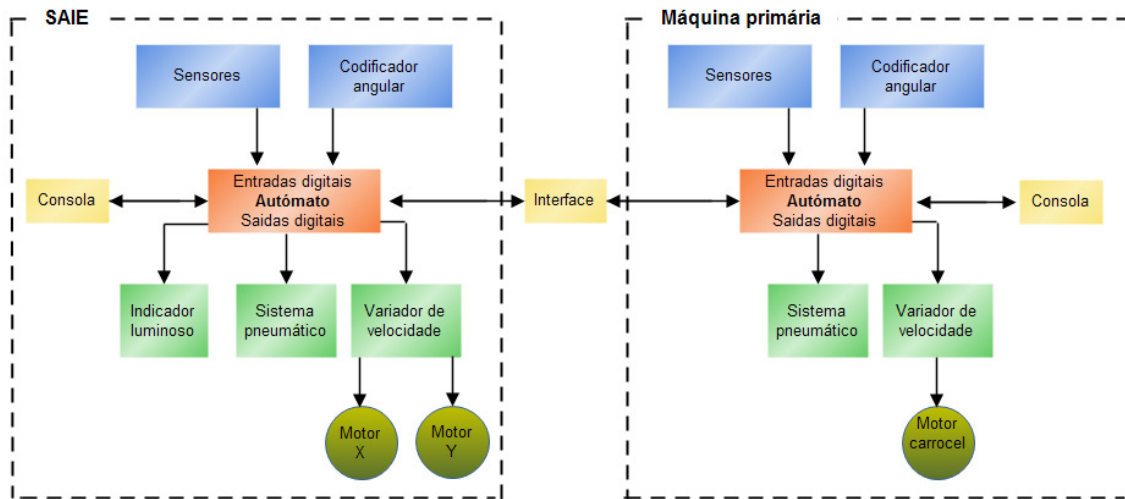


Figura 3.10. Diagrama de blocos da parte de comando e potência

3.5.1 HMI

O interface homem máquina aplicado localmente foi a TD 200 da Siemens. Ponderaram-se inicialmente outras duas possibilidades. Utilizar o painel já existente, pertencente à máquina primária, ou utilizar um painel gráfico adicional.

Relativamente à possível escolha do painel existente, pesou o facto de não se ter cópia do programa desenvolvido pelo instalador e de se pretender, a este nível, isolar o comando, por uma questão de boas práticas. No caso de se utilizar a consola existente, futuramente poderiam surgir dúvidas perante um qualquer problema técnico. Por outro lado, a utilização do painel gráfico não avançou devido ao facto do seu preço, comparativamente à TD 200, ser substancialmente mais elevado e os recursos necessários de interface para operação serem integralmente satisfeitos com a TD 200 [1]. Assim, entendeu-se ser esta a melhor escolha.

A TD 200 é um painel de texto, que permite:

- Apresentar a hora e o dia;
- Configurar até 80 mensagens;
- As mensagens podem ser de 20 ou 40 caracteres, previamente seleccionadas;
- Possuir oito pontos de comando, da tecla F1 a F8. Estes comandos podem ser executados de forma direta ou de forma indireta, como foi o caso que aqui se descreve;
- Trabalhar com campos numéricos, com ou sem vírgula, enviando ou recebendo do autómato;
- Comunicar com o autómato em RS 485 ou *profibus*, através de um cabo com fichas do tipo D de nove pinos [1-2].

A programação deste painel é feita com a ferramenta “TD 200 Wizard”, que faz parte do *software* de programação do autómato “Microwin” [1].

Não se chegou a equacionar a possibilidade de desenvolver o comando de forma mais tradicional, com botões e indicação luminosa, pois esta solução ficaria mais dispendiosa, sendo menos fiável, pouco prática e menos intuitiva.



Figura 3.11. Consola TD 200

3.5.2 Autómato

O micro autómato utilizado foi o CPU 224 da série S7-200 da Siemens, com um módulo de expansão de oito entradas e oito saídas digitais. A escolha teve em conta:

- A capacidade de endereçamento;
- O facto de já ter incorporadas entradas de leitura rápida, necessárias para os codificadores angulares, evitando-se comprar um módulo de expansão para o efeito;
- O conhecimento pessoal mais aprofundado deste micro autómato, em relação aos restantes equivalentes de outras marcas existentes no mercado;
- O facto de ser uma série “amadurecida” em relação a outras gamas mais recentes [1-2].

Selecionou-se o modelo DC/DC/DC, pois trata-se de um módulo CPU alimentado diretamente a 24VDC e tendo em conta que a máquina primária tem fonte de alimentação compatível e com margem para alimentar o SAIE. Os autómatos de fonte incorporada são mais caros e, neste caso, não trariam valor acrescentado. As entradas do módulo escolhido funcionam a 24VDC e tem saídas a transístor, o que garante maior longevidade em relação aos CPUs com saídas a relé.

3.5.3 Sensores

Neste trabalho utilizam-se diversos sensores, nomeadamente:

- Sensores óticos na torre de descarga;
- Sensores de proximidade magnéticos aplicados nos cilindros pneumáticos;
- Sensores incrementais angulares (codificadores) no sistema de abastecimento à torre;

- Fim de curso no sistema de abastecimento da torre.

Sensores óticos

Os sensores óticos foram aplicados na torre de descarga.

A escolha dos sensores óticos foi alvo de especial cuidado, nomeadamente no caso dos que detetam o escorredor em queda. A frequência de comutação, devido à velocidade a que o escorredor passa em frente ao sensor, e o baixo índice de refletividade do escorredor dificultaram a escolha.

Aplicaram-se **quatro sensores óticos**, três dos quais utilizam o princípio da reflexão difusa, mais comumente conhecidos por reflexão no objeto, com o emissor e recetor de infra vermelho no mesmo corpo. A luz enviada pelo emissor cria uma zona ativa, e a presença de um objeto nessa zona faz com que a luz seja refletida de forma difusa.

O alvo padrão destes sensores consiste numa folha de papel fotográfico, com um índice de refletividade de 90% e com dimensões que variam de acordo com o modelo do sensor.

A distância máxima de operação utiliza um fator de correção, que depende de vários fatores. Por exemplo, existe um fator de correção para cores (F_c) e um outro consoante o tipo de material (F_m). A sua relação apresenta-se na seguinte expressão:

$$S_a \leq 0,81 \times S_n \times F_c \times F_m \quad (3.1)$$

onde:

S_a – Distância de operação em mm;

S_n – Distância máxima de operação em mm;

F_c – Fator de correção devido à cor do material;

F_m – Fator de correção devido ao tipo de material.

A distância de operação é a distância a que o alvo se encontra do sensor. A distância máxima de operação para cada sensor é definida pelo fabricante.

Os fatores de correção dependem da natureza do material a detetar e podem ser observados no Quadro 3.4 a seguir apresentado.

Quadro 3.4. Fatores de correção para sensores óticos

Cor	Fc	Material	Fm
Branco	0,95 a 1	Metal polido	1,2 a 1,8
Amarelo	0,9 a 0,95	Metal torneado	0,95 a 1
Verde	0,8 a 0,9	Papel	0,95 a 1
Vermelho	0,7 a 0,8	Madeira	0,7 a 0,8
Azul claro	0,6 a 0,7	Borracha	0,4 a 0,7
Violeta	0,5 a 0,6	Papelão	0,5 a 0,6
Preto	0,2 a 0,5	Pano	0,5 a 0,6

Os sensores de difusão possuem uma zona morta (ZM) que se situa na vizinhança próxima do sensor, onde não detetam um objeto. Essa zona contígua representa cerca de 10 a 20% do alcance nominal do sensor.

Aplicaram-se três sensores óticos de reflexão no objeto. **Dois desses sensores** detetam a presença da pilha de escorredores. Neste caso, a escolha recaiu no sensor com o modelo XUB0BPSNM12 da *Schneider*, pois a frequência de comutação não é tão exigente, já que o objeto pára em frente ao sensor [3].

O **terceiro sensor** ótico possui eliminação do plano posterior. Trata-se de um sensor de reflexão no objeto, que possui uma característica adicional em relação aos anteriores, a qual consiste em distinguir se está a detetar algo para além da sua zona de trabalho. Neste caso, não se considera uma situação válida, validando apenas as situações em que o objeto está dentro da distância nominal de trabalho para a qual se encontra regulado, como se pode observar na Figura 3.12. Na realidade, ao contrário dos anteriores, que apresentam um elemento emissor e um recetor, este tipo de sensor, na parte de receção do feixe, está equipado com dois recetores que recebem o feixe, consoante o ângulo feito pela posição em que se encontra o objeto refletor [3].

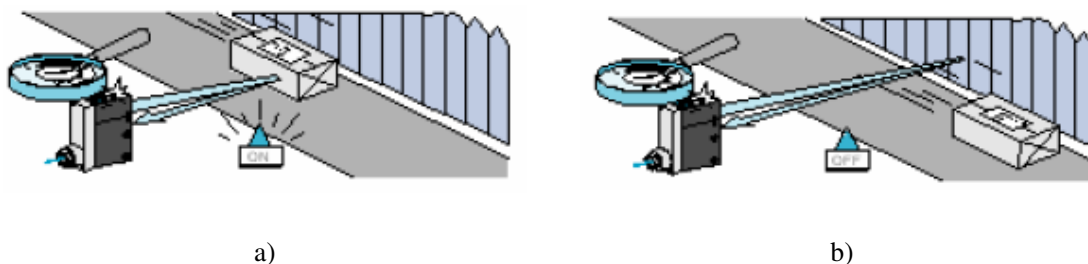


Figura 3.12. Sistema de deteção com eliminação de plano posterior: a) Dentro da zona de trabalho; b) Fora da zona de trabalho

O sensor de reflexão no objeto foi aplicado na zona de queda do escorredor, após a gaveta, tendo sido utilizado um sensor compacto *Sick*, modelo WT B4-3P216, a três fios (Figura

3.13). É de salientar que, nesta zona, a cadência de passagem dos escorredores e a velocidade são elevadas [4].



Figura 3.13. Sensor compacto modelo WT B4-3P2161 do fabricante Sick

O **quarto sensor** utiliza o princípio de retro reflexão, comumente conhecido por retro *reflex*. O emissor e o recetor ficam no mesmo corpo, e o feixe de luz é estabelecido entre o emissor e recetor por intermédio de um refletor prismático. A presença do objeto é detetada quando o feixe é interrompido.

O tamanho do refletor deve ser bastante inferior ao objeto a detetar; do mesmo modo, a distância entre eles deve ser superior a 10% do alcance nominal do sensor. Caso contrário, o sensor não funciona, porque a maior parte da luz é enviada para o emissor, não chegando ao recetor. A Figura 3.14 ilustra as duas situações anteriormente descritas. Este sistema é mais fiável que o de reflexão no objeto, pois não permite falsas deteções ou falhas na deteção.



Figura 3.14. Sistema de retro reflexão numa aplicação incorreta

A escolha recaiu sobre o sensor modelo WL 15-P2430 do fabricante *Sick*, a quatro fios. Como pode observar-se na Figura 3.15, trata-se de um sensor compacto, devido ao atravancamento físico existente no local da instalação. Foi aplicado após o final da torre e antes do estojo, para garantir que o escorredor entra no estojo [4].



Figura 3.15. Sensor compacto modelo WL 15-P2430 do fabricante Sick

Sensores de proximidade magnéticos

Estes sensores foram aplicados nos cilindros pneumáticos.

Os sensores de proximidade magnéticos aplicados nos cilindros baseiam-se no uso do campo magnético, convertendo o mesmo num sinal elétrico. No mercado, encontram-se disponíveis duas grandes famílias de sensores de proximidade magnéticos: os eletrónicos e os de ampola *reed* [5].

No presente caso, foram aplicados os sensores eletrónicos de proximidade magnéticos que se baseiam no efeito de *Hall*. Consistem em dispositivos semicondutores, cujo comportamento elétrico pode ser influenciado por um campo magnético [5].

Na aplicação neste trabalho, o ímã permanente situa-se na parte interior do cilindro e é solidário com o êmbolo, como pode ser observado na Figura 3.16.

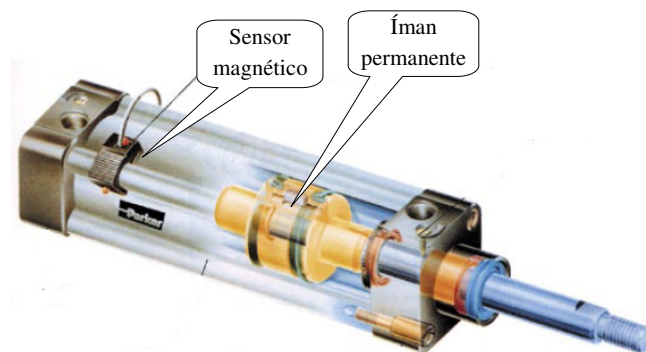


Figura 3.16. Exemplo do cilindro com sensor magnético e ímã permanente

Os cilindros da gaveta e do garfo de separação possuem sensores deste tipo. Objetivamente, os mesmos são utilizados para se saber quando o cilindro está completamente recuado ou avançado. São sensores a dois fios.

Sensor incremental angular ou codificador angular

O codificador utilizado é um codificador angular incremental, que converte o movimento angular ou linear em impulsos elétricos para o sistema de controlo, neste caso, o autómato. A informação enviada para o sistema de controlo pode ser usada para calcular a velocidade, a taxa de aceleração, a distância, a rotação, a posição e a direção.

O codificador gera impulsos em forma de onda quadrada desfasados entre si 90°. Aos dois sinais de onda quadrada dá-se, normalmente, o nome de canal A e B. A leitura de somente um canal apenas permite o cálculo da velocidade. Com dois canais, consegue-se calcular também o sentido de rotação do movimento.

O terceiro sinal, chamado de Z ou zero, dá a posição absoluta do codificador angular. Este sinal é um pulso de onda quadrada gerado a cada 360° , no caso dos codificadores angulares rotacionais.

A resolução do codificador angular é a quantidade de impulsos fornecidos por cada volta. O seu cálculo faz-se dividindo 360 graus angulares pelo número de impulsos.

No presente caso, foi implementado um codificador angular de 500 impulsos, sendo a sua resolução de $0,72$ graus. Tal significa que o sistema de comando recebe um impulso elétrico por cada variação angular de $0,72$ graus. Convertendo em distância linear, e sabendo que o veio de cada eixo possui um diâmetro de 22 mm, com passo de rosca de 4 mm, então, por cada volta (360°), o armazém vai avançar 4 mm, ou seja, teremos um impulso elétrico por cada $0,008$ mm.

O controlo desenvolvido utiliza o codificador angular para definir a posição em que se encontra o armazém e determinar qual o sentido do movimento.

A Figura 3.17 apresenta as ondas do canal A e B do codificador angular incremental. Pode observar-se o desfasamento de 90° entre canais, dependendo do sentido de rotação [6].

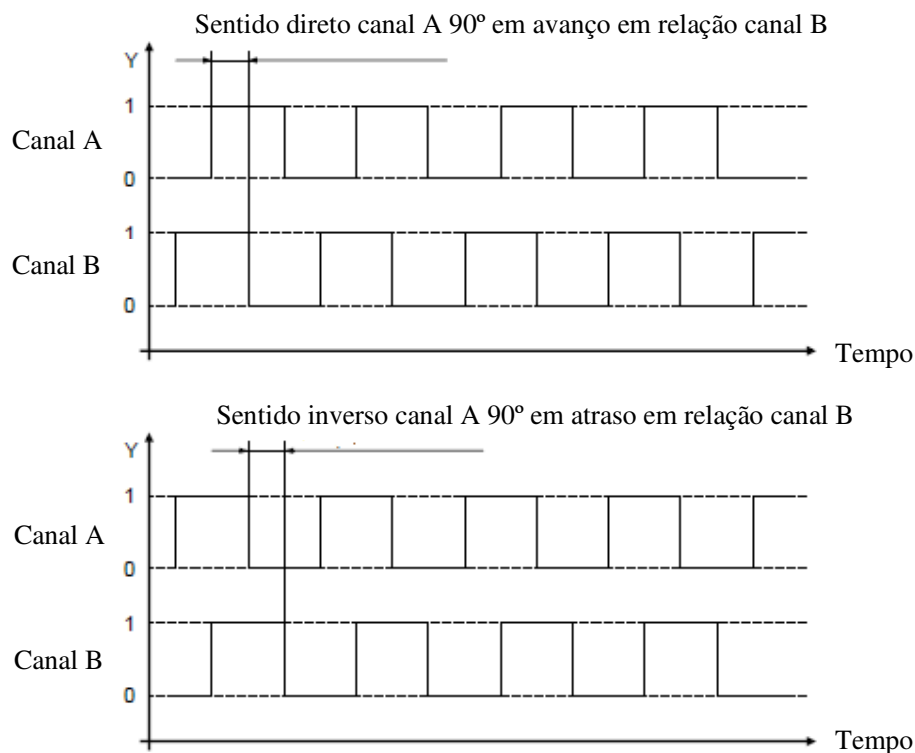


Figura 3.17. Sinal de saída do codificador angular incremental

A escolha do codificador angular recaiu sobre o modelo DBS36E-S3EK00500 do fabricante *Sick*. Trata-se de um codificador incremental, de 500 impulsos, com um veio 6 mm, alimentação de 7 a 30VDC, apresentado na Figura 3.18.



Figura 3.18. Codificador angular incremental série DBS36E do fabricante Sick

Interruptor de posição ou fim de curso

O interruptor de posição ou fim de curso é composto pelo corpo e pela ponteira de ataque. Dentro do corpo existem dois contactos, um normalmente aberto e o outro normalmente fechado. São contactos livres de potencial, o que significa que podem trabalhar com vários tipos de tensão. A escolha do interruptor fim de curso recaiu sobre o apresentado na Figura 3.19. Utilizaram-se quatro fins de curso deste tipo na estrutura do armazém, nomeadamente no circuito de segurança e de referência do armazém.



a)



b)

Figura 3.19. Fim de curso compacto: a) Corpo; b) Ponteira de ataque

3.5.4 Variador eletrónico de velocidade - VEV

Os variadores de velocidade regulam a frequência dos sinais elétricos sinusoidais fornecidos ao motor, em função do sinal recebido do processo. Como a velocidade do motor depende da frequência da energia fornecida ao rotor, variando a frequência, consegue variar-se a velocidade V (RPM) do motor, de acordo com a seguinte equação [5-7]:

$$V = \frac{60 \times f}{n} \quad (3.2)$$

onde:

f – Frequência da energia fornecida ao rotor em Hz;

n – Número de polos existentes no estator.

O método mais utilizado para variar a frequência é a regulação U/f – tensão frequência. Este método baseia-se na curva tensão/frequência característica do motor, sendo necessário selecionar, a partir da curva tensão/frequência, a tensão elétrica a fornecer ao motor para obter a frequência definida pela referência de velocidade pedida.

Na Figura 3.20 apresenta-se o diagrama de blocos de um variador, onde se pode observar as formas de onda típicas do sinal de entrada e de saída. De forma resumida, destaca-se [8]:

- O retificador é constituído por uma ponte de díodos que retifica a tensão sinusoidal da alimentação da rede;
- O filtro e barramento em DC de corrente contínua (cc) que estabiliza e regula a tensão retificada, armazenando a energia num banco de condensadores;
- O inversor é constituído por transístores IGBT que invertem a tensão DC para um sinal alternado, com tensão e frequência variáveis.

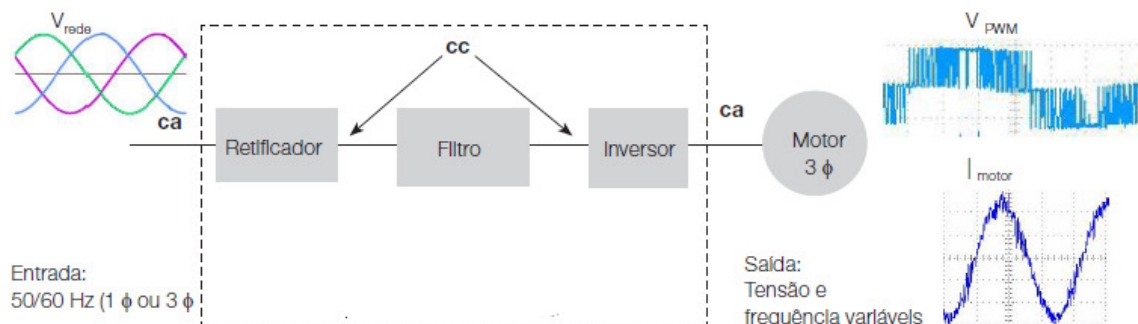


Figura 3.20. Diagrama de blocos típico de um variador eletrônico de velocidade

O variador aplicado no presente caso é o modelo *Simatic G110* de 0,37Kw, do fabricante Siemens, com alimentação a 240VAC e saída em tensão composta de 230VACc, apresentado na Figura 3.21. Este variador possui um painel de programação destacável (Figura 3.21 b), que permite parametrizar o mesmo, acompanhar em linha valores como a corrente e a frequência, entre outros, permitindo também guardar a parametrização feita e transferi-la de novo para outro variador.



a)



b)

Figura 3.21. a) Variador de velocidade; b) Painel de programação

A Figura 3.22 apresenta o diagrama de blocos específico do variador aplicado e respetivas ligações, que se descrevem a seguir:

- A entrada digital DIN0 ativa ou inibe o variador;
- A entrada DIN1 inverte o sentido de rotação;
- A entrada DIN2 admite um botão de inicialização externo, a utilizar quando o variador entra em alarme;
- As entradas DIN4 e DIN5 são entradas parametrizáveis, utilizadas para trabalhar com patamares de velocidade pré-definidos;
- A entrada ACDC1 é uma entrada analógica de 0 a 10Vdc para a referência de velocidade pretendida. A referência pode ser fixa através de um potenciómetro, ou dinâmica e estar inserida numa malha fechada de controlo [9].

Quando se trabalha com patamares de velocidade pré-definidos, é possível definir rampas e tempos de aceleração e desaceleração, suavizando, assim, os arranques e paragens dos elementos acionados.

Na presente aplicação, o variador está a controlar dois motores de 0,37Kw cada, que acionam o respetivo veio acoplado ao mecanismo que movimenta o armazém no plano de X e Y. Os motores nunca trabalham simultaneamente. A aplicação feita trabalha com patamares de velocidade pré-definidos em *hardware*, utilizando a entrada analógica do variador. Aplicou-se um relé inversor comandado pelo autómato com duas resistências de valores diferentes ligadas ao ACDC 1, uma em cada contacto. O armazém é o elemento acionado que tem duas velocidades: (i) a de transição quando o relé está desligado, que faz o movimento entre células e (ii) a de posicionamento quando o relé está ligado, responsável pelo posicionamento final [9].

Inicialmente, foi ponderada a possibilidade de se criar uma malha fechada de controlo de velocidade, utilizando a entrada analógica do variador e uma saída analógica no autómato. Após terem sido efetuados os primeiros testes de movimento com o armazém, concluiu-se tal não ser necessário. Ao contrário do que se esperava, a inércia que a estrutura adquire no

deslocamento entre células é perfeitamente controlável com dois patamares de velocidade pré-definidos. Assim, não é necessário o módulo de saídas analógicas do autómato.

Como mencionado anteriormente, o movimento do armazém é assegurado por dois veios motorizados, em que é necessário aplicar variação de velocidade. Quando inicialmente se idealizou o armazém e a sua forma de trabalho, foram previstos dois variadores, um para cada eixo. Já na fase de otimização do processo do armazém, nomeadamente no estudo da melhor sequência de trajetos (Figura 3.5), concluiu-se que não havia necessidade de movimentar em simultâneo os dois eixos. No entanto, continua a ser necessária a variação de velocidade.

Os motores dos eixos X e Y são iguais. Foram feitos testes de posicionamento nos dois movimentos, tendo-se concluído que a rampa de aceleração e a de desaceleração podem ser iguais. Estas rampas são parametrizadas no variador (Figura 3.23) através de valores temporais.

O momento em que é dada a ordem de mudança da velocidade de transição para a velocidade de posicionamento é diferente para cada eixo. Esta diferença deve-se ao facto do orifício de abastecimento da torre ser retangular. A distância linear disponível para se fazer o posicionamento final é diferente, sendo menor no movimento em Y. Desta forma, a ordem para mudar de velocidade é transmitida mais cedo que a homóloga para o movimento em X. A ordem de mudança de velocidade é da responsabilidade do comando (entenda-se autómato).

Tendo em conta o que foi referido nos parágrafos anteriores, desenvolveu-se o circuito de potência apresentado no apêndice 2, em que é utilizado um variador para os dois eixos. Esta solução permitiu diminuir custos diretos na compra de apenas um variador e custos indiretos no endereçamento do autómato, nos relés e na cablagem. Deste modo, foram necessários aproximadamente metade do número de entradas e saídas.

A Figura 3.22 apresenta o diagrama de blocos do variador de velocidade implementado, com as ligações disponíveis. Para o controlo do posicionamento, foram implementadas duas malhas fechadas, apresentadas à frente neste capítulo, na secção 3.6.2.

desaceleração é definida por T_{dc} , que consiste num atraso imposto pelo variador, durante o qual a frequência vai descendo até atingir o valor pretendido.

A Figura 3.23 apresenta as curvas que caracterizam o comportamento do variador na transição entre células, desde que este recebe a ordem para fazer a transição até ao momento em que, efetivamente, o armazém ficou parado.

A mesma Figura 3.23, mostra implicitamente, a relação entre os comandos enviados pelo autómato para o variador e a sua execução, tendo em conta a parametrização do variador no que respeita a rampas na aceleração e desaceleração, e a sua dinâmica do movimento físico, quer inicialmente, até atingir a velocidade pretendida, quer no final, após ser dada ordem de paragem. Esta harmonia é muito difícil de atingir. Na indústria, dá-se-lhe o nome de otimização de processos. A execução deste procedimento faz a diferença entre um processo bem-sucedido e eficiente e algo que, embora possua os mesmos ingredientes, é instável e apresenta respostas desajustadas, provocando ineficiência e desgaste do equipamento, com consequente perda de rendimento e qualidade.

Ainda nesta Figura 3.23, à esquerda, no início do gráfico, é dada a ordem do autómato para o variador iniciar a transição de célula e a velocidade que se pretende. A primeira ordem liga o variador, enquanto a segunda ativa a contagem do tempo de aceleração T_{ac} . Quando o T_{ac} termina, já o variador atingiu a velocidade de transição v_t . O tempo de transição T_t é comandado pelo autómato. Enquanto a saída do autómato estiver desligada, o variador mantém velocidade de transição, são aplicados 3VDC na entrada analógica do variador (ACDC 1, Figura 3.23). Quando o autómato retira a ordem de velocidade de transição, simultaneamente liga a ordem de velocidade de posicionamento v_p , são aplicados 1,5VDC no variador (ACDC 1). Neste momento o variador ativa a contagem do tempo de desaceleração T_{dc} . Quando o T_{dc} termina, o variador atinge a velocidade de posicionamento v_p . O tempo de posicionamento é comandado pelo autómato, enquanto a saída de seleção da velocidade estiver ligada. A ordem de paragem acontece ao desligar a DIN0 (Figura 3.23). Como se pode ver no gráfico, ainda existe um T_{dc} após ter sido dada ordem de paragem. Este T_{dc} é o tempo que, efetivamente, o armazém leva a parar devido à inércia. Este desfasamento entre a ordem de comando e a posição física praticamente desapareceu, tornando-se desprezável após otimização das ordens do autómato em sintonia com a parametrização do variador. Os tempos T_{ac} , T_{dc} e o valor das velocidades v_t e v_p , são definidos previamente na parametrização do variador de velocidade. A sua seleção é feita por comando proveniente do autómato, mais concretamente, pela lógica previamente programada e enviada para as entradas digitais DIN do variador.

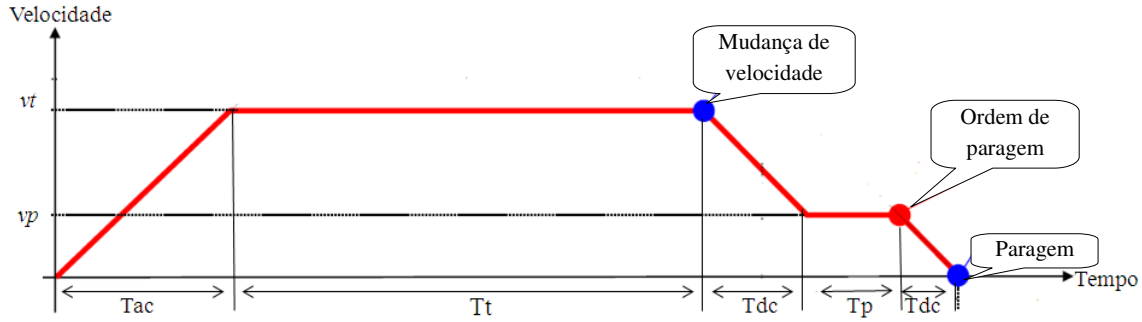


Figura 3.23. Relação entre rampas e tempos do variador na transição entre células

3.5.5 Motores

Os motores utilizados no presente trabalho são motores assíncronos de indução polifásica, com rotor em gaiola de esquilo, modelo 1LA7073-4AB10 da Siemens.

O Quadro 3.5 apresenta as características dos motores aplicados.

Quadro 3.5. Características dos motores

Potência do motor	0,37	[kW]
Rotação nominal	1.370	[1/min]
Número de polos	4	
Tensão	230 / 400	[U]
Frequência	50 // 60	[Hz]
Corrente nominal	1,84 / 1,06	[A]
Grau de proteção	IP55	
Ventilação	Auto ventilado	
Ligação	D/Y	
Cos φ	0,78	

A Figura 3.24 apresenta as ligações permitidas com os seis terminais. Considerando que a saída do variador é uma tensão composta a 230 VACc, a ligação possível neste motor é em triângulo.

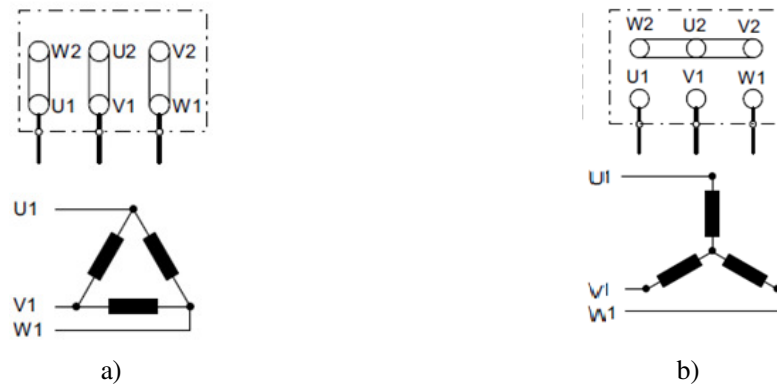


Figura 3.24. Placa de ligações do motor: a) Ligação em estrela; b) Ligação em triângulo

3.5.6 Sistema pneumático

Os atuadores pneumáticos são elementos mecânicos que, por meio de movimentos lineares ou rotativos, transformam a energia cinética gerada pelo ar pressurizado em energia mecânica, produzindo trabalho [5].

O sistema pneumático é constituído por quatro cilindros ou atuadores pneumáticos lineares de duplo efeito, com câmara de amortecimento no avanço e no recuo. Todos os cilindros possuem ímã permanente incorporado e sensor magnético como explicado anteriormente.

O Quadro 3.6 apresenta o material pneumático utilizado e é composto pelas colunas “Símbolo”, “Apresentação” e “Função/Referência”. Na coluna “Símbolo” apresentam-se os símbolos representativos do material pneumático. Na coluna “Apresentação” mostra-se a imagem do material utilizado. Na coluna “Função/Referência” apresentam-se as características e a referência do material.

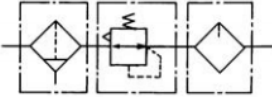

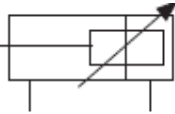

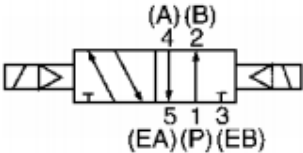

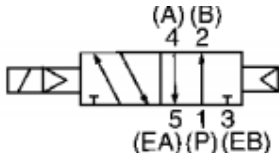

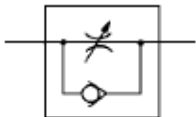

O comando dos atuadores lineares é efetuado por válvulas direcionais com comando por solenoide. Aplicaram-se quatro válvulas.

O curto tempo de resposta necessário e o número de ciclos (cerca de 18 800 ciclos em 16 horas) que o cilindro e a electroválvula da gaveta e do garfo separador de escorredores executam, são a parte mais exigente de todo o sistema pneumático. Aplicou-se uma estação de tratamento de ar constituída por um filtro de partículas, um regulador com manómetro e um lubrificador automático (Quadro 3.6). O filtro de partículas destina-se a evitar que resíduos e água provenientes da estação de preparação de ar ou instalação entrem para os atuadores, provocando danos. O regulador com manómetro destina-se a ajustar e indicar a pressão de trabalho do sistema pneumático que, no presente caso, é de 6 bar. O lubrificador automático

insere óleo de lubrificação automaticamente no sistema pneumático, para diminuir os efeitos desgastantes e forças de atrito, bem como para facilitar os movimentos.

Os cilindros lineares escolhidos têm um diâmetro de dezasseis milímetros, são de duplo efeito e com câmara de amortecimentos no avanço e recuo. Não se optou por cilindros de simples efeito, em virtude de terem um custo mais elevado e, para o mesmo diâmetro e comprimento de haste, são mais compridos que os de duplo efeito. Por se tratar de movimentos rápidos, os cilindros têm câmara de amortecimento para suavizar a paragem dos movimentos, evitando vibrações e desgaste do material. Aplicaram-se válvulas de controlo de fluxo em todos os cilindros. A sua correta regulação, aliada à cadência dos tempos na parte de comando, são indispensáveis para a correta sincronização de movimentos entre a gaveta e o garfo separador no ciclo de carga e descarga, (secções 3.2.1 e 3.2.2). Utilizaram-se válvulas de controlo direcional biestável e monoestável. Na gaveta e garfo de separação do escorredor aplicaram-se válvulas biestáveis, enquanto no cilindro aparador e no garfo separador da pilha aplicaram-se válvulas monoestáveis. A aplicação das válvulas direcionais biestáveis para o comando teve origem numa distração no momento da compra, pois bastava aplicar válvulas monoestáveis, o que facilitaria o comando e diminuiria os custos diretos no preço das válvulas e indiretos no endereçamento do autómato, relés e cablagem. Esta falha foi corrigida na aquisição das restantes válvulas.

Quadro 3.6 Material pneumático utilizado

Símbolo	Apresentação	Função/Referência
		Unidade de tratamento de ar, constituída por filtro, regulador e lubrificador. Modelo AC30A-F03E da marca SMC.
		Cilindro de duplo efeito com câmara de amortecimento no avanço e no recuo. Modelo CD85N16-80C-B da marca SMC.
		Válvula de controlo direcional biestável, 4 vias, 5 orifícios e 2 posições. Modelo SY52205DZ01FQ da marca SMC.
		Válvula de controlo direcional monoestável, 4 vias, 5 orifícios e 2 posições. Modelo SY51205DZ01FQ da marca SMC.
		Válvula de controlo de fluxo variável unidirecional. Modelo AS1201F-M5-06 da marca SMC.

3.5.7 Quadro elétrico e esquemas de *hardware*

O quadro elétrico da máquina primária teve que integrar o *layout* do quadro elétrico e das caixas de distribuição local do SAIE, para que eletricamente aquela continuasse a ser uma só máquina.

A Figura 3.25 apresenta o *layout* final. O quadro elétrico e caixas de distribuição local com a nomenclatura A0 pertencem ao SAIE, enquanto o quadro elétrico com a nomenclatura B0

pertence à máquina primária. O quadro e caixas do SAIE possuem régua de bornes referenciados, de forma que:

- PE – Bornes do barramento de terra de proteção;
- XDC – Bornes do barramento de 24VDC;
- XI – Bornes de sensores ou entradas para o autómato;
- XQ – Bornes das saídas do autómato;
- XA – Bornes do barramento de alimentação 230VAC;
- XE – Bornes dos codificadores rotativos;
- XC – Bornes de comunicação;
- X1 – Bornes de potência para motores.

No *layout* da Figura 3.25 estão identificados os multicabo que interligam o quadro principal com o quadro da máquina primária e caixas de distribuição. A sua nomenclatura começa sempre por (W), seguido do seu número no projeto. É possível identificar os bornes de interligação entre quadros e caixas ou vice-versa; por exemplo, aos bornes do quadro A0 régua XA liga um cabo do quadro B0 régua XA. O apêndice 3 apresenta a lista de ligações das linhas de multicabo aos respetivos bornes.

Optou-se por implementar um *layout* distribuído, em detrimento do centralizado. O *layout* distribuído permite:

- Ter menos cabos ligados diretamente para o quadro principal;
- Diminuir o custo com o percurso de cabos entre os diversos elementos e o quadro;
- Diminuir o tempo de implementação;
- Diminuir o tamanho do quadro principal, que constituía uma das limitações;
- Simplificar a análise de avarias, porque a caixa local está próxima dos sensores e atuadores;
- Substituir rapidamente sensores e atuadores.

A ligação entre o quadro e caixas de distribuição é feita por bornes, o que melhora a organização de ambos. Todas as caixas de distribuição local possuem barramento de 24VDC, o que facilita na deteção de avarias e aplicação de novos sensores.

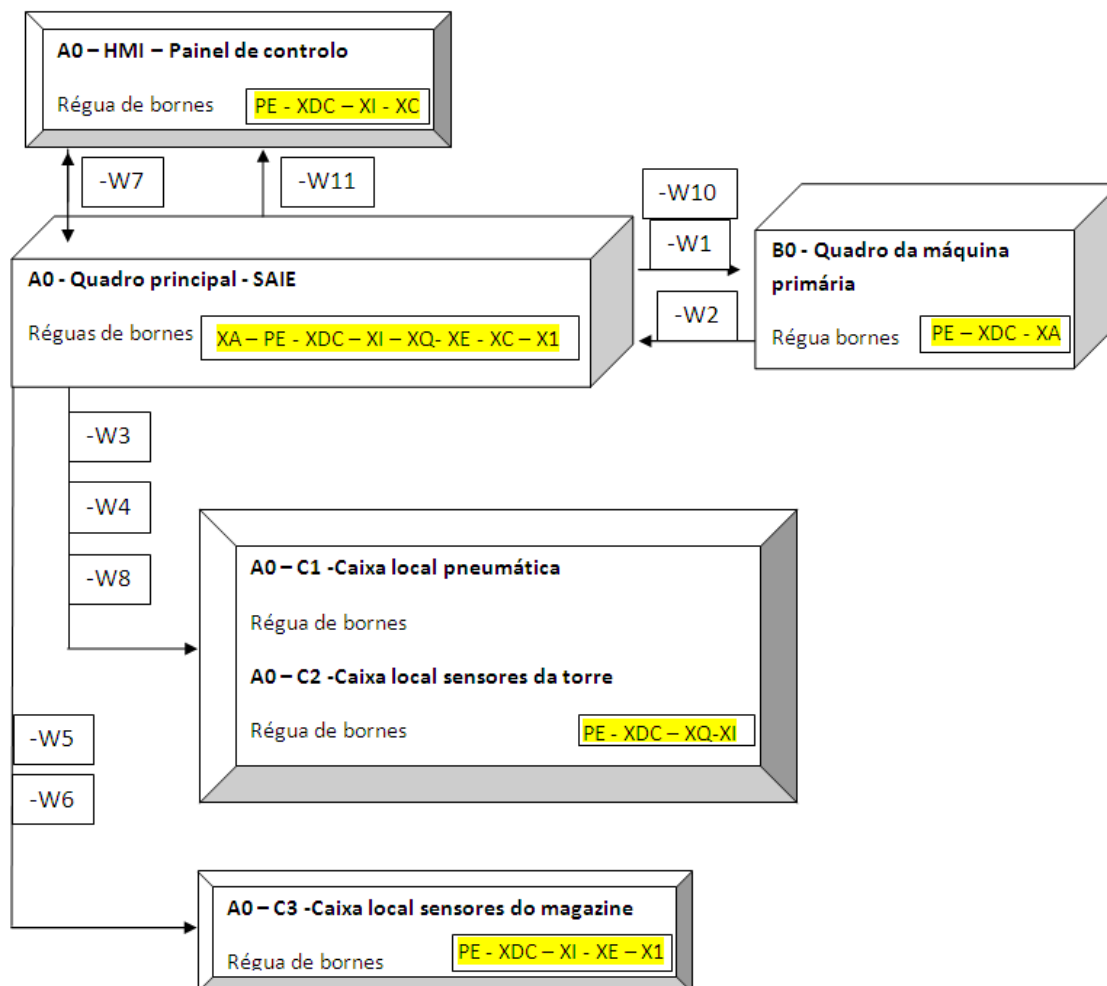


Figura 3.25. *Layout* dos quadros elétricos e das caixas de ligação local

O quadro do SAIE foi aplicado ao lado do quadro da máquina primária (Figura 3.26 a)), num espaço disponível. Foi feita à medida uma caixa para o efeito, com a entrada de cabos pela parte inferior, para evitar a entrada de lixo, o que no caso é bastante nocivo, por pairarem no ar partículas de pó de lã de aço. A distribuição da aparelhagem na platina é a apresentada na Figura 3.26 a). Procurou-se afastar o mais possível do autómato o circuito de potência, variador de velocidade e contactores, para evitar efeitos electro magnéticos no autómato. No canto superior esquerdo posiciona-se o autómato, abaixo os relés compactos e, ao seu lado, os barramentos AC e DC. Na parte inferior da platina, do lado esquerdo até meio, localizam-se os bornes, já apresentados na Figura 3.25, e à sua direita situam-se os contactores dos motores dos veios X e Y.

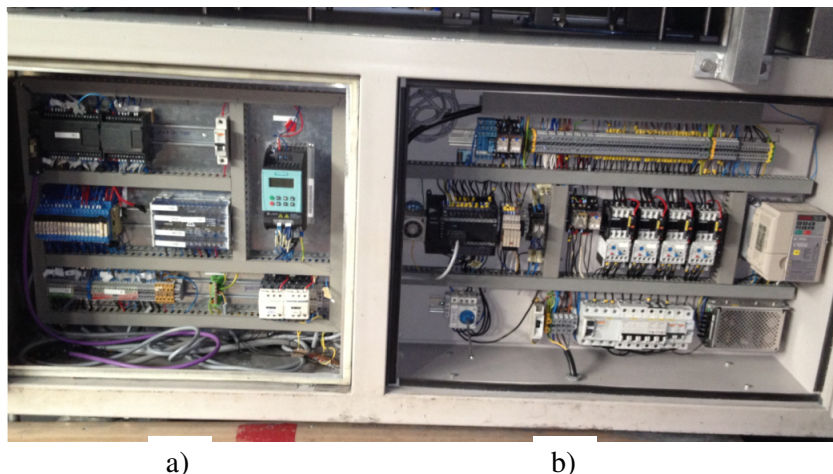


Figura 3.26. Quadro elétrico: a) SAIE; b) Máquina primária

As saídas do autómato não acionam diretamente os atuadores, estando ligadas a relés compactos que acionam os atuadores. A aplicação dos relés justifica-se porque o autómato aplicado tem as saídas a transístor, as quais não permitem grandes correntes de carga. Com a aplicação dos relés protegem-se as saídas. Caso ocorra uma sobre carga ou um curto-circuito, em que as proteções reajam tarde, o elemento afetado é o relé, o que constitui uma vantagem em termos de custos, dado que este é menos dispendioso que um autómato.

A nível de proteções, o variador está protegido por um disjuntor. A linha de 24VDC, que alimenta o SAIE, está protegida com disjuntor e as saídas para as bobinas das electroválvulas estão protegidas por fusível aplicado em borne. A linha que alimenta os 230VAC também possui disjuntor.

Na Figura 3.10, no diagrama de blocos da parte de comando e potência, faz parte o bloco de interface. A função deste bloco é estabelecer a comunicação entre o sistema de comando do SAIE e a máquina primária. A esta interface dá-se, vulgarmente, o nome de encravamentos elétricos, pois, realmente, é disso que se trata. No presente caso, o encravamento é feito por dois pontos, o seletor do painel de comando e a saída Q1.0 do autómato do SAIE para a máquina primária. O sinal enviado pelo seletor na posição “sem escorredor” isola a máquina primária do SAIE, ou seja, a máquina primária trabalha da forma original, como se não existisse o SAIE. Eletricamente, nessa posição o seletor aciona um relé inversor que coloca fora de serviço os circuitos de encravamento provenientes do SAIE. Com o seletor na posição “com escorredor”, inverte-se a situação explicada anteriormente. Neste caso, o relé inversor dos encravamentos elétricos passa a ser comandado em automático pela saída Q1.0. Quando existe algum alarme no SAIE, impeditivo de este executar a descarga de escorredor ou se a descarga não foi feita convenientemente, é acionada a saída Q1.0, que impede a máquina primária de mandar avançar o carrocel, que coloca novo estojo em posição de carga. Neste caso, o sistema de formação de novo estojo é bloqueado (Figura 2.5 b), bem como os injetores de cola (Figura 2.6 a)).

Nesta troca de sinais entre equipamentos diferentes deve haver isolamento de potencial, ou seja, cada quadro deve trabalhar com as suas tensões. No caso de quadros com diferentes fontes de tensão, esta prática salvaguarda danos e avarias. Mesmo que os quadros trabalhem com a mesma fonte de tensão, como é o caso, se o autômato que recebe o sinal entrar em curto-circuito ou sobrecarga, essa situação não afetará o emissor do sinal. Desta forma, aplicam-se contactos livres de potencial, ou seja, contactos de relés.

Os encravamentos provenientes do SAIE intercalados na máquina primária foram feitos em *hardware*; desta forma, não se alterou o programa do autômato desta máquina. Como medida de segurança, se possível, evita-se alterar a programação de máquinas intervencionadas. O objetivo é que a máquina existente continue intacta, evitando-se, com isto, interpretações erradas em possíveis avarias no futuro.

A Figura 3.27 ilustra o esquema de ligação de malhas e terra adotado. Do circuito de potência fazem parte o contactor, o variador e o motor. O circuito de comando está representado pelo autômato (PLC) e pelo codificador angular. O variador é alimentado por uma tensão simples de 230VAC, e disponibiliza à saída uma tensão composta também de 230VAC para o motor. A parte de comando funciona a 24VDC na sua totalidade.

Tanto os cabos de potência, como os de sinal, possuem malha de blindagem para evitar os efeitos eletromagnéticos. Foram feitas ligações de forma a garantir a equipotencialidade entre todas as partes de metal.

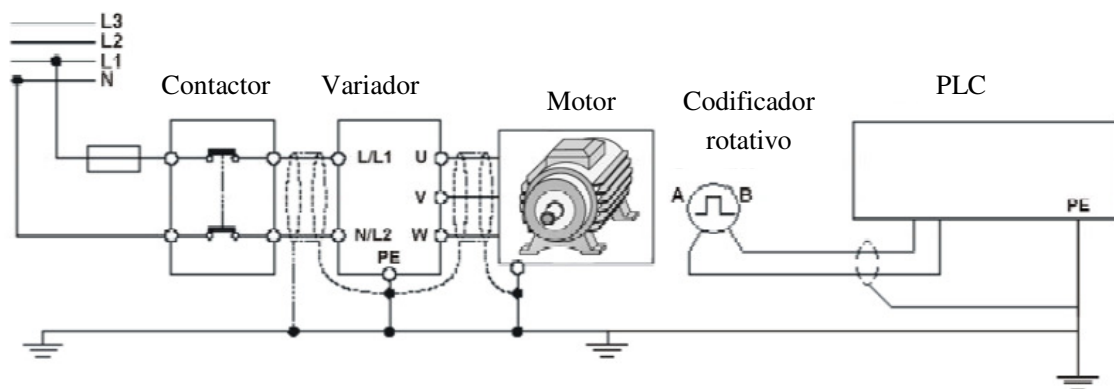


Figura 3.27. Ilustração do esquema de malhas e terras implementado

A Figura 3.28 ilustra o diagrama de ligações multifilar da alimentação e sinais das malhas de controlo de posição e potência dos eixos X e Y do armazém. Da esquerda para a direita, apresenta-se o CPU com o módulo de expansão de oito entradas e oito saídas e o variador de velocidade. Por baixo do CPU, estão os codificadores angulares, com os respetivos contactos de fim de curso de referência (*reset*). Por baixo do variador representam-se os contactores KM 1 e KM 2, respeitantes aos movimentos X e Y, ligados aos motores correspondentes.

Ilustram-se também as ligações de alimentação a 230VAC para o variador e os 24VDC para o autómato e codificadores angulares.

Ainda na figura 3.28 apresentam-se os sinais de comando que entram e saem do autómato. Aos sinais de entrada correspondem:

- IO.0 é a entrada do canal A do codificador angular do eixo X;
- IO.1 é a entrada do canal B do codificador angular do eixo X;
- IO.2 é a entrada de *reset* do codificador angular do eixo X;
- IO.3 é a entrada do canal A do codificador angular do eixo Y;
- IO.4 é a entrada do canal B do codificador angular do eixo Y;
- IO.5 é a entrada de *reset* do codificador angular do eixo Y.

Aos sinais de saída correspondem:

- Q0.6 é a ordem do autómato para o variador ligar (Terminal 3, DIN0);
- Q0.7 é a ordem do sentido de marcha, do autómato para o variador (Terminal 4, DIN1);
- Q2.1 é a ordem do autómato para o contactor KM1, ligando o movimento do eixo X;
- Q2.2 é a ordem do autómato para o contactor KM2, ligando o movimento do eixo Y;
- Q2.5 é a ordem do autómato para o variador do patamar de velocidade pretendida.

O circuito de potência é, como anteriormente referido, constituído pelo variador, contactores e motores. A saída do variador está ligada a dois contactores que ligam ao motor do eixo X e ao motor do eixo Y. Como mencionado anteriormente na secção 3.5.4, inicialmente estava previsto um variador por eixo; contudo, após otimização de percursos, concluiu-se ser necessário apenas um variador, considerando que não há vantagens em os eixos se movimentarem em simultâneo. A solução encontrada a nível de *hardware* foi aplicar os dois contactores apresentados na Figura 3.28. Desta forma, liga-se o contactor pertencente ao eixo que se pretende movimentar. Os comandos para o variador são os mesmos para qualquer um dos motores.

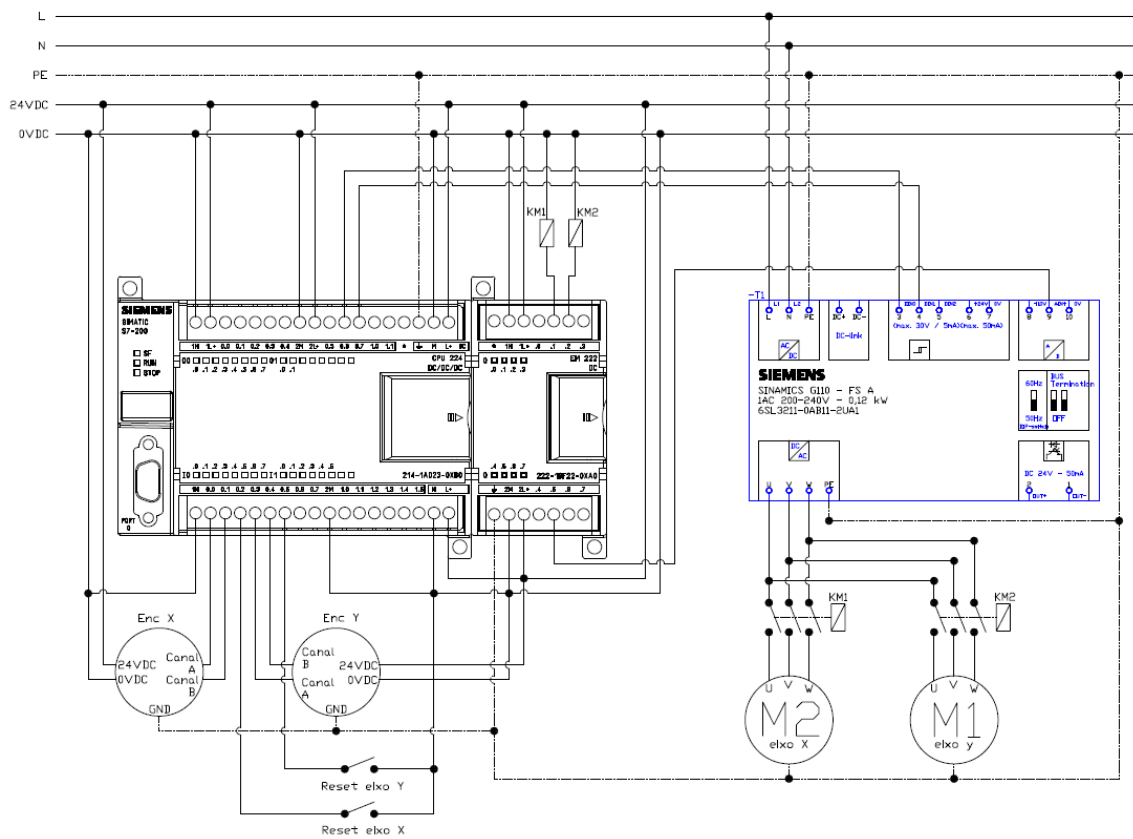


Figura 3.28. Diagrama de ligações multifilar das malhas de controlo de posição

3.6 Desenvolvimento e implementação do *Software*

3.6.1 Constituição e desenvolvimento do controlo

O desenvolvimento do controlo do SAIE dividiu-se em **três fases**, diretamente relacionadas com as fases de desenvolvimento do projeto, tendo em conta a forma como se foi processando a sua evolução. A primeira fase consistiu no controlo da torre, a segunda no controlo do sistema de alimentação à torre e a terceira, e última, na integração dos dois programas num só e na respetiva otimização [2].

Na **primeira fase** desenvolveu-se o controlo da torre, nomeadamente do sistema de separação de escorredores e de separação da pilha de escorredores; neste controlo, foram utilizados o controlador programável (CPU 222) e o painel de comando (TD 200). O objetivo consistiu em conseguir automatizar os atuadores mecânicos desenvolvidos, de forma a separar o primeiro escorredor da pilha, de forma eficiente. Nesse sentido, implementaram-se dois ciclos, o de carga e o de descarga, descritos nas secções 3.2.1 e 3.2.2 do presente estudo, a trabalharem entre si de forma sequencial, em que o ciclo de descarga é iniciado apenas quando terminado o ciclo de carga e vice-versa. A parte de alarmes relacionados com a torre,

3. Automação e controlo

assim como os eventos que acompanhavam a sequência do processo, abordados nas secções 3.4.1 e 3.4.2, foram desenvolvidos nesta fase. Os eventos constituíram uma ferramenta essencial para se conseguir otimizar o ciclo de carga e descarga, pois, devido à rapidez com que os ciclos se executam, a ferramenta de programação não revelou ser suficiente. A programação da interface em modo automático com a máquina primária foi a última a ser desenvolvida, para se poder implementar a torre em testes na máquina primária.

A **segunda fase** foi iniciada com a torre ainda em testes na máquina primária, tendo-se utilizado um segundo controlador programável (CPU 222) e outro painel de operação (TD 200). Desenvolveu-se o programa de controlo do sistema de abastecimento à torre. Utilizou-se programação dividida em áreas para desenvolver o controlo em malha fechada do posicionamento dos eixos do armazém.

No controlo do posicionamento, utilizaram-se dois contadores de leitura rápida que fazem parte do controlador lógico programável: o contador HSC0 (*Hight-Speed Conter*), que utiliza as entradas alocadas I0.0, I0.1 e I0.2, e o contador HSC4, que utiliza as entradas alocadas I0.3, I0.4 e I0.5. Esta gama de CPUs possui contadores de leitura rápida incorporados, evitando a compra de um módulo especificamente para os codificadores angulares [1-2].

Na configuração dos contadores, utilizou-se a ferramenta *wizards*, mais concretamente o *High speed conter* pertencente ao *Microwin*. O processo de configuração gera sub-rotinas com as características dos contadores de leitura rápida [1].

A programação é dividida por áreas, dado que o programa é constituído por várias funções em que cada uma tem instruções para resolver uma tarefa parcial, sendo todas chamadas no corpo principal do programa (OB1). A Figura 3.29 exemplifica a programação dividida [1].

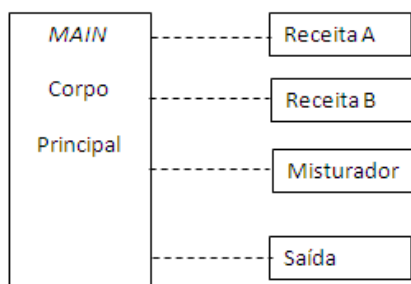


Figura 3.29. Exemplo de programa dividido por áreas

A **terceira fase** consistiu na junção do programa da torre e do programa do sistema de abastecimento à torre em apenas um. Utilizou-se o controlador lógico programável (CPU 224) com um módulo de expansão misto de oito entradas e oito saídas. Todo o endereçamento foi redirecionado em virtude de existirem sobreposições de entradas, saídas e zonas de memória.

Feita a integração, houve uma fase de testes, na qual se procuraram resolver incompatibilidades resultantes da junção dos dois projetos.

A Figura 3.30 apresenta a estrutura do programa do projeto. A linguagem de programação utilizada no PLC foi o diagrama de contactos (*Ladder Diagram*). Os dados são armazenados no projeto sob a forma de objetos, organizados numa estrutura tipo árvore que define a sua hierarquia. A estrutura em árvore apresentada na Figura 3.30 é similar em toda a gama média e alta do fabricante *Siemens* para a gama S7 de forma semelhante a qualquer gestor de ficheiros de um sistema operativo com janelas. A Figura 3.30 a) apresenta os blocos do programa, enquanto a Figura 3.30 b) exhibe a estrutura dos blocos de dados. Os blocos de programa dividem-se em três categorias: o OB, designado por bloco de organização, as SBR, designadas por sub-rotinas e que são funções programadas pelo utilizador, e os INT são rotinas de interrupção. O OB contém o corpo principal do programa onde é gerida a ordem de execução das sub-rotinas; as SBR são hierarquicamente dependentes do OB, onde são chamadas quando o seu contributo é necessário na execução do programa, sendo implementadas pelo utilizador à medida das suas necessidades no desenvolvimento do programa. O utilizador pode desenvolver função de “comando” ou função de “bloco”. A função de “comando” utiliza variáveis globais, que são acedidas dentro e fora dessa sub-rotina, enquanto a função de “bloco” utiliza variáveis locais acedidas apenas dentro dessa rotina. A grande diferença consiste na poupança de recursos, nomeadamente zonas de memória, já que a sub-rotina de “bloco” utiliza zonas de memória próprias, libertando a memória do sistema operativo, ao contrário do que se verifica com as funções de “comando”. No caso do OB, como este é o corpo principal do programa, já existe um por defeito (OB1). Os INT são sub-rotinas de interrupção acionadas por um evento de interrupção, não dependem do ciclo normal de execução do programa, podendo interrompê-lo a qualquer momento que sejam acionadas pelo evento que lhes está associado. Na Figura 3.30 b) destaca-se a estrutura dos blocos de dados; estes blocos guardam, em zonas de memória próprias, informação utilizada por rotinas no processamento do programa.

No programa desenvolvido, o OB1 (bloco de organização principal) está a ser utilizado para chamar sequencialmente as rotinas apresentadas na Figura 3.30 a). Nele são executados, igualmente os comandos relativos a alarmes, seguranças e ordens de acionamento final das malhas de controlo de posicionamento. As rotinas SBR1, SBR2, INT1 e INT2 dizem respeito à configuração escolhida para os contadores de leitura rápida que, no caso, estão associados aos codificadores angulares. As rotinas SBR0, SBR1, SBR2, SBR3, SBR4, SBR5, SBR7, INT0, INT1 e INT2 dizem respeito ao comando e controlo das malhas de posicionamento do sistema de alimentação à torre de descarga. A SBR6 é a função responsável pelo comando e controlo da torre de descarga; trata-se de uma função de “comando” que utiliza variáveis globais, sendo a responsável pelo comando, alarmes, eventos e todas as ordens de acionamento final dos atuadores da torre de descarga. O programa trabalha com dois blocos de dados, o USER1 e a TD_DATA_0. O USER 1 guarda as coordenadas de X e Y relativas

ao posicionamento das dezasseis células do armazém, enquanto o TD_DATA_0 guarda a configuração do painel de operação (TD 200). A Figura 3.31 a) apresenta a informação do USER 1 e a Figura 3.31 b) apresenta um extrato da informação da TD_DATA_0.

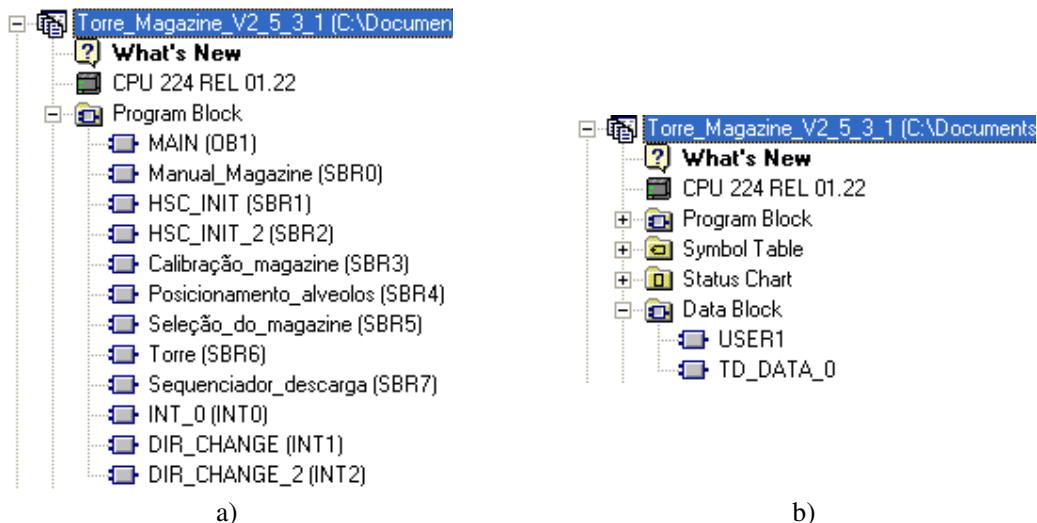


Figura 3.30. Estrutura do programa do projeto: a) Estrutura geral; b) Estrutura dos blocos de dados

```

//
//DATA PAGE COMMENTS
//
//Press F1 for help and example data page
//
X_1#  -10576, -22097, -33485, -45027
Y_1#  -153, -9725, -19324, -28912

//MESSAGE 1
//Message Enable Bit V14.7
VB24  'Torre Auto-F1>Manual
//MESSAGE 2
//Message Enable Bit V14.6
VB44  'Torre Manual-F1>Auto
//MESSAGE 3
//Message Enable Bit V14.5
VB64  'Y Preso ou Avaria
//MESSAGE 4
//Message Enable Bit V14.4
VB84  'Descarga Concluida
//MESSAGE 5
//Message Enable Bit V14.3
VB104 'X Preso ou Avaria
//MESSAGE 6
//Message Enable Bit V14.2
VB124 'Gaveta presa a abrir
//MESSAGE 7
//Message Enable Bit V14.1
VB144 'Esc Preso descarga
//MESSAGE 8
//Message Enable Bit V14.0
VB164 'F2 Reconheça alarme
//MESSAGE 9
//Message Enable Bit V15.7
VB184 'Gaveta Presa fechar
//MESSAGE 10
//Message Enable Bit V15.6
VB204 'Separa preso abrir
    
```

Figura 3.31. Bloco de dados: a) USER 1; b) TD_DATA_0

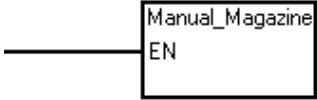
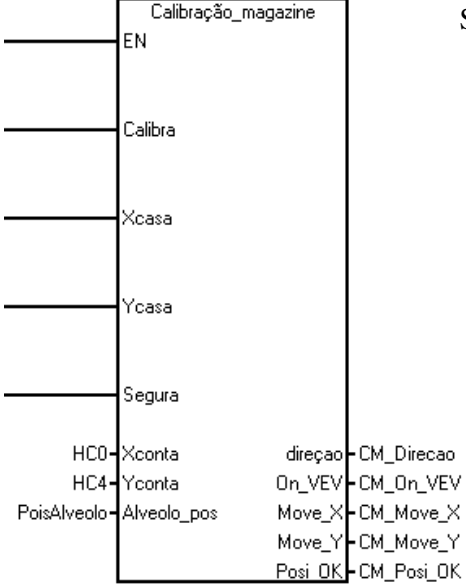
3.6.2 Estrutura e implementação

Os Quadros 3.7, 3.8 e 3.9 apresentam a coluna “Função” e a coluna “Sub-rotina”. Na coluna “Função” é descrita, de forma resumida, a funcionalidade para a qual foi programada cada

rotina. Na coluna “Sub-rotina” apresenta-se o bloco que faz parte do corpo principal do programa do projeto e o seu nome de projeto.

Nos Quadros 3.7, 3.8 e 3.9, onde se lê magazine, deve entender-se armazém; onde se lê alvéolo, deve entender-se célula.

Quadro 3.7. Rotinas do controle desenvolvido (parte 1)

Função	Sub-rotina
<p>Bloco processado em modo de operação manual. Utilizado em modo manual técnico para operações de calibração e de movimento dos eixos.</p>	 <p style="text-align: right;">SBR 0</p>
<p>Bloco processado após a execução do primeiro ciclo do PLC. Responsável pelo processo de referenciação do armazém. Impede o processamento dos bolos da malha de controle de posicionamento enquanto não for terminado</p>	 <p style="text-align: right;">SBR 3</p>

Quadro 3.8. Rotinas do controlo desenvolvido (parte 2)

<p>Só é processado após o armazém ter referenciado o armazém.</p> <p>Faz a gestão do processo de descarga das células do armazém. Permite dois modos de seleção da célula de descarga, o modo manual e o modo automático. No modo manual, a cédula de descarga é aleatória, escolhendo o operador a célula que pretende. No modo automático, a descarga é sequencial e gerida pelo automatismo.</p>	<div style="text-align: right; font-weight: bold;">SBR 7</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Sequenciador_descarga</p> <p>EN</p> <p>Auto_Man</p> <p>Start_PLC</p> <p>Posicao_OK</p> <p>Torre_livre</p> <p>VW442- Aldescaga Cilindro_sep- SD_Aparador</p> <p> 0- X_troca_Ma~</p> <p> 0- Y_troca_Ma~</p> <p>TD_Palveolo- Res</p> <p> 0- AlvOndeesta</p> <p>MX_KM1- X_Move</p> <p>MY_KM2- Y_Move</p> <p>Sentido_VEV- Av_recua</p> <p>ON_VEV- VEV_Mover</p> <p>PoisAlveolo- Alveolo_pos</p> <p>VW3000- Resout</p> </div>
<p>Só é processado após o armazém ter referenciado o armazém.</p> <p>No nome deste bloco leia-se “Seleção da célula ou armazém”.</p> <p>Faz a associação das coordenadas de X e Y, do número da célula seleccionada para posicionamento</p>	<div style="text-align: right; font-weight: bold;">SBR 5</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Seleção_do_magazine</p> <p>EN</p> <p>Auto</p> <p>Torre_livre</p> <p>Res2</p> <p>PoisAlveolo- Pede_alveolo Resout1- V530.0</p> <p> X_1# X1_alveolo Resout2- V530.1</p> <p> X_2# X2_alveolo</p> <p> X_3# X3_alveolo</p> <p> X_4# X4_alveolo</p> <p> Y_1# Y1_alveolo</p> <p> Y_2# Y2_alveolo</p> <p> Y_3# Y3_alveolo</p> <p> Y_4# Y4_alveolo</p> <p>XPos- X_posicao</p> <p>YPos- Y_posicao</p> </div>

Quadro 3.9. Rotinas do controlo desenvolvido (parte 3)

<p>Só é processado após o armazém ter referenciado o armazém.</p> <p>Analisa as coordenadas solicitadas para posicionamento e transmite ordens de comando ao variador e contactores nesse sentido.</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: right;">Posicionamento_alveolos</p> <p>EN</p> <p>Segura</p> <p>Xsentido_at~</p> <p>Ysentido_at~</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>PoisAlveolo</td> <td>Alveolo_dest</td> <td>Adireção</td> <td>PA_direção</td> </tr> <tr> <td>XPos</td> <td>X_Pos_Dest</td> <td>A_on_VEV</td> <td>PA_On_VEV</td> </tr> <tr> <td>YPos</td> <td>Y_Pos_Dest</td> <td>A_move_X</td> <td>PA_Move_X</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Tolerancia</td> <td>A_move_Y</td> <td>PA_Move_Y</td> </tr> <tr> <td>HC0</td> <td>X_HC0</td> <td>Posição_OK</td> <td>PA_Posi_OK</td> </tr> <tr> <td>HC4</td> <td>Y_HC4</td> <td>L_R</td> <td>PA_L_R</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Res</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </div> <p style="text-align: right;">SBR 4</p>	PoisAlveolo	Alveolo_dest	Adireção	PA_direção	XPos	X_Pos_Dest	A_on_VEV	PA_On_VEV	YPos	Y_Pos_Dest	A_move_X	PA_Move_X	10	Tolerancia	A_move_Y	PA_Move_Y	HC0	X_HC0	Posição_OK	PA_Posi_OK	HC4	Y_HC4	L_R	PA_L_R	1	Res		
PoisAlveolo	Alveolo_dest	Adireção	PA_direção																										
XPos	X_Pos_Dest	A_on_VEV	PA_On_VEV																										
YPos	Y_Pos_Dest	A_move_X	PA_Move_X																										
10	Tolerancia	A_move_Y	PA_Move_Y																										
HC0	X_HC0	Posição_OK	PA_Posi_OK																										
HC4	Y_HC4	L_R	PA_L_R																										
1	Res																												
<p>Só é processado após o armazém ter referenciado o armazém.</p> <p>Responsável pelo comando da torre de descarga. Faz o interface com o operador e com o sistema de abastecimento à torre.</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Torre</p> <p>EN</p> </div> <p style="text-align: right;">SBR 6</p>																												

A Figura 3.32 apresenta o sistema de controlo do posicionamento dos eixos. É composto por duas malhas de controlo ligadas ao PLC CPU 224, variador de velocidade, contactores, motores dos eixos X e Y e respetivos codificadores angulares incrementais. Dentro do CPU 224 apresentam-se as rotinas que fazem parte da malha de controlo de posicionamento dos eixos X e Y, o fluxo da informação entre rotinas, a informação proveniente das rotinas para os atuadores e, em sentido inverso, a informação dos codificadores angulares para as rotinas.

A rotina SBR3 é responsável pelo processo de referenciação do sistema de posicionamento. O processo de referenciação consiste em deslocar o armazém para o ponto de referência (Figura 3.33) onde sincroniza o sistema de medida, sempre que o autómato é reiniciado, ou seja, quando a máquina for ligada. Com esta operação, o sistema conhece o seu limite físico, sendo os eixos da máquina levados para zero. Esta operação evita a acumulação de erros, que são propícios quando se está longos períodos de tempo em funcionamento sem referenciar.

Quando o programa termina o primeiro ciclo, a rotina inicia o processo de referenciação, movimentando alternadamente cada um dos eixos. Durante o processo, a rotina atua diretamente no variador e nos contactores. Para o variador, a rotina envia: a ordem de

arranque (linha f da figura 3.32), o sentido de rotação (linha g) e a velocidade (linha h); para os contactores, a rotina seleciona o contactor do movimento pretendido (linha e). O posicionamento é supervisionado pela leitura dos impulsos do codificador angular, que consiste na realimentação da malha de controlo e, paralelamente, é confirmado o posicionamento físico dos eixos pela atuação de dois fins de curso. Confirmada a referenciação, a rotina SBR 3 informa as rotinas seguintes (linha a) de que o processo está concluído, permitindo o seu processamento. As linhas a – d) correspondem a variáveis de programação e as linhas e – h) correspondem a sinais elétricos.

A rotina SBR7, denominada de sequenciador de descarga, faz a gestão do processo de descarga das células do armazém. Esta rotina permite dois modos de seleção da célula de descarga, o modo manual e o modo automático. No modo manual, a célula de descarga é aleatória, escolhendo o operador a célula que pretende no painel de operação (TD 200). No modo automático, a descarga é sequencial e gerida pelo automatismo sempre que recebe o pedido da torre para ser alimentada. A rotina SBR7 informa a rotina SBR5 e SBR4 (linha b da figura 3.32) de qual o número da próxima célula de descarga e, simultaneamente, manda avançar o cilindro aparador (figura 3.4).

A rotina SBR5, denominada seleção ou armazém, associa o valor das coordenadas de X e Y ao número da célula selecionada para posicionamento. O valor das coordenadas é lido no bloco de dados USER 1 e enviado para a rotina SBR 4 (linha c da figura 3.32).

A rotina SBR4, denominada posicionamento da célula ou alvéolo, recebe o valor das coordenadas onde vai posicionar, alternadamente, os eixos X e Y. No processo de posicionamento, esta rotina comanda o variador: dando ordem de arranque (linha f da figura 3.32); indicando o sentido de rotação (linha g) e informando a velocidade pretendida (linha h); para os contactores seleciona, alternadamente, o contactor do movimento pretendido (linha e). A confirmação do deslocamento físico é acompanhada pela leitura dos impulsos do codificador angular, que é a realimentação da malha de controlo. Entre as rotinas SBR4 e SBR7 existe uma malha de controlo de posicionamento (linha d); a rotina SBR7 retira o pedido da célula a ser posicionada, apenas quando a rotina SBR4 confirma que o posicionamento foi concluído com êxito.

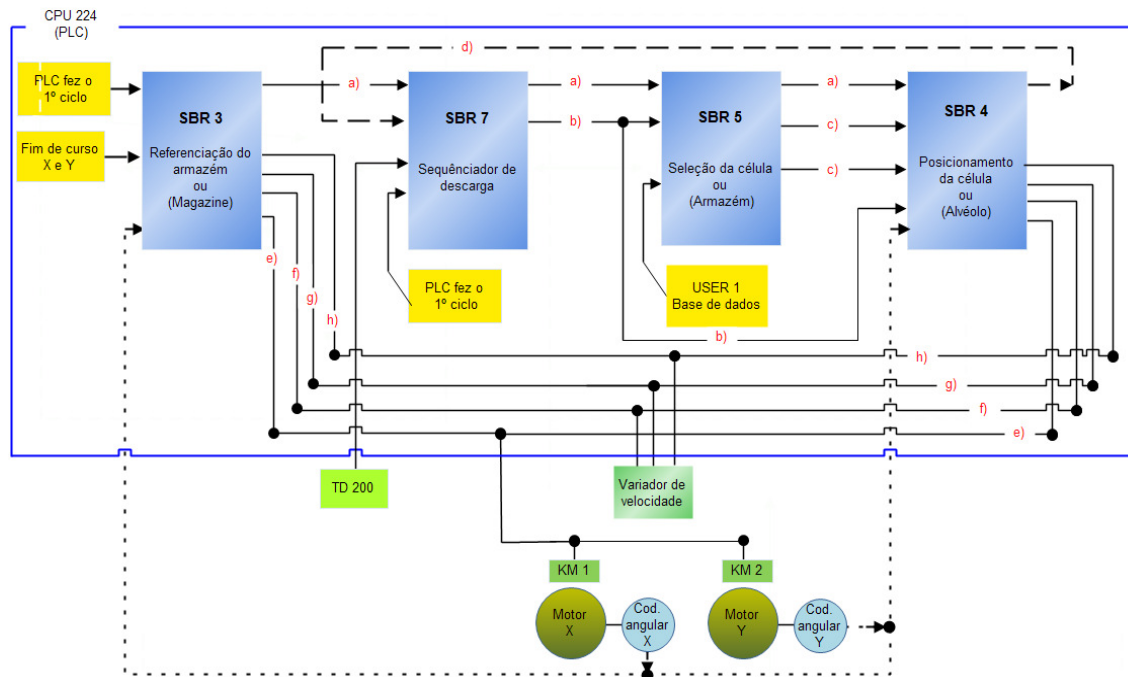


Figura 3.32. Sistema de controlo do posicionamento

A rotina SBR4 de referência do armazém, conforme ilustrado na Figura 3.33, encaminha o mecanismo do armazém para o ponto de referência. Este ponto é o limite físico do armazém que fica fora da sua zona de trabalho e é onde os codificadores angulares são referenciados a zero. Como pode observar-se na Figura 3.33, os valores de posicionamento partem do zero e trabalham numa escala negativa.

O processo de referência somente se inicia se o SAIE estiver selecionado e a torre estiver sem escorredor; enquanto a torre tiver escorredores, o pedido para referenciar fica pendente até que os escorredores sejam gastos.

O movimento dos eixos para o ponto de referência é efetuado de duas formas diferentes, dependendo da localização da célula de descarga. Assim, é atribuída prioridade ao eixo X se este estiver posicionado entre as células cinco a oito e treze a dezasseis, inclusive; será atribuída prioridade ao eixo Y se este estiver posicionado entre as células um a quatro e nove e doze, inclusive (Figura 3.5). Este critério de prioridades é utilizado para evitar que este percurso de referência seja coincidente com células cheias, originando o esmagamento de escorredores ao passarem pelo orifício de abastecimento da torre.

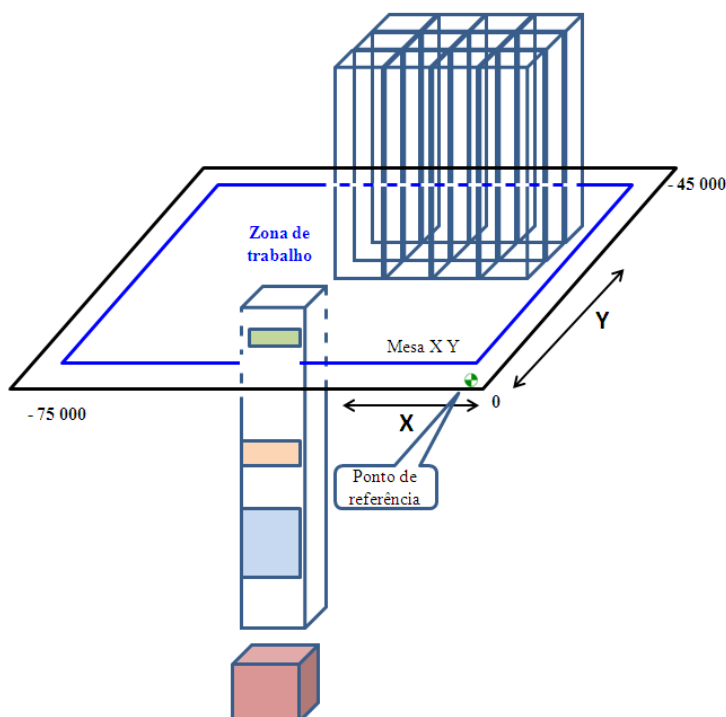


Figura 3.33. Ponto de referência dos eixos

A rotina SBR 7 de sequenciamento de descarga foi desenvolvida para fazer o interface entre o número da célula do armazém e as coordenadas da posição correspondentes. Como referido anteriormente, esta rotina faz a gestão da sequência de descarga e permite dois modos de trabalho, o manual e o sequencial. Após ter terminado o processo de referenciação, a rotina faz o pedido de posicionamento para a célula seguinte à última que descarregou, dando sequência ao percurso de descarga interrompido. Quando termina a descarga da décima sexta célula, a rotina faz o pedido de posicionamento para a primeira célula, que é a posição de troca de armazém.

Inicialmente, a rotina SBR 7 permitia o avanço de várias células sem serem descarregadas. Verificou-se que, por questões de operação, as operadoras agitavam, frequentemente, a pilha de escorredores presente na torre e o sensor de torre vazia atuava várias vezes. Cada atuação originava o avanço de uma torre. Esta operação optimizou-se filtrando e encravando o pedido de abastecimento.

A rotina SBR 5 associa as coordenadas de X e Y ao número da célula seleccionada para posicionamento. O valor das coordenadas é lido no bloco de dados. Inicialmente, levou algum tempo a idealizar a estratégia para fazer a associação entre o número de célula e os valores da posição dos eixos. Após ter sido concebida, esta é uma das rotinas que mais recursos de memória ocuparia ao PLC, se não fosse implementada em bloco com variáveis locais.

A rotina SBR 4 de posicionamento das células analisa o valor da posição solicitada para posicionar os eixos, acrescentando a este valor uma tolerância de erro permitida no posicionamento. Compara estes valores com os referentes à posição onde se encontra e, havendo necessidade de se movimentar, fá-lo dando prioridade ao eixo X; quando este termina o posicionamento, inicia-se o eixo Y. O posicionamento é terminado quando o eixo pára dentro da “janela de tolerância permitida”. Se, durante o posicionamento, o mecanismo ao parar, devido à sua inércia ultrapassou a janela de tolerância, o sentido é invertido, mantendo a velocidade de posicionamento, e procura posicionar-se dentro da referida janela. Este processo aplica-se aos dois eixos.

A rotina SBR 6 de comando da torre de descarga de escorredores é uma rotina programada, maioritariamente, de forma sequencial; tendo em conta o processo controlado, é uma rotina de comando com variáveis globais. Esta rotina gere dois ciclos, o de carga e o de descarga. Provoca ciclos “virtuais” de descarga se detetar falha na queda de escorredores. Comanda o separador da pilha de forma a manter o nível de escorredores adequado para separação. Despoleta alarmes e eventos, nos dois modos de funcionamento, o manual e automático. Foi a rotina que constituiu o maior desafio, no sentido de conciliar o comando programado com a seqüência de acontecimento pretendida, a velocidade a que eles ocorrem e a regulação pneumática dos atuadores.

As rotinas HSC_INT 1 e 2 pertencem aos contadores de leitura rápida dos eixos X e Y, respetivamente. Dado que fazem a contagem de acontecimentos rápidos, estes contadores não são controlados pelo ciclo do autómatu. A escolha e configuração do contador de leitura rápida está diretamente relacionada com o tipo de codificador implementado, já abordado na secção 3.5.3 deste trabalho. Neste caso, cada contador foi configurado para ler dois canais (fases A e B) em quadratura, em que quando a fase A está em avanço em relação à fase B, a rotação é no sentido da direita; se o desfasamento for inverso, a rotação será no sentido da esquerda. Esta configuração associa os contadores diretamente às entradas pré-definidas, mencionadas na secção 3.5.3. O sentido de contagem configurado é o sentido ascendente, sendo o incremento feito no bordo ascendente do sinal em quadratura. O *reset* da contagem é feito quando o sinal da respetiva entrada estiver a um.

3.7 Conclusão do capítulo

Neste capítulo abordou o princípio de funcionamento, seguido do modo de operação do SAIE. Apresentou-se o *hardware* construído na sua componente de automação e controle. Nomeadamente, descreveram-se os sensores e atuadores utilizados e a razão da sua escolha. Por fim, descreveu-se o *software* desenvolvido que permite o comando de todos os automatismos criados.

4. Resultados

4.1 Introdução

O presente capítulo começa por fazer uma abordagem à situação encontrada e aos anseios dos responsáveis da empresa em relação aos requisitos pretendidos para a solução automatizada. Termina-se apresentando os resultados obtidos em termos processuais e físicos com o projeto implementado.

4.2 Condições de produção encontradas e condições solicitadas

A situação encontrada foi uma fábrica de laboração a dois turnos de oito horas cada, que fabrica e fornece para o mercado nacional e internacional sabão e esfregões saponificados.

O trabalho apresentado nesta dissertação desenvolveu-se no âmbito da parte final do processo de produção de esfregões saponificados, mais concretamente na linha de embalamento dos esfregões.

A linha de embalamento dividia-se em duas partes, uma automatizada e a outra parte manual, desempenhada por quatro operadoras. A parte automatizada é composta por um transportador (carrocel) e um periférico que alimenta o carrocel com estojos cartonados, que consiste na embalagem dos esfregões saponificados. A parte manual é composta por quatro operadoras, sendo que três abastecem os estojos com esfregões e a quarta abastece os estojos com escorredores. O ritmo de trabalho é imposto pela parte automatizada. O tempo de que as operadoras dispõem para abastecer os estojos é de aproximadamente três segundos, que é o

4. Resultados

tempo médio que o periférico leva a abastecer o carrocel com novo estojo, em que o carrocel está parado. Das tarefas executadas em modo manual, a mais crítica é a aplicação do escorredor no estojo. A ergonomia da linha existente foi projetada para disponibilizar estojos para a operadora abastecer de esfregões. A aplicação do escorredor surge a posteriori por uma necessidade de mercado. As condições em que a operadora se encontra a executar a tarefa conduzem a paragens necessárias, sempre que termina a quantidade de escorredores que a mesma tem numa das mãos para poder abastecer com a outra os estojos, como apresentado na Figura 4.1. Um outro tipo de paragens eventuais está relacionado com qualquer necessidade pessoal da operadora que demore mais do que três segundos.

A par das condições em que se desenrola o processo produtivo, estão as condições solicitadas pelos responsáveis da empresa, que estabeleceram um objetivo para o sistema a ser implementado. Foi estabelecida uma produção média de trinta e quatro estojos por minuto, o que constitui um valor ambicioso, tendo em conta a realidade atual. Paralelamente tem que todos os estojos levam escorredor e quando surgir alguma falha no SAIE, o carrocel pare de forma automática, identificando o motivo da paragem. Em conjunto com as condições de produção encontradas, os responsáveis da empresa solicitaram também que, ao contrário da prática corrente, o SAIE seja implementado no final do processo, ou seja, quando o estojo já estiver completo com os esfregões.



Figura 4.1. Abastecimento manual de escorredores

4.3 Resultados obtidos

O projeto desenvolvido, denominado SAIE, dá resposta às condições processuais encontradas, bem como às condições solicitadas pelos responsáveis da empresa.

Desenvolveu-se um sistema automático para abastecer o estojo com o escorredor, o qual foi implementado na linha de embalagem, denominada máquina primária. Com a implementação deste sistema, a operação apresenta um tempo de resposta média da ordem dos dois segundos por escorredor, o qual está perfeitamente enquadrado no tempo utilizado pela operadora para abastecer o estojo, sendo inferior ao tempo que o periférico demora a colocar novo estojo no carrocel. Portanto, em questões processuais o SAIE não representa um gargalo no sistema produtivo; pelo contrário, deixa margem de manobra para o carrocel poder aumentar o seu ritmo. Assim, do ponto de vista processual, este objetivo foi plenamente atingido.

No que respeita ao número de estojos por minuto, o SAIE tem uma resposta de trinta por minuto (valor máximo), testado fora do processo produtivo. Este teste foi levado a cabo fora do processo produtivo porque a cadência atual que o carrocel consegue são vinte escorredores por minuto, sendo que o valor médio estabelecido pela direção da empresa é de trinta e quatro por minuto. Neste momento, aguardam-se alterações na máquina primária de forma a melhorar este ponto. Nessa altura, poder-se-á testar em linha a capacidade de resposta do SAIE e, eventualmente, proceder a otimizações, se tal se mostrar necessário.

O Quadro 4.1 mostra um resumo dos resultados obtidos pela introdução do SAIE em comparação com o sistema original. É constituído pela coluna “Descrição”, a coluna “Valor sem SAIE” e a coluna “Valor com SAIE”. Na coluna “Descrição” apresenta-se a variável do processo a que se referem os valores. As colunas seguintes apresentam os valores dessas variáveis, ou seja, a coluna do meio apresenta os valores só com a máquina primária, enquanto a coluna da direita exhibe os valores com o SAIE em serviço. O número de estojos por minuto apresentados para o valor sem escorredor é o valor que, de momento, a máquina primária permite, como referido anteriormente. Na estimativa do tempo necessário para se abastecer de escorredores foi feita uma média, por observação, do tempo de que cada operadora necessita, tendo em conta que, para abastecer uma pilha, a operadora tem que se abastecer pelo menos duas vezes, tendo o tempo médio estimado sido de 15 segundos por abastecimento. Na estimativa do tempo médio necessário para necessidades pessoais da operadora consideraram-se trinta minutos por cada oito horas.

Quadro 4.1. Resumo dos resultados

Descrição	Valor sem SAIE	Valor com SAIE
Numero de estojos por minuto	20 Estojos/min	30 Estojos/minuto
Tempo estimado necessário por cada hora para abastecer escorredores	5,33 min/h	0 min/h
Tempo estimado necessário por cada hora com necessidades pessoais da operadora	3,75 min/h	0 min/h

4. Resultados

O SAIE veio trazer mais eficiência ao abastecimento da pilha de escorredores, processo que é feito de forma automática sem paragem do processo, ao contrário da operação em modo manual, que necessitava de paragens para que a operadora pudesse abastecer-se (ver Quadro 4.1, terceira linha). O abastecimento da pilha feito de modo automático contribui diretamente para melhorar o valor da produção média diária, contribuindo, ainda, de forma indireta, através da diminuição do número de paragens provocadas por questões de necessidade pessoal relacionadas com a operadora (ver Quadro 4.1, quarta linha).

O sistema implementado segue o percurso de queda do escorredor, garantindo que este entre no estojo. Se o escorredor ficar preso é despoletado um alarme, informando o ponto do percurso em que a falha ocorreu. Simultaneamente, a máquina primária é bloqueada, e somente depois de resolvida a anomalia e reconhecido o alarme no painel de operação o sistema volta a arrancar. Esta condição, imposta pela administração, está plenamente salvaguardada.




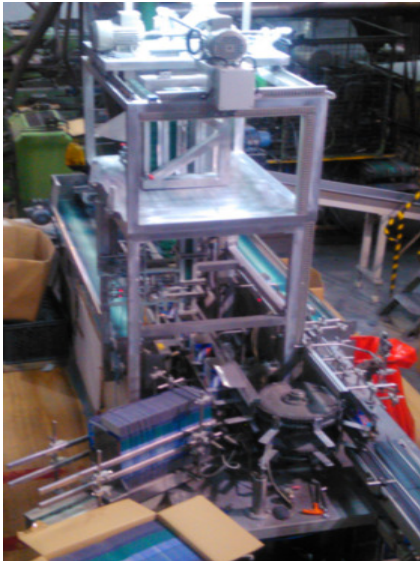
O ponto solicitado pela direção da empresa para aplicar o SAIE situou-se na parte final do processo, onde os estojos já vão completos com esfregões. O sistema foi implementado, tendo-se verificado que o mesmo não era eficiente, dado que muitos escorredores não ficavam completamente dentro do estojo, ativando o sistema de segurança, em virtude de este detetar que o escorredor não estava no interior do estojo. Posto isto, procedeu-se à alteração de toda a estrutura, aplicando o sistema no ponto onde, tradicionalmente, a operadora insere o escorredor, ou seja, este é inserido no estojo antes dos esfregões. Em consequência desta alteração, a perda de eficiência desapareceu.

Os Quadros 4.2 e 4.3 apresentam os resultados físicos obtidos no processo de desenvolvimento do SAIE; nas duas primeiras colunas são ilustrados esses resultados e, na coluna da direita, faz-se uma breve descrição das ilustrações apresentadas.

Quadro 4.2. Resultados físicos obtidos no processo de desenvolvimento (parte1)

		<p>Primeiros resultados a serem testados em produção para verificar fiabilidade e oportunidades de melhoria.</p> <p>Apresenta-se painel de comando e torre de descarga</p>
		<p>Resultados físicos na construção da estrutura mecânica do SAIE.</p> <p>Apresenta, à esquerda, mecanismo de movimento do armazém e, à direita, estrutura de suporte da torre e mecanismo do armazém</p>
		<p>Resultados na implementação elétrica. Quadro elétrico e caixas de distribuição.</p> <p>Apresenta-se, à esquerda, caixa local e, à direita, quadro elétrico.</p>

Quadro 4.3. Resultados físicos obtidos no processo de desenvolvimento (parte 2)

		<p>Verificação dos resultados da construção mecânica, na fase de alinhamentos com a máquina primária.</p>
		<p>Resultado do produto final.</p> <p>Apresenta-se, à esquerda, o mecanismo de movimento do armazém e, à direita, o SAIE implementado na máquina primária.</p>

A Figura 4.2 b) apresenta a tarefa inicialmente executada manualmente; as Figuras 4.2 a) e c) apresentam o resultado das duas tarefas que a operadora executava manualmente no abastecimento de escorredores. A operação de inserção do escorredor no estojó resultou na torre de descarga (Figura 4.2 a)). A operação armazenamento temporário de parte de uma pilha de escorredores resultou no armazém, com capacidade para dezasseis pilhas completas de escorredores e uma autonomia de uma hora e trinta minutos (Figura 4.2 c)).

A Figura 4.3 apresenta o resultado final do projeto com a linha de embalagem em funcionamento, agora apenas com três operadores a abastecerem os esfregões saponificados, e o SAIE no início da linha a inserir os escorredores.

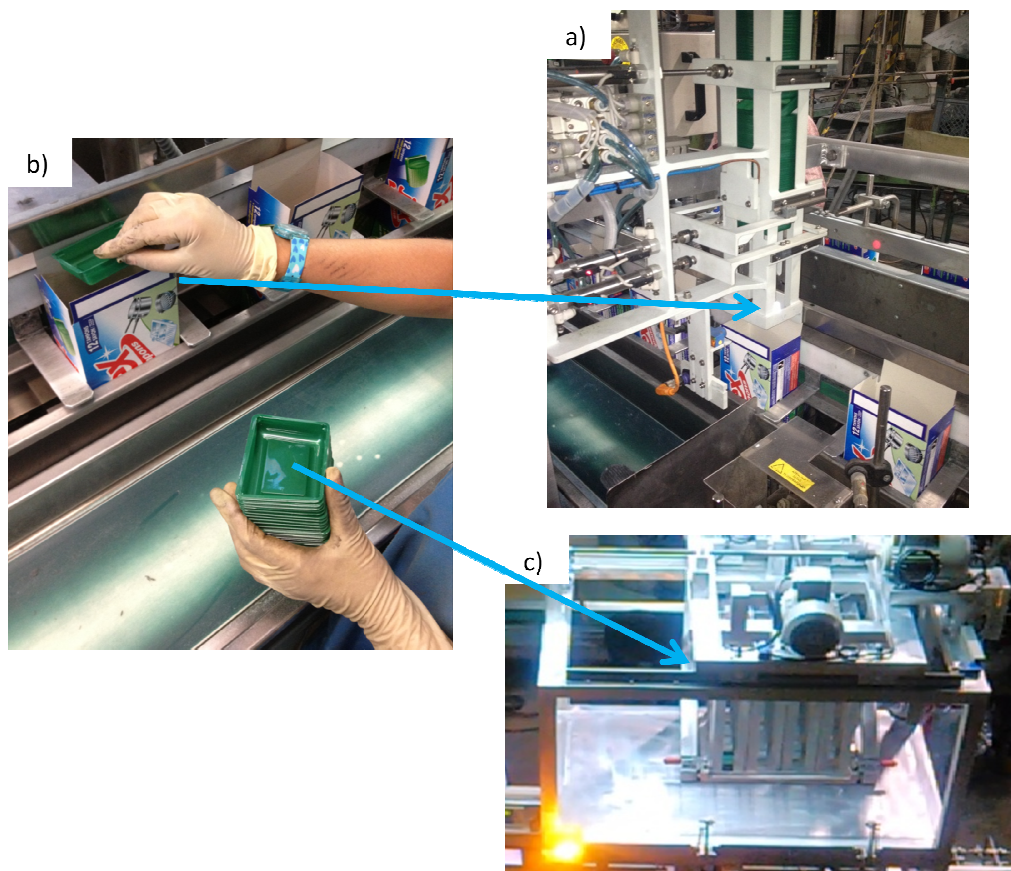


Figura 4.2. Resultado da solução obtida, para a operação manual encontrada



Figura 4.3. Linha de abastecimento e embalagem de esfregões em produção

4.4 Conclusão

Neste capítulo, foram apresentados os motivos que levaram à necessidade da implementação deste projeto de dissertação. Confrontaram-se os resultados obtidos objetivamente com todos os pontos inicialmente identificados no processo de inserção do escorredor e os objetivos pretendidos pelos responsáveis da empresa.

Por fim, de forma ilustrada, apresentou-se a situação encontrada e o resultado da solução obtida. Terminou-se com a imagem em produção da linha intervencionada.

5. Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1 Introdução

Neste capítulo apresentam-se as conclusões gerais da experiência adquirida ao longo do trabalho e que a presente dissertação pretende mostrar. Da mesma forma, são apresentadas algumas das principais dificuldades encontradas, assim como pontos de melhoria e propostas de otimização.

5.2 Conclusões

O desenvolvimento do presente trabalho permitiu entender claramente a grande diferença entre automatizar uma área já existente e o desafio de ter que partir completamente do zero sem qualquer tipo de referência, desenvolvendo primeiro a solução mecânica, para automatizar a seguir. O risco de insucesso pessoal e financeiro é eminente, obrigando a avançar apenas quando o nível de certezas é elevado. Em contraciclo funcionam as expectativas da parte de quem pretende ver a questão resolvida, principalmente se estiver a ser pressionado no sentido de dar resposta no mercado em tempo útil.

Somos preparados, ao longo da nossa formação académica, para trabalhar com tecnologia recente, complexa, que faz parte da área envolvente da automação, alguma dela mencionada no início desta dissertação. Alguém com quem tive o privilégio de trabalhar dizia-me: “Quanto mais a tecnologia evolui e se especializam os técnicos, mais difícil vai ser conseguirem pensar de forma simples, sendo levados a apresentar soluções complexas e

dispendiosas, porque estão formatados. Os que se libertarem deste paradigma serão uma mais-valia em épocas de crise, quando as empresas precisam de soluções e o dinheiro é mais raro.”

Com esta dissertação, e tendo em conta a frase anteriormente citada, a qual subscrevo inteiramente, atrevo-me a afirmar que o difícil é pensar simples, bastante mais que trabalhar com a tecnologia mais ou menos complexa que temos ao nosso dispor, visto que, para essa, existe sempre, de alguma forma, informação e apoio.

Ao longo deste percurso, concluí ainda que, para este tipo de projeto multidisciplinar, temos que estar preparados e munidos de um espírito aberto e resiliente.

Quando, por força da nossa profissão, estamos ligados à área de automação e controlo, é fácil dizermos que essa constitui a parte mais importante de um projeto. Neste momento, não tenho dúvidas em afirmar que é apenas mais uma área importante. O sucesso deste tipo de projetos depende muito do desenho dos atuadores, da sua simplicidade e do tipo de material de que são feitos, da correta escolha dos sensores e do acompanhamento feito após o arranque em produção, com consequentes otimizações.

O funcionamento de uma área em oficina ou laboratório não é, claramente, a mesma que em produção, na planta da fábrica. O fator humano e as variáveis processuais acrescentam sempre algo àquilo que tinha sido, inicialmente, idealizado, podendo mudar completamente o rumo de um projeto, condenando-o ao insucesso, se não estivermos atentos.

5.3 Principais dificuldades encontradas

Durante o processo de desenvolvimento desta dissertação foram encontradas dificuldades de vária ordem, tendo em conta o cariz das várias áreas tecnológicas envolvidas. Todavia, estes obstáculos foram sempre ultrapassados, tendo constituído um maior ou menor desafio consoante a sua natureza.

Inicialmente, afigurou-se como um grande desafio idealizar a melhor forma de conseguir separar o primeiro escorredor da pilha dos escorredores. Ultrapassada esta fase, encontrar o mecanismo fiável e leve nos seus movimentos levou ao conhecimento mais aprofundado de uma vasta área de soluções mecânicas.

Aplicar o SAIE no ponto de descarga, no final da linha de embalamento, inicialmente imposto pelos responsáveis da empresa, revelou-se uma tarefa difícil, levando a pensar que, depois de ultrapassar o desafio mais importante, o projeto ficaria sem efeito por uma questão de opção. Felizmente decidiu-se pela opção mais sensata, a qual consistiu em colocar a descarga no

início do processo. Esta alteração representou um atraso de quase três meses, tendo sido alterada grande parte da estrutura.

Um outro contratempo surgiu na fase de verificação dos alinhamentos mecânicos finais para fixar a estrutura à máquina primária. Uma operadora reparou que o ponto onde tinha um dos apoios era impeditivo para uma das operadoras trabalhar. De forma a debelar este obstáculo, a estrutura foi redimensionada pela terceira vez.

Na integração elétrica do SAIE com a máquina primária, surgiram dificuldades acrescidas, pelo facto de a documentação elétrica existente ser muito incompleta, ao que acresceu o facto de não existir uma cópia do programa do autómato nem do painel de comando. Houve necessidade de desmontar a cablagem existente para fazer o levantamento de alguns circuitos, necessários para a integração no circuito de interface implementado. Após implementada a interface, passadas umas horas de trabalho, verificou-se que apareciam grandes quantidades de cola acumulada na estrutura da máquina primária, algo que não acontecia antes da integração. Verificou-se que, por ordem de paragem do SAIE, o carrocel tinha posições de paragem em que os injetores ficavam a injetar cola permanentemente enquanto o SAIE estivesse nessa posição. Como solução, intercalou-se o circuito de comando dos injetores da cola nos encravamentos de interface, de forma que, quando o SAIE desse ordem de paragem, os injetores da cola fossem desligados. Outra situação nova surgida disse respeito ao empurrador de estojos para abastecer o carrocel, o qual não parava quando era dada ordem de paragem do SAIE. A solução encontrada para este caso foi a mesma que se aplicou nos injetores de cola.

Também na parte de operação surgiram dificuldades. As operadoras já têm alguma idade, de forma que sentiram dificuldade em operar com o painel de operação quando apareciam mais que duas linhas de texto. Efetivamente, dado que o painel só apresenta duas linhas, para visualizar a terceira, teria que se pressionar no cursor. A solução encontrada consistiu em alterar o programa e retirar alguma informação relativa a eventos, para que essa situação deixasse de se verificar. A fase de adaptação por parte das operadoras de maior idade foi mais problemática, principalmente no entendimento do funcionamento da máquina, de forma que, por paragem de um alarme, mexiam de forma aleatória, sem interpretarem o alarme surgido. Foi dada formação suplementar a estes grupos de colaboradores, mas a evolução não foi a esperada, tendo-se concluído que estes necessitavam de mais tempo. Assim, optou-se por alterar os turnos, de forma a ter-se, por turno, um elemento já adaptado. A solução encontrada resultou em pleno.

Quando o armazém fazia o pedido para mudar para a célula seguinte, aleatoriamente passava várias células cheias sem parar. Não foi fácil encontrar a origem do problema, já que, por análise do programa, nada evidenciava permitir esse tipo de ação. Por outro lado, nos testes de despistagem a transição fazia-se de acordo com o previsto. A origem da falha somente foi

encontrada depois de muitas horas a observar a máquina em produção, dando especial atenção aos movimentos das operadoras. A falha era originada pelas operadoras, da seguinte forma: quando coincidia a torre ter feito o pedido de abastecimento e, simultaneamente, a operadora, por questões processuais, agitava os escorredores ainda presentes na torre, o sensor de torre vazia atuava várias vezes. Por cada vez que o sensor era atuado, avançava uma célula indevidamente. Realmente, da forma como foi feita, a análise na despistagem do problema nunca traria resultados práticos, porque era feita com a máquina sem estar em produção e o programa estava correto. Esta constitui daquelas questões que só aparecem em planta fabril, como referido nas conclusões desta secção.

Uma das funções atribuídas ao garfo separador da pilha de escorredores é a de manter a quantidade adequada de escorredores em cima do sistema de separação de escorredores, sob pena de estes não fazerem essa separação corretamente (Figura 2.28). Esta quantidade era garantida por um contador interno incrementado pelo número de escorredores separados. Aleatoriamente, o garfo colocava poucos escorredores, porque abria mais vezes que o necessário. O inverso também se verificava, ou seja, colocava uma quantidade excessiva de escorredores, ficando todos eles compactados, o que, conseqüentemente, originava problemas na separação. Identificou-se existir um problema de comando, os garfos abriam mais vezes que o necessário. Assim, aplicou-se um sensor que garante a quantidade mínima necessária de escorredores nesta zona, que passou a comandar o cilindro do garfo separador, eliminando o sistema de contagem por escorredor separado. A falha de comando foi eliminada, mas aleatoriamente, eram colocados mais escorredores que o necessário. Verificou-se tratar-se de um problema físico, dado que o cilindro, por vezes, ao fechar, era mais lento, permitindo a queda de muitos escorredores, porque a alimentação é feita por gravidade mediada pela relação do tempo de abertura e fecho do cilindro. Desconfiou-se que seria prisão da gaveta da válvula de controlo direcional ou do cilindro, pelo que se aumentou a lubrificação. Contudo, uma vez que o problema permaneceu, trocou-se a válvula direcional e trocaram-se as válvulas de controlo de fluxo; por cada alteração, feita o problema persistiu. Por fim, trocou-se o cilindro, que era de retorno por mola, precisamente no avanço, tendo-se aplicado outro, de duplo efeito, bem como a válvula direcional adequada. Após inseridas estas alterações, o problema deixou de se verificar.

Ocorreu um percalço originado por nós, estando já o SAIE em serviço há várias semanas. Aproveitando um dia sem produção, foi feita uma manutenção periódica necessária depois de determinadas horas de trabalho. Numa operação de limpeza do quadro elétrico, o variador de velocidade estourou, no verdadeiro sentido da palavra. Foi um erro de palmatória, primeiro por que não reparei que o quadro estava ligado, e segundo porque a atmosfera do local é poluída com pó de lâ de aço, devido à produção de esfregões. Possivelmente entrou pó para o variador, originando um curto-circuito. O variador foi substituído por outro equivalente, que, no momento, tinha de reserva.

Por fim, surgiu um problema novo: o sistema de posicionamento deixava, por vezes, de posicionar. Fui alertado para esse facto telefonicamente. Face à peculiaridade do problema, pedi ao técnico para desligar o SAIE, aguardar algum tempo e ligar de novo. Com este procedimento, o sistema de posicionamento fez o arranque normal e a falha desapareceu. O mesmo sintoma veio a repetir-se, em média, de duas a quatro vezes por cada dia fabril, mas o técnico local resolvia-o da forma anteriormente descrita. Deixei instruções para, numa próxima falha, ser chamado deixando a máquina nesse ponto. Assim se procedeu. Para nossa surpresa, detetei que, nas malhas de controlo de posicionamento, os valores dos codificadores incrementais estavam a zero. Depois de vários testes, esta ocorrência levou-me a desconfiar tratar-se de problemas de indução eletromagnética, causadores de picos de tensão suficientes para fazer o *reset* dos codificadores, até porque só surgiram a partir do momento em que o variador de reserva equivalente foi aplicado. Quando o variador novo foi rececionado, o mesmo foi aplicado e o problema não voltou a verificar-se, por um período de várias semanas. Tive a informação da parte do técnico responsável de que a situação ocorreu ainda mais duas vezes recentemente, e aguardo a medição da distorção harmónica no local por parte do técnico fabril. Coincidentemente, foi, nessa altura, aplicado, nas proximidades, um compressor de ar comprimido novo com variação de velocidade, sendo o anterior convencional.

5.4 Perspetiva de desenvolvimentos futuros

Na sequência do trabalho que tem vindo a ser desenvolvido, e do qual aqui se dá conta, pretende-se alterar a forma como é feito o *reset* aos codificadores angulares, aplicando filtros em *hardware* no circuito de potência e comando.

Pretende-se encastrar eletricamente os contactores entre si (em *hardware*) que colocam em movimento o eixo X ou Y. De momento são apenas encastrados em *software*. Trata-se de mais uma segurança que salvaguarda avarias no sistema de comando impedindo que entrem em serviço simultâneamente.

Pretende-se, ainda, terminar o quadro elétrico que, de momento, está a ser de novo intervencionado para adicionar as alterações pedidas pelos responsáveis da empresa, e as quais serão descritas a seguir.

Foi solicitado, por parte dos responsáveis da empresa, um novo trabalho. Pretende-se otimizar a máquina primária, nomeadamente o periférico de abastecimento de estojo ao carrocel, o qual constitui, de momento, a maior causa de perda eficiência, falhando muito frequentemente e estragando material. Foram já realizados alguns testes na máquina primária, e a ideia da solução preconizada irá ser testada brevemente em oficina.

5. Conclusões e desenvolvimentos futuros

Existe a ideia de propor a aplicação em rede de uma consola gráfica como ferramenta de apoio ao departamento de produção, com informações relativas ao rendimento específico por turno, bem como informações em tempo real do ponto em que se encontra a produção e de qual o momento previsto para terminar, tendo em conta o ritmo da produção. Além de esta informação poder ser analisada na consola, esta consola enviará a informação para uma base de dados, deixando de ser utilizados apontamentos em papel, o que libertará as operadoras dessa tarefa e salvaguardará o meio ambiente.

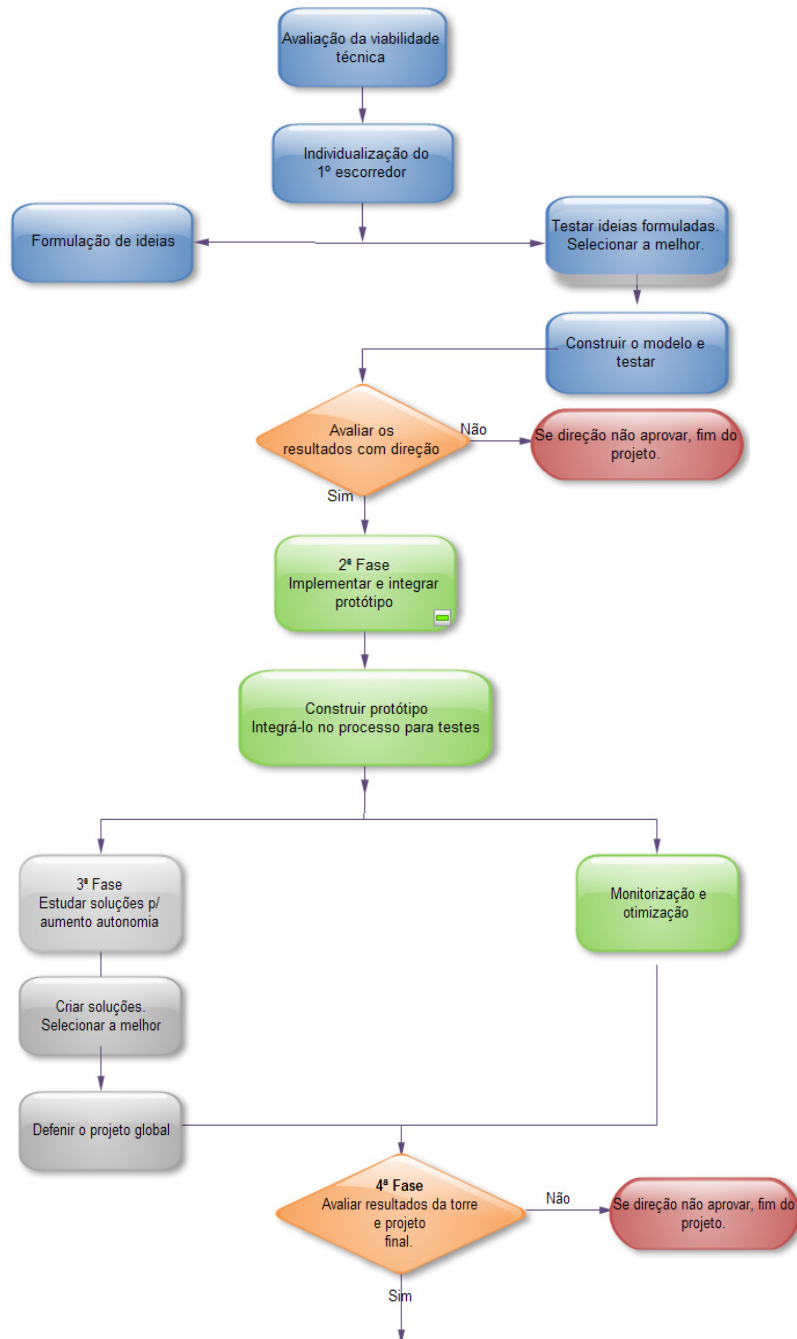
Finalmente, pretende-se automatizar a linha de tapetes de transporte à saída da linha dos estojos e abordada na dissertação, dado que a mesma, quando encrava, estraga muitos estojos já prontos.

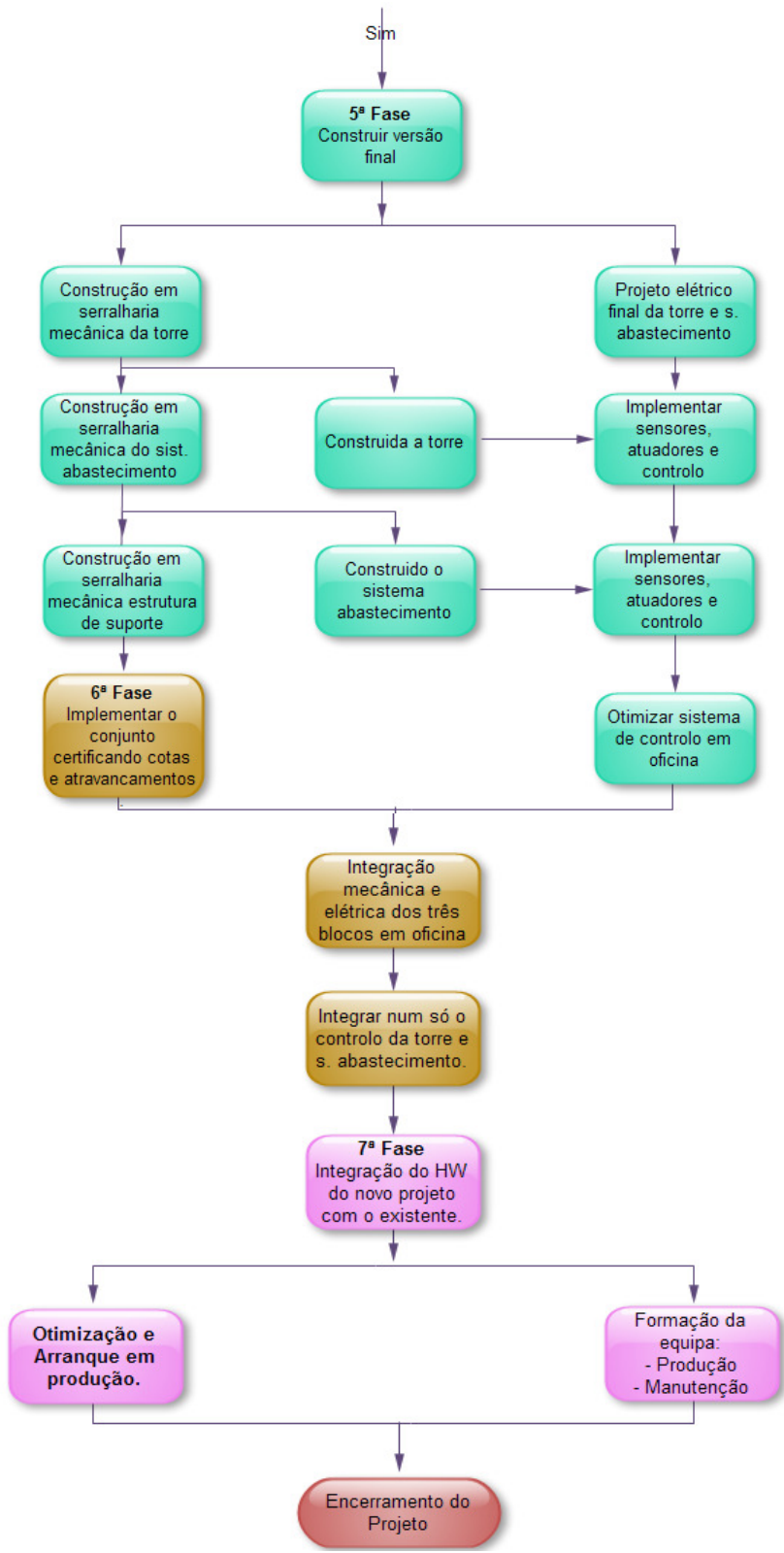
REFERÊNCIAS

- [1] Programmable Controller System S7-200, 2004. Siemens.
- [2] Francisco, António M. S. 2005. Autómatos Programáveis, Lisboa, ETEP.
- [3] Caderno Técnico, Aquisição de dados, 2010. Schneider Electric.
- [4] Catalogue W2 Photoelectric, Sensick. 2006. Sick.
- [5] Pires, J. Norberto, 2002. Automação Industrial, Lisboa, ETEP.
- [6] Thomazini, Daniel. 2008. Sensores Industriais, São Paulo. Erica.
- [7] Francisco, António M. S. 2009. Motores Elétricos. Lisboa, ETEP.
- [8] Motores de indução alimentados por inversores de frequência PWM, 2009. Weg.
- [9] Manual Sinamics G110, 2003. Siemens.

APÊNDICE 1

O fluxograma mostra o plano de execução do projeto. Cada fase do projeto está representada por uma cor diferente das restantes. No fluxograma, pode verificar-se que só a partir da quarta fase se pode elaborar o plano completo.

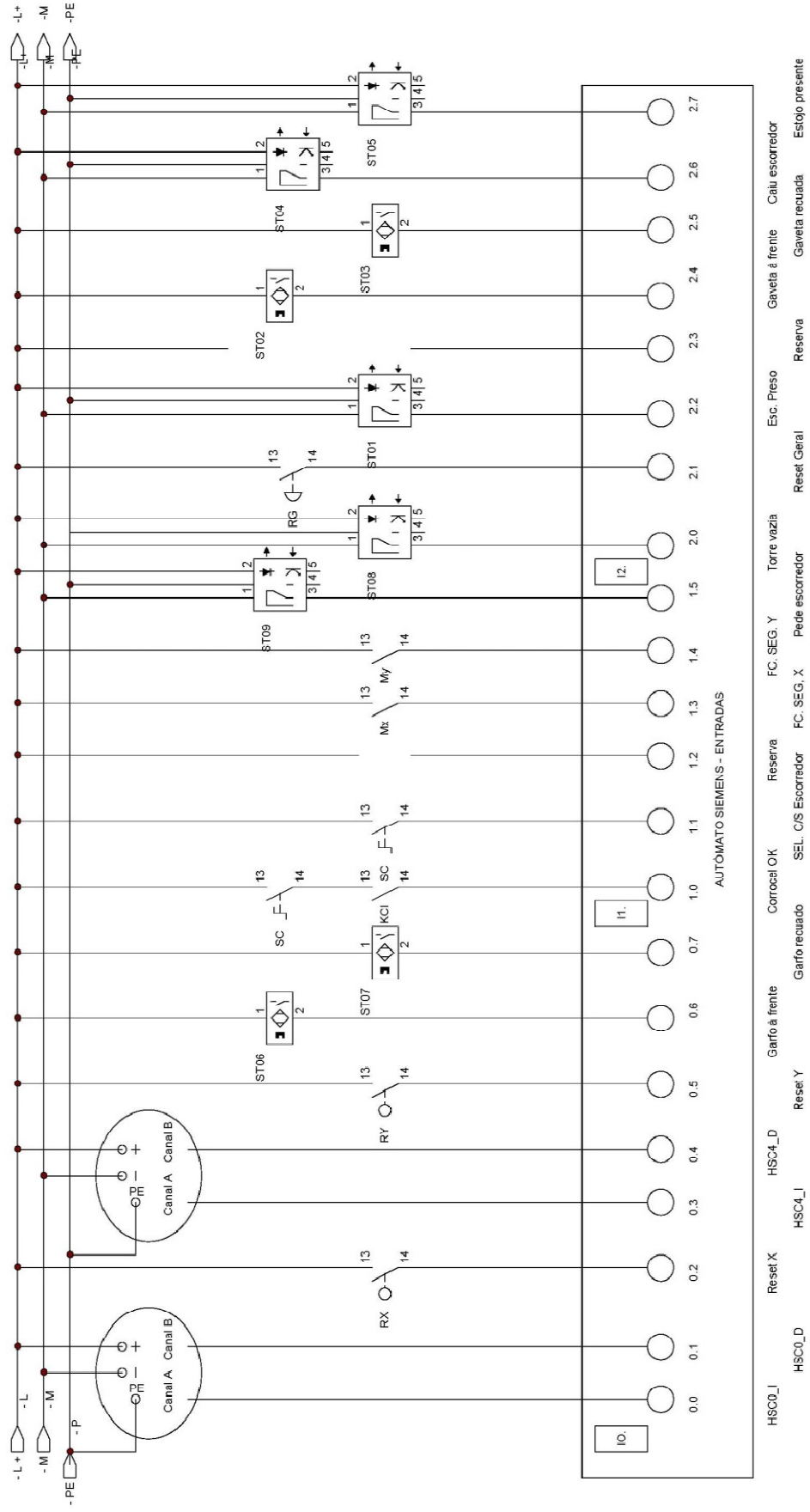




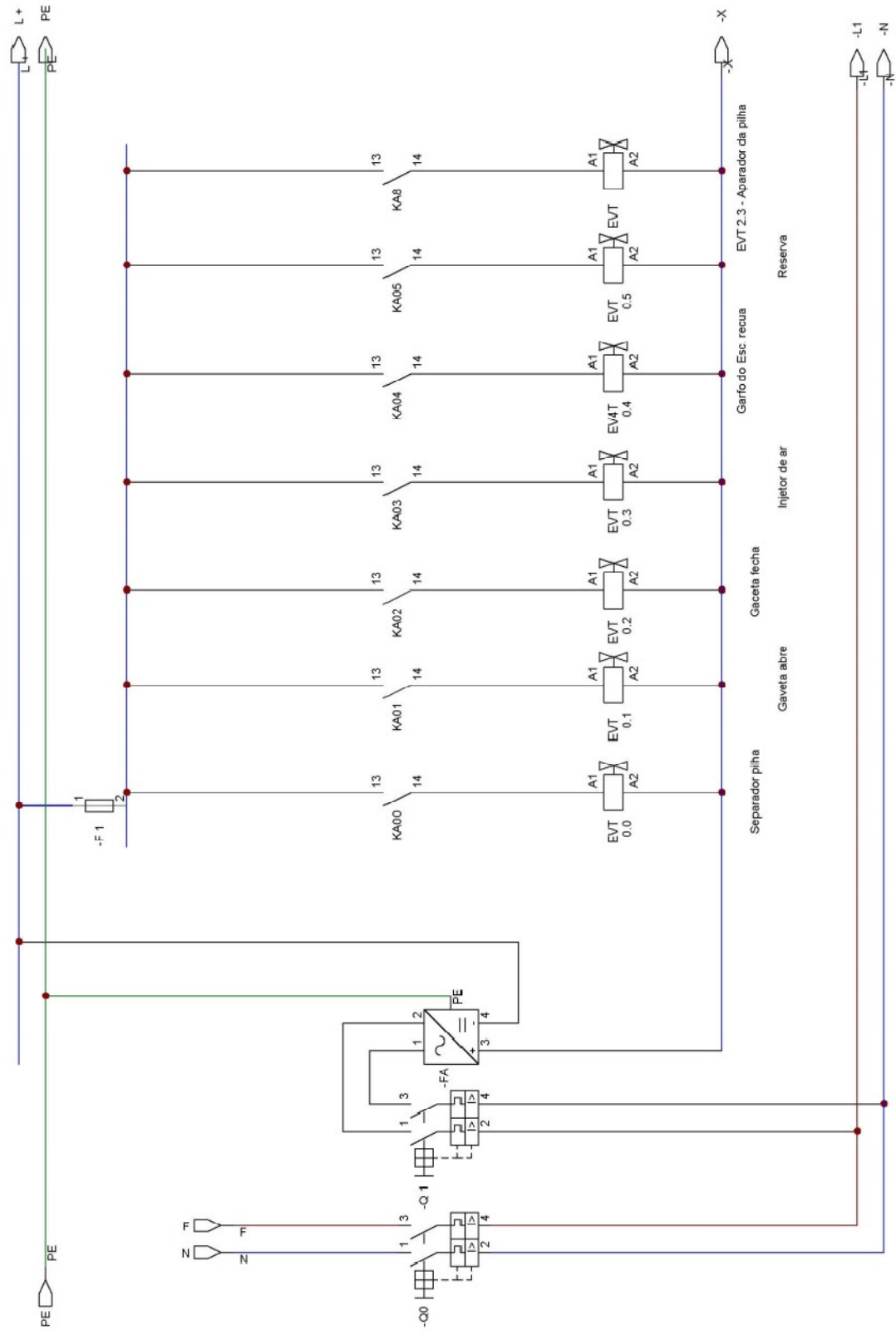
APÊNDICE 2

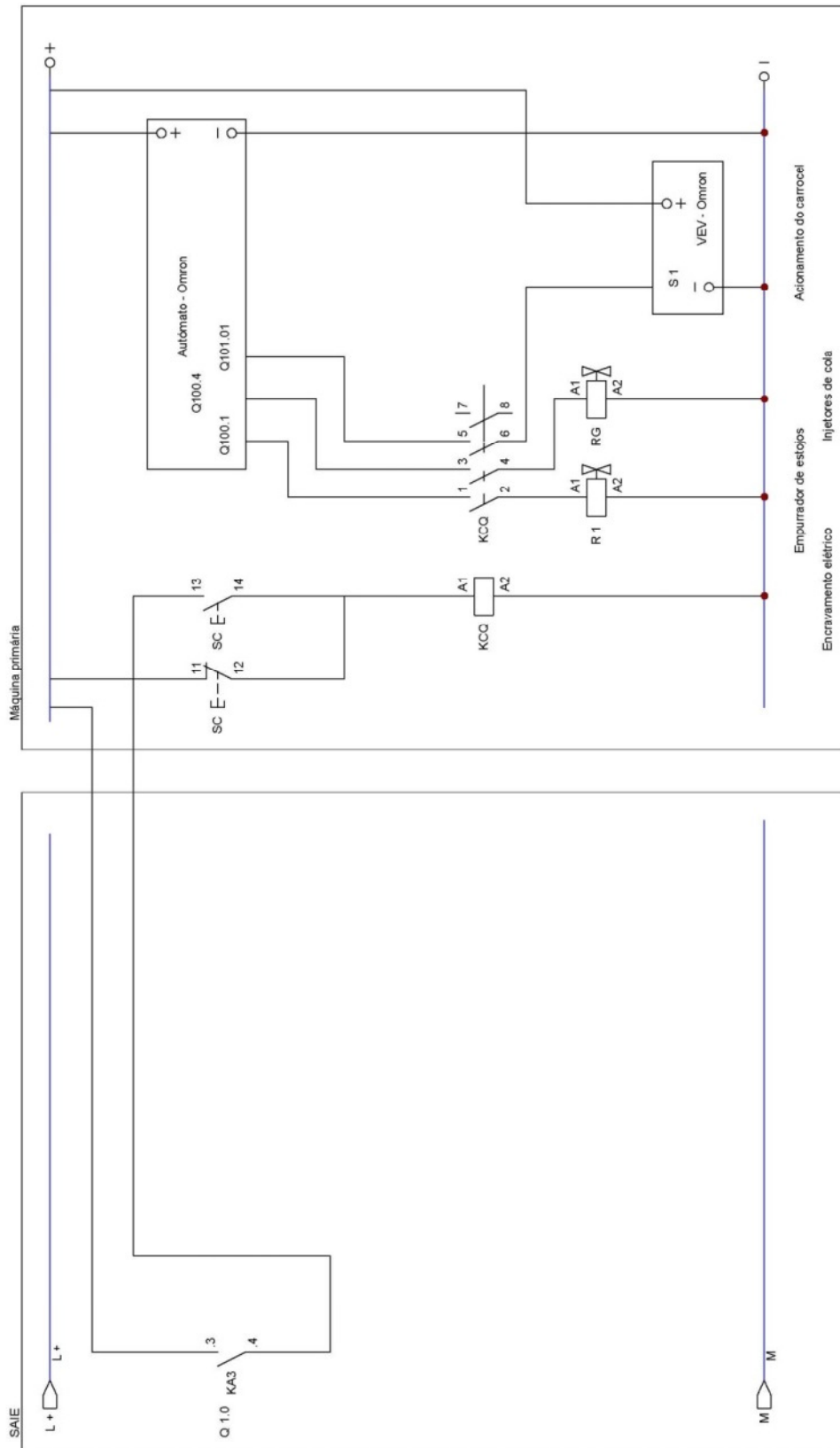
O esquema elétrico está separado em cinco partes: o esquema de ligações das entradas do autómato que apresenta as ligações dos sensores, botões e contactos; o esquema de ligações eléctricas das saídas do autómato que apresenta as ligações aos relés de interface com os atuadores; o esquema de alimentação eléctrica e atuadores pneumáticos; as ligações de interface entre o SAIE e a máquina primária e por fim o esquema de potência com o VEV, motores a seguranças do movimento do eixo X e Y.

APÊNDICE 2

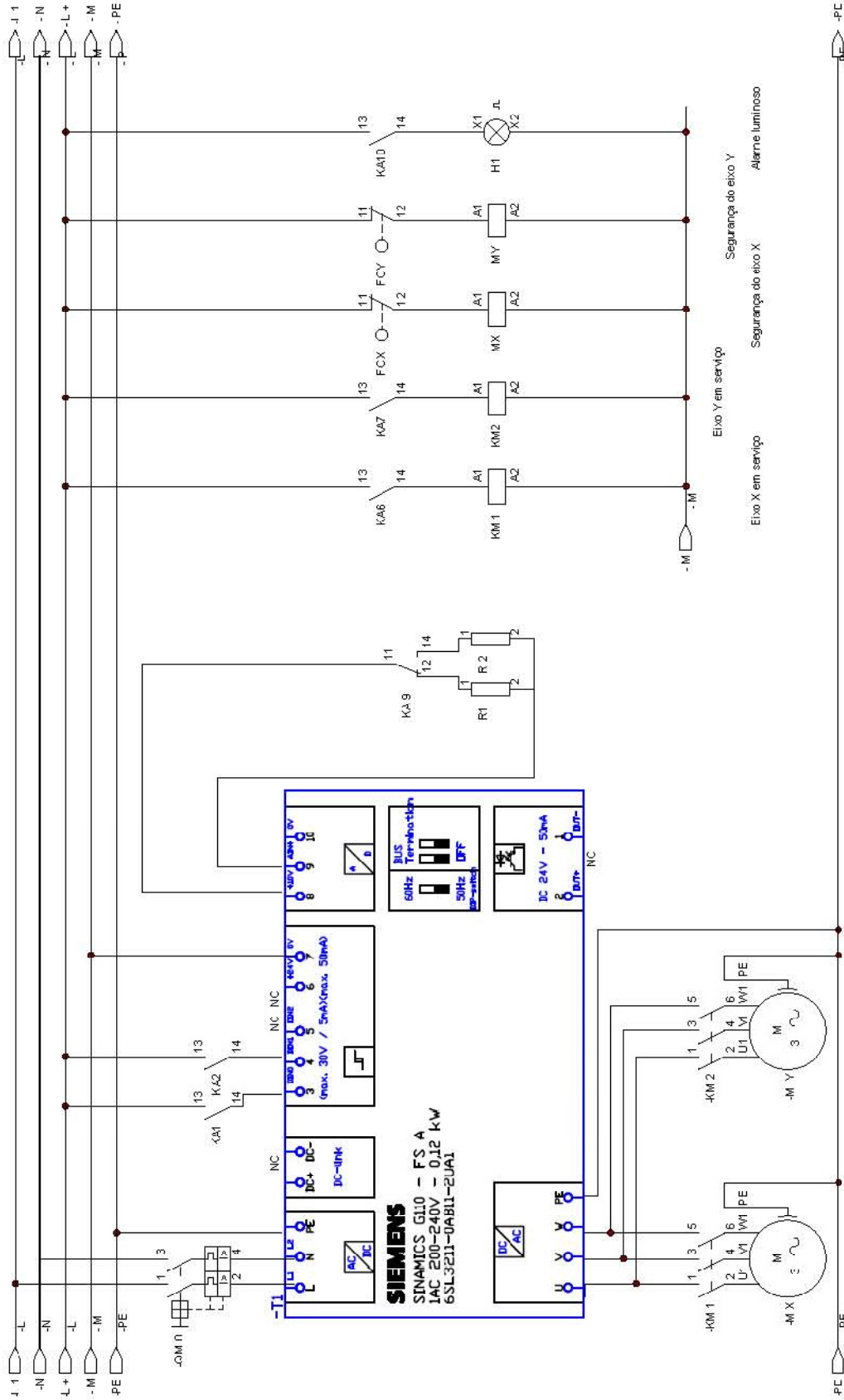


APÊNDICE 2





APÊNDICE 2



APÊNDICE 3

Lista das ligações dos multicabos

Sinal	Desde / partida Designação do dispositivo:	Regua e Borne	Até /chegada Designação do dispositivo:	Regua e Borne	Fio/Linha Número	Tipo	Cor	Secção	Numero do cabo
	= A0 - Qdro principal	<----->	= B 0			Quadro Máquina primária			
.N	=B0+QM 0	XA: 1	=A0+	XT:8	1	OLFLEX 110 - 3G2.5	Negro	2.50 mm²	-W 1
.F	=B0+QM 0	XA: 2	=A0+	XT:9	2	OLFLEX 110 - 3G2.5	Negro	2.50 mm²	-W 1
.T	=B0+QM 0	XA: 3	=A0+	XT:10	3	OLFLEX 110 - 3G2.5	Verde/azul	2.50 mm²	-W 1
	=A0+ L+	XC:1	=B0+ L+	XT:1	1	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 2
	=A0+ M	XC:2	=B0+ M	XT:2	2	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 2
	=A0+ P3	XC:3	=B0+ XCI	XT:3	3	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 2
	=A0+ NC	XC:4	=B0+ NC	XT:4	4	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 2
	=A0+ NC	XC:5	=B0+ NC	XT:5	5	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 2
	=A0+ SC 2	XC:6	=B0+ XCQ	XT:6	6	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 2
	=A0+ SC 1	XC:7	=B0+ SC1	XT:7	7	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 2
I 1.0	=A0+ PLC	XI:8	=A0 C2+ KCI		8	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 2
Reserva					9	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 2
Reserva					10	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 2
VDC	=B0+ M	XDC:1	=A0 C1+ L+	XDC:1	11	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 2
VDC	=B0+ L+	XDC:2	=A0 C1+ M	XDC:2	12	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 2
						OLFLEX 110 - 6G 0,75 mm	Reserva	0,75 mm²	-W 10
	= A0 - Qdro principal	<----->	=A0 C1			Caixa distribuição Pneumatica			
Q 0.0	=A0+ PLC	XQ:0	=A0 C1+ EVT0.0	XQ:0	1	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 3
Q 0.1	=A0+ PLC	XQ:1	=A0 C1+ EVT0.1	XQ:1	2	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 3
Q 0.2	=A0+ PLC	XQ:2	=A0 C1+ EVT0.2	XQ:2	3	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 3
Q 0.3	=A0+ PLC	XQ:3	=A0 C1+ EVT0.3	XQ:3	4	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 3
Q 0.4	=A0+ PLC	XQ:4	=A0 C1+ EVT0.4	XQ:4	5	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 3
Q 0.5	=A0+ PLC	XQ:5	=A0 C1+ EVT0.5	XQ:5	6	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 3
Reserva	=A0+ PLC	XQ:6	=A0 C1+ XQ:	XQ:6	7	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 3
Reserva	=A0+ PLC	XQ:7	=A0 C1+ XQ	XQ:7	8	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 3
Reserva	=A0+ PLC	XQ:8	=A0 C1+ XQ:	XQ:8	9	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 3
VDC	=A0+ M	XDC:1	=A0 C1+ L+	XDC:1	10	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 3
VDC	=A0+ L+	XDC:2	=A0 C1+ M	XDC:2	11	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 3
					12				
	= A0 - Qdro principal	<----->	=A0 C2			Caixa de distribuição Sensores			
I 0.0	=A0+ PLC	XI:0	=A0 C2+	XI:0	1	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
I 0.1	=A0+ PLC	XI:1	=A0 C2+ ST01	XI:1	2	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
I 0.2	=A0+ PLC	XI:2	=A0 C2+ ST02	XI:2	3	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
I 0.3	=A0+ PLC	XI:3	=A0 C2+ ST03	XI:3	4	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
I 0.4	=A0+ PLC	XI:4	=A0 C2+ ST04	XI:4	5	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
I 0.5	=A0+ PLC	XI:5	=A0 C2+ ST05	XI:5	6	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
I 0.6	=A0+ PLC	XI:6	=A0 C2+ ST06	XI:6	7	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
I 0.7	=A0+ PLC	XI:7	=A0 C2+ ST07	XI:7	8	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
	=A0+ PLC	XI:8	=A0 C2+	XI:8	9	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
	=A0+ PLC	XI:9	=A0 C2+	XI:9	10	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
I 1.2	=A0+ PLC	XI:10	=A0 C2+ SC1.2	XI:10	11	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
I 1.3 Reserva	=A0+ PLC	XI:11	=A0 C2+	XI:11	12	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
I 1.4	=A0+ PLC	XI:12	=A0 C2+	XI:12	13	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
I 1.5	=A0+ PLC	XI:13	=A0 C2+	XI:13	14	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
I 1.0	=A0+ PLC	XI:14	=A0 C2+	XI:14	15	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
Reserva	=A0+		=A0 C2+		16	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
Reserva	=A0+		=A0 C2+		17	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
VDC	=A0+ M	XDC:1	=A0 C2+	XDC:1	18	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
VDC	=A0+ L+	XDC:2	=A0 C2+	XDC:2	19	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4
					20	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm²	-W 4

APÊNDICE 3

Sinal	Desde / partida Designação do dispositivo:	Regua e Borne	Até /chegada Designação do dispositivo:	Regua e Borne	Fio/Linha Número	Tipo	Cor	Secção	Numero do cabo
	= A0 - Qdro principal	<.....>	=A0 C3/C2			Caixa de distribuição Magazine			
Canal A	=A0+ PLC	XE.1	=A0 C3+	XE.1	1	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
Canal B	=A0+ PLC	XE.2	=A0 C3+	XE.2	2	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
Canal Z	=A0+ PLC	XE.3	=A0 C3+	XE.3	3	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
Reserva	=A0+ PLC	XE.4	=A0 C3+	XE.4	4	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
Canal A	=A0+ PLC	XE.5	=A0 C3+	XE.5	5	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
Canal B	=A0+ PLC	XE.6	=A0 C3+	XE.6	6	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
Canal Z	=A0+ PLC	XE.7	=A0 C3+	XE.7	7	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
Reserva	=A0+	XE.8	=A0 C3+	XE.8	8	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
I 1.3	=A0+ PLC	XI.11	=A0 C3+ Fc Mx	XI.11	9	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
I 1.4	=A0+ PLC	XI.12	=A0 C3+ Fc My	XI.12	10	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
Reserva	=A0+		=A0 C3+		11	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
VDC	=A0+ M	XDC.1	=A0 C3+	XDC.1	12	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
VDC	=A0+ L+	XDC.2	=A0 C3+	XDC.2	13	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
	=A0+		=A0 C3+	XDC.1	14	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
	=A0+				16	OLFLEX 110 - 12G 1,5 mm	Negro	1,5 mm ²	-W 5
Motor M 1 X	=A0+ KM 1 U	X1:1	=A0 C3+ M 1 U	X1:1	1	TOP CABLE 8G2 5	Negro	2,5 mm ²	-W 6
Motor M 1 X	=A0+ KM 1 V	X1:2	=A0 C3+ M 1 V	X1:2	2	TOP CABLE 8G2 5	Negro	2,5 mm ²	-W 6
Motor M 1 X	=A0+ KM 1 W	X1:3	=A0 C3+ M 1 W	X1:3	3	TOP CABLE 8G2 5	Negro	2,5 mm ²	-W 6
Motor M 2 Y	=A0+ KM 2 U	X1:4	=A0 C3+ M 2 U	X1:4	4	TOP CABLE 8G2 5	Negro	2,5 mm ²	-W 6
Motor M 2 Y	=A0+ KM 2 V	X1:5	=A0 C3+ M 2 V	X1:5	5	TOP CABLE 8G2 5	Negro	2,5 mm ²	-W 6
Motor M 2 Y	=A0+ KM 2 W	X1:6	=A0 C3+ M 2 W	X1:6	6	TOP CABLE 8G2 5	Negro	2,5 mm ²	-W 6
Terra	=A0+ PE	X:1.7	=A0 C3+ PE	X:1.7	7	TOP CABLE 8G2 5	Negro	2,5 mm ²	-W 6
						OLFLEX 110 - 6G 0,75 mm	Reserva	0,75 mm ²	-W 8
	= A0 - Qdro principal	<.....>	=A0 HMI			Painel de Controlo do operador			
RS 485	RS 485		RS 485		6 linhas	OLFLEX 110 - 6G 1,5 mm2	Negro		-W 7
Seletor	=A0+ SC 2	XC:1	=B0+ XCQ	XC:1	1	OLFLEX 110 - 6G 1,5 mm2	Negro	1,5 mm ²	-W 11
Seletor	=A0+ SC 1	XC:2	=B0+ SC1	XC:2	2	OLFLEX 110 - 6G 1,5 mm2	Negro	1,5 mm ²	-W 11
I 1.1	=A0+ PLC	XI:9	=A0 C2+ SC	XI:9	3	OLFLEX 110 - 6G 1,5 mm2	Negro	1,5 mm ²	-W 11
Reserva					4	OLFLEX 110 - 6G 1,5 mm2	Negro	1,5 mm ²	-W 11
VDC	=A0+ M	XDC:1	=A0 C2+	XDC:1	5	OLFLEX 110 - 6G 1,5 mm2	Negro	1,5 mm ²	-W 11
VDC	=A0+ L+	XDC:2	=A0 C2+	XDC:2	6	OLFLEX 110 - 6G 1,5 mm2	Negro	1,5 mm ²	-W 11
	= A0 - Qdro principal	<.....>	=A0	= A0 - Qdro principal					
Q 0.6	=A0+ PLC KA 1		=A0 A1 - KA 1			Topflex V-K H05V-K-0.75-A	Azul	0,75 mm ²	
Q 0.7	=A0+ PLC KA 2		=A0 A1 - KA 2			Topflex V-K H05V-K-0.75-A	Azul	0,75 mm ²	
Q 1.0	=A0+ PLC KA 5		=A0 A1 - KA 5			Topflex V-K H05V-K-0.75-A	Azul	0,75 mm ²	
Q 1.1	=A0+ PLC KA 6		=A0 A1 - KA 6			Topflex V-K H05V-K-0.75-A	Azul	0,75 mm ²	
Q 1.2	=A0+ PLC KA 7		=A0 A1 - KA 7			Topflex V-K H05V-K-0.75-A	Azul	0,75 mm ²	
Q 1.3	=A0+ PLC KA 3		=A0 A1 - KA 3			Topflex V-K H05V-K-0.75-A	Azul	0,75 mm ²	
Q 1.4	=A0+ PLC KA 4		=A0 A1 - KA 4			Topflex V-K H05V-K-0.75-A	Azul	0,75 mm ²	