



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Fernando Joel Marques da Cruz

Projeto de melhoria de equipamento
de Dip Coating

Fernando Joel Marques da Cruz Projeto de melhoria de equipamento de Dip Coating

UMinho | 2014

outubro de 2014



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Fernando Joel Marques da Cruz

Projeto de melhoria de equipamento
de Dip Coating

Dissertação de Mestrado
Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José Mendes Machado
Professor Doutor João Pedro Mendonça de Assunção
da Silva

DECLARAÇÃO

Nome: Fernando Joel Marques da Cruz

Endereço eletrónico: fernandomarquescruz@gmail.com

Telefone: 916532151

Cartão do Cidadão: 139658815

Título da dissertação: Projeto de melhoria de equipamento de *Dip Coating*

Orientadores:

Professor Doutor José Mendes Machado

Professor Doutor João Pedro Mendonça de Assunção da Silva

Ano de conclusão: 2014

Mestrado em Engenharia Mecânica

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura:

Agradecimentos

Neste espaço gostaria de expressar a minha enorme gratidão a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste percurso e concretização deste trabalho. Em especial:

Ao Professor José Machado e ao Professor João Pedro Mendonça, o meu agradecimento pelo apoio no desenvolvimento do trabalho, pela confiança depositada, acompanhamento e dedicação a esta dissertação.

Ao Engenheiro Pedro Delgado e ao Engenheiro Luís Branco pela disponibilidade, atenção, partilha de conhecimento, apoio e incentivo.

À Bosch Car Multimédia, Portugal pela oportunidade.

Aos meus pais, Joel e Aida, e ao meu irmão Hernâni, agradeço de forma muito especial pela paciência, amizade, carinho e apoio incondicional ao longo de toda a minha vida.

À minha família e amigos por todo suporte e incentivo.

À minha namorada, Celina Rodrigues, um agradecimento muito especial, pela compreensão nos momentos de ausência dedicados ao desenvolvimento desta dissertação, pela força, amizade e amor.

Finalmente, gostaria também de agradecer a todos aqueles que, embora não mencionados nesta página, contribuíram direta ou indiretamente para a concretização desta dissertação.

A todos o meu muito obrigado.

Resumo

Num mercado cada vez mais competitivo, é necessária a rentabilização máxima da cadeia de valor das empresas, eliminando desperdícios, reduzindo custos, e aumentando a sua produtividade. Para tal, é imperativo que estas apostem na melhoria contínua dos seus processos com vista a atingir estes objetivos.

Neste contexto, foi elaborada a presente dissertação na Bosch Car Multimedia Braga com o propósito de melhorar o desempenho de um equipamento de *dip coating*. Para tal, iniciou-se este projeto com a aplicação de uma metodologia de manutenção baseada na fiabilidade (RCM), de modo a otimizar o plano de manutenções do equipamento, e assim reduzir o tempo de inoperacionalidade, o número de defeitos e os custos de manutenção. Com a sua aplicação, foi possível identificar todos os modos de falha do equipamento e seus efeitos, tendo sido esta a base para a definição das estratégias de manutenção mais adequadas. Posto isto, procedeu-se à implementação das alterações sugeridas, com especial destaque para o desenvolvimento de um sistema de ajuste automático de viscosidade.

Como resultado, devido às melhorias implementadas, foi possível melhorar o desempenho do equipamento, com o aumento da sua disponibilidade e redução dos custos de manutenção, sendo este mais um passo na direção de uma empresa mais competitiva, com um processo mais eficiente e com menos desperdícios.

Palavras-Chave: *Dip coating*, Manutenção Centrada na Fiabilidade

Abstract

On an increasingly competitive market, it is necessary the maximum profitability of the value chain of companies, by eliminating wastes, reducing costs and increasing productivity. For this, is imperative that they focus on continuous improvement of their processes to achieve these goals.

In this context, was developed this dissertation at the Bosch Car Multimedia Braga with the purpose of improving the performance of a *dip coating* equipment. For this, was initialized this project with the application of an methodology of maintenance centered on reliability (RCM), in order to optimize the maintenance plan of the equipment, and so reduce the time of inoperability, the number of the defects and the costs of maintenance. With your application, was possible to identify all of the failure modes of the equipment and his effects, being this the base for the definition of the more suitable maintenance strategy. That said, we proceeded to the implementation of the suggested changes, with special emphasis for the development of a system of automatic adjust of viscosity.

As a result, due the improvements implemented, was possible to improve the equipment performance, with increased availability and reduced maintenance costs, being this one more step toward a more competitive company, with a more efficient process line and less wastes.

Keywords: *Dip coating*, Reliability Centered Maintenance

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xvii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xix
Símbolos e Unidades.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivo.....	1
1.3. Estrutura da dissertação.....	2
2. <i>Conformal coating</i>	3
2.1. Tipos de <i>coating</i>	4
2.1.1. Acrílico.....	4
2.1.2. Poliuretano.....	5
2.1.3. Epóxi.....	5
2.1.4. Silicone.....	5
2.2. Métodos de aplicação.....	6
2.2.1. <i>Brushing</i>	7
2.2.2. <i>Spraying</i>	7
2.2.3. <i>Dip coating</i>	8
2.2.4. <i>Coating</i> seletivo.....	9
3. Definição do equipamento.....	11
3.1. Knödel Perfecta NT33.....	11
3.2. Sequência de operações.....	13
3.3. Características do <i>coating</i> e solvente utilizado.....	16
4. Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM).....	17
4.1. Metodologia.....	17
4.2. FMECA - Análise de Criticidade, Modos e Efeitos de Falhas.....	18

4.2.1. Metodologia.....	18
4.2.2. Aplicação.....	24
4.2.3. Análise de resultados.....	28
4.3. Árvore de análise lógica	29
4.3.1. Metodologia.....	30
4.3.2. Aplicação.....	33
4.3.3. Análise de resultados.....	33
4.4. Definição das medidas a implementar.....	34
5. Sistema de ajuste automático de viscosidade.....	35
5.1. Definição do problema.....	35
5.2. Procedimento atual.....	35
5.3. Viscosidade	37
5.3.1. Definição	37
5.3.2. Fatores que influenciam a viscosidade	39
5.3.3. Impacto nos PCB's	41
5.3.4. Variações de viscosidade	41
5.4. Requisitos do sistema.....	42
5.5. Circuito de <i>coating</i>	44
5.6. Princípio de funcionamento.....	45
5.7. Integração do sistema de ajuste de viscosidade no circuito de <i>coating</i>	46
5.8. Viscosímetro.....	47
5.8.1. Determinação de gama de viscosidade.....	47
5.8.2. Métodos de medição de viscosidade em processos	48
5.8.3. Análise de mercado	55
5.9. Reservatório	60
5.10. Electroválvula	60
5.11. Controlador	62
5.12. Interface Homem-Máquina.....	65
5.12.1. Estrutura	65
5.12.2. Modo automático.....	66

5.12.3. Estatísticas	67
5.12.4. Definições	67
5.12.5. Modo manual	69
5.12.6. Ajuda.....	70
5.13. Instalação do sistema de ajuste de viscosidade no equipamento de <i>dip coating</i>	70
5.13.1. Viscosímetro.....	70
5.13.2. Electroválvula	74
5.13.3. Reservatório	75
5.13.4. Controlador	76
5.14. Ajuste de parâmetros.....	77
5.15. Resultados	79
5.16. Considerações.....	80
5.17. Outras ações de melhoria	81
6. Conclusão	83
Referências bibliográficas	85
Anexo I - ViscoScope VA-100C.....	87
Anexo II - VISCOprou 1600 - 321	93
Anexo III - TD Collaborative VTX423	99
Anexo IV - Hydramotion XL7	105
Anexo V - Burkert 125304.....	109
Anexo VI - Suporte para viscosímetro.....	115
Anexo VII - Suporte para controlador	119
Anexo VIII - Manutenção preventiva de substituição das molas dos pendurais	125
Anexo IX - Calibre de auxílio ao processo de manutenção	129

Lista de Figuras

Figura 1 – Corrosão de circuitos de PCB [2]	3
Figura 2 – <i>Brushing</i> [5].....	7
Figura 3 – Deposição de <i>coating</i> através de <i>spray</i> [7].....	8
Figura 4 – <i>Spraying</i> : Ar comprimido [4].....	8
Figura 5 – <i>Spraying</i> : Aerossol [8]	8
Figura 6 – <i>Dip Coating</i> [9]	9
Figura 7 – <i>Coating</i> seletivo [11]	10
Figura 8 - Knödel Perfecta NT33	11
Figura 9 - Knödel Perfecta NT33: Esquema [12].....	12
Figura 10 - Knödel Perfecta NT33: Carruagem de transporte [12].....	12
Figura 11 - Knödel Perfecta NT33: Pendurais de fixação das placas [12]	13
Figura 12 - Colocação dos PCB's nos pendurais.....	13
Figura 13: Inserção dos pinos de fixação nos pendurais	13
Figura 14 - Montagem do pendural no sistema de transporte	14
Figura 15 - Imersão dos PCB's	15
Figura 16 - Inclinação das placas	15
Figura 17 - Etapa precedente à cura do revestimento para escoamento do excesso de verniz	15
Figura 18 - Arefecimento dos PCB's depois do secador	16
Figura 19 - Fluxograma com as atividades para a elaboração de uma FMECA.....	18
Figura 20 - Análise da estrutura do sistema: Árvore hierárquica	19
Figura 21 - Estrutura do formulário utilizado na FMECA.....	23
Figura 22 - FMECA da máquina de <i>Dip Coating</i>	25
Figura 23 - FMECA da máquina de <i>Dip Coating</i> (continuação)	26
Figura 24 - FMECA da máquina de <i>Dip Coating</i> (continuação)	27
Figura 25 - Manutenção centrada na fiabilidade: Árvore de decisão [17]	31
Figura 26 - Estrutura do formulário utilizado na análise da árvore de decisão.....	32
Figura 27 – Copo de medição de viscosidade SATA 4 [18]	36
Figura 28 – Relação entre solvente e viscosidade [6].....	37
Figura 29 – Diferença de viscosidade entre o mel e a água [19].....	37
Figura 30 – Tensão de corte em função da taxa de deformação do fluido [19].....	38

Figura 31 – Fatores que influenciam a viscosidade do <i>coating</i>	40
Figura 32 – Variação de viscosidade na máquina de <i>dip coating</i>	43
Figura 33 – Circuito de <i>coating</i>	44
Figura 34 - Princípio de funcionamento genérico	45
Figura 35 – Princípio de funcionamento do sistema de ajuste de viscosidade	46
Figura 36 – Circuito de <i>coating</i> após integração de sistema de ajuste automático de viscosidade	47
Figura 37 – Viscosímetro de rotação [21].....	50
Figura 38 – Viscosímetro de vibração [20]	52
Figura 39 – Viscosímetro de pistão em queda [20].....	53
Figura 40 – Viscosímetro de pistão oscilante [20]	54
Figura 41 – Viscosímetro do tipo torsional [20]	54
Figura 42 - ViscoScope VA-100C [22].....	55
Figura 43 - VISCOpro 1600 com sensor 321 [23]	56
Figura 44 - VTX423 [24]	57
Figura 45 - Hydramotion XL7 [25].....	58
Figura 46 – Reservatório de solvente	60
Figura 47 – Válvula solenoide [26].....	61
Figura 48 - Válvula de solenoide Burkert 125304	61
Figura 49 – RS232 [27].....	62
Figura 50 – Relé G2R-2	63
Figura 51 – Circuito elétrico acionador do relé	63
Figura 52 - Circuito elétrico acionador do relé (Placa de testes)	64
Figura 53 - Circuito elétrico acionador do relé (Placa final).....	65
Figura 54 – Software: Página inicial	66
Figura 55 – Software: Modo automático.....	67
Figura 56 – Software: Estatísticas	67
Figura 57 – Software: Definições	68
Figura 58 – Software: Modo manual	69
Figura 59 – Software: Ajuda.....	70
Figura 60 – Suporte do sensor de viscosidade	71
Figura 61 – Posicionamento do viscosímetro no equipamento.....	71
Figura 62 – Tampa do sensor de viscosidade.....	72

Figura 63 – Instalação do viscosímetro no equipamento (tampa nova)	72
Figura 64 – Suporte de fixação do controlador	72
Figura 65 – Controlador com suporte.....	73
Figura 66 – Instalação do controlador no equipamento	73
Figura 67 – Fichas de ligação rápida do sensor de viscosidade	73
Figura 68 – Instalação da electroválvula.....	74
Figura 69 – Ligação do tubo de transporte de solvente à electroválvula	74
Figura 70 – Ligação elétrica da electroválvula	75
Figura 71 – Ligação da electroválvula ao relé	75
Figura 72 – Posicionamento do reservatório.....	75
Figura 73 – Ligação pneumática entre o equipamento de coatig e o reservatório	76
Figura 74 – Regulador de pressão	76
Figura 75 - Controlador.....	76
Figura 76 – Software do sistema de ajuste de viscosidade.....	77
Figura 77 – Relação entre o tempo de abertura da electroválvula e a quantidade de solvente adicionada	78
Figura 78 – Parâmetros de adição de solvente	78
Figura 79 – Sistema de ajuste automático de viscosidade	79
Figura 80 – Aplicação de cola de fixação nos pendurais de transporte de PCB's	81
Figura 81 – Calibre de auxílio ao processo de manutenção das molas dos pendurais	82

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tipos de <i>coating</i> : Características [4]	6
Tabela 2 - Métodos de aplicação de <i>coating</i> : Características [6].....	10
Tabela 3 - Parâmetros de movimentação do tanque de imersão	14
Tabela 4 - Características do <i>coating</i> e do solvente utilizado	16
Tabela 5 - Matriz de severidade.....	21
Tabela 6 - Matriz de ocorrência	21
Tabela 7 - Matriz de detetabilidade.....	22
Tabela 8 - Classificação do risco: RPN.....	22
Tabela 9 - Classificação do risco: Análise de criticidade	23
Tabela 10 - Componentes com grau de criticidade entre médio e alto.....	28
Tabela 11 - Componentes com valor de RPN classificado entre médio e alto	29
Tabela 12 - Tarefas de manutenção recomendadas.....	33
Tabela 13 – Características de viscosímetros de processo [20]	49
Tabela 14 – Comparação de Viscosímetros.....	59

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

CMMS - Computerized Maintenance Management System

DIN - Instituto Alemão para Normatização

FMECA - Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis

JIT – Just-In-Time

MTBF – Mean Time Between Failures

OEE – Overall Equipment Efficiency

PCB - Printed Circuit Board

RCM - Reliability Centered Maintenance

RPN - Risk Priority Number

Símbolos e Unidades

Grandeza	Unidade	Símbolo
Comprimento	milímetro	mm
Volume	litro	l ou L
Tempo	segundo	s
Massa	quilograma	kg
Velocidade	milímetro por segundo	mm/s
Massa específica	quilograma por metro cúbico	kg/m ³
Temperatura celsius	grau celsius	°C
Viscosidade dinâmica	centipoise	cP
Viscosidade cinemática	centistokes	cSt

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Produzir mais, com menos, de forma mais rápida e eficiente. Esta é a chave para a subsistência das empresas num mercado a cada dia mais dinâmico e competitivo. Para tal, é necessário apostar na melhoria contínua dos processos, de modo a reduzir custos e melhorar os níveis de produtividade e qualidade. Para melhorar o processo produtivo, e desta forma tornar as empresas mais competitivas, é fundamental maximizar a eficácia global dos equipamentos de produção (OEE). Assim, é necessário apostar na melhoria do desempenho dos equipamentos, de modo a reduzir perdas de qualidade e a aumentar a sua disponibilidade.

Neste âmbito, e com o intuito de maximizar o desempenho de um equipamento, foi desenvolvida esta dissertação na Bosch Car Multimedia Braga, empresa dedicada à produção de componentes eletrónicos para a indústria automóvel. Nesta, surgiu a necessidade de intervenção num equipamento de revestimento (*coating*) de placas de circuito impresso, de modo a aumentar a sua fiabilidade, reduzir defeitos e aumentar a sua disponibilidade. De notar, que o equipamento em causa está inserido numa linha de produção a trabalhar no limiar da sua capacidade, podendo nestes casos pequenas falhas com uma elevada frequência ter grandes efeitos quando os produtos são fabricados em função das encomendas e entregues JIT (*just-in-time*). Neste contexto, a presente dissertação de mestrado é focada na identificação e implementação de soluções para a melhoria do desempenho do equipamento, sendo este mais um passo na direção de uma empresa mais competitiva.

1.2. Objetivo

O objetivo desta dissertação passa por contribuir para o aumento da capacidade do equipamento em estudo, através da identificação e implementação de ações de melhoria. Para atingir este fim, será nesta dissertação aplicada uma metodologia de manutenção baseada na fiabilidade (RCM), com o intuito de prossecução dos seguintes objetivos específicos:

- Minimizar o tempo de inoperacionalidade do equipamento;
- Redução de defeitos;
- Redução do custo de manutenção.

Neste contexto, será ainda dada resposta a um ponto de melhoria identificado pela empresa, relativo ao desenvolvimento de um sistema de ajuste automático de viscosidade do fluido do equipamento. Com esta implementação, será possível aumentar a disponibilidade do equipamento, eliminando a necessidade de medição e ajuste manual.

1.3. Estrutura da dissertação

O presente relatório é composto por sete capítulos. No primeiro, referente à introdução do trabalho, é feito um breve enquadramento do tema dissertação, seguindo-se a apresentação dos objetivos e da estrutura do presente relatório.

No capítulo dois, é introduzido o processo de *conformal coating*, sendo apresentada a sua importância, os vários métodos de aplicação, e os vários tipos de *coating* passíveis de serem aplicados.

No terceiro capítulo, define-se o equipamento objeto de estudo ao longo deste trabalho, sendo enunciadas as suas características e modo de funcionamento.

Em seguida, tem-se o capítulo quatro, onde é explicada e aplicada a metodologia RCM com o objetivo de avaliar os vários modos de falha do equipamento, e assim determinar em quais é necessário intervir.

Posto isto, são no quinto capítulo descritos os vários pontos de melhoria implementados, sendo este referente ao sistema de ajuste automático de viscosidade pretendido pela empresa, bem como às restantes ações sugeridas pela aplicação da metodologia RCM.

Por fim, tem-se o capítulo seis onde são apresentadas as conclusões desta dissertação, e ainda propostas algumas sugestões de melhoria a desenvolver em trabalhos futuros.

2. Conformal coating

As placas de circuito impresso (PCB's) são atualmente amplamente utilizadas, estando presentes nos mais variados equipamentos que nos rodeiam. As suas aplicações são diversas, podendo estas integrar produtos desde simples brinquedos, até complexos sistemas como satélites, aviões, automóveis, entre outros. Assim, é notória a importância da sua fiabilidade, sendo apropriado o seu uso apenas quando assegurado o seu correto e seguro funcionamento durante todo o tempo de vida do produto. Esta afirmação, ganha ainda mais importância quando associada a certas indústrias, como a aeroespacial, médica, entre outras, onde garantir uma elevada fiabilidade é um fator fundamental. No entanto, esta pode ser generalizada a qualquer produto eletrónico, pois num mercado a cada dia mais exigente a fiabilidade e satisfação do cliente são atualmente fatores decisivos para o seu sucesso.

Neste seguimento, e apesar de muitos PCB's sem proteção poderem operar livre de problemas durante toda a sua vida, garantir a longevidade das suas funcionalidades é, em algumas aplicações, apenas possível com a sua proteção. Assim, recorre-se comumente à aplicação de revestimentos conformais, onde é depositado no PCB uma fina camada de material não condutivo - com espessuras entre 25 e 200 μm - que adere à superfície da placa reproduzindo a sua topologia [1]. Com isto, é possível assegurar o seu isolamento elétrico, bem como garantir a sua proteção sobre diversos riscos ambientais existentes. Entre os vários riscos ambientais suscetíveis de causar a falha da placa, importa distinguir a humidade como sendo o principal fator, podendo este induzir a corrosão de circuitos e juntas de solda. Na figura 1, é apresentado um PCB onde é evidente a corrosão dos circuitos devido ao efeito da humidade.



Figura 1 – Corrosão de circuitos de PCB [2]

De notar, que numa era de constante miniaturização dos PCB's, a importância da aplicação de revestimentos protetores ganha ainda mais destaque, sendo reduzido o espaço entre circuitos, aumentando assim o risco de falha da placa devido à corrosão e migração de metal fruto do efeito da humidade. No entanto, existem também outros fatores susceptíveis de causar a falha da placa que podem ser minimizados com a aplicação de revestimentos conformais, como: a abrasão, partículas, sujidade, temperaturas extremas, radiação, manuseamento, atmosferas salinas, fungus, solventes, entre outros [1].

Posto isto, denota-se a grande importância desta operação, funcionando o revestimento depositado como uma barreira de proteção da placa, prevenindo a contaminação da superfície, a corrosão de circuitos e ainda o stress térmico e mecânico dos componentes. Como resultado, é aumentada a fiabilidade do PCB, sendo prevenida a falha prematura da placa e seus componentes, bem como diminuída a probabilidade de ocorrência de curto-circuitos.

De salientar, que não existe no entanto nenhum revestimento totalmente impermeável à humidade, gases e iões [1]. Assim, não é possível obter um verdadeiro isolamento hermético da placa e garantir uma elevada fiabilidade em ambientes mais severos. Contudo, e para a maioria dos casos, a obtenção deste estado não é necessária, conseguindo-se com este processo obter um produto fiável e seguro para a maioria das suas aplicações.

2.1. Tipos de *coating*

Os principais tipos de *coating* utilizados para o revestimento de placas de circuito impresso são quatro, sendo estes categorizados em função do tipo de material sólido primário utilizado. Assim, estes podem ser classificados como sendo do tipo acrílico, poliuretano, epóxi e silicone. Em seguida, são descritos cada um dos tipos de revestimento enunciados, sendo apresentadas as suas principais características, vantagens e desvantagens:

2.1.1. Acrílico

Este tipo de revestimento caracteriza-se pela excelente resistência à humidade e a microrganismos, sendo capaz de assegurar excelentes propriedades dielétricas ao material depositado. No que refere ao seu processo de deposição, este é fácil de aplicar e reparar, apresentando um longo tempo de vida da mistura, um rápido tempo de cura (obtem-se as

propriedades ótimas do revestimento numa questão de poucos minutos), bem como uma baixa contração volumétrica o que assegura a ausência de tensões fruto da sua aplicação.

Como desvantagens, salienta-se a sua baixa capacidade de resistência à corrosão e abrasão [3] [4].

2.1.2. Poliuretano

Os revestimentos cuja base é o poliuretano têm como vantagens a excelente resistência à abrasão, à corrosão, à temperatura e à humidade, sendo que apresentam também a semelhança dos revestimentos acrílicos ótimas propriedades dielétricas.

No que é referente às suas desvantagens, destaca-se a ocorrência de contração volumétrica e ainda a grande dificuldade da sua reparação fruto da excelente resistência à corrosão demonstrada por este tipo de revestimentos que torna este processo difícil e dispendioso [3] [4].

2.1.3. Epóxi

No caso dos revestimentos cujo material sólido primário é a epóxi, estes apresentam uma elevada dureza, uma boa resistência à abrasão e corrosão. Como pontos negativos, é de salientar a baixa resistência à humidade, as fracas propriedades dielétricas e ainda a grande dificuldade de reparação deste tipo de revestimentos [3] [4].

2.1.4. Silicone

Por fim, surge o revestimento à base de silicone que evidencia uma boa resistência à humidade e corrosão, bem como uma excelente flexibilidade e resistência a variações térmicas que tornam este revestimento muito utilizado em aplicações onde a temperatura é um fator crítico.

Como desvantagens denota-se a baixa resistência a abrasão e ainda o curto tempo de vida do fluido [3] [4].

Posto isto, denota-se a grande variação de características entre materiais, não existindo um revestimento ideal capaz de proteger as placas de todos os riscos. Como tal, deve o processo de escolha do revestimento mais apropriado focar-se no ambiente operacional do produto em

questão, sendo necessário efetuar um balanceamento entre as várias propriedades de modo a escolher o revestimento mais apropriado do ponto de vista de proteção e aplicação.

Na tabela 1 é apresentado um quadro que sumariza as diferenças relativas entre os vários revestimentos anteriormente descritos, sendo a classificação efetuada em ordem decrescente de A a D, sendo A definido como ótimo.

Tabela 1 - Tipos de *coating*. Características [4]

Propriedades	Acrílicos	Poliuretano	Epóxis	Silicones
Facilidade de aplicação	A	B	C	C
Facilidade de reparo (quimicamente)	A	B	-	C
Facilidade de reparo (queimar com ferro de solda para retrabalho local)	A	B	C	-
Resistência à abrasão	C	B	A	C
Resistência mecânica	C	B	A	B
Resistência à temperatura	D	B	D	A
Resistência à humidade	A	A	B	A
Resistência à humidade – longos períodos de exposição	A	A	C	B
Tempo de vida do fluido	A	B	D	D
Tempo de cura – temperaturas ambiente	A	B	B	C
Tempo de cura – temperaturas elevadas	A	B	B	C
Custo	A	A	A	D

2.2. Métodos de aplicação

A aplicação de revestimentos conformais para a produção de placas de circuito impresso pode ser realizada essencialmente através de quatro processos, nomeadamente: o *dip coating*, o *coating* seletivo, o *spraying* e o *brushing*. Em seguida, são descritos cada um dos métodos enunciados:

2.2.1. *Brushing*

O *brushing* é uma das técnicas mais simples e económicas para a aplicação de revestimentos conformais. Neste processo, o *coating* é depositado manualmente nas placas de circuito impresso com o auxílio de um pincel, como ilustrado na figura 2.

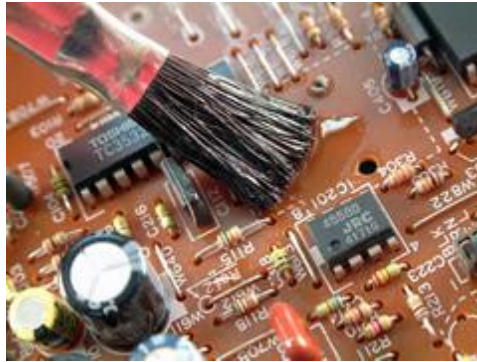


Figura 2 – *Brushing* [5]

Assim, denota-se as grandes fragilidades deste processo, variando largamente a qualidade do revestimento em função do tipo de operador. Contudo, é possível com operadores experientes obter um revestimento razoavelmente uniforme e livre de defeitos, sendo este muito utilizado na indústria aeroespacial devido ao feedback inerente à sua utilização. Isto é, o operador consegue imediatamente identificar componentes de difícil aplicação onde é necessário reaplicar *coating* para a sua proteção.

Apesar destas vantagens, a baixa eficiência deste processo torna praticamente insustentável a sua utilização em grandes produções, sendo assim indicado apenas para pequenas series, acabamentos e reparações [4] [6].

2.2.2. *Spraying*

Neste processo, o *coating* é atomizado e pulverizado contra a superfície da placa, como ilustrado na figura 3. Posto isto, são evidentes algumas das limitações desta técnica, nomeadamente: *i*) processo moroso com a necessidade de várias aplicações para alcançar um correto revestimento; *ii*) baixa repetibilidade; *iii*) baixa penetração debaixo dos componentes; *iv*) necessidade de sistema de extração de gases, bem como de elementos de proteção do operador [4] [6].

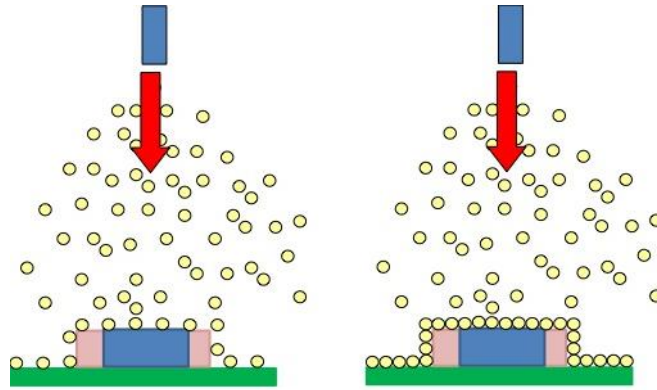


Figura 3 – Deposição de *coating* através de *spray* [7]

Relativamente aos métodos de aplicação, estes são dois, nomeadamente: o de aplicação manual com ar comprimido e o de aerossol. No primeiro caso, representado na figura 4, é possível automatizar o processo de deposição, sendo possível a sua utilização em pequenas/médias series. No caso de aplicação através de aerossol, apresentado na figura 5, apenas é recomendada a sua utilização em pequenas series e em processos de reparação.



Figura 4 – *Spraying*. Ar comprimido [4]



Figura 5 – *Spraying*. Aerossol [8]

2.2.3. *Dip coating*

O *dip coating* trata-se do método de deposição mais rápido e eficiente para revestir ambas as faces de uma placa. Neste processo, os PCB's são imersos num tanque de *coating* com velocidades e deslocamentos bem definidos, permitindo assim a deposição do revestimento em ambas as faces numa só etapa e com excelente repetibilidade. Na figura 6, é apresentado este processo, encontrando-se esquematizado em *i*) a fase de imersão, em *ii*) a de emersão e em *iii*) o processo de escoamento e de evaporação de solvente após a remoção da placa.

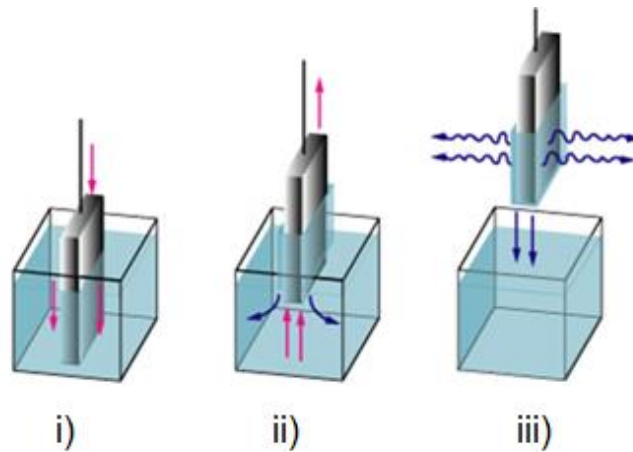


Figura 6 – *Dip Coating* [9]

Os benefícios da utilização do *dip coating* são vários, sendo este um processo sem desperdícios, de baixo custo, com boa repetibilidade, e capaz de oferecer um excelente controlo da espessura do revestimento. Como pontos negativos, destaca-se a impossibilidade de assegurar a uniformidade da espessura ao longo de toda a placa, bem como a necessidade de um eficiente sistema/método de controlo da viscosidade do fluido, dado esta alterar-se com a natural evaporação de solvente do fluido [10].

2.2.4. *Coating* seletivo

Por fim, surge o *coating* seletivo, um dos métodos de revestimento de PCB's mais populares. Neste processo, as placas são revestidas através da dispensação de *coating*, podendo este ser no estado líquido ou atomizado. Em ambos os casos, é utilizado um equipamento de elevada precisão capaz de revestir PCB's apenas em determinadas áreas, com um revestimento uniforme e com excelente reprodutibilidade. Portanto, este trata-se de um método indicado para grandes produções e em especial para PCB's apenas parcialmente revestíveis, eliminando assim a necessidade de proteção de zonas não revestíveis. Como desvantagens deste processo, é de salientar o alto investimento necessário e a impossibilidade de aplicação de *coating* debaixo dos componentes [4] [6].

Na figura 7 é apresentado este processo durante o revestimento de uma placa de circuito impresso.

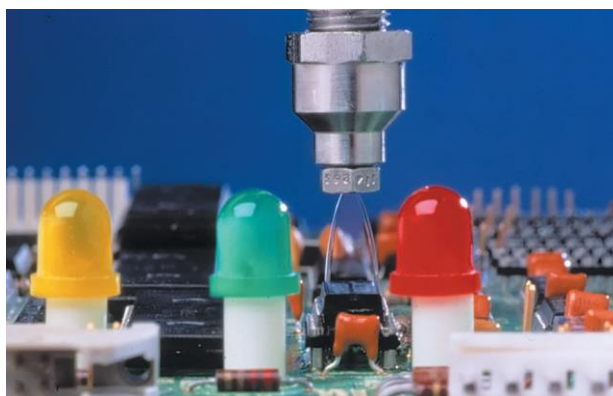


Figura 7 – *Coating* seletivo [11]

Seguidamente, é apresentado um quadro de síntese onde são englobadas as principais vantagens e desvantagens de cada um dos métodos de aplicação de *coating* anteriormente descritos.

Tabela 2 - Métodos de aplicação de *coating*. Características [6]

PROCESSO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<i>BRUSHING</i>	Baixo investimento; adequado para reparações; possibilidade de aplicação seletiva; elevada disponibilidade;	Revestimento não uniforme; não automatizável; crítico do ponto de vista da saúde e segurança; impossibilidade de aplicação de revestimento debaixo dos componentes;
<i>SPRAYING</i>	Baixo investimento; elevada disponibilidade;	Revestimento não uniforme; impossibilidade de aplicação de revestimento debaixo dos componentes; necessidade de sistema de extração de gases;
<i>DIP COATING</i>	Aplicação de revestimento debaixo dos componentes; revestimento de ambas as faces da placa; automatizável; custo de produção efetivo;	Investimento alto; PCB tem de ser totalmente revestido; necessidade de proteção de áreas não revestíveis;
<i>COATING SELETIVO</i>	Possibilidade de aplicação do revestimento em áreas específicas; baixo consumo de <i>coating</i> ; revestimento uniforme; custo de produção efetivo;	Investimento elevado; impossibilidade de aplicação de <i>coating</i> debaixo dos componentes;

3. Definição do equipamento

O objeto de estudo deste trabalho foi a máquina Knödel Perfecta NT33 presente na Bosch Car Multimédia em Braga. Na figura 8, encontra-se ilustrado o equipamento em causa, sendo este utilizado para o revestimento parcial de placas de circuito impresso através do método de *Dip Coating*.



Figura 8 - Knödel Perfecta NT33

3.1. Knödel Perfecta NT33

A Knödel Perfecta NT33 trata-se de uma máquina de grande versatilidade, capaz de revestir placas com as mais variadas geometrias e especificações. No seu *software* são vários os parâmetros passíveis de ajuste, desde o tempo de ciclo, a velocidade de imersão, a inclinação das placas, a temperatura do fluido, os tempos de espera, entre outros. Assim, é possível obter um excelente controlo do revestimento depositado, sendo possível atender aos mais variados requisitos.

Na figura 9, encontra-se esquematizado o equipamento em estudo, encontrando-se este dividido em 4 áreas, nomeadamente: 1) zona de colocação e remoção das placas, 2) secção de deposição do revestimento, 3) estufa e 4) zona de arrefecimento. Na primeira secção, o operador procede à colocação das placas no interior do equipamento. Em seguida, estas são encaminhadas para a secção de deposição, onde são mergulhadas no tanque de imersão com os parâmetros de velocidade e descolamento pré-estabelecidos. Por fim, e ainda antes de retornarem ao primeiro

ponto para serem removidas, as placas são na terceira e quarta etapas submetidas ao processo de cura composto pelo seu aquecimento e arrefecimento, respetivamente.

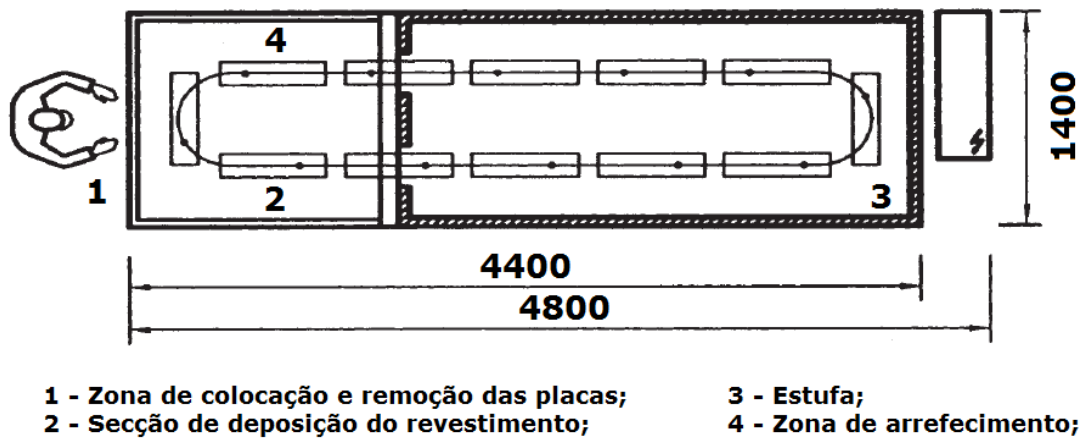


Figura 9 - Knödel Perfecta NT33: Esquema [12]

No que é referente à capacidade de produção, este equipamento é composto por 12 carruagens acopladas ao sistema de transporte (figura 10). Cada carruagem, permite a montagem de dois pendurais de placas, perfazendo assim um total de 24 pendurais.

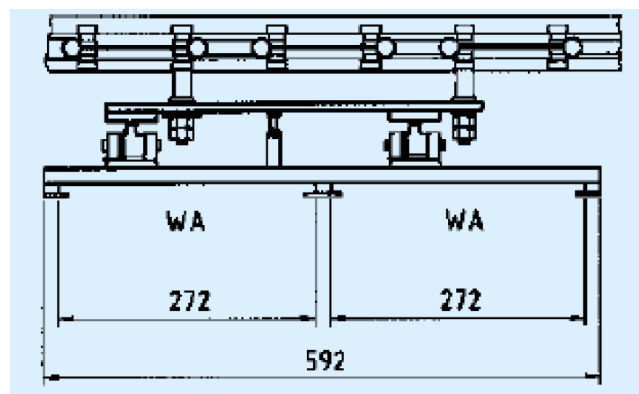


Figura 10 - Knödel Perfecta NT33: Carruagem de transporte [12]

Na figura 11, é apresentado um esquema do tipo de pendurais utilizados. Cada pendural é capaz de acomodar 8 placas de circuito impresso, podendo assim o equipamento acomodar no seu interior um total de 192 placas. Posto isto, e sendo o tempo de ciclo de 240 segundos, concluiu-se que para este equipamento a cadência máxima de produção seria de 4 placas por minuto. Contudo, dada a linha possuir uma cadência de produção inferior, é atualmente apenas utilizado um dos suportes de cada carruagem. Assim, o tempo de ciclo é reduzido para metade, sendo este no entanto suficiente para o “escoamento” da produção.

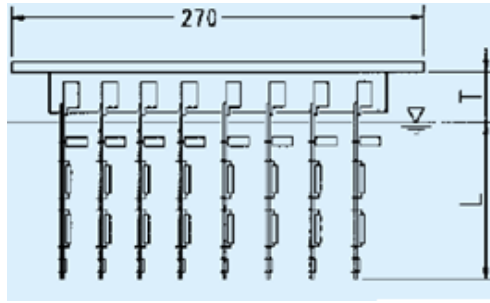


Figura 11 - Knödel Perfecta NT33: Pendurais de fixação das placas [12]

3.2. Sequência de operações

Nesta secção, é apresentada uma breve descrição das várias etapas realizadas para a deposição do revestimento, sendo estas em seguida enunciadas:

1. Na primeira etapa procede-se à colocação dos PCB's nos respetivos pendurais como ilustrado na figura 12.

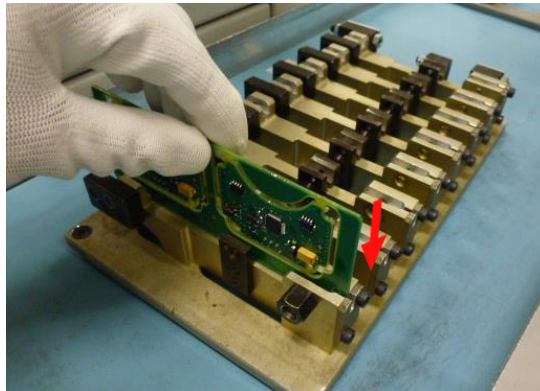


Figura 12 - Colocação dos PCB's nos pendurais

2. Em seguida, as placas são fixadas ao pendural através da colocação de dois pinos de fixação em cada uma das suas extremidades (figura 13).

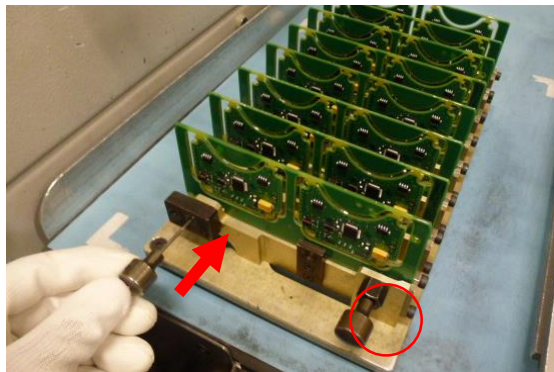


Figura 13: Inserção dos pinos de fixação nos pendurais

3. Posto isto, é acoplado este conjunto ao sistema de transporte do equipamento, carregando-se em seguida no botão confirmar para o avanço do sistema de transporte (figura 14).

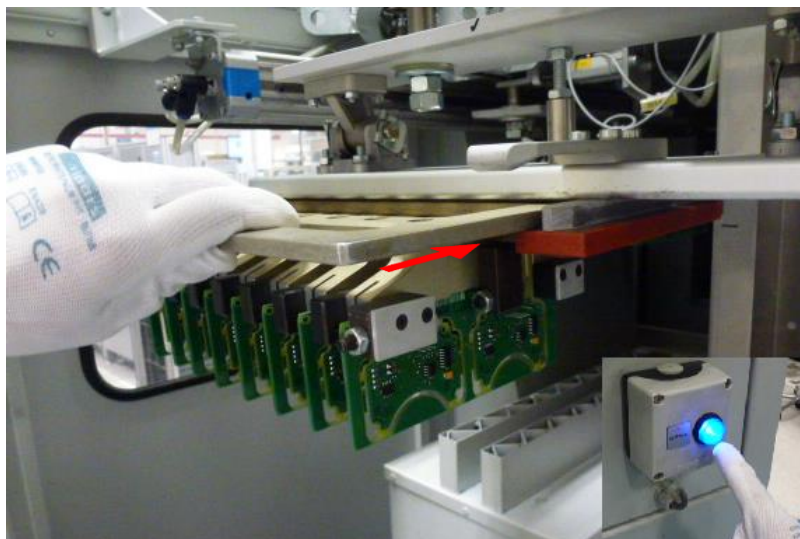


Figura 14 - Montagem do pendural no sistema de transporte

4. Na quarta etapa, o tanque de imersão é elevado sendo as placas mergulhadas no fluido. Em seguida, este retorna à sua posição de referência, sendo inclinados os pendurais para facilitar o escoamento do verniz. Na tabela 3, são apresentados os parâmetros estabelecidos para esta etapa.

Tabela 3 - Parâmetros de movimentação do tanque de imersão

Percurso ascendente 2	153 mm	9 mm/s
Percurso ascendente 1	152 mm	25 mm/s
Percurso descendente 1	80 mm	1,2 mm/s
Tempo de espera	3 s	
Tempo de inclinação	30 s	
Tempo de ciclo	240 s	
Temperatura do fluido	Min: 18°C	
	Ref: 23°C	
	Max: 28°C	

Na figura 15 pode-se observar a imersão das placas no tanque superior. Por sua vez, é na figura 16 ilustrada a fase de inclinação das placas.

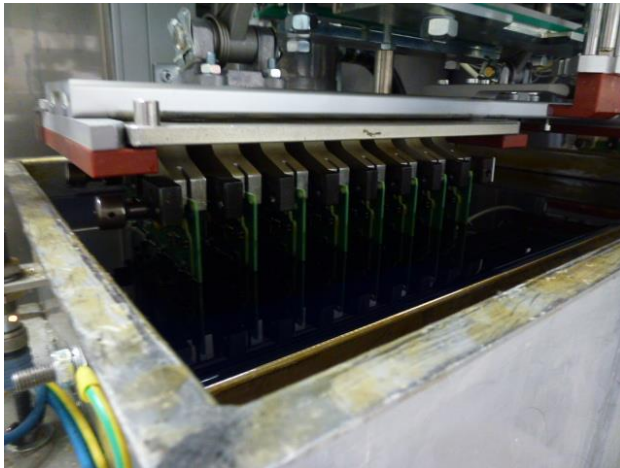


Figura 15 - Imersão dos PCB's

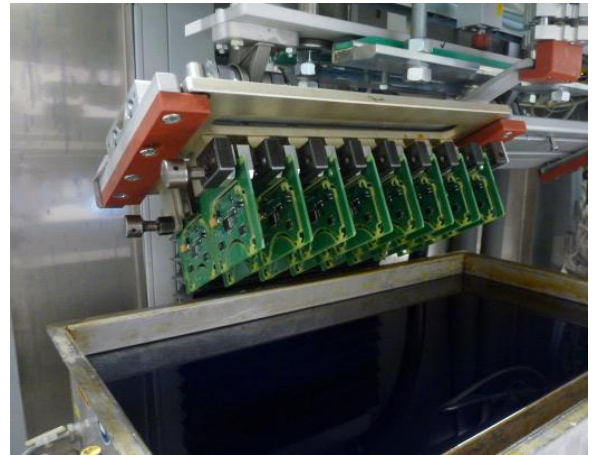


Figura 16 - Inclinação das placas

5. Após a aplicação do *coating*, as placas são movimentadas para uma posição imediatamente antes da estufa de modo a escorrer o excesso de material (figura 17). Seguidamente, estas são encaminhadas para o secador para o processo de cura. De notar, que cada pendural fica dentro da estufa pelo menos sete tempos de ciclo, o que equivale a cerca de 28 minutos por conjunto.

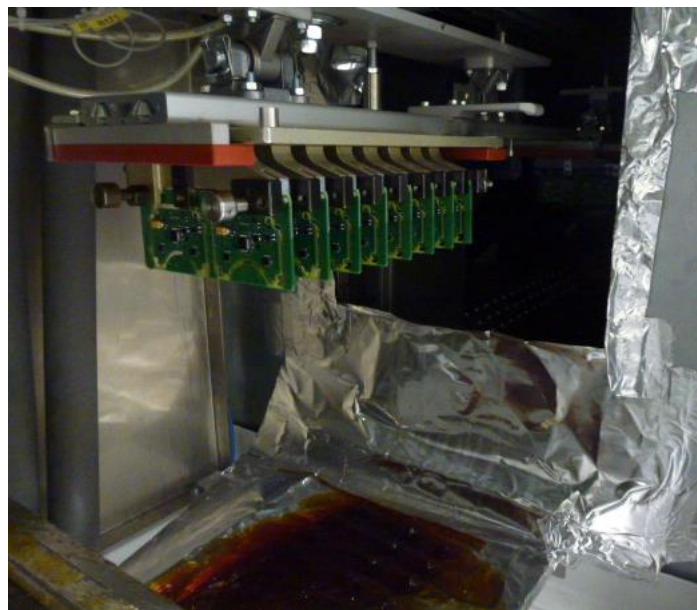


Figura 17 - Etapa precedente à cura do revestimento para escoamento do excesso de verniz

6. Por fim, e ainda antes das placas retornarem à primeira posição para serem removidas, os pendurais são na penúltima etapa arrefecidos até à temperatura ambiente como mostrado na figura 18.

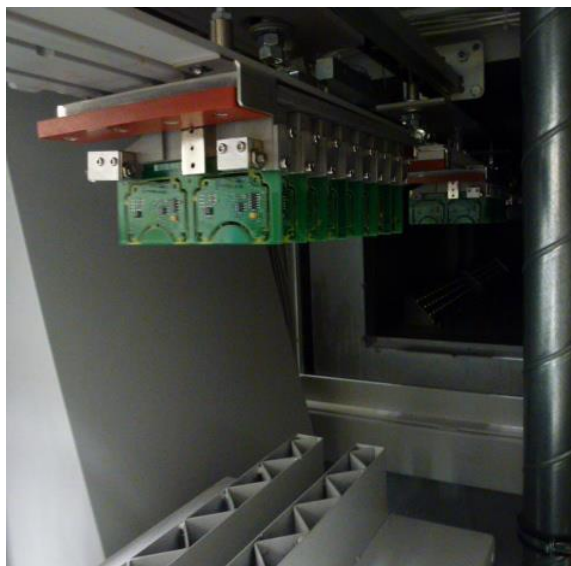


Figura 18 - Arefecimento dos PCB's depois do secador

Posto isto, as placas estão aptas para serem manuseadas e montadas no produto final. Contudo, o revestimento não se encontra ainda nesta fase totalmente curado e com as propriedades ideais, sendo este estado obtido apenas ao fim de 96 horas após a necessária absorção de oxigénio por parte do revestimento [6].

3.3. Características do *coating* e solvente utilizado

Neste equipamento, é aplicado o *coating* ELPEGUARD® SL 1301 ECO-FLZ/17 à base de poliuretano, cujas características são apresentadas na tabela 4. No que é referente ao solvente utilizado para o ajuste da viscosidade do fluido, são também nesta tabela apresentadas as suas características.

Tabela 4 - Características do *coating* e do solvente utilizado

	<i>Coating</i>	Solvente
Fabricante:	Peters	Peters
Modelo:	ELPEGUARD® SL 1301 ECO-FLZ/17	ELPEGUARD® V 1301 ECO
Viscosidade a 20°C:	17 s (SATA 4 – DIN 53211)	12 s (SATA 4 – DIN 53211)
Densidade a 20°C:	0,86 g/cm ³	0,77 g/cm ³
Ponto de inflamabilidade:	57°C	57°C
Teor de sólidos ISO 3251 1h, 125 ° C, 1g	48 ± 2% por peso	-

4. Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM)

Neste capítulo é abordada a metodologia RCM, comumente conhecida pelos seus termos em inglês como *Reliability Centered Maintenance*. Esta análise trata-se de uma abordagem estruturada com o objetivo de determinar as estratégias de manutenção mais adequadas capazes de aumentar a disponibilidade dos equipamentos com um menor custo de manutenção. Neste processo, são avaliados todos os riscos associados à falha de cada componente, sendo esta a base para a determinação das estratégias de manutenção mais apropriadas.

Em seguida, é aplicada esta sistemática à máquina em estudo, com o objetivo de rever o plano de manutenção existente, bem como identificar os itens de maior criticidade onde será prioritário intervir. Com isto, e após aplicadas as alterações recomendadas, será expectável a redução do número de avarias, o aumento do MTBF¹ e a diminuição dos custos de manutenção do equipamento.

4.1. Metodologia

A implementação do RCM pode ser conseguida recorrendo a vários tipos de ferramentas. No entanto, se devidamente realizadas, todas deverão dar resposta a um conjunto de sete questões, nomeadamente [13]:

1. Quais as funções requeridas ao equipamento?
2. De que forma pode o sistema falhar no desempenho daquelas funções?
3. Qual a causa ou causas de cada falha?
4. Quais as consequências para o equipamento da ocorrência de cada falha?
5. Qual a criticidade de cada falha?
6. O que pode ser feito para evitar cada falha?
7. O que deve ser feito se não for possível realizar a manutenção adequada?

Tipicamente, utiliza-se a ferramenta FMECA – *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* (Análise dos Modos, dos Efeitos e da Criticidade das Falhas) para responder às primeiras cinco questões. Para as restantes, é aplicada uma árvore de análise lógica de modo a orientar o grupo para a resposta mais adequada. Neste estudo, foram estas as ferramentas utilizadas, sendo em seguida apresentadas as suas metodologias, bem como os documentos referentes à sua aplicação.

¹ Mean Time Between Failures - Trata-se de um indicador de confiabilidade de um sistema, representado o tempo médio entre falhas.

4.2. FMECA - Análise de Criticidade, Modos e Efeitos de Falhas

A FMECA é uma técnica utilizada para identificar, priorizar e eliminar potenciais problemas de um sistema. A sua aplicabilidade é grande, podendo esta ser utilizada de diversas formas e em diferentes fases do ciclo de vida de um produto. Neste trabalho, esta ferramenta é aplicada a um equipamento, sendo os seus resultados a base para a otimização do plano de manutenções existente.

Posto isto, é apresentada a metodologia utilizada, seguindo-se o quadro referente à sua aplicação na máquina de *dip coating*.

4.2.1. Metodologia

Nesta secção são apresentados todos os passos necessários para a implementação da FMECA. Na figura 19, encontra-se ilustrado o fluxograma com a sequência das várias atividades, sendo nas alíneas seguintes apresentada a sua descrição [14]–[16].

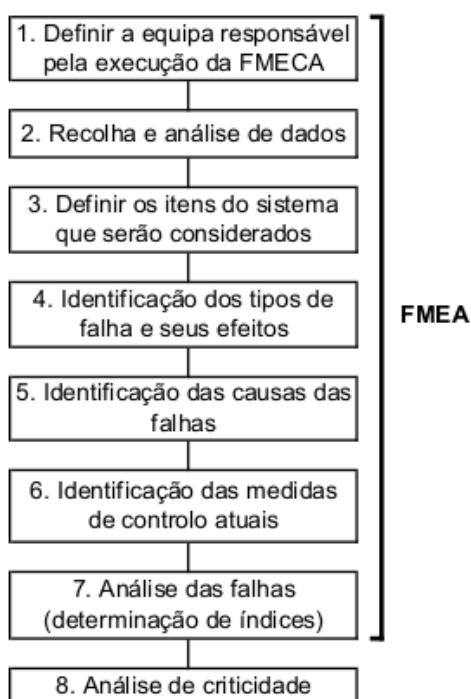


Figura 19 - Fluxograma com as atividades para a elaboração de uma FMECA

4.2.1.1. Definir a equipa responsável pela execução da FMECA

Primeiramente, é necessário para a elaboração da FMECA a criação de uma equipa multidisciplinar com conhecimento do sistema sobre o qual esta irá incidir. Este grupo, deverá ser constituído por elementos da manutenção, pelos engenheiros de *design*, pelo gestor de operações, entre outros elementos com algum conhecimento do sistema/processo/produto em análise. Para

além disto, o responsável pela sua execução deverá também possuir alguma experiência na utilização desta metodologia. Caso contrário, dever-se-á consultar alguém com esse conhecimento, antes de avançar para as próximas etapas.

De notar, que no desenvolvimento desta técnica é comum (e normal) a existência de diferentes graus de conhecimento da equipa sobre o objeto em análise. Como tal, apenas se deve avançar com esta técnica quando toda equipa esteja consciente das características mais importantes do sistema.

4.2.1.2. Recolha e análise de dados

Na segunda etapa, tem-se como objetivo a preparação dos dados de suporte para a realização da FMECA. Assim, devem ser recolhidas e analisadas todas as informações disponíveis referentes ao sistema, o que inclui desenhos do equipamento, lista de materiais, diagramas de processo, dados operacionais, dados referentes à disponibilidade do equipamento, registos e relatórios de falhas, planos de manutenção, entre outros documentos.

4.2.1.3. Definir os itens do sistema que serão considerados

Analisados os dados, o sistema é nesta fase desmembrado em várias unidades. Neste processo, recomenda-se a sua representação através de uma árvore hierárquica como a ilustrada na figura 20, variando o nível de detalhe apresentado de acordo com o objetivo pretendido.

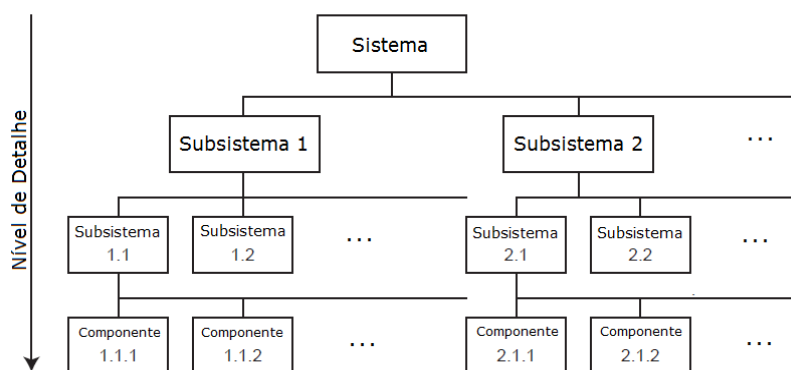


Figura 20 - Análise da estrutura do sistema: Árvore hierárquica

Neste método, é muitas das vezes iniciada a análise do equipamento pelos níveis mais baixos do diagrama, obtendo-se assim um estudo completo de todos elementos do sistema. Contudo, esta metodologia é por vezes desnecessária e desajustada, resultando num grande desperdício de tempo e dinheiro. Como tal, recomenda-se a iniciação desta atividade pelos níveis mais altos da hierarquia, sendo posteriormente divididos apenas os casos onde o grau de

criticidade é classificado como elevado. Com isto, apenas os subsistemas/componentes mais críticos serão alvo de um estudo mais detalhado, de modo a identificar-se em níveis mais baixos da hierarquia os seus modos de falha e respetivas causas. Importa salientar, que para além do grau de criticidade expetável, dever-se-á ainda nesta seleção ter em conta o nível de conhecimento da equipa sobre os elementos em análise, de modo a assim não excluir indevidamente componentes com um grande potencial de falha.

Posto isto, são delineadas as fronteiras do sistema, sendo definidos quais os subsistemas/componentes que serão foco da aplicação da FMECA, bem como as suas respetivas funções.

4.2.1.4. Identificação dos tipos de falha e seus efeitos

Com base na análise de dados efetuada na segunda etapa, são identificados os potenciais modos de falha e consequentes efeitos no sistema de cada um dos elementos considerados. No campo modo de falhas, devem estar presentes todas as formas pelas quais o subcomponente pode deixar de desempenhar as suas funções, podendo estas tratarem-se de perdas parciais ou totais de função. No que diz respeito aos efeitos, este campo deverá contemplar todos as formas como os modos de falha põem em causa o desempenho do sistema.

4.2.1.5. Identificação das causas das falhas

Em seguida, e para cada uma das falhas detetadas, é feito o levantamento das suas causas mais prováveis. Este processo, deve ser realizado com base nos dados recolhidos anteriormente, na experiencia do grupo, ou até mesmo recorrendo a testes, simulações, entre outras ferramentas de auxilio.

4.2.1.6. Identificação das medidas de controlo atuais

Posto isto, são listados os mecanismos atualmente utilizados para mitigar os riscos considerados. Estes mecanismos tratam-se das medidas presentes no plano de manutenções do equipamento, que visam a prevenção da ocorrência da falha ou a sua deteção antes de esta alcançar o cliente.

4.2.1.7. Análise das falhas (determinação de índices)

Na sétima etapa, procede-se á classificação das falhas de acordo com o seu grau de severidade, ocorrência e detetabilidade, tendo como base o histórico de avarias do equipamento.

Antes de iniciar esta análise, importa definir corretamente cada um destes indicadores e suas escalas. Assim, estes são em seguida apresentados:

Severidade: A severidade é o indicador responsável pela medição do grau do dano causado pela ocorrência de uma falha num dado grupo (segurança, processo, ambiente, entre outros). Neste trabalho, utilizou-se a matriz apresentada na tabela 5, sendo a classificação feita com valores que variam entre 1 e 5, aos quais corresponde a classificação de baixo e muito alto risco, respetivamente.

Tabela 5 - Matriz de severidade

Matriz Severidade (S)	
Ranking	Descrição - Processo / Produto
5	Muito Alto: Paragens superiores a 6 horas, ou produção de peças não conformes durante mais de 1 hora.
4	Alto: Paragem entre 3 e 6 horas ou produção de peças não conformes até 1 hora.
3	Moderado: Paragem de produção entre 1 e 3 horas sem produção de peças defeituosas.
2	Baixo: Paragem de produção até 1 hora sem produção de peças defeituosas.
1	Menor: A falha resulta numa manutenção "sem calendário" ou o ajuste pode ser feito durante a produção, sem tempo de paragem do equipamento nem produção de peças defeituosas.

Ocorrência: A ocorrência é caracterizada como sendo a probabilidade da causa de uma determinada falha acontecer. Na tabela 6 é apresentada a matriz de ocorrência utilizada para este estudo, sendo esta constituída por cinco níveis que variam desde improvável até frequente.

Tabela 6 - Matriz de ocorrência

Matriz Ocorrência (O)	
Ranking	Descrição
5	Frequente: Uma ou mais vezes por mês.
4	Provável: Uma vez a cada três meses.
3	Ocasional: Uma vez a cada seis meses.
2	Remoto: Uma vez ao ano.
1	Improvável: Superior a um ano.

Detetabilidade: A detetabilidade define-se como a probabilidade de deteção da falha antes de esta ocorrer. Este índice deve ser atribuído a cada falha tendo em atenção os métodos de controlo em execução. Este indicador foi classificado de 1 a 5, conforme descrito na tabela 7.

Tabela 7 - Matriz de detetabilidade

Matriz Detetabilidade (D)	
Ranking	Descrição
5	Não Deteção: Controlo do processo de manutenção em uso não irá detetar um modo potencial de falha.
4	Baixa: Controlo do processo de manutenção em uso provavelmente não irá detetar um modo potencial de falha.
3	Moderada: Controlo do processo de manutenção em uso pode detetar um modo potencial de falha.
2	Alta: Controlo do processo de manutenção em uso têm boas hipóteses de detetar um modo potencial de falha.
1	Muito Alta: Procedimentos de controlo do processo de manutenção em uso irão detetar certamente o modo potencial de falha.

Posto isto, estão reunidas as condições para proceder à classificação, sendo para cada falha atribuído um índice referente à sua severidade, ocorrência e detetabilidade. De notar, que estes índices podem ter diferentes significados em cada FMECA, o que torna difícil a sua partilha.

4.2.1.8. Análise de criticidade

Na última etapa, é através do cálculo do RPN (*Risk priority number*) avaliado o risco associado a cada modo de falha. Neste método, o risco é definido como o produto entre a frequência (O), a severidade (S) e a probabilidade de deteção (D) de cada falha. Isto é:

$$RPN=O \times S \times D$$

Como resultado, obtém-se um índice numérico adimensional que varia entre 0 e 125 (para as escalas utilizadas), que pode ser categorizado conforme a tabela 8.

Tabela 8 - Classificação do risco: RPN

Classificação do Risco - RPN		
Classificação	Intervalos	
IV - Alto	63	125
III - Médio-Alto	31	62
II - Médio	13	30
I - Baixo	1	12

Desta forma, denota-se que quanto maior o índice RPN maior o risco para o sistema, estando a este associados valores mais elevados de severidade, frequência e detetabilidade. Contudo, fruto do peso desigual destas variáveis, são por vezes com este método negligenciados riscos de elevada criticidade, mas que devido à sua fácil deteção conduzem à obtenção de valores de RPN baixos. Como tal, e de modo a colmatar esta falha, deve-se realizar paralelamente a este cálculo uma análise de criticidade. Nesta técnica, o risco é avaliado com base no produto entre a frequência e a severidade ($Criticidade = S \times O$), de modo a dar especial atenção a combinações com altos valores de severidade e frequência. Na tabela 9, é apresentada a matriz utilizada neste processo, sendo cada risco classificado de I a IV ao qual corresponde a designação de baixo e alto risco, respetivamente.

Tabela 9 - Classificação do risco: Análise de criticidade

Análise de Criticidade – Matriz de Risco						
Frequência	5	II	II	III	IV	IV
	4	II	II	III	III	IV
	3	I	II	III	III	IV
	2	I	I	II	III	III
	1	I	I	II	II	II
		1	2	3	4	5
		Severidade				

Posto isto, procede-se ao preenchimento do formulário da FMECA com base nos dados recolhidos e trabalhados ao longo das várias etapas desta metodologia. De notar, que esta não se trata de mais uma etapa desta ferramenta, mas sim de um método que permite facilmente sintetizar e visualizar todos os dados recolhidos. Na figura 21 é apresentado o formulário utilizado.

Descrição da Unidade			Descrição da Falha			Estado Atual							
Subsistema	Instrumento	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	Potencial Causa da Falha	Severidade(S)	Ocorrência(O)	Criticidade	Análise de Criticidade - Classificação	Método de Controlo Atuais	Detetabilidade(D)	RPN	RPN - Classificação

Figura 21 - Estrutura do formulário utilizado na FMECA

4.2.2. Aplicação

De acordo com a metodologia anteriormente enunciada, elaborou-se em conjunto com a equipa de manutenção a FMECA da máquina de *Dip Coating*. Neste processo, começou-se por dividir o equipamento em vários subsistemas, sendo estes em seguida enumerados e descritos:

1. **Subsistema de transporte:** responsável pela movimentação das placas ao longo de todo o equipamento;
2. **Subsistema de fixação das placas:** permite a correta fixação dos vários tipos de PCB's ao sistema de transporte;
3. **Subsistema elétrico:** assegura a distribuição de energia elétrica aos vários sistemas;
4. **Secador:** módulo da máquina responsável pelo processo de cura do revestimento através da indução de um dado perfil térmico;
5. **Circuito de *coating*:** assegura a circulação de fluido livre de impurezas entre os tanques de armazenamento e imersão;
6. **Subsistema pneumático:** garante a distribuição de ar comprimido aos vários componentes pneumáticos;
7. **Subsistema de movimentação do tanque de imersão:** assegura a elevação do tanque de imersão até uma dada posição com os valores de velocidade pré-estabelecido;
8. **Subsistema de segurança:** responsável pela sinalização e paragem do equipamento em casos de emergência;
9. **Subsistema de controlo:** sistema responsável pela coordenação do funcionamento do equipamento;

Em seguida, foram identificados os vários componentes subjacentes a cada subsistema, de modo a poder construir a árvore hierárquica apresentada na figura 22. De notar, que não foram neste processo considerados o subsistema elétrico (3) e pneumático (7) fruto da sua baixa criticidade e elevado número de componentes.

Posto isto, aplicou-se a FMECA nos itens considerados, com foco nos elementos com maior grau de criticidade. Na figura 23 e na figura 24, é apresentado o documento relativo à sua aplicação, construído com base na experiência do grupo, nos manuais do equipamento, e ainda nos dados fornecidos pelo sistema informático CMMS (plano de manutenções em execução / histórico de avarias do equipamento referente aos últimos 2 anos).

Sistema: **Dip Coating**

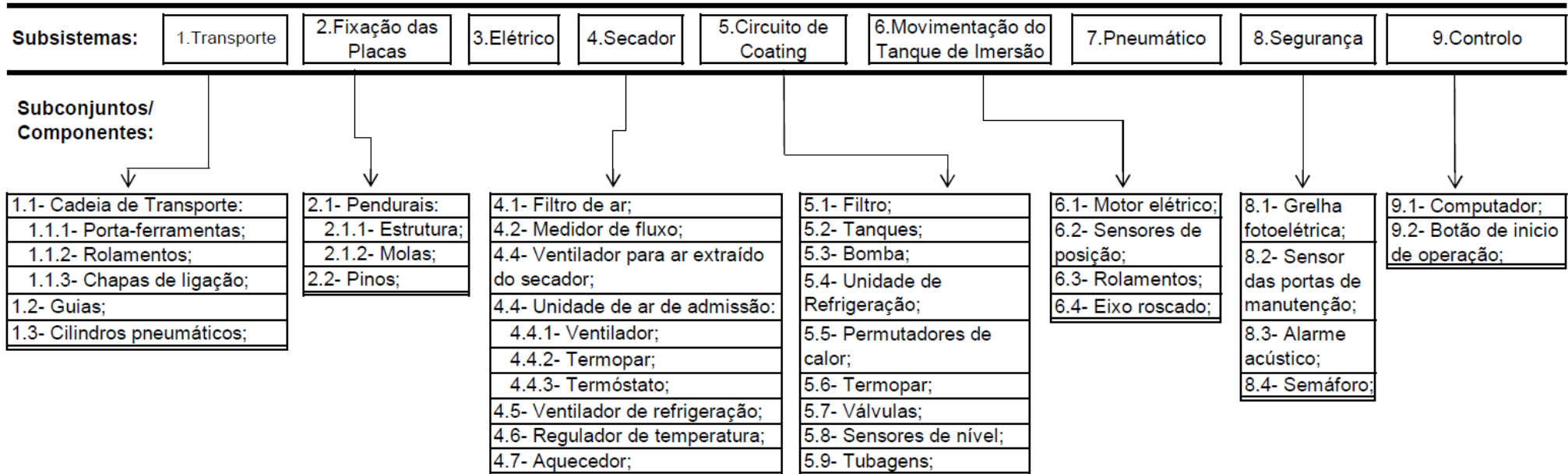


Figura 22 - FMECA da máquina de *Dip Coating*

Descrição da Unidade			Descrição da Falha			Estado Atual							
Subsistema	Instrumento	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	Potencial Causa da Falha	Severidade(S)	Ocorrência(O)	Críticidade	Análise de Críticidade - Classificação	Método de Controlo Atuais	Detetabilidade(D)	RPN	RPN - Classificação
Subsistema de transporte	1.1.2 - Rolamentos	Permitir a fácil e suave movimentação da cadeia de transporte	Movimento de rotação do rolamento condicionado	Movimento da cadeia de transporte não uniforme e consequente produção de ruído	Fadiga Mecânica	1	1	1	Baixo	Controlo de condição / Troca do componente se necessário	1	1	Baixo
					Sujidade	1	1	1	Baixo	Inspeção periódica / Limpeza do componente se necessário	1	1	Baixo
					Falta de lubrificação	1	1	1	Baixo	Inspeção periódica / Lubrificação do componente se necessário	1	1	Baixo
	1.3 - Cilindros pneumáticos	Movimentar toda a cadeia de transporte	Perda de pressão do cilindro	Movimentos condicionados	Desgaste	5	1	5	Médio	Inspeção periódica / Troca do componente se necessário	2	10	Baixo
					Rompimento	5	1	5	Médio	Inspeção periódica / Troca do componente se necessário	2	10	Baixo
Subsistema de fixação das placas	2.1.2 - Molas	Garantir a fixação das fichas dos pcs	Perda de força de fixação	Ficha do pcb danificada. Perda de produção	Desajuste	4	4	16	Médio-Alto	Nenhum	5	80	Alto
					Fadiga Mecânica	4	1	4	Médio	Troca do Componente por Manutenção Preventiva	1	4	Baixo
Secador	4.1 - Filtro de ar	Assegurar a passagem de ar sem impurezas	Baixo fluxo de ar	Paragem do equipamento	Sujidade	2	1	2	Baixo	Troca do Componente por Manutenção Preventiva	1	2	Baixo
Circuito de coating	5.1 - Filtro	Assegurar a passagem de fluido sem impurezas	Baixo fluxo de fluido	Paragem do equipamento	Sujidade	2	1	2	Baixo	Troca do Componente por Manutenção Preventiva	1	2	Baixo
	5.2 - Tanques	Armazenamento do fluido em condições passíveis de ser utilizado no processo	Valores de viscosidade fora dos limites admissíveis	Produto defeituoso	Evaporação de solvente	5	5	25	Alto	Medição diária da viscosidade	3	75	Alto
			Nível de fluido abaixo do limite	Paragem do equipamento	Consumo de fluido pela produção / Evaporação de solvente	1	1	1	Baixo	Inspeções periódicas	1	1	Baixo
			Fluido com propriedades alteradas	Produto defeituoso	Desencadeamento de reações de polimerização	2	1	2	Baixo	Inspeções periódicas quanto à cor, alterações de viscosidade e presença de coágulos no fluido	1	2	Baixo
	5.4- Unidade de Refrigeração	Manter o fluido dentro dos intervalos de temperaturas admissíveis	Temperatura do fluido fora dos limites	Paragem do equipamento	Falha da unidade de refrigeração	3	1	3	Médio	Nenhum	5	15	Médio
5.9 - Tubagens	Responsável pelo escoamento de fluido entre tanques	Baixo fluxo de fluido, conduzindo ao enchimento do tanque superior	Paragem do equipamento	Sujidade	2	1	2	Baixo	Troca do Componente por Manutenção Preventiva	1	2	Baixo	
				Tubo mal acomodado	1	2	2	Baixo	Nenhum	5	10	Baixo	

Figura 23 - FMECA da máquina de Dip Coating (continuação)

Descrição da Unidade			Descrição da Falha			Estado Atual							
Subsistema	Instrumento	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	Potencial Causa da Falha	Severidade(S)	Ocorrência(O)	Criticidade	Análise de Criticidade - Classificação	Método de Controlo Atuais	Detetabilidade(D)	RPN	RPN - Classificação
Subsistema de movimentação do tanque de imersão	6.2 - Sensores de posição	Determinar a posição do tanque de imersão	Perda de função	Paragem do equipamento	Falha do sensor	2	1	2	Baixo	Nenhum	5	10	Baixo
					Mau contacto	2	1	2	Baixo	Nenhum	5	10	Baixo
	6.3 - Rolamentos	Facilitar a rotação do eixo roscado	Movimento de rotação do rolamento condicionado	Movimento de rotação do eixo não uniforme / Aumento do consumo de energia do motor	Fadiga Mecânica	1	1	1	Baixo	Controlo de condição / Troca do componente se necessário	1	1	Baixo
					Sujidade	1	1	1	Baixo	Inspeção periódica / Limpeza do componente se necessário	1	1	Baixo
					Falta de lubrificação	1	1	1	Baixo	Inspeção periódica / Lubrificação do componente se necessário	1	1	Baixo
	6.4 - Eixo roscado	Conversão do movimento de rotação do motor em movimento axial do tanque de imersão	Movimento axial não uniforme	Introdução de vibrações adicionais no movimento do tanque de imersão	Falta de lubrificação	1	1	1	Baixo	Inspeção periódica / Lubrificação do componente se necessário	1	1	Baixo
Sujidade					1	1	1	Baixo	Inspeção periódica / Limpeza do componente se necessário	1	1	Baixo	
Subsistema de segurança	8.1 - Grelha fotoelétrica	Sensor de segurança que desativa o equipamento quando acionado	Perda de função	Paragem do equipamento	Desalinhamento	1	1	1	Baixo	Inspeção periódica	2	2	Baixo
					Mau contacto	1	2	2	Baixo	Inspeção periódica	2	4	Baixo
					Falha do sensor	2	1	2	Baixo	Inspeção periódica	2	4	Baixo
	8.2 - Sensor das portas de manutenção	Impedir o funcionamento do equipamento quando abertas as portas de manutenção	Perda de função	Paragem do equipamento	Mau contacto	1	3	3	Baixo	Nenhum	5	15	Médio
					Falha do sensor	2	1	2	Baixo	Nenhum	5	10	Baixo
	8.3 - Alarme acústico	Sinalizar acusticamente a falha do equipamento	Perda de função	Ausência de sinais sonoros	Componente danificado	1	1	1	Baixo	Testes periódicos	3	3	Baixo
8.4 - Semáforo	Sinalizar a condição do equipamento	Perda de função	Ausência de sinais luminosos	Lâmpadas fundidas	1	1	1	Baixo	Testes periódicos	3	3	Baixo	

Figura 24 - FMECA da máquina de *Dip Coating* (continuação)

4.2.3. Análise de resultados

Por fim, e após calculado o grau de risco de cada instrumento, são analisados os resultados obtidos. Neste seguimento, procedeu-se ao escalonamento dos riscos considerados, de modo a identificar os elementos mais críticos e cuja análise é prioritária. Na tabela 10, é apresentada esta listagem, encontrando-se estes ordenados em função do seu valor de criticidade, resultante do produto da frequência pela severidade. Relativamente aos instrumentos classificados como de baixo risco, estes não foram englobados nesta lista dado o seu impacto no sistema poder ser desprezado.

Tabela 10 - Componentes com grau de criticidade entre médio e alto

Subsistema	Instrumento	Potencial Modo de Falha	Potencial Causa da Falha	Criticidade	Análise de Criticidade - Classificação
Circuito de <i>coating</i>	5.2 - Tanques	Valores de viscosidade fora dos limites admissíveis	Evaporação de solvente	25	Alto
Subsistema de fixação das placas	2.1.2 - Molas	Perda de força de fixação	Desajuste	16	Médio-Alto
Subsistema de transporte	1.3 - Cilindros pneumáticos	Perda de pressão do cilindro	Desgaste	5	Médio
		Perda de pressão do cilindro	Rompimento	5	Médio
Subsistema de fixação das placas	2.1.2 - Molas	Perda de força de fixação	Fadiga Mecânica	4	Médio
Circuito de <i>coating</i>	5.4- Unidade de Refrigeração	Temperatura do fluido fora dos limites	Falha da unidade de refrigeração	3	Médio

Do mesmo modo, é na tabela 11 apresentada a listagem dos instrumentos de maior criticidade, sendo desta vez utilizado o critério RPN. Assim, é nesta tabela considerado o fator

detetabilidade, verificando-se que algumas falhas que não eram críticas passam agora a requerer maior atenção devido à sua dificuldade de deteção. No entanto, verifica-se também que alguns dos componentes intitulados como críticos têm agora o seu risco reduzido, dadas as medidas de controlo utilizadas permitirem a sua fácil deteção.

Tabela 11 - Componentes com valor de RPN classificado entre médio e alto

Subsistema	Instrumento	Potencial Modo de Falha	Potencial Causa da Falha	RPN	RPN - Classificação
Subsistema de fixação das placas	2.1.2 - Molas	Perda de força de fixação	Desajuste	80	Alto
Circuito de <i>coating</i>	5.2 - Tanques	Valores de viscosidade fora dos limites admissíveis	Evaporação de solvente	75	Alto
Circuito de <i>coating</i>	5.4- Unidade de Refrigeração	Temperatura do fluido fora dos limites	Falha da unidade de refrigeração	15	Médio
Subsistema de segurança	8.2 - Sensor das portas de manutenção	Perda de função	Mau contacto	15	Médio

Posto isto, conclui-se que é necessário intervir nos componentes assinalados, de modo a reduzir o risco que cada um dos modos de falha representa para o sistema. Como tal, é em seguida introduzido e aplicado o conceito das árvores de decisão, de modo a auxiliar o grupo nesta tarefa.

4.3. Árvore de análise lógica

Com a aplicação da FMECA, foi possível priorizar as ações de manutenção que foram necessário implementar de modo a reduzir o risco de cada um dos modos de falha considerados. Contudo, nenhuma informação relativa às ações de prevenção e deteção mais adequadas é fornecida com esta ferramenta. Como tal, e de forma a contornar este problema, foi nesta fase utilizada uma árvore de análise lógica com o objetivo de definir as estratégias de manutenção mais apropriadas.

Neste âmbito, é em seguida apresentada a metodologia utilizada, seguindo-se os documentos relativos à sua aplicação no equipamento em estudo.

4.3.1. Metodologia

Nesta técnica, são avaliados à luz de um diagrama de decisão todos os modos de falha anteriormente classificados como de elevada criticidade. Com isto, consegue-se através de um método simples e estruturado orientar o utilizador para a estratégia de manutenção mais adequada. No caso deste trabalho, encontra-se na figura 25 representado o diagrama utilizado.

Procedendo à utilização da árvore de decisão considerada, começa-se por inserir cada um dos modos de falha anteriormente classificados como críticos no seu topo, onde se coloca a primeira pergunta: “A perda de função causada por este modo de falha é evidente para o operador em condições normais?”. Posto isto, e no caso de uma resposta negativa, é seguida a ramificação correspondente ao tipo de avarias escondidas. Caso contrário, o modo de falha é avaliado do ponto de vista de segurança, do ambiente e das suas características operacionais seguindo assim o percurso correspondente.

Na ramificação referente às falhas com consequências não visíveis, é primeiramente avaliada a possibilidade de implementação de tarefas de manutenção do tipo proactivo (segundo condição, de restauração ou de substituição). Neste passo, é analisada a sua viabilidade, devendo-se proceder à sua implementação se reduzido o risco de ocorrência de múltiplas falhas associadas a essa função até um nível de risco definido como aceitável. Caso contrário, deve-se continuar com a análise do diagrama de decisão e avaliar a possibilidade de programar uma tarefa de procura da falha. Posto isto, e nos casos onde nenhuma tarefa de procura de falha se ajuste, poderá ser necessário proceder ao redesign do componente em função das consequências em causa.

No caso das falhas com consequências a nível de segurança ou ambiente, a implementação de tarefas de manutenção proactivas é neste caso apenas praticável quando reduzido o seu risco até um nível de criticidade muito baixo. Na sua impossibilidade, será obrigatório proceder ao redesign do componente ou à alteração do processo.

No terceiro caso, referente às falhas do tipo operacional, recomenda-se a implementação de tarefas de manutenção do tipo proactivas se o seu custo for inferior à soma do custo das consequências operacionais com o custo de reparação do componente. Se estas tarefas não se justificarem, nenhum tipo de manutenção deverá ser implementado.

Por último, seguem-se ainda as falhas com consequências de carácter não operacional, nas quais devem ser aplicadas tarefas de manutenção do tipo proactivas se o seu custo for inferior

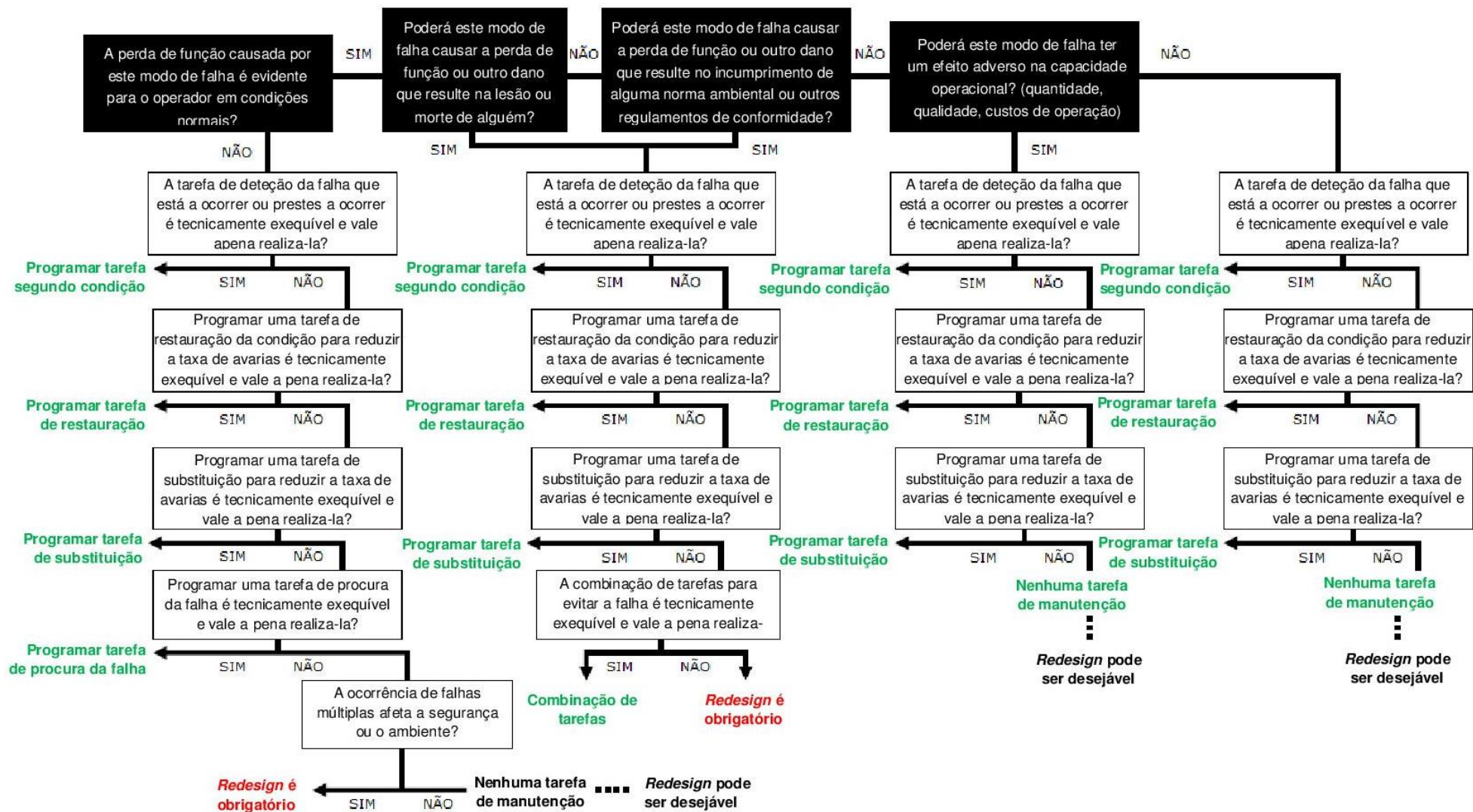


Figura 25 - Manutenção centrada na fiabilidade: Árvore de decisão [17]

ao de reparação do componente. Caso tal condição não se verifique, não é para este tipo de falha atribuída nenhum tipo de manutenção.

Concluída esta análise, procede-se à documentação dos resultados obtidos, encontrando-se na figura 26 apresentado o formulário utilizado.

Referência				Árvore de Decisão Lógica									Tarefa	Frequência	Responsável	
Subsistema	Instrumento	Potencial Modo de Falha	Potencial Causa da Falha	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5				S4

Figura 26 - Estrutura do formulário utilizado na análise da árvore de decisão

Neste formulário, são primeiramente definidos os elementos sob os quais irá incidir a aplicação desta ferramenta, sendo assim apresentado o subsistema, o instrumento, o modo de falha e as respetivas causas de cada um dos itens em análise. Em seguida, é nas colunas H,S, E e O selecionado o tipo de falha em estudo de acordo com as suas consequências, isto é:

- **Coluna H:** falhas não evidentes para o operador;
- **Coluna S:** falhas com repercussões ao nível da segurança;
- **Coluna E:** falhas com consequências ambientais;
- **Coluna O:** falhas com consequências operacionais;

Nas colunas seguintes H1,H2,H3,S1 etc. e H4,H5 e S4 procede-se ao registo do tipo de tarefa escolhida, sendo estas referentes a tarefas de manutenção proactivas e reativas, respetivamente. Por fim, são nas três últimas colunas definidas as tarefas de manutenção escolhidas, sendo apresentada a sua descrição, frequência, bem como o responsável pela sua execução.

De notar, que na coluna relativa à frequência das tarefas manutenção selecionadas, dever-se-á determinar o intervalo de atuação com base nas seguintes considerações:

- **Ações baseadas na condição:** intervalo definido com base nos diagramas P-F quando conhecido;
- **Ações de restauração e substituição:** intervalo definido em função da vida útil do elemento;
- **Ações de procura da falha:** intervalo determinado em função das consequências das falhas múltiplas, as quais ditam a eficiência necessária e o tempo médio entre falhas da falha oculta.

4.3.2. Aplicação

Posto isto, aplicou-se a metodologia anteriormente enunciada ao equipamento em estudo, encontrando-se na tabela 12 documentada a sua aplicação.

Tabela 12 - Tarefas de manutenção recomendadas

Referência				Árvore de Decisão Lógica										Tarefa	Frequência	Responsável	
Subsistema	Instrumento	Potencial Modo de Falha	Potencial Causa da Falha	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4				
Circuito de coating	5.2 - Tanques	Valores de viscosidade fora dos limites admissíveis	Evaporação de solvente	X				H1							Programar tarefa de medição dos valores de viscosidade do fluido, procedendo ao respetivo ajuste quando necessário	Diária	Equipa de manutenção
Subsistema de fixação das placas	2.1.2 - Molas	Perda de força de fixação	Desajuste				X		O2						Recomenda-se o redesign do elemento	-	Equipa de manutenção
Subsistema de transporte	1.3 - Cilindros pneumáticos	Perda de pressão do cilindro	Desgaste												Inspeção periódica do elemento e respetiva substituição se necessário (providenciar a aquisição de sobressalentes)	Anual	Equipa de manutenção
		Perda de pressão do cilindro	Rompimento				X	O1									Equipa de manutenção
Subsistema de fixação das placas	2.1.2 - Molas	Perda de força de fixação	Fadiga Mecânica				X			O3					Substituição periódica do componente	Semestral	Equipa de manutenção
Circuito de coating	5.4- Unidade de Refrigeração	Temperatura do fluido fora dos limites	Falha da unidade				X								Nenhuma tarefa de manutenção	-	-
Subsistema de segurança	8.2 - Sensor das portas de manutenção	Perda de função	Mau contacto				X								Nenhuma tarefa de manutenção	-	-

4.3.3. Análise de resultados

Concluída a aplicação da árvore de decisão, procedeu-se à análise dos resultados obtidos. Neste seguimento, e para o modo de falha referente a valores incorretos de viscosidade, concluiu-se que a estratégia de manutenção mais adequada é a programação de uma tarefa segundo condição tal como especificado no atual plano de manutenções. Assim, e para o sucesso desta estratégia, será imperial incutir na equipa de manutenção um maior sentido de comprometimento com aquilo que são os procedimentos existentes, de modo a diminuir a elevada frequência atualmente registada.

No caso das molas do subsistema de fixação das placas, será necessário o seu redesign de modo a diminuir as falhas devido a desajuste. Por sua vez, dever-se-á ainda para este componente proceder à criação de uma manutenção semestral de substituição, com o intuito de reduzir o risco associado à sua fadiga mecânica.

Para o caso dos cilindros pneumáticos também classificados como de elevado risco, concluiu-se que a tarefa atualmente implementada de verificação periódica da sua condição é suficiente. Contudo, é recomendada a aquisição de peças sobressalentes de modo a diminuir a elevada severidade atualmente registada.

No modo de falha referente à perda de função do sensor das portas de manutenção devido a mau contacto, concluiu-se que nenhuma tarefa de manutenção é necessária. Contudo, é para este caso sugerido o alerta do operador para a necessidade de um correto batimento das portas de manutenção (após as medições diárias executadas), de modo a evitar o grande número de avarias existentes fruto do mau contacto do sensor.

Por fim, surge ainda a unidade de refrigeração para a qual se determinou que também nenhum tipo de manutenção será necessária, sendo neste caso assumido o risco da sua potencial falha. Na base desta decisão encontram-se, para além da inadequação das tarefas de manutenção consideradas, a baixa frequência deste modo de falha e a possibilidade de funcionamento do equipamento sem este módulo. De notar, que nestas condições o tempo vida do fluido é reduzido de forma significativa.

4.4. Definição das medidas a implementar

Ao longo do presente capítulo foram enunciadas as mais-valias da implementação da metodologia RCM, tendo a sua aplicação permitido: (i) identificar e avaliar os vários modos de falha do equipamento; (ii) definir as estratégias de manutenção mais adequadas; (iii) promover o registo de informações que podem conduzir a melhorias específicas; (iv) aumentar o conhecimento da equipa sobre o equipamento em causa.

Assim, e com base nos resultados obtidos com esta metodologia, foram implementadas as seguintes alterações:

- Criação de *stock* de cilindros pneumáticos;
- Redesign do subsistema de fixação das placas de modo a evitar o desajuste das molas;
- Criação de manutenção para a substituição das molas do subsistema de fixação das placas;

No capítulo 5 são apresentadas as alterações aplicadas ao subsistema de fixação das placas fruto do seu redesign, bem como o documento relativo à criação da manutenção de substituição. Para além disto, e apesar de “não recomendado” por esta metodologia, será também neste trabalho desenvolvida uma sistemática para o ajuste automático da viscosidade do fluido. O seu objetivo é diminuir o número de avarias devido a este modo de falha, reduzir a carga de trabalho da equipa de manutenção e ainda de reduzir a probabilidade de erro humano durante o processo de medição e ajuste.

5. Sistema de ajuste automático de viscosidade

5.1. Definição do problema

No equipamento em estudo, o verniz tem um tempo de vida limitado a partir do qual começam a ocorrer problemas relacionados com a viscosidade e consequentemente com a qualidade do revestimento. Com o aumento deste parâmetro, verifica-se uma maior deposição de *coating* nas placas o que conduz ao progressivo aumento da espessura do revestimento podendo para estes valores o processo de cura ser ineficiente. Para contrariar as flutuações do valor da viscosidade do verniz e assim assegurar a qualidade do revestimento, é diariamente medido e adicionado determinadas quantidades de solvente – caso se justifique - para manter o valor de viscosidade dentro dos parâmetros. Contudo, este procedimento requer um grande desperdício de tempo, tendo-se por vezes revelado ineficiente fruto da grande incerteza associada às medições, da falta de disciplina da equipa de manutenção, bem como da imprevisibilidade do processo. Como resultado, não se consegue ter um controlo rigoroso da espessura do revestimento podendo, no limite, conduzir à produção de PCB's com espessuras de revestimento fora das especificações.

Posto isto, e para ser assegurada a correta viscosidade do verniz, procedeu-se à automatização deste processo de modo a permitir uma medição contínua e exata da viscosidade, bem como o seu ajuste automático sempre que necessário. A implementação deste sistema irá permitir um melhor controlo da espessura da camada, a redução do tempo de inoperação do equipamento, bem como a redução dos problemas associados a valores errados de viscosidade.

5.2. Procedimento atual

Para medir a viscosidade do fluido recorre-se atualmente ao princípio do “copo de escoamento” sendo este processo efetuado diariamente pela equipa de manutenção como manutenção preventiva e também pelo operador no início de cada turno. Neste método, é contabilizado o tempo de escoamento do fluido através de um copo normalizado, permitindo assim determinar de forma aproximada o valor da viscosidade. O copo utilizado é o SATA 4 com um orifício de 4 *mm* representado na figura 27.



Figura 27 – Copo de medição de viscosidade SATA 4 [18]

O procedimento de medição utilizado encontra-se de acordo com a norma DIN 53211, sendo este em seguida descrito:

1. Colocar o copo de medição numa posição de enchimento;
2. Posicionar o dedo debaixo do orifício de modo a bloquear a passagem de fluido;
3. Proceder ao enchimento completo do copo com o fluido;
4. Colocar uma placa de vidro no topo do copo de modo a transferir o excesso de fluido para o exterior do copo. Remover a placa horizontalmente;
5. Retirar o dedo do orifício enquanto acionado o cronómetro;
6. Parar o cronómetro assim que o escoamento seja interrompido pela primeira vez. O tempo medido representará a viscosidade do fluido em termos de tempo de escoamento;
7. Repetir o processo três vezes e determinar o valor médio;

Terminado este procedimento em ambos os tanques e de acordo com os valores obtidos, é analisada a necessidade de ajuste da viscosidade. Assim, e para o processo de *dip coating*, predefiniu-se que a viscosidade é aceitável para valores entre 17 e 30 segundos. No entanto, procede-se à adição de solvente assim que se registem valores de viscosidade superiores a 27 segundos, sendo a quantidade de solvente necessária determinada em função do valor da viscosidade e temperatura de acordo com o gráfico do fornecedor representado na figura 28.

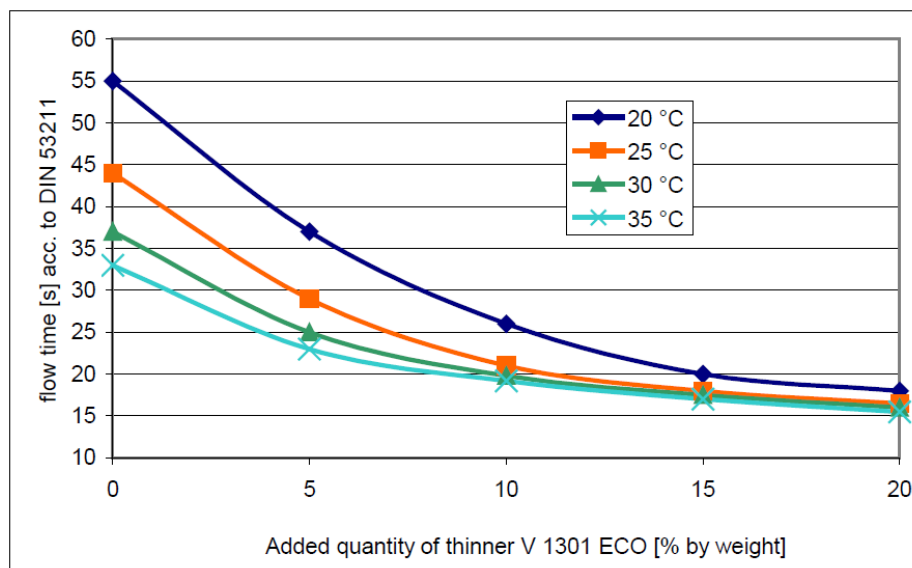


Figura 28 – Relação entre solvente e viscosidade [6]

De notar, que a adição de solvente deve ser feita de forma suave de modo a não gerar bolhas nem salpicos, devendo este ser misturado com o verniz até se obter uma mistura homogênea. Concluído este passo, é necessário reavaliar se os novos valores de viscosidade são aceitáveis, devendo-se para tal repetir todo o procedimento.

5.3. Viscosidade

5.3.1. Definição

A viscosidade define-se como sendo uma propriedade dos fluidos que caracteriza a sua resistência ao escoamento. Assim, quanto maior a viscosidade, maior a dificuldade de movimentação do fluido. Como exemplo, é apresentada na figura 29 uma comparação entre o mel e a água, sendo o primeiro um fluido de elevada viscosidade que possui uma elevada resistência ao movimento, ao contrário da água, na qual a viscosidade é muito inferior, o que torna a sua fluidez elevada.

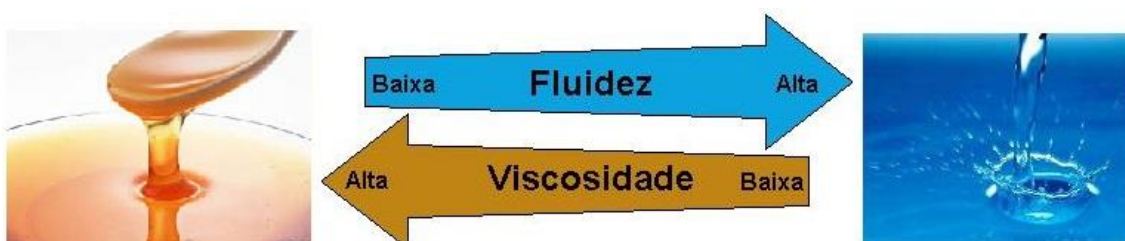


Figura 29 – Diferença de viscosidade entre o mel e a água [19]

Do ponto de vista teórico, e no caso dos líquidos, as forças de atração entre moléculas não são suficientes para manter a sua rigidez. Como tal, quando sob a ação de uma força, as várias camadas do fluido irão sofrer tensões de corte entre si que resultará no seu escoamento. Assim, pode-se então definir viscosidade como sendo a resistência de um fluido à aplicação de tensões de corte, sendo que quando maior a força de atração entre moléculas, maior o valor da viscosidade e da sua resistência ao escoamento. Em seguida, é apresentada a lei de Newton que relaciona a tensão de corte e a taxa de deformação de um fluido, sendo esta dada por:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

Nesta equação, a variável μ representa um fator de proporcionalidade denominado de viscosidade absoluta ou dinâmica, sendo τ a tensão de corte e $\frac{du}{dy}$ a taxa de deformação. No caso de fluidos denominados como fluidos newtonianos, o valor de μ é constante, variando tensão linearmente com o gradiente de velocidade. Em fluidos ditos não-newtonianos esta apresenta por sua vez um comportamento variável, não existindo assim uma relação de proporcionalidade. Na figura 30, é para vários tipos de fluidos apresentada a relação entre a tensão de corte e a taxa de deformação.

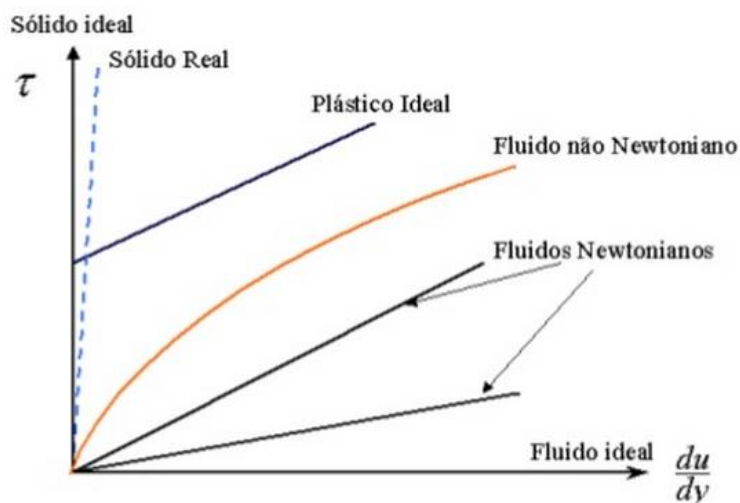


Figura 30 – Tensão de corte em função da taxa de deformação do fluido [19]

Posto isto, define-se viscosidade dinâmica μ como sendo a força de corte, por unidade de área, necessária para arrastar uma camada de fluido com velocidade unitária uma unidade de distância. Isto é:

$$\mu = \tau / \frac{du}{dy} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} / \frac{\text{Velocidade}}{\text{Distância}}$$

Por sua vez, e para o caso da viscosidade cinemática ν , esta é definida como sendo o rácio entre a viscosidade dinâmica e a massa específica, isto é:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

De salientar, que este tipo de viscosidade é a mais utilizada, sendo a sua unidade SI o $[m^2/s]$, utilizando-se, no entanto, muitas vezes como unidade o Stoke [St]. No caso do equipamento em estudo, utiliza-se o copo de medição SATA 4 para medição da viscosidade cinemática, sendo neste caso a unidade de medição o s .

5.3.2. Fatores que influenciam a viscosidade

Os principais fatores associados à variação da viscosidade do *coating* são três, nomeadamente: a temperatura, a taxa de evaporação de solvente e a velocidade de desencadeamento de reações de polimerização.

No primeiro caso, referente à influência da temperatura, verifica-se a diminuição dos valores de viscosidade com o seu aumento, sendo este fenómeno característico dos fluidos no estado líquido fruto do enfraquecimento das suas forças intermoleculares com o aumento da temperatura. Com isto, denota-se a grande importância de manter o valor de temperatura controlado, possuindo cada um dos tanques para este efeito um sistema de refrigeração que minimiza a variação da temperatura e consequente alteração de viscosidade [1].

Para o segundo fator, referente à evaporação de solvente, este destaca-se como sendo uma das principais causas associadas ao atual aumento de viscosidade registado. Neste caso, ocorre a vaporização do *coating* líquido da superfície do tanque, transformando-se este na sua fase gasosa até à saturação da atmosfera envolvente. Para tal, as moléculas deverão estar perto da superfície do líquido, movimentando-se numa direção própria, e com energia cinética suficiente para ultrapassar as forças intermoleculares do estado líquido. Com isto, assiste-se ao progressivo aumento da viscosidade do fluido sendo este mais acentuado quanto maior a taxa de evaporação. De notar, que a taxa de evaporação se encontra diretamente relacionada com fatores como a temperatura, pressão atmosférica (percentagem de humidade), movimentação de ar, superfície de evaporação e coeficiente de transferência [1].

Por fim, tem-se ainda a velocidade de desencadeamento de reações de polimerização que se evidencia como um outro fator com grande impacto no aumento da viscosidade do fluido. Neste caso, as moléculas do verniz estabelecem ao longo do tempo ligações poliméricas entre si, resultando assim quer no aumento de viscosidade, quer na perda de algumas das suas propriedades. Deste modo, é necessário proceder periodicamente ao ajuste da viscosidade e ao fim de certo tempo proceder à substituição total do fluido. De salientar, que à semelhança da taxa de evaporação, a velocidade de desencadeamento de reações de polimerização é igualmente influenciada por fatores como a temperatura e percentagem de humidade [1].

Em suma, pode-se apontar como principais responsáveis pelo aumento da viscosidade a taxa de evaporação e o desencadeamento das reações de polimerização que conduzem à inevitável necessidade de uma periódica adição de solvente. Em seguida, é apresentado na figura 31 um esquema representativo das alterações que ocorrem no fluido ao longo do tempo.

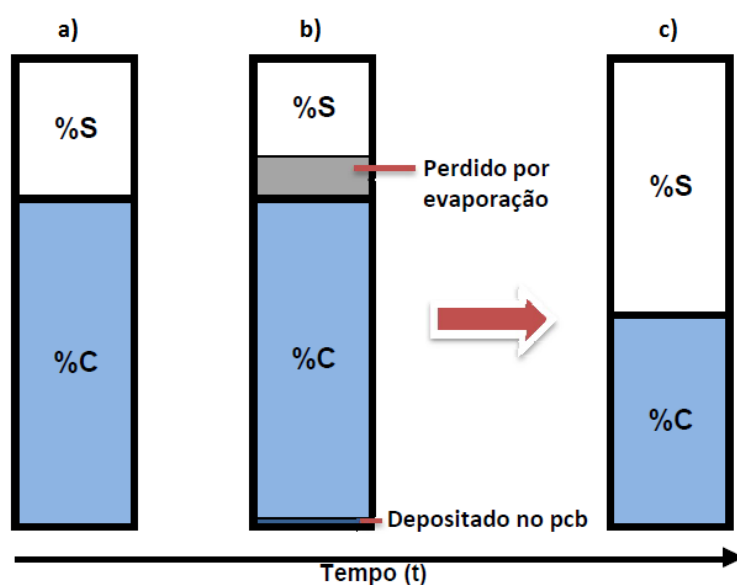


Figura 31 – Fatores que influenciam a viscosidade do *coating*

Inicialmente, o fluido do equipamento é composto por uma determinada percentagem de *coating* (%C) e de solvente (%S) (figura 31 – a). Contudo, assiste-se com o decorrer do tempo à perda de solvente por evaporação, bem como à perda de uma pequena porção de *coating* para os PCB's (figura 31 - b). Como tal, e dado o volume de solvente ser significativamente superior ao de *coating*, acontece assim o aumento da viscosidade do fluido.

Posto isto, e apesar do constante restabelecimento do solvente evaporado, verifica-se com o passar do tempo (aproximadamente 1 mês após o abastecimento de *coating*) o desencadeamento das reações de polimerização que conduzem ao progressivo aumento da viscosidade do *coating* e da quantidade de solvente adicionada. Como tal, é a longo prazo aumentada a quantidade de solvente (figura 31 - c), resultando assim um fluido pobre em *coating*, com uma maior taxa de evaporação e com a sua capacidade de aderência aos PCB's reduzida. Nesta fase, torna-se insustentável o processo de ajuste de viscosidade, sendo também comprometida a qualidade do produto, devendo-se então proceder à substituição total do fluido do equipamento.

5.3.3. Impacto nos PCB's

A variação do valor de viscosidade do fluido influencia diretamente a espessura da camada de *coating* depositada, sendo esta mais espessa quanto maior o seu valor. Deste modo, obter um revestimento reproduzível e com os mais elevados padrões de qualidade é apenas possível com o controlo deste parâmetro [6].

Neste seguimento, e no caso do equipamento em estudo, é assegurada a qualidade do produto para uma gama de viscosidade entre 17 e 30 segundos (SATA 4). Ultrapassado este valor, obtém-se um revestimento com uma espessura muito elevada para a qual o processo de cura será lento com a necessária evaporação de solvente e absorção de oxigénio a ser comprometida. Assim, resultará um revestimento curado exteriormente mas com a camada mais próxima do PCB ainda num estado pastoso, podendo daqui resultar inclusões de solvente que poderão comprometer a adesão do revestimento, bem como o isolamento elétrico da placa. De salientar que para valores elevados de viscosidade, e no caso do *dip coating*, é diminuída a capacidade do fluido penetrar debaixo dos componentes, podendo daqui resultar alguns problemas como por exemplo a inclusão de ar fruto da sua baixa velocidade de escoamento.

No caso de valores de viscosidade inferiores a 17 segundos, obtém-se uma espessura da camada mais baixa do que recomendado, podendo também daqui advir problemas relacionados com a qualidade do revestimento, nomeadamente com o seu efeito protetor [6].

5.3.4. Variações de viscosidade

Para melhor entender o comportamento da viscosidade no equipamento em estudo, e poder no final deste trabalho salientar as melhorias obtidas (após a implementação do sistema de

ajuste automático de viscosidade), procedeu-se à medição e registo diários da viscosidade do fluido entre os dias 16 de Abril e 29 de Maio (17 dias após a renovação total do *coating* do equipamento). Na figura 32 são apresentados os dados recolhidos, podendo-se observar os valores de viscosidade no tanque superior e inferior, a quantidade de solvente adicionada, bem como os períodos de paragem do equipamento.

Em seguida, são apresentadas algumas das ilações retiradas deste estudo, nomeadamente:

- Em média é adicionada uma quantidade de solvente de 14.8 l /semana (tendo em conta o período mais crítico);
- A viscosidade é mais elevada no tanque superior;
- Valor médio de viscosidade de 27s para o tanque superior e de 24s para o tanque inferior;
- Com o envelhecimento do *coating* verificam-se variações de viscosidade mais acentuadas;
- Aquando a paragem do equipamento ocorrem os maiores picos de viscosidade, sendo aqui o processo de reajuste e homogeneização da mistura mais demorado;
- Valores de viscosidade acima do recomendado em muitas situações - ineficiência do procedimento atual.

5.4. Requisitos do sistema

O objetivo deste subcapítulo é o desenvolvimento de um sistema totalmente integrado capaz da monitorização e ajuste contínuo da viscosidade do verniz. O sistema deverá operar de forma totalmente autónoma, devendo apenas alertar o operador quando o valor de viscosidade ultrapasse os limites críticos preestabelecidos. Por outro lado, pretende-se que este seja de fácil limpeza e com pouca manutenção.

Com isto, será possível obter um processo mais controlado, eliminando os erros associados ao processo de medição e ajuste manual. Por outro lado, irá permitir ao operador focar-se apenas no processo ao mesmo tempo que proporciona um maior conhecimento sobre a variação da viscosidade ao longo do tempo.

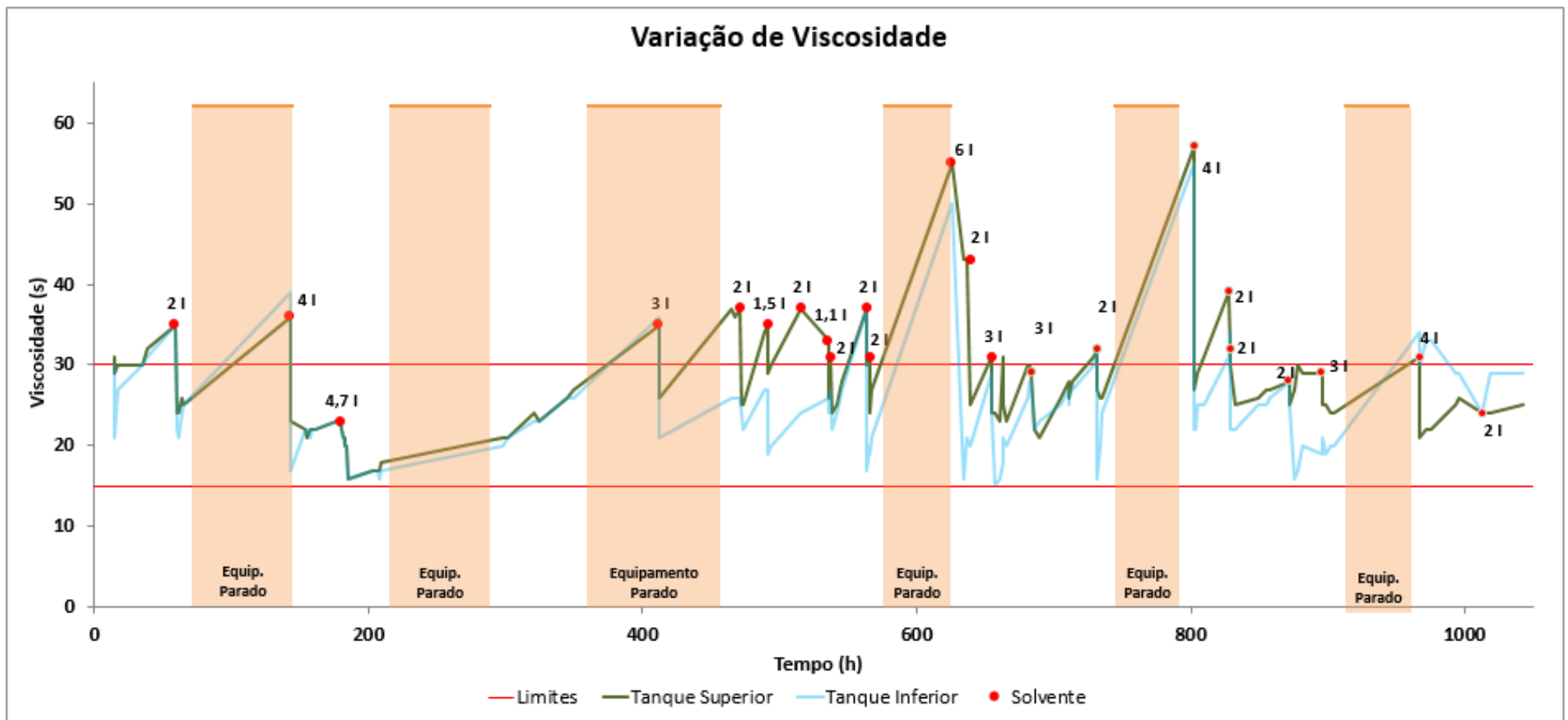


Figura 32 – Variação de viscosidade na máquina de *dip coating*

5.5. Circuito de *coating*

Na figura 33 é apresentado o circuito de *coating* do equipamento em estudo, sendo este constituído por dois tanques, dois permutadores de calor (não representados na figura), um filtro e uma bomba de circulação.

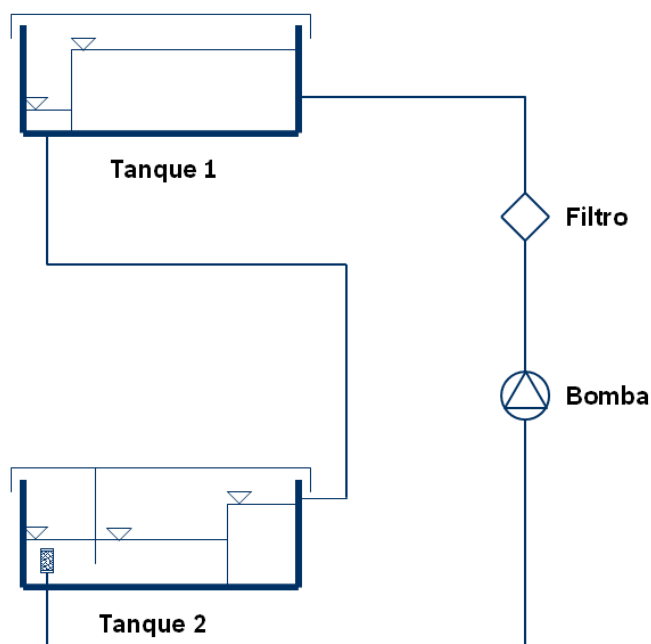


Figura 33 – Circuito de *coating*

Neste circuito, o *coating* é bombiado entre os tanques 2 e 1, passando entre estes por um filtro de modo a remover possíveis sujidades existentes. No tanque 1, onde ocorre a imersão das placas de circuito impresso, existem dois compartimentos desniveados de modo a assegurar uma altura de mergulho constante, sendo um o compartimento de imersão e o outro de retorno. Assim, o excesso de fluido existente no compartimento de mergulho transborda para o segundo compartimento, retornando este ao tanque inferior por efeito da gravidade.

Posto isto, é no tanque inferior armazenado o fluido proveniente do tanque 1, sendo este submetido a um processo de separação de partículas por densidade. Isto é, as partículas mais densas são no primeiro compartimento depositadas e armazenadas, permanecendo as menos densas à superfície do fluido no compartimento seguinte. Assim, procede-se no terceiro compartimento à recirculação de *coating* livre de sujidades, existindo para este efeito um micro filtro que irá permitir uma última filtração do *coating*, bem como a recirculação de um fluido mais homogêneo dada a admissão realizar-se ao longo de todo o tanque (em altura).

5.6. Princípio de funcionamento

Apresentado o circuito de *coating*, foi definido o princípio de funcionamento do sistema para o ajuste automático de viscosidade, tratando-se este de um sistema aberto capaz de trocar informação com o seu utilizador. Como tal, este deverá ser capaz de processar/monitorizar entradas e transforma-las em saídas (*outputs*). Na figura 34, encontra-se esquematizado o princípio básico de funcionamento do sistema em estudo.

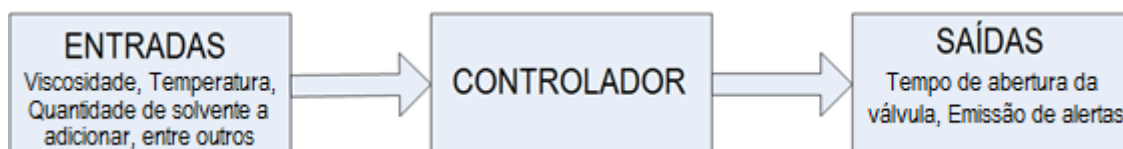


Figura 34 - Princípio de funcionamento genérico

Deste modo, e de forma semelhante aos sistemas existentes no mercado, um sistema para o ajuste automático de viscosidade deverá incluir:

- Viscosímetro – Sensor utilizado para a medição da viscosidade dos fluidos;
- Reservatório – Responsável pelo armazenamento de solvente nas condições recomendadas;
- Válvula – Elemento capaz de dosear o fornecimento de solvente ao circuito de *coating*;
- Controlador – Dispositivo responsável pelo controlo do processo;
- Interface Homem-Máquina – Interface entre o sistema e o utilizador para a apresentação do valor de viscosidade, definição de parâmetros, visualização de alertas, entre outros.

Na figura 35, é apresentada a relação entre os vários elementos acima mencionados, sendo assim evidenciado através de um diagrama de blocos o princípio de funcionamento do sistema em desenvolvimento.

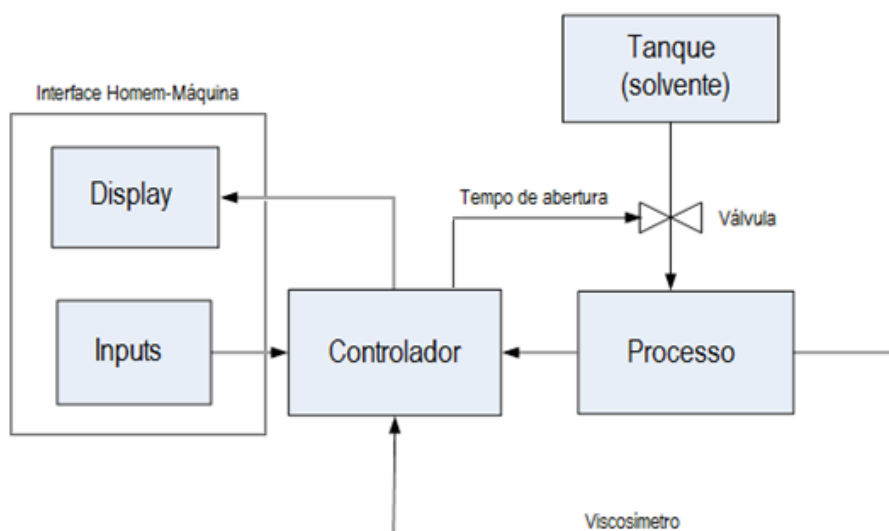


Figura 35 – Princípio de funcionamento do sistema de ajuste de viscosidade

Nesta abordagem, assegura-se o ajuste da viscosidade do fluido através do controlo da quantidade de solvente adicionada ao circuito. Para tal, encontra-se acoplado ao reservatório pressurizado de solvente uma electroválvula que irá dosear a quantidade adicionada de forma proporcional ao tempo de abertura determinado pelo controlador. Neste processo, o controlador irá receber informações de viscosidade através do viscosímetro instalado no circuito, procedendo este à abertura da válvula em função dos *inputs* definidos pelo utilizador.

Relativamente à interface com o operador, o sistema irá possuir um display que irá permitir a apresentação dos valores de viscosidade proveniente do sensor, bem como alertas e outras informações relevantes.

5.7. Integração do sistema de ajuste de viscosidade no circuito de *coating*

Após a definição do sistema de ajuste de viscosidade, procedeu-se à sua integração no circuito de *coating* do equipamento. Neste processo, surgem duas questões fundamentais, nomeadamente: Qual o local ideal para a instalação do sensor de viscosidade? Onde se deverá proceder à adição de solvente?

Para a primeira questão, determinou-se que o processo de medição de viscosidade deveria ser feito no tanque superior o mais próximo possível das placas de circuito impresso. Na base desta decisão, encontra-se o facto de neste tanque verificar-se uma maior flutuação do valor da viscosidade e onde o processo de medição é mais importante dado tratar-se da zona de deposição do revestimento.

Relativamente à segunda questão, definiu-se como local ideal o terceiro compartimento do tanque inferior, dado tratar-se do compartimento a partir do qual o fluido é bombeado para o tanque superior. Assim, é possível assegurar um rápido ajuste da viscosidade na zona de deposição do revestimento, sendo ao mesmo tempo assegurada a homogeneidade da mistura com a passagem na bomba e com a utilização de um micro filtro que permite a admissão de fluido de forma deslocalizada (ao longo de todo compartimento).

Na figura 36 é apresentado o sistema de ajuste automático de viscosidade integrado no circuito de *coating* do equipamento em estudo.

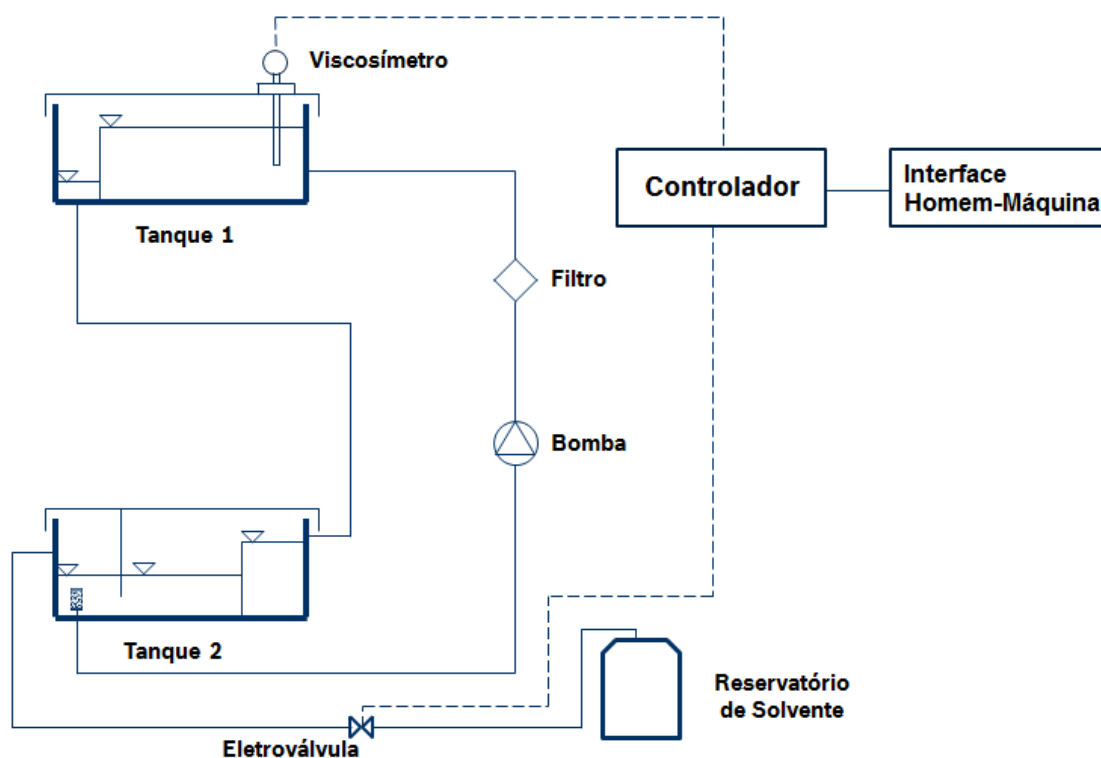


Figura 36 – Circuito de *coating* após integração de sistema de ajuste automático de viscosidade

Nos próximos subcapítulos, são definidos e apresentados todos os elementos do sistema, seguindo-se a sua implementação no circuito.

5.8. Viscosímetro

5.8.1. Determinação de gama de viscosidade

Primeiramente, antes de proceder à seleção do viscosímetro, é necessário converter o intervalo de valores de variação da viscosidade em termos de tempo de escoamento para unidades universais. Assim, e para o copo de escoamento SATA 4, tem-se:

$$v = 4,57 \times t - \frac{452}{t}$$

Onde v representa a viscosidade cinemática do fluido em cSt e t o tempo de escoamento em segundos. Assim, e podendo variar os valores de viscosidade entre 15 e 60 segundos (segundo o histórico do equipamento), tem-se:

$$15s \rightarrow v = 4,57 \times 15 - \frac{452}{15} \simeq 38,42 \text{ cSt}$$

$$60s \rightarrow v = 4,57 \times 60 - \frac{452}{60} \simeq 266,67 \text{ cSt}$$

Para converter estes valores em termos de viscosidade dinâmica utiliza-se a seguinte expressão:

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

Onde v representa a viscosidade cinemática do fluido em cSt, μ a viscosidade dinâmica em cP e ρ a densidade do fluido em g/cm^3 . Assim, e sendo a densidade do verniz de $0,86 \text{ g/cm}^3$ a 23°C , obtiveram-se os seguintes valores de viscosidade dinâmica:

$$15s \rightarrow \mu = v \times \rho = 38,42 \times 0,86 \simeq 33,04 \text{ cP}$$

$$60s \rightarrow \mu = v \times \rho = 266,67 \times 0,86 \simeq 229,34 \text{ cP}$$

Posto isto, e em termos de viscosidade dinâmica, o viscosímetro deverá permitir a leitura de valores de viscosidade entre os 33 e os 230 cP.

5.8.2. Métodos de medição de viscosidade em processos

Em ambiente industrial existem várias soluções para a medição da viscosidade do processo conseguindo-se atualmente obter valores com elevada exatidão e repetibilidade. O seu princípio de funcionamento é muito semelhante aos viscosímetros utilizados em laboratório, podendo ser do tipo vibratório, rotacional, capilar, entre outros. Contudo, estes possuem uma maior versatilidade que permite a sua implementação em ambiente industrial quer em tanques quer em canalizações. Em seguida, é apresentado na tabela 13 um resumo deste tipo viscosímetros, bem como das suas características.

Tabela 13 – Características de viscosímetros de processo [20]

Features Type of Design		Provides Continuous Signal	In-line Device	Laboratory Device	Local Readout	Remote Readout Trans.	Temp. Compensation	Fluids		Maximum Design Pressure, PSIG (1 Bar = 14.2 PSIG)	Maximum design Temperature, °F [°C = (°F - 32)/1.8]	Inaccuracy (±%) (1) Based on Full Scale (2) Based on Measurement	Minimum Sample Size or Flow Rate	Applicable Viscosity Ranges in Centipoise															
								Gas	Newtonian					Non-Newtonian	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰		
Continuous capillary	Differential pressure	✓	✓	✓	✓	✓		✓		670	900	1-2(1)	1-4 GPH																
	Back pressure	✓	✓	✓	✓	✓		✓		500	210	1.0(1)	1 GPH																
Coriolis	Torsional	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	1,440	302	5.0(2) or ± 0.5 cP	—																
Falling element	Ball or slug		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	300	350	1.0(1)	—																
	Piston		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	500	650	1.0(1)	—																
	Needle		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2000	662	1.0(1)	—																
Float	Single float	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	650	450	4.0(2)	0.75-2 GPM																
	Two-float	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	300	450	2-4(2)	0.25-2.5 GPM																
	Concentric	✓	✓	✓	✓			✓		650	450	2-4(2)	2 GPM																
Oscillating	Blade		✓	✓	✓	✓		✓	✓	375	150	1.0(1)	Up to 6.5 fps (2 m/s)																
	Piston	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	10,000	700	1.0(2)																	
	Torsional	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	5,000	850	2.0(2)																	
Plastometer	Cone and plate			✓	✓	✓			✓	100	400	0.5(1)	25 CC 80 CC 0.6 #/HR	Arbitrary Units Are Used	Mooney %Scale MI & CIL	0-200 Points 0-1,000 Division 0-200 & 0-100													
	Kneader	✓	✓	✓	✓	✓		✓	ATM.	570	570	1.0(1)																	
	Capillary	✓	✓	✓	✓	✓		✓	5,000	570	2.0(1)																		
Rotational	Cone disc sphere	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1,000	650	1.0(1)	—																
	Agitator power	✓	✓		✓	✓		✓	✓	125	200	-5.0(1)																	
	Double cylinder	✓	✓			✓		✓	✓	2465	572	1.0(1)																	
Vibrational	Reed	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	3,000	392	1.0(1)	—																
	Rod	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1,485	500	1.0(1)																	

———— Normal Range. - - - - - With Special Modifications.

Analisando a tabela e de acordo com os requisitos especificados, selecionaram-se os viscosímetros de processo passíveis de serem implementados neste projeto. Assim, foram *à priori* excluídos os viscosímetros do tipo capilar e de fluxo dado apenas poderem ser utilizados em canalizações, não sendo possível a sua implementação em tanques como pretendido. Por outro lado, os viscosímetros do tipo *plastometer* foram também excluídos pois encontram-se limitados a fluidos do tipo não newtoniano que apresentem um comportamento plástico. Assim, remanescem os viscosímetros do tipo oscilatório, rotacional, vibratório e de queda que são em seguida analisados de forma mais detalhada com o intuito de perceber as suas principais vantagens, limitações e aplicações.

5.8.2.1. Rotacional

Os viscosímetros rotacionais permitem um controlo contínuo da viscosidade do processo, podendo ser utilizados para a medição de fluidos newtonianos e não newtonianos quer em tanques quer em linha. Neste processo, a viscosidade é inferida através da determinação do binário necessário para manter uma constante taxa de deformação no fluido, existindo assim uma relação direta de proporcionalidade entre estas duas variáveis.

Do ponto de vista construtivo, estes viscosímetros podem ser de três tipos, nomeadamente: de elemento rotante, de mistura e de duplo cilindro. O tipo de elemento rotante é o mais tradicional e utilizado, baseando-se na medição do binário necessário para girar de forma contínua um determinado objeto, podendo ser um disco, um cone, uma esfera ou outro. Na figura 37 encontra-se representado esquematicamente este tipo de viscosímetro.

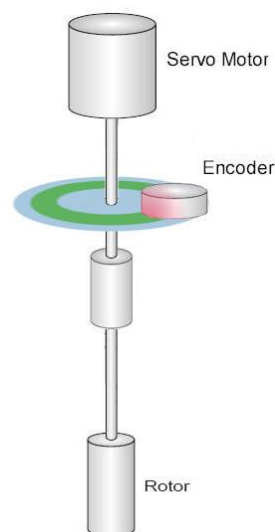


Figura 37 – Viscosímetro de rotação [21]

Com o funcionamento constante do motor a amostra de fluido é continuamente renovada, resultando também na introdução de alguma turbulência no sistema. Como tal, sempre que esta seja indesejada, deverá ser utilizado um tubo defletor de modo a minimizar a sua ocorrência.

Relativamente às características de funcionamento, a gama de leitura deste viscosímetro varia entre 0 e 100,000 cP, podendo operar até à temperatura máxima de 316°C. No que é referente à sua manutenção, e dado tratar-se de um sensor eletromecânico, é necessário intervir preventivamente de forma mensal, bem como proceder à sua limpeza de modo regular [20].

No caso dos viscosímetros rotacionais de mistura o princípio de operação é em tudo semelhante, no entanto, a medição é neste caso referente ao dispositivo de mistura. Assim, é controlado o binário necessário para girar continuamente um misturador, limitando assim a sua aplicação a este tipo de tanques.

Por fim, existem ainda os viscosímetros rotacionais de duplo cilindro cujo princípio de funcionamento é igual aos viscosímetros anteriores. Contudo, o viscosímetro é neste caso constituído por dois cilindros coaxiais, sendo um estacionário e o outro rotacional. Assim, obtém-se um viscosímetro com auto limpeza e de rápida medição, mas que apenas pode ser aplicado em linha, não podendo assim ser implementado neste projeto.

5.8.2.2. Vibratório

Os viscosímetros de vibração podem ser instalados diretamente em linha ou em tanques proporcionando uma medição contínua da viscosidade. A sua medição, é baseada no princípio de que a amplitude de vibração varia com a viscosidade do fluido. Assim, com o aumento da viscosidade, resultará um aumento da resistência à deformação do fluido que se materializará na diminuição da amplitude de vibração.

Posto isto, a viscosidade é inferida através da análise da mudança de amplitude de vibração, podendo ainda ser conseguida através da determinação da energia necessária para manter uma constante amplitude. Na figura 38, é apresentado um viscosímetro deste tipo, sendo neste caso a viscosidade determinada em função da variação da amplitude de vibração, em que numa das extremidades é induzido o movimento de oscilação, e na outra convertido em sinal elétrico proporcional ao valor de viscosidade.

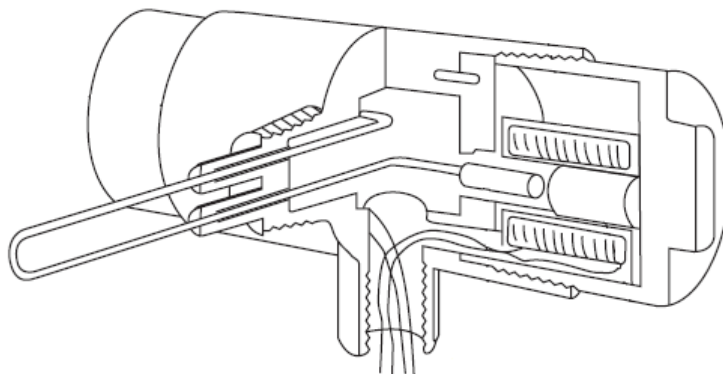


Figura 38 – Viscosímetro de vibração [20]

Estes viscosímetros são praticamente livres de manutenção e calibração, sendo no entanto boa prática proceder à sua limpeza de modo regular, bem como à sua calibração, dado a amplitude de vibração alterar-se com o tempo. No entanto, em processos com condições severas de funcionamento, o processo de calibração deverá ser realizado de forma frequente de modo a assegurar uma correta leitura dos valores de viscosidade [20].

A gama de leitura passível de ser utilizada com este viscosímetro varia entre os 1 e os 100000 cP, podendo operar com qualquer fluido até uma temperatura máxima de 200°C [20].

5.8.2.3. Queda

Nos viscosímetros de queda, a viscosidade é inferida através da determinação do tempo necessário para um determinado objeto percorrer uma dada distância. Neste processo, o objeto é largado no ponto superior de um tubo de medição, sendo o seu movimento conseguido através da ação da força da gravidade. Assim, consegue-se determinar a viscosidade do fluido em função do tempo gasto neste percurso, podendo ser medida a viscosidade de fluidos newtonianos e não-newtonianos quer em linha como em tanques, desde que o sensor esteja completamente imerso no fluido.

Do ponto de vista construtivo, estes viscosímetros podem ser de vários tipos, sendo o mais utilizado o de pistão que permite a leitura de viscosidades entre 10 e 1000000 cP com excelente exatidão e repetibilidade, podendo este funcionar até uma temperatura máxima de de 350°C [20]. Na figura 39 é apresentado de forma esquemática este tipo de viscosímetros.

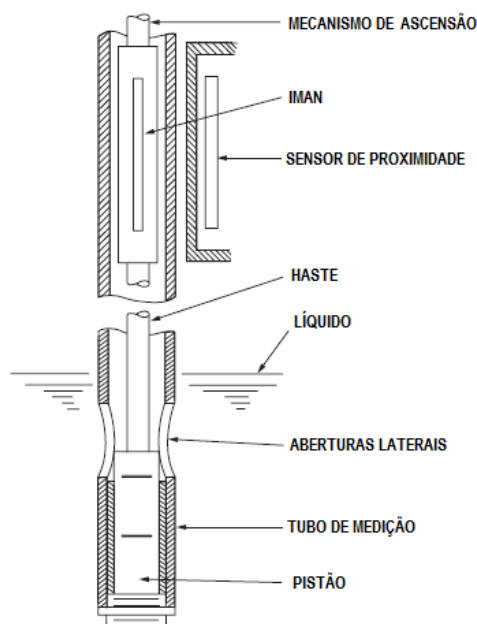


Figura 39 – Viscosímetro de pistão em queda [20]

No processo de medição, é inicialmente introduzida uma amostra de fluido no tubo de medição através das suas aberturas laterais. Posteriormente, o pistão cai por gravidade ao longo do tubo expulsando a amostra de fluido, conseguindo-se assim inferir o seu valor de viscosidade através da determinação do tempo necessário para o deslocamento do pistão. De notar, que o pistão é em seguida novamente colocado na sua posição superior, podendo para tal ser utilizado um dispositivo pneumático ou um sistema motor-came. Como pontos negativos, importa destacar a necessidade de calibração e manutenção frequentes.

5.8.2.4. Oscilatório

Por último, surgem os viscosímetros do tipo oscilatório, onde a viscosidade é determinada em função do tempo necessário para um objeto se deslocar entre dois pontos. O seu *design* pode ser de três tipos, nomeadamente: de lâmina, de pistão e torsional.

Nos viscosímetros oscilatórios de lâmina, a sua configuração apenas permite a sua aplicação em canalizações não sendo relevantes para este trabalho. No caso dos viscosímetros de pistão, este é constituído por duas bobines eletrizadas alternadamente que permitem a movimentação do pistão entre dois pontos dentro do tubo de medição. Assim, com o aumento da viscosidade, o tempo de deslocamento do pistão irá aumentar de forma proporcional à viscosidade, permitindo assim a sua determinação. Na figura 40, é apresentado de forma esquemática este viscosímetro.

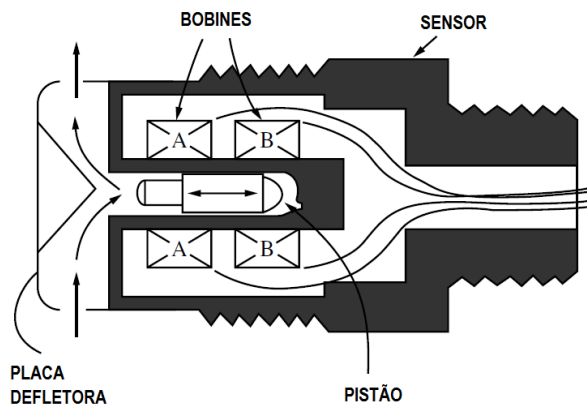


Figura 40 – Viscosímetro de pistão oscilante [20]

Este viscosímetro pode ser utilizado em qualquer tipo de fluido permitindo a sua instalação em tanques e canalizações. A sua temperatura máxima de funcionamento admissível é de 315°C, permitindo leitura de viscosidade desde 0.1 até 20000 cP. De notar, que este sensor apenas pode ser utilizado em fluidos livres de partículas sólidas de tamanho superior a 25 microns [20].

Os viscosímetros do tipo torsional são constituídos por um provete de medição que oscila electromagneticamente à torsão em torno do seu eixo. Neste caso, o sensor oscila com uma dada amplitude, sendo a energia requerida para manter esta amplitude proporcional à viscosidade. Assim, é possível determinar a viscosidade de qualquer fluido, quer em linha como em tanque. A temperatura máxima de funcionamento deste tipo de sensores ronda os 450°C, sendo possível determinar viscosidades desde 0.1 até 200.000 cP no caso dos provetes de medição esféricos e de 10 até 2000.000 cP em provetes cilíndricos. Na figura 41 são apresentados estes viscosímetros.

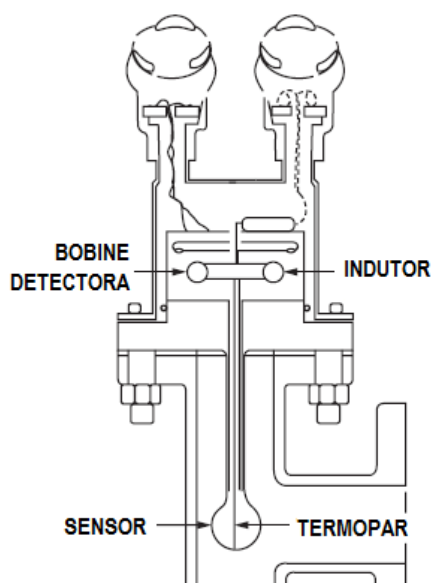


Figura 41 – Viscosímetro do tipo torsional [20]

Em suma, concluiu-se que qualquer um dos viscosímetros acima abordados cumpre do ponto de vista técnico os requisitos especificados, permitindo a leitura de viscosidades na gama definida com excelente exatidão, repetibilidade e reprodutibilidade. Contudo, excluiu-se *à priori* a utilização de viscosímetros do tipo rotacional e de queda dado tratar-se de sensores com necessidade de limpeza e manutenções frequentes indesejáveis para o sistema. Assim, será dado especial foco aos restantes viscosímetros analisados, nomeadamente aos viscosímetros de vibração, de torsão e de pistão oscilante.

Posto isto, é no próximo capítulo apresentada a análise de mercado realizada, tendo esta em vista a escolha do sensor mais adequado para o sistema.

5.8.3. Análise de mercado

Definidos os tipos de viscosímetros passíveis de ser implementados no sistema, foi realizada uma análise de mercado com o objetivo de definir o sensor de viscosidade mais adequado para o processo. Neste âmbito, foram avaliados quatro produtos (um viscosímetro de vibração, um de pistão oscilante e dois do tipo oscilatório torsional), sendo estes em seguida descritos e comparados.

5.8.3.1. ViscoScope VA-100C

O viscosímetro ViscoScope VA-100C trata-se de um sensor do tipo torsional, desenvolvido essencialmente para aplicações de média-baixa viscosidade. Neste produto, o sensor é estimulado à torção através do transmissor a ele conectado, que mantém a frequência de ressonância constante. Assim, o valor de viscosidade é aferido com base na energia dispensada neste processo. Na figura 42, é apresentado o sensor de viscosidade aqui em análise.



Figura 42 - ViscoScope VA-100C [22]

Com esta tecnologia, é possível detetar pequenas variações de viscosidade mesmo em condições de funcionamento adversas, podendo este sensor ser instalado quer em tanques como

em linha sem qualquer tipo de restrições. No que é referente ao tipo de manutenção prevista para este produto, este é do ponto de vista teórico livre de manutenção, não necessitando de qualquer tipo de calibração ou recalibração.

Relativamente ao transmissor utilizado com este sensor, este é capaz de comunicar através de uma saída 4-20mA analógica, ou através de uma saída RS232 digital (saída pretendida para este sistema). Por sua vez, este vem ainda munido de um display capaz de apresentar em tempo real os valores de viscosidade e de temperatura registados. No anexo I é possível encontrar a cotação referente a este produto, bem como a ficha técnica quer do sensor como do transmissor em estudo.

5.8.3.2. VISCOpro 1600 - 321

No caso do viscosímetro VISCOpro 1600 com sensor 321, este trata-se de um sensor de pistão oscilante, capaz de obter uma medição rápida, exata e fiável do valor de viscosidade. Para a sua medição, é contabilizado o tempo de deslocamento de um pistão dentro da câmara de medição do sensor, sendo a sua movimentação obtida electromagneticamente através de duas bobinas. Na figura 43, encontra-se esquematizado o seu princípio de funcionamento.

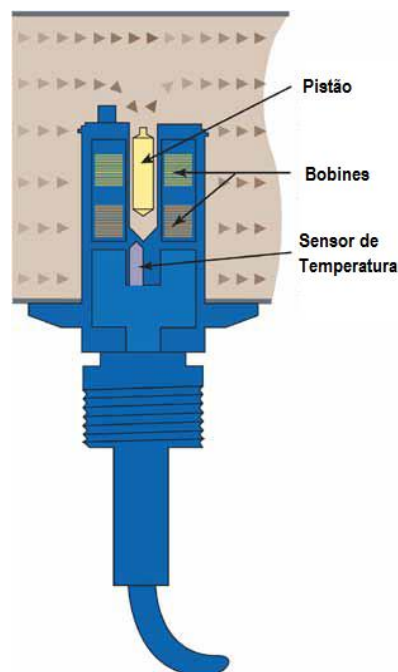


Figura 43 - VISCOpro 1600 com sensor 321 [23]

Com esta tecnologia, obtém-se um sensor sem necessidade de limpeza e calibração, exigindo no entanto alguma manutenção (pouca). No que é referente ao seu controlador, este

permite a visualização do valor de viscosidade e temperatura em tempo real, bem como a comunicação através de uma saída 4-20mA ou RS485. No anexo II deste relatório é apresentada a cotação recebida para este sensor, bem como a sua ficha técnica.

5.8.3.3. TD Collaborative VTX423

Em seguida, foi analisado o viscosímetro de vibração VTX423. Neste sensor, o fluido é comprimido dinamicamente entre a sua superfície e a viga a ele acoplada. Assim, e em função da oscilação da amplitude de vibração da viga registada, é possível determinar o valor da viscosidade do fluido existente na interface. Na figura 44, encontra-se representado o sensor em análise.

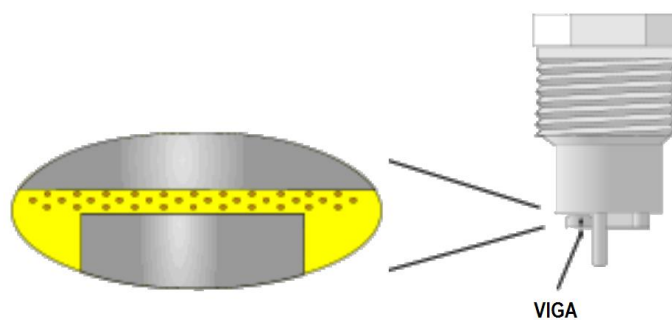


Figura 44 - VTX423 [24]

Posto isto, e de modo semelhante aos viscosímetros analisados, o VTX423 é capaz de operar sem necessidade de qualquer tipo de calibração ou manutenção, podendo ser instalado no circuito em qualquer orientação. No que diz respeito ao seu controlador, este permite a transmissão de dados através de uma saída RS232 e 4-20mA, sendo neste também possível a visualização dos valores de viscosidade e temperatura do fluido em tempo real. No anexo III deste relatório é apresentada a cotação recebida para este sensor, bem como a sua ficha técnica.

5.8.3.4. Hydramotion XL7

Por último, foi ainda analisado o sensor de viscosidade hydramotion XL7 do tipo torsional. Neste produto, o provete de medição é emerso no fluido do circuito, oscilando o sensor de modo torsional a nível microscópico. Com isto, e em função da energia dissipada, é possível determinar o valor da viscosidade do fluido. Na figura 45, é apresentado o viscosímetro em estudo.



Figura 45 - Hydramotion XL7 [25]

Com esta tecnologia, obtém-se um sensor livre de manutenções e calibrações capaz de ser instalado em qualquer tipo de circuito. Na sua compra, é também incluído o controlador VP550, capaz de apresentar os valores de viscosidade ao seu utilizador, bem como de proceder à transmissão de dados através de uma saída RS485. No anexo IV deste relatório é apresentada a ficha técnica deste sensor e do respetivo controlador.

Descritos todos os sensores, procedeu-se à sua comparação, tendo-se para este efeito construído a tabela 14 onde é possível comparar as principais características de cada produto. Da sua análise, e dada a grande discrepância de preços, concluiu-se que o viscosímetro mais apropriado seria o VTX-423. Apesar da sua estreita gama de medição, e baixa exatidão (em comparação com os restantes), este revelou-se como a opção mais vantajosa do ponto de vista qualidade-preço, dado permitir a leitura dos limites de viscosidade do processo com uma exatidão admissível. Do ponto de vista da temperatura e pressões admissíveis para este sensor, e dado todo o processo decorrer à temperatura e pressão ambiente, este não foi um ponto de grande relevância para esta análise.

Relativamente ao controlador utilizado, também este cumpre os requisitos pretendidos, permitindo a comunicação com um computador através de uma saída RS232, bem como a apresentação dos valores de viscosidade e temperatura através de um display.

Tabela 14 – Comparação de Viscosímetros

Comparação de Viscosímetros



Sensor	Marimex VA-100C	VISCOpro 1600 - 321	TD Collaborative VTX423	Hydramotion XL7
Gama	0.1 - 2,500 cP	25 – 500 cP	10 – 300 cP	0 - 1,000,000,000 cP
Exatidão	±1.0%	±1.0%	<5.0%	±1.0%
Repetibilidade	±0.3%	±0.8%	s\ inf.	±0.3%
Pressão	64 bar	70 bar	atm	s\ inf.
Temperatura	130°C	190°C	140°C	150°C
Proteção	IP65	s\ inf.	s\ inf.	IP68
Saídas	4-20mA; RS232	4-20mA; RS485	4-20mA; RS232	4-20mA; RS485
Potência	260 VAC, 15 Watt	12 VDC, 12 W	24 VDC, 300 mA	24 VDC, 150 mA
Preço	15.452,49€	12.024,48€	2.057,00€	13.200,00€

5.9. Reservatório

No que concerao reservatório de solvente escolhido, foi reutilizado um reservatório existente na empresa para uso em máquinas de *coating* seletivo, encontrando-se este apresentado na figura 46.



Figura 46 – Reservatório de solvente

O reservatório utilizado cumpre todos os requisitos pretendidos para o sistema, sendo este capaz de armazenar o fluido pretendido em perfeitas condições de segurança até uma pressão máxima de 14 bar. Por sua vez, este trata-se também de um componente já validado nos equipamentos de *coating* seletivo para o armazenamento de um solvente com características semelhantes ao utilizado. Como tal, e numa primeira fase, este será o reservatório implementado. No entanto, dada a sua baixa capacidade de armazenamento de apenas 3.8 l, será equacionada, após a aprovação do sistema, a compra de um reservatório de maior capacidade de modo a diminuir a frequência de reabastecimento.

5.10. Electroválvula

Em seguida, selecionou-se a electroválvula capaz de permitir o controlo da quantidade de solvente adicionada. Neste âmbito, foi selecionada uma electroválvula do tipo solenoide, dado tratar-se de um tipo de válvulas com uma excelente relação qualidade-preço e amplamente difundidas a nível industrial. Como vantagens, esta destaca-se pela sua rápida operação, alta fiabilidade e ausência de manutenção, tornando-se assim no componente ideal para o controlo de fluxo de solvente no sistema em desenvolvimento.

Em relação ao seu princípio de funcionamento, estas são compostas por um fio condutor enrolado em formas de espiras em torno de um cilindro. Aquando a passagem de corrente elétrica,

é induzida uma força no centro do solenoide, forçando a movimentação do pistão da válvula e consequente passagem de fluido. Com a sua desenergização, o pistão retorna à sua posição inicial devido à força da gravidade e a uma mola a ele acoplada. Na figura 47 encontra-se esquematizado este tipo de válvulas.

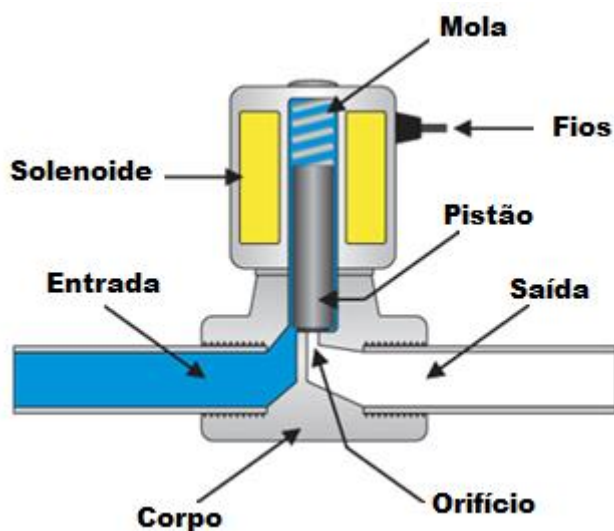


Figura 47 – Válvula solenoide [26]

Posto isto, foi selecionada a electroválvula solenoide Burkert 125304, sendo esta acionada com 230V e com um tempo de abertura e fecho de 20 ms e 30 ms, respetivamente. No que é referente à viscosidade máxima admissível para o seu correto funcionamento, esta é de 21 cSt, valor este inferior à viscosidade dinâmica do solvente de 17 cSt. Na figura 48, é apresentada a válvula escolhida.



Figura 48 - Válvula de solenoide Burkert 125304

No anexo V deste relatório é possível consultar todos os detalhes técnicos da electroválvula escolhida.

5.11. Controlador

Escolhidos todos os componentes, foi definido o sistema de controlo do equipamento. Assim, e dado pretender-se a criação de um histórico dos valores de viscosidade, determinou-se que seria utilizado um computador como unidade central de processamento. Como tal, foi necessário proceder à criação de um *software* capaz de controlar todos os dispositivos, bem como desenvolver um circuito capaz de permitir o acionamento da electroválvula através do computador. No caso do sensor de viscosidade, e dado este permitir a comunicação com um computador através de uma saída RS232, não foi necessária a implementação de qualquer tipo de alteração.

Neste seguimento, é neste subcapítulo apresentado o modo utilizado para o acionamento da electroválvula, sendo o *software* referente ao controlo do sistema apresentado no próximo subcapítulo, denominado de interface homem-máquina.

Posto isto, e com o intuito de proceder à abertura da electroválvula, foi equacionada a possibilidade de compra de um sistema de aquisição e controlo de dados. Contudo, por motivos económicos, e dado tratar-se de apenas um dispositivo, estudou-se a possibilidade de utilização de outras soluções. Deste modo, optou-se pela utilização de uma porta RS232 como elemento acionador, capaz de proceder à sua abertura. Na figura 49, são apresentados os vários pins deste tipo de portas.

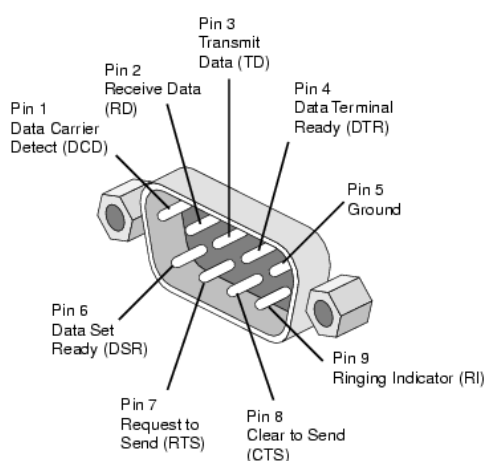


Figura 49 – RS232 [27]

O pin 7, denominado de RTS (“Request to Send”), é utilizado neste tipo de comunicações pelo computador para requerer autorização para o envio de informação. Em programação, este é passível de ser ativado ou desativado através do computador, podendo variar entre os estados

“ON” e “OFF”, isto é, 5V e -5V, respetivamente. Como tal, e dentro desta lógica, este foi utilizado para a atracagem de um relé capaz de permitir o acionamento da electroválvula. Na figura 50, é apresentado o relé utilizado, sendo comutado através da aplicação de uma tensão de 5V, permitindo no circuito principal a passagem de uma corrente até 230 V suficiente para a abertura da válvula.



Figura 50 – Relé G2R-2

Apesar da baixa corrente necessária para a comutação do relé, o computador não possui amperagem suficiente para a realização desta operação. Assim, foi necessária a utilização de uma fonte de alimentação externa para proceder ao seu acionamento. Neste seguimento, foi idealizado um circuito eletrónico capaz de permitir a realização deste procedimento, sendo este apresentado na figura 51.

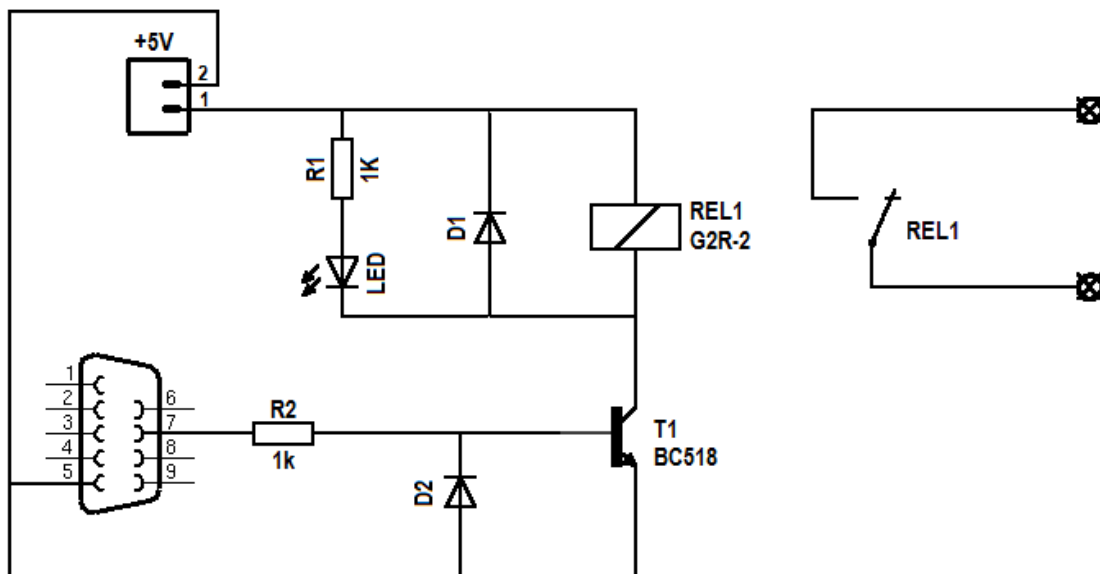


Figura 51 – Circuito elétrico acionador do relé

De acordo com o circuito apresentado, o relé é alimentado através de uma fonte externa de 5 V, sendo a sua passagem controlada através de um transistor. Com este elemento, é possível amplificar o sinal proveniente da saída RS232 e assim controlar a passagem de energia para o relé. Neste circuito, estão ainda presentes dois diodos em paralelo com a bobine e o transistor, atuando estes como elementos protetores do circuito. No caso do diodo em paralelo com o relé, este denota-se de especial importância para o correto funcionamento do circuito devido às altas tensões induzidas com o colapso do campo magnético do relé após a sua desenergização. Assim, este assegura um caminho seguro e de baixa resistência para a circulação da corrente gerada, de modo a não danificar o transistor. Para além dos diodos, o circuito é ainda composto por um *led* responsável pela sinalização da comutação do relé, e ainda duas resistências utilizadas para a limitação da corrente no circuito.

Em seguida, procedeu-se à validação do circuito pretendido com uma placa de testes, sendo este apresentado na figura 52.

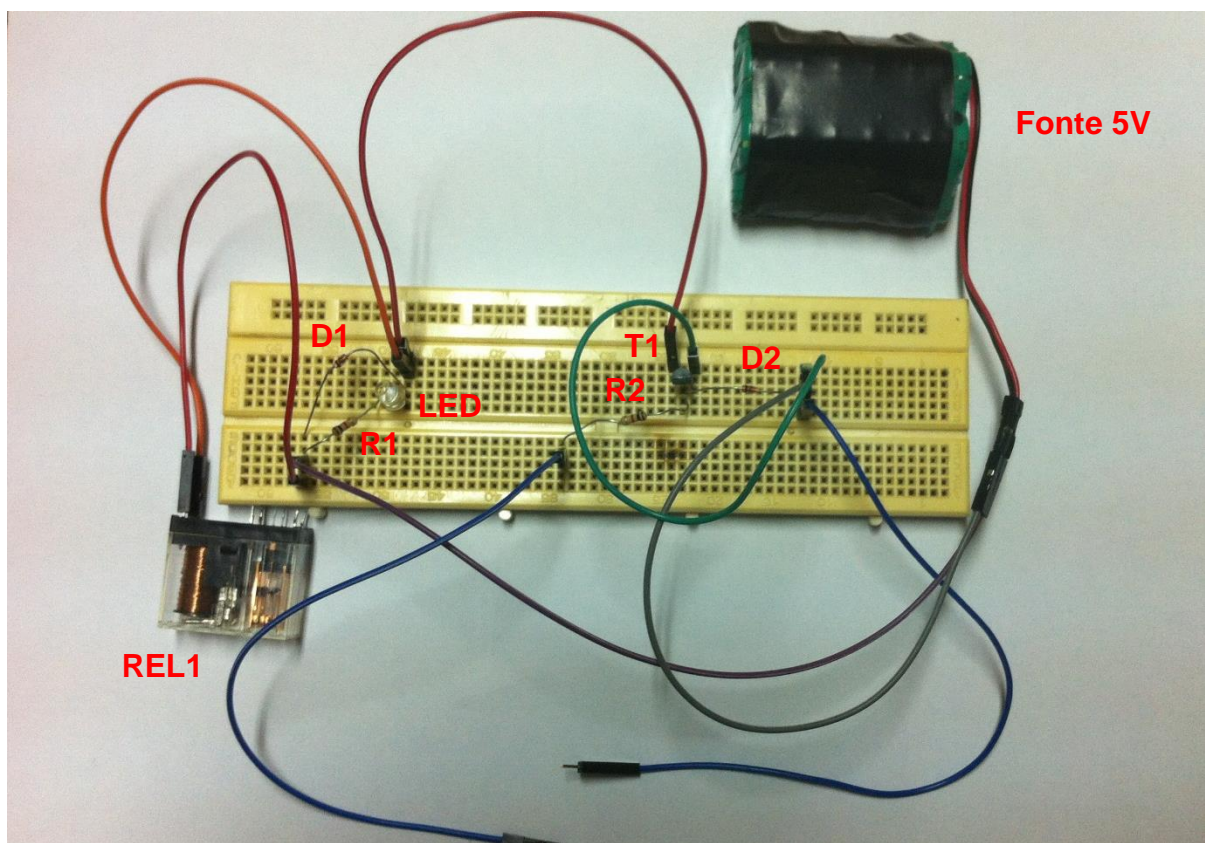


Figura 52 - Circuito elétrico acionador do relé (Placa de testes)

Validado o circuito, procedeu-se à sua construção, encontrando-se ilustrada na figura 53 a placa construída.

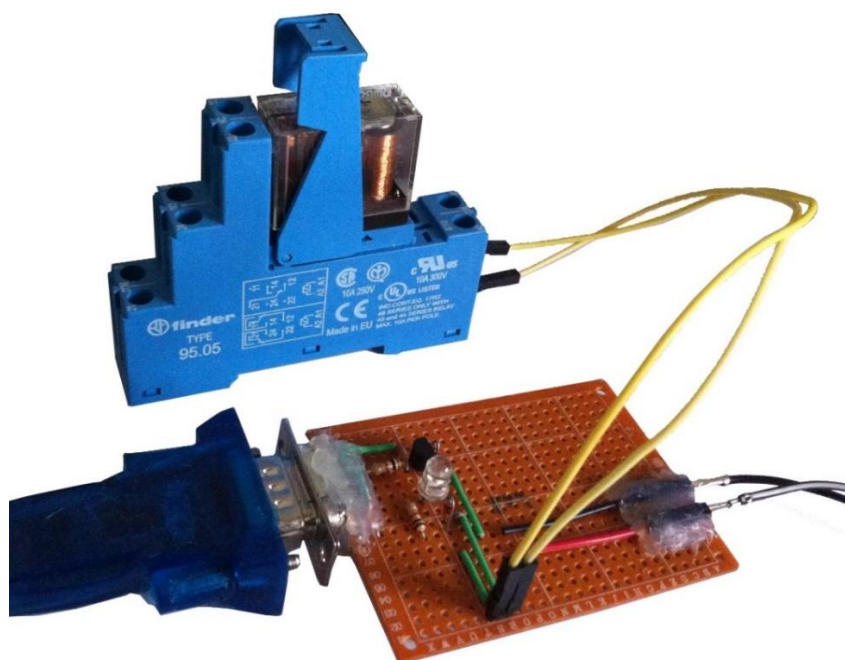


Figura 53 - Circuito elétrico acionador do relé (Placa final)

5.12. Interface Homem-Máquina

Após a seleção de todo o *hardware*, foi desenvolvida uma interface homem-máquina que irá permitir ao utilizador interagir com o equipamento de forma rápida e eficiente. Em seguida, é apresentada a aplicação elaborada, tendo esta sido desenvolvida recorrendo ao *software* informático *Matlab R2013a*. Note-se, que esta aplicação tem em conta a possibilidade de aplicação de uma célula de carga no reservatório de solvente, de modo a poder estimar a quantidade de fluido ainda existente.

5.12.1. Estrutura

Numa primeira fase, foi definida a estrutura base do programa, encontrando-se esta representada na figura 54.

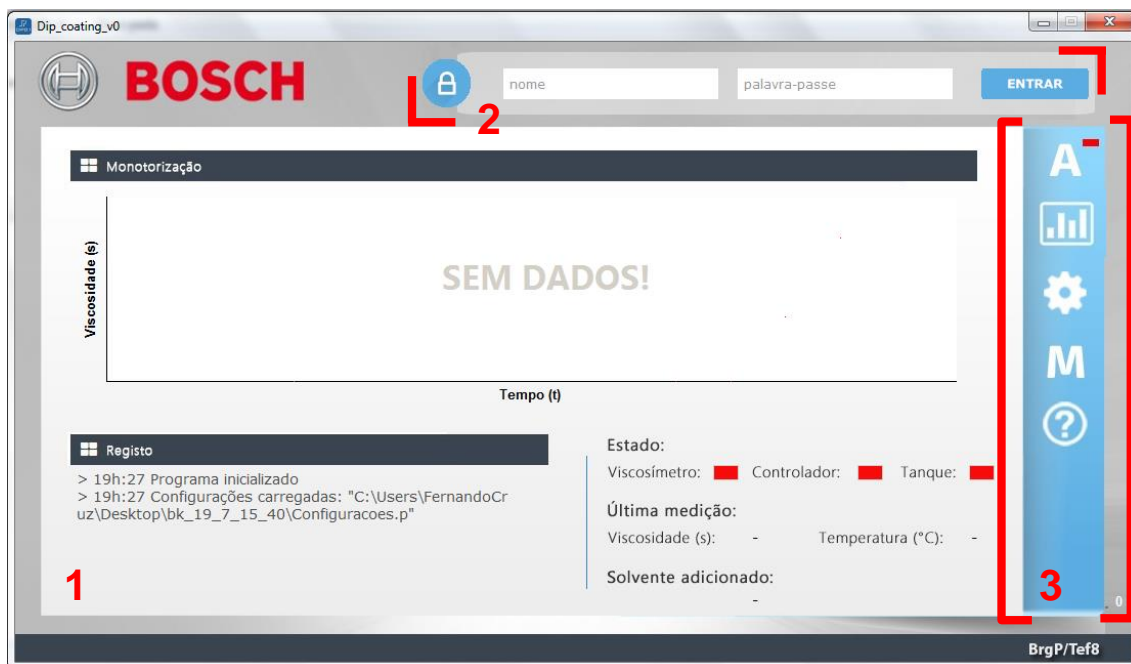


Figura 54 – Software: Página inicial

Como evidenciado, a página inicial do programa encontra-se dividida em três secções. Na área central, assinalada na figura com o número 1, é apresentada uma visão global do sistema. Aqui, o utilizador poderá visualizar de forma gráfica a variação da viscosidade ao longo do tempo (predefinição – últimas 24h), o estado operacional dos vários periféricos, o histórico de atividade do *software*, a quantidade de solvente existente no reservatório, bem como consultar os últimos valores de viscosidade, de temperatura e de quantidade de solvente adicionada.

Em seguida, tem-se a zona assinalada com número 2, sendo esta apenas destinada à autenticação dos usuários dentro da aplicação.

Por fim, tem-se a secção número 3 referente ao menu da aplicação, onde o utilizador poderá: colocar o sistema em modo automático ou manual, editar configurações, consultar estatísticas e ainda visualizar a página de ajuda do sistema. Em seguida, são explorados cada um destes menus, sendo apresentada a sua área de trabalho, bem como todas as suas funcionalidades.

5.12.2. Modo automático

Na primeira opção, o utilizador poderá acionar o funcionamento automático do sistema. Quando ligado, o botão irá sinalizar este novo estado, alterando a sua cor para verde como evidenciado na figura 55. Nesta fase, o equipamento encontra-se a operar de forma totalmente

autônoma, procedendo à leitura e ao ajuste de viscosidade de modo automático e de acordo com os parâmetros especificados. De notar, que para acionar este modo é obrigatória a correta ligação de todos os periféricos.

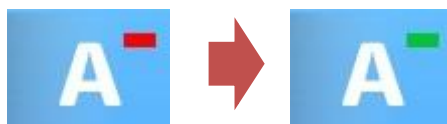


Figura 55 – Software: Modo automático

5.12.3. Estatísticas

Na segunda opção, ainda em desenvolvimento, será possível ao utilizador proceder à consulta de estatísticas referentes aos valores de viscosidade e de solvente adicionado. Para além da consulta, o usuário terá também a possibilidade de exportação desta informação em diferentes formatos, permitindo assim o tratamento de dados em outros *softwares*. Na figura 56, é apresentada a atual área de trabalho deste módulo onde é possível visualizar a informação de ainda em construção.



Figura 56 – Software: Estatísticas

De salientar, que este se trata de um módulo revestido de grande importância para o equipamento, dado permitir a criação de históricos, bem como o controlo de qualidade de toda a produção.

5.12.4. Definições

Em seguida, tem-se a opção número 3 do menu relativa às configurações do sistema, encontrando-se esta disponível apenas com a autenticação do utilizador, de modo a impedir a

reconfiguração dos parâmetros do sistema de forma indevida por pessoas não qualificadas. Na figura 57, é apresentada a sua área de trabalho, encontrando-se esta dividida em 4 regiões.



Figura 57 – Software: Definições

Na primeira região, é possível ao utilizador proceder à configuração das portas série dos vários periféricos. Como tal, este deverá nesta secção especificar para cada um dos dispositivos (viscosímetro, controlador e célula de carga do reservatório de solvente) o número da porta de comunicação, os bits por segundo, os bits de dados, a paridade, os bits de parada e ainda o tipo de controlo de fluxo.

Em seguida, tem-se a secção assinalada com o número dois, onde constam todos os parâmetros relativos ao ajuste de viscosidade do sistema. Nesta secção, o utilizador poderá alterar os intervalos de viscosidade, a quantidade de solvente a adicionar, bem como o tempo de reação do sistema às variações de viscosidade do circuito. De notar, que os intervalos de viscosidade da tabela podem ser tanto adicionados como removidos, devendo-se para tal utilizar o botão com o símbolo “+” para a sua adição ou o botão eliminar, disponível após a seleção do intervalo pretendido, para a sua remoção.

No que diz respeito à região número três, dever-se-ão nesta secção especificar algumas informações relativas ao processo, nomeadamente:

- Limites de viscosidade: valores de viscosidade para além dos quais é inadmissível a continuação da produção;
- Peso do tanque e densidade do fluido: deverá ser introduzido o peso do tanque vazio e cheio e a densidade do solvente utilizado, de modo a tornar possível a estimativa da quantidade de solvente ainda existente no reservatório;
- Tempo de atualização: neste campo, o utilizador deverá introduzir o tempo de atualização da aplicação, devendo este valor ser igual ao tempo de medição do sensor de viscosidade;
- Alertas de abastecimento: com o acionamento desta opção a aplicação irá comunicar com o sistema de avarias da empresa de modo a alertar para a necessidade de reabastecimento de solvente ou de paragem de produção devido a valores de viscosidade fora das especificações (opção em desenvolvimento);

Por último, tem-se ainda a região assinalada com o número quatro, onde são disponibilizadas ao utilizador as opções abrir, guardar e guardar como. Assim, é possível aos usuários carregar outras configurações, bem como guardar as alterações efetuadas de modo a serem aplicadas no sistema.

5.12.5. Modo manual

No quarto botão, é possível colocar o sistema em modo manual. Neste modo, o utilizador poderá proceder ao ajuste de viscosidade de forma manual através da especificação da quantidade de solvente pretendida ou apenas carregando no botão de abertura da válvula. Na figura 58, é apresentada a área de trabalho deste menu antes e durante o processo de adição de solvente.

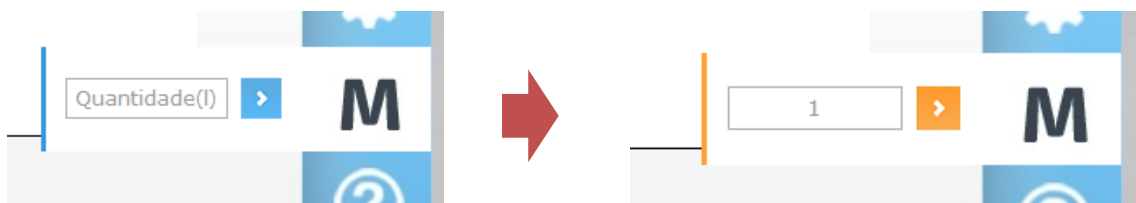


Figura 58 – Software: Modo manual

5.12.6. Ajuda

Por último, é disponibilizada a opção ajuda, permitindo esta o esclarecimento do utilizador relativamente aos módulos existentes. Na figura 59, é apresentada a informação disponibilizada com a seleção deste módulo.

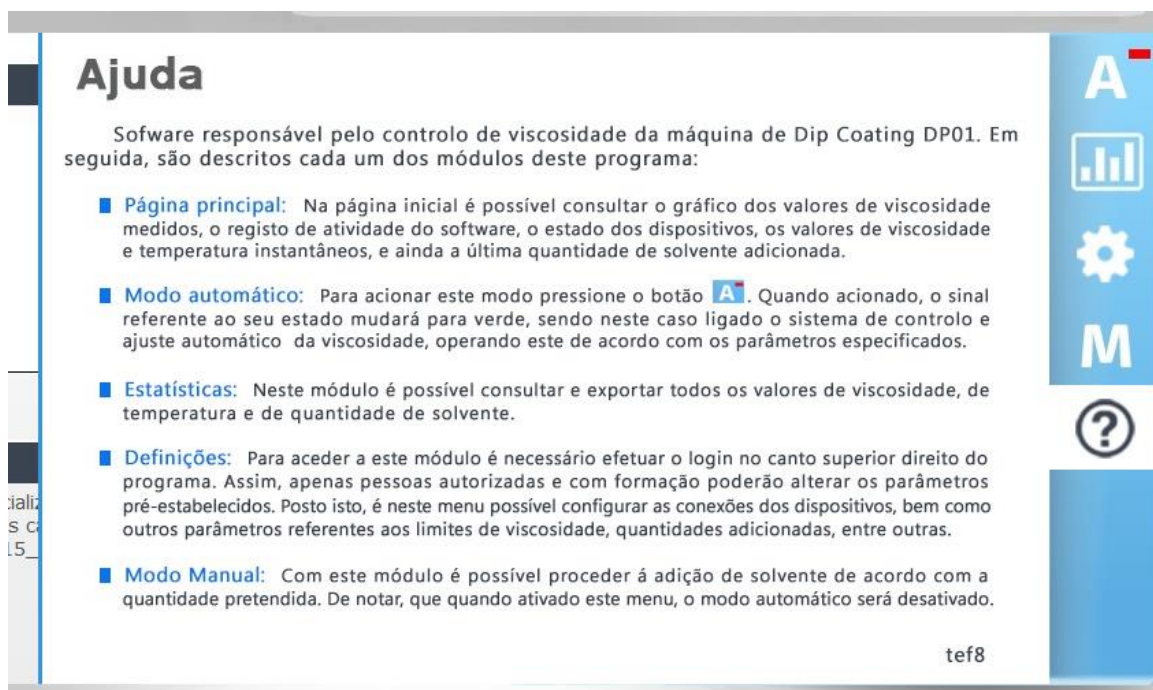


Figura 59 – Software: Ajuda

5.13. Instalação do sistema de ajuste de viscosidade no equipamento de *dip coating*

Concluído o desenvolvimento do sistema de ajuste de viscosidade, procedeu-se à sua instalação. Em seguida, são descritas todas as etapas do processo de adaptação dos vários elementos do sistema ao equipamento em estudo.

5.13.1. Viscosímetro

Para a instalação do viscosímetro, e de modo a evitar alterações no equipamento (exemplo: furação do tanque), foi fabricado um suporte amovível capaz de posicionar o sensor de viscosidade no local pretendido. Na figura 60, é apresentado este suporte, podendo o seu desenho técnico ser consultado no anexo VI deste relatório.



Figura 60 – Suporte do sensor de viscosidade

Na figura 61, é apresentado o posicionamento final do sensor no tanque superior do equipamento com o suporte fabricado.

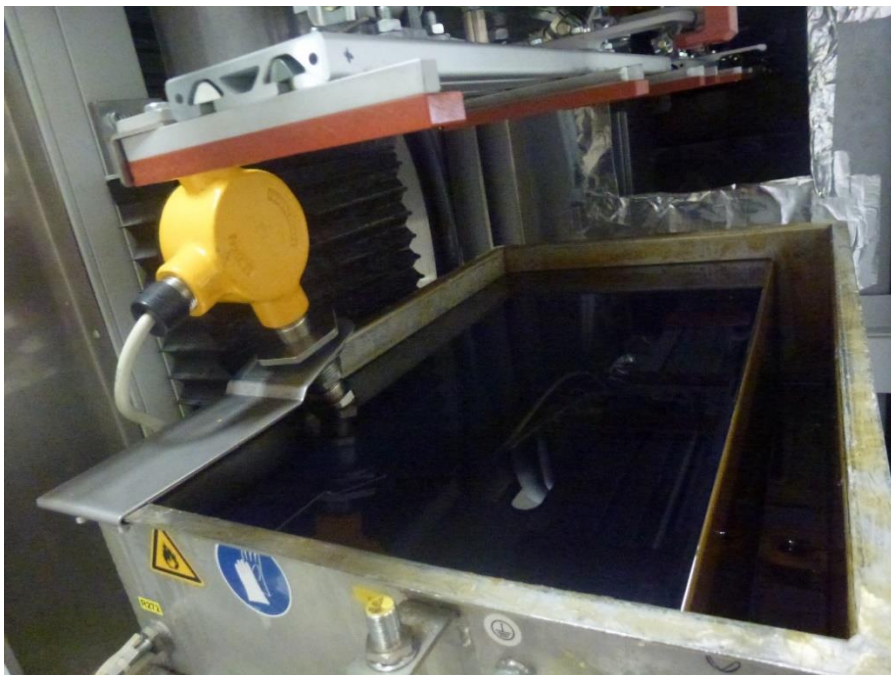


Figura 61 – Posicionamento do viscosímetro no equipamento

Como evidenciado, pode-se observar um pequeno desvio em relação à localização inicialmente prevista (no centro do tanque equidistante a ambos os pendurais). Contudo, e do ponto de vista prático, esta foi a solução conseguida, de modo a evitar a colisão do sensor quer com o equipamento como com as placas (durante a movimentação do tanque). Note-se, que de forma a minimizar este desvio o suporte foi projetado com uma pequena inclinação com o intuito de aumentar o alcance do provete.

Posto isto, e ainda para esta solução, foi também necessário proceder à alteração da tampa do sensor de modo a evitar a colisão das suas abas com o equipamento. Assim, foi fabricada uma nova tampa, encontrando-se esta alteração ilustrada na figura 62.



Figura 62 – Tampa do sensor de viscosidade

Na figura 63, é apresentada a instalação final do sensor no tanque do equipamento, onde é possível observar a implementação da nova tampa.



Figura 63 – Instalação do viscosímetro no equipamento (tampa nova)

Instalado o viscosímetro, procedeu-se à montagem do seu controlador. Assim, e dado este possuir um display para a apresentação do valor de viscosidade e temperatura, este foi posicionado próximo da zona de trabalho do operador de modo a facilitar o processo de visualização. Como tal, e à semelhança do viscosímetro, foi também necessária a construção de um suporte para a sua fixação. Na figura 64, são apresentadas as placas fabricadas, podendo os seus desenhos técnicos ser consultados no anexo VII desta dissertação.

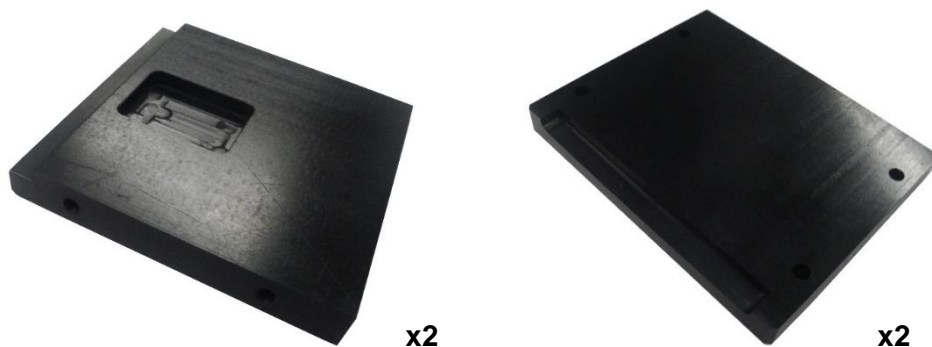


Figura 64 – Suporte de fixação do controlador

Na etapa seguinte, procedeu-se à montagem das várias placas do suporte e respetiva instalação do controlador, sendo esta evidenciada na figura 65.

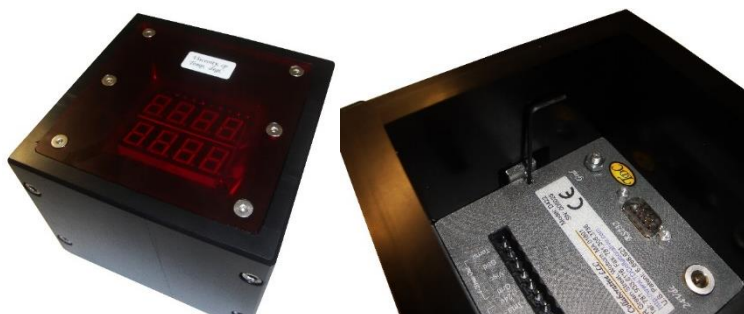


Figura 65 – Controlador com suporte

Em seguida, o conjunto montado foi aparafusado ao equipamento, encontrando-se na figura 66 ilustrada a sua instalação.



Figura 66 – Instalação do controlador no equipamento

Por fim, foram efetuadas as ligações entre o sensor, o controlador e o computador, tendo-se colocado uma ligação rápida na zona do sensor de modo a permitir a sua fácil remoção para a realização de intervenções de manutenção e/ou limpeza do equipamento (figura 67).



Figura 67 – Fichas de ligação rápida do sensor de viscosidade

5.13.2. Electroválvula

No próximo passo de implementação do sistema de ajuste de viscosidade procedeu-se à instalação da electroválvula no reservatório do sistema, tal como evidenciado na figura 80.



Figura 68 – Instalação da electroválvula

Em seguida, na extremidade livre da electroválvula foi acoplado um tubo flexível de 8.5 mm de diâmetro responsável pelo transporte de solvente entre o reservatório e o circuito de *coating* do equipamento (figura 69).



Figura 69 – Ligação do tubo de transporte de solvente à electroválvula

Posto isto, efetuaram-se as ligações elétricas necessárias como ilustrado na figura 70. Note-se, que o fio foi nesta fase segmentado para permitir o corte de corrente da electroválvula através do acionamento do relé. Na figura 71 é apresentada a alteração efetuada, bem como a instalação do relé.



Figura 70 – Ligação elétrica da electroválvula

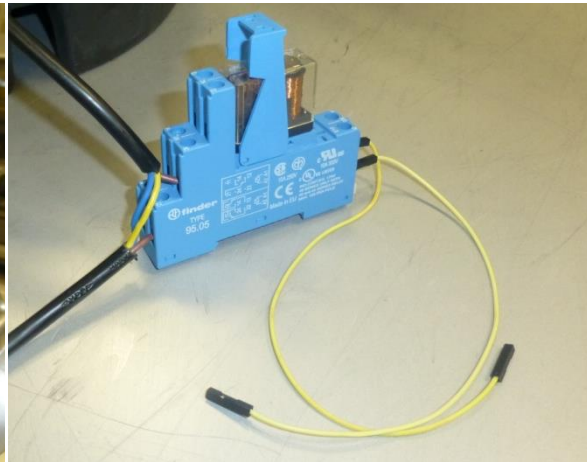


Figura 71 – Ligação da electroválvula ao relé

5.13.3. Reservatório

No próximo passo procedeu-se à integração do reservatório no equipamento de *dip coating*. Neste âmbito, é na figura 72 apresentado o seu posicionamento, encontrando-se este a 80 cm de altura, com um desnível de 40 cm em relação ao tanque de *coating* do equipamento de modo a permitir o escoamento do fluido por gravidade.

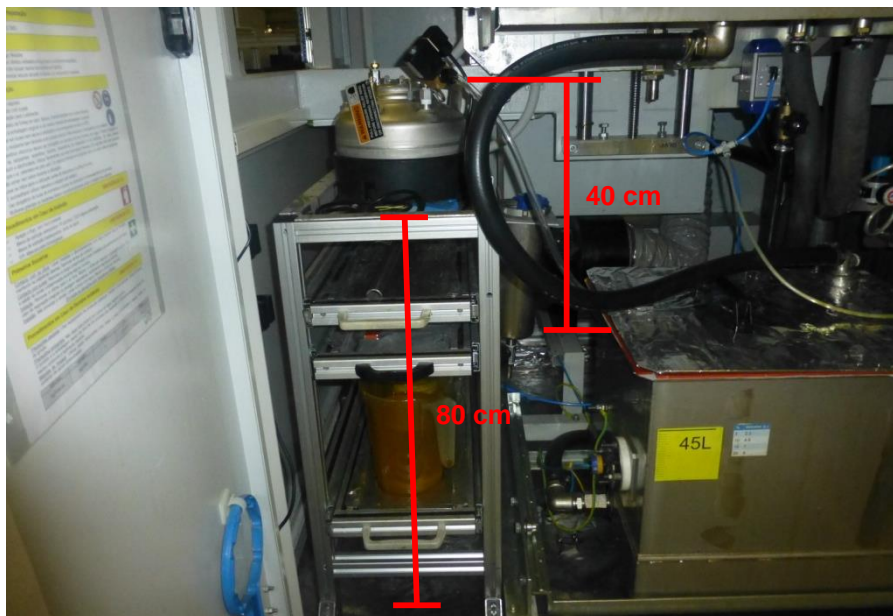


Figura 72 – Posicionamento do reservatório

Posto isto, o reservatório foi ligado à linha de ar comprimido existente no equipamento, encontrando-se este passo documentado na figura 73. De salientar, que foi aplicado um regulador de pressão na ligação entre o reservatório e a fonte de ar comprimido de modo a limitar e assegurar

uma pressão constante no reservatório, independente assim das flutuações de pressão existentes na rede (figura 74).



Figura 73 – Ligação pneumática entre o equipamento de coatig e o reservatório



Figura 74 – Regulador de pressão

5.13.4. Controlador

No último passo, referente à instalação do sistema de controlo, efetuou-se a ligação do relé ao circuito construído como evidenciado na figura 75. Por sua vez, foi também ligado ao circuito um conversor RS232-USB de modo a permitir a conexão com o computador através deste último protocolo.



Figura 75 - Controlador

Por fim, instalou-se o *software* desenvolvido no posto de controlo à entrada da máquina de *dip coating*, ao qual se conectou quer o viscosímetro como o circuito de controlo, permitindo

assim o correto funcionamento do sistema. Na figura 76 é possível constatar o passo acima descrito.



Figura 76 – Software do sistema de ajuste de viscosidade

5.14. Ajuste de parâmetros

Após a implementação do sistema, foi necessário proceder ao ajuste dos seus parâmetros. Como tal, e para o controlo de quantidade de solvente dispensada, determinou-se a relação existente entre o tempo de abertura da electroválvula e a quantidade de solvente adicionada. Assim, e para uma pressão no reservatório de 1 bar (controlada no regulador de pressão existente à sua entrada), foi construído o gráfico representado na figura 77. De notar, que foram apenas realizados ensaios até uma quantidade máxima de 1.5 litros, sendo que não é expetável com este sistema o fornecimento de uma quantidade de solvente superior a este valor.

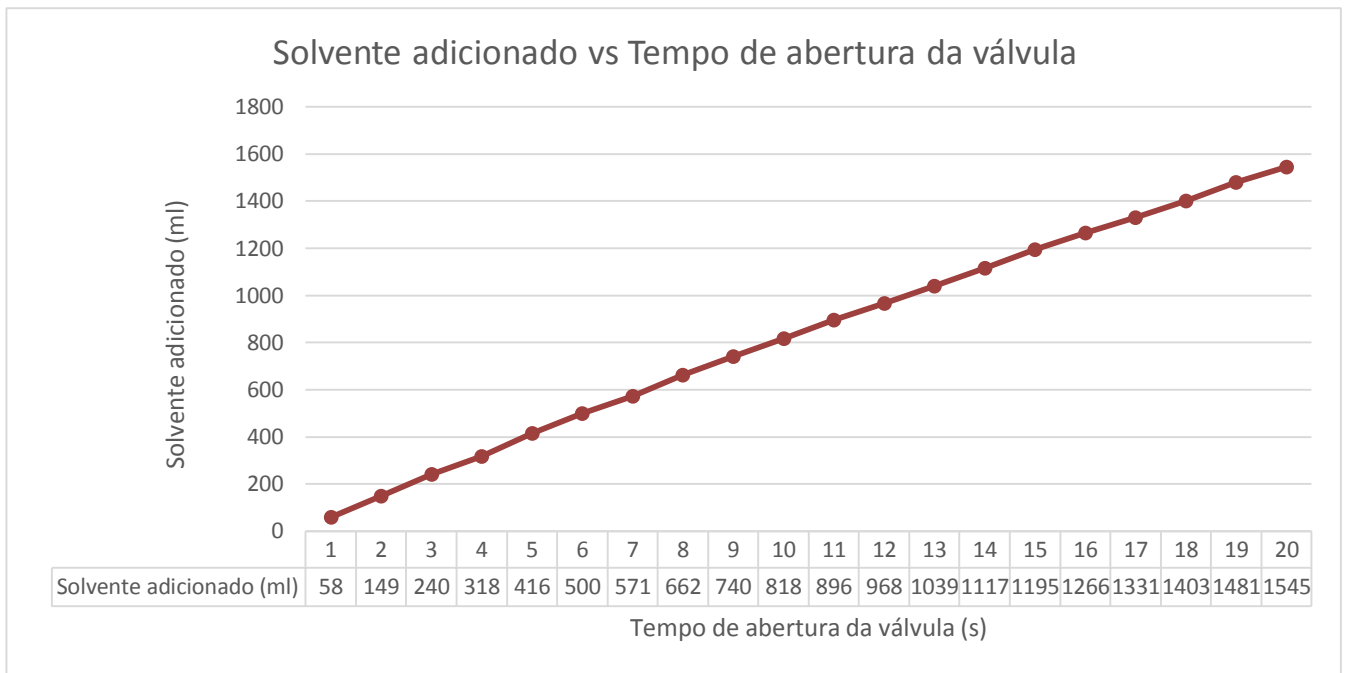


Figura 77 – Relação entre o tempo de abertura da electroválvula e a quantidade de solvente adicionada

Da análise da figura, determinou-se a equação capaz de melhor traduzir a variação registada. Assim, foi utilizada uma equação de segundo grau dado permitir uma melhor aproximação, sendo esta em seguida evidenciada:

$$Qtd = -0.5903 \times t^2 + 90.26 \times t - 27.307$$

Posto isto, e dado o tempo de abertura da válvula variar de forma praticamente linear com o decorrer do tempo, foi para quantidades superiores a 1,5 litros utilizada a seguinte aproximação:

$$Qtd = 77.863 \times t + 18.148$$

No que é referente aos parâmetros introduzidos no *software* para o funcionamento do sistema, foi com base nas recomendações do fornecedor, nas *guidelines* Bosch, e na experiência adquirida, definidos os valores apresentados na figura 78.

Nr.	Limite	Quantidade (l)	t (s)	+
1	25	0.5	900	<input type="checkbox"/>
2	27	1	1200	<input type="checkbox"/>
3	29	1.5	1800	<input type="checkbox"/>
4	30	2	2700	<input type="checkbox"/>

Figura 78 – Parâmetros de adição de solvente

De notar, que estes têm por base um valor de viscosidade ótimo de 25 segundos, encontrando-se estas definições atualmente em fase de testes com o objetivo de proceder à sua otimização.

5.15. Resultados

Após a instalação e definição de parâmetros, o sistema de ajuste de viscosidade foi colocado em funcionamento durante um período de testes, a partir do qual se procederá - em caso de feedback positivo - à alteração dos procedimentos de controlo de viscosidade existente. Na figura 79, é apresentado o registo de atividade do *software* durante o seu funcionamento no equipamento de *dip coating*. De notar, que foi selecionado este período para análise dado tratar-se de um intervalo representativo do princípio de funcionamento do sistema desenvolvido.



Figura 79 – Sistema de ajuste automático de viscosidade

Analisando a figura, observa-se um valor de viscosidade superior a 30 segundos aquando a inicialização do *software*. Como tal, e de acordo com os parâmetros definidos, foram adicionados 2 litros ao circuito de *coating* com um período de misturação de 45 minutos. Findo este tempo, a aplicação procedeu à reavaliação das condições do sistema, tendo procedido à adição de 1 litro de solvente para um valor de viscosidade entre 27 e 29 segundos. Seguidamente, foi por duas vezes adicionada uma quantidade de 0.5 litros para estabilização do sistema no valor de viscosidade pretendido.

Posto isto, observa-se a estabilização do valor de viscosidade em aproximadamente 23 segundos, sendo o ajuste de viscosidade a partir deste momento realizado de forma mais controlada, procedendo-se à adição de solvente em menores quantidades e ao longo de um maior espaço temporal. Assim, pode-se concluir que o sistema se encontra durante esta fase a operar como expeável, cumprindo todos os requisitos propostos.

5.16. Considerações

Apesar de ainda numa fase preliminar, é possível retirar algumas conclusões relativas à implementação do sistema em estudo. Assim, e de uma forma geral, é possível afirmar que o princípio de funcionamento do sistema desenvolvido se encontra validado, cumprindo este o propósito para o qual foi projetado. No entanto, é ainda necessário avaliar a sua robustez de modo a ser passível a sua plena utilização a nível industrial. De notar, que esta tarefa se encontra atualmente em execução, encontrando-se o sistema em fase de testes, com o intuito de averiguar a sua capacidade de resposta às flutuações do valor de viscosidade.

No que diz respeito a trabalhos futuros para a melhoria do sistema, estes são em seguida descritos:

- Desenvolvimento do módulo de estatísticas do *software* para a criação de um histórico do valor de viscosidade;
- Integração do sistema com o equipamento de *coating* de modo a forçar a sua paragem aquando valores de viscosidade fora de especificação / Integração do sistema com o CMMS de modo a tornar possível a criação de uma avaria para valores de viscosidade fora de especificação;
- Implementação de célula de carga para controlo da quantidade de solvente existente no reservatório (software pré programado para esta funcionalidade);
- Utilização de reservatório de maior capacidade de modo a diminuir a periodicidade de verificação/reabastecimento do reservatório de solvente;
- Otimização dos parâmetros de abastecimento definidos;
- Instalação de sensores de nível no tanque de *coating* para controlo da quantidade de fluido existente. Atualmente, o excesso de *coating* no tanque do equipamento é evitado pelo procedimento existente que contempla a verificação de nível aquando o reabastecimento do reservatório de solvente;

5.17. Outras ações de melhoria

Para além do sistema de ajuste automático de viscosidade, foi também sugerido pela metodologia RCM a alteração do método de fixação das placas. Neste caso, verificava-se o desajuste das molas dos pendurais devido ao desaperto dos parafusos. Desta forma, e para este primeiro ponto, realizou-se uma intervenção nos parafusos responsáveis pela fixação das molas dos pendurais com o objetivo evitar o seu desaperto e a consequente falha do sistema de fixação. Por sua vez, e dado não existir espaço suficiente para proceder à alteração das características do parafuso, optou-se pela aplicação de cola de fixação, de modo a aumentar o atrito entre as superfícies e assim assegurar o binário inicial. Com isto, é exetável a redução da ocorrência deste modo de falha, reduzindo assim a quantidade de PCB's danificados. Na figura 80, encontra-se documentada a alteração efetuada.

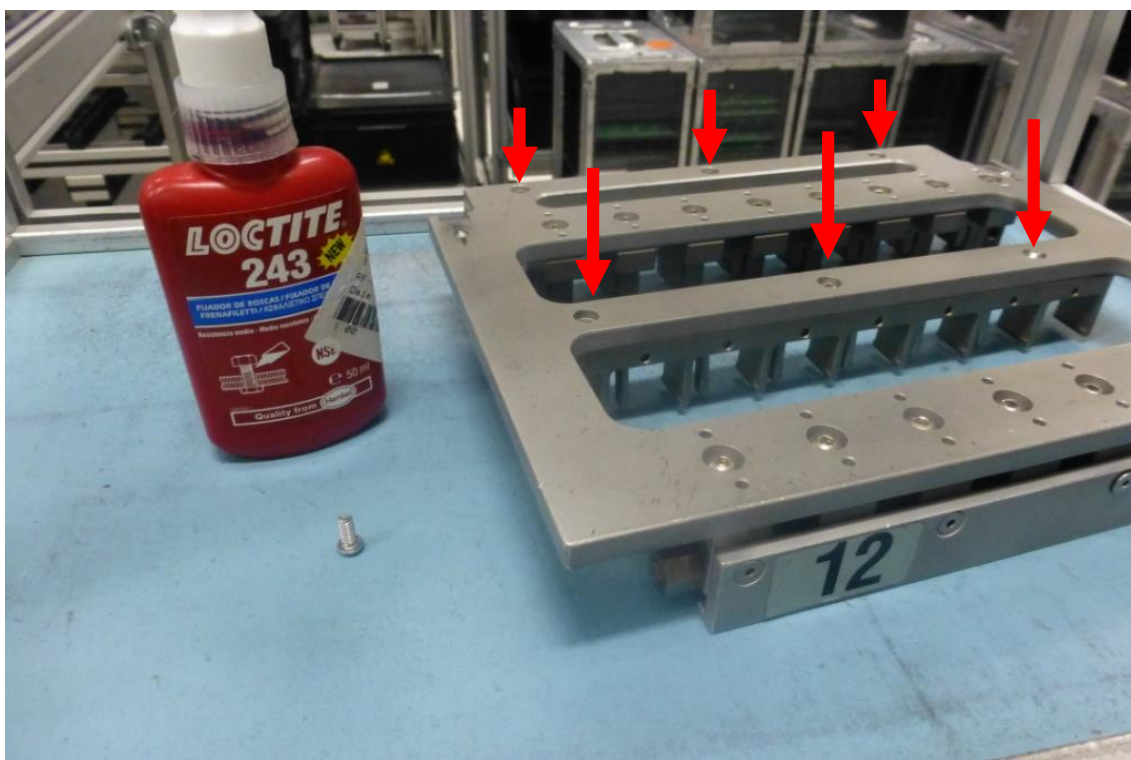


Figura 80 – Aplicação de cola de fixação nos pendurais de transporte de PCB's

Note-se, que esta alteração foi aplicada aos 312 parafusos dos 52 pendurais do equipamento, sendo que, até à data, não se registou nenhuma nova ocorrência.

Em seguida, foi também analisado o segundo tópico evidenciado na metodologia RCM, sendo este relativo ao modo de falha por fadiga mecânica das molas dos pendurais. Assim, criou-se uma manutenção preventiva para a sua substituição periódica, podendo esta ser consultada no

anexo VIII desta dissertação. Nesse documento, definiu-se como semestral a frequência de realização da manutenção, tendo esta no entanto uma tolerância de 15%. De notar, que estes prazos foram apenas estimados, devendo ser ajustados em função do número de falhas detetadas. Na figura 81, é apresentado o calibre fabricado para auxiliar a realização desta manutenção, permitindo este assegurar o posicionamento das molas e assim facilitar a tarefa de substituição. No anexo IV, é possível consultar o seu desenho técnico.

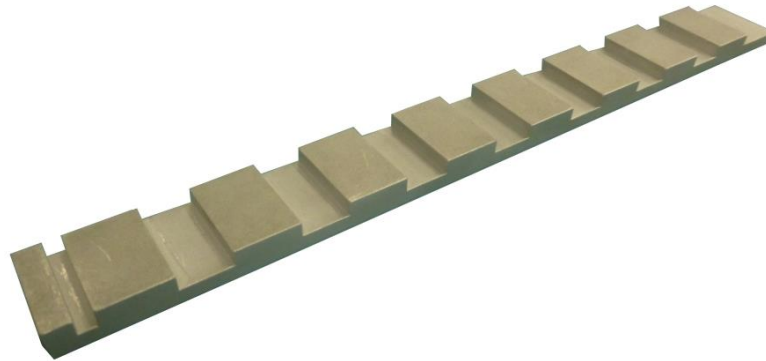


Figura 81 – Calibre de auxílio ao processo de manutenção das molas dos pendurais

6. Conclusão

A busca pela melhoria contínua dos processos é hoje em dia prática indispensável para o sucesso das empresas, sendo esta uma forma que propicia quer a redução de custos como aumento da qualidade do processo. Neste âmbito, e com o objetivo de melhorar o desempenho de um equipamento de *dip coating*, foi aplicada a metodologia RCM que permitiu de forma clara e objetiva identificar os vários modos de falha do equipamento, bem como classifica-los quanto à sua criticidade. Com isto, foi possível definir as estratégias de manutenção mais adequadas, aumentar o conhecimento da empresa sobre o equipamento, otimizar recursos, bem como direcionar esforços para os pontos assinalados como de maior prioridade, e assim antecipar avarias e seus efeitos.

Neste seguimento, intervir-se nos pontos de maior criticidade assinalados com esta metodologia, tendo-se procedido à criação e redefinição de tarefas da manutenção, ao redesign de elementos com problemas de conceito, bem como à criação de *stock* de peças críticas para o funcionamento do equipamento. Para além destas ações, foi também desenvolvido um sistema para o ajuste automático de viscosidade para colmatação de um dos modos de falha do equipamento, previamente identificado pela empresa, e também evidenciado neste trabalho. Com a sua implementação, e apesar de ainda numa fase de testes, foi possível numa primeira fase, com a introdução do sensor de viscosidade, reduzir a incerteza associada ao processo de medição manual, evitar o contacto do operador com a atmosfera tóxica do equipamento, bem como aumentar a disponibilidade do equipamento e sua produtividade através da redução do tempo despendido durante o processo de verificação. Findo o tempo de validação do sistema, será expectável a alteração do procedimento de ajuste atual, procedendo neste caso o sistema ao ajuste automático, eliminando assim a necessidade de execução de uma manutenção preventiva diária, bem como diminuído o risco de paragem do equipamento devido a este modo de falha.

Em suma, pode-se concluir que foi possível com esta dissertação melhorar o equipamento em estudo, com o aumento da sua disponibilidade e produtividade e consequente redução de custos. Para além destas vantagens, foi também possível do ponto de vista do produto garantir a sua qualidade, através da criação de um histórico dos valores de viscosidade passível de ser integrada na sua cadeia de rastreabilidade.

Referências bibliográficas

- [1] LICARI, J. J. - Coating Materials For Electronic Applications. ISBN 0815514921.
- [2] Protecting external electrical equipment from humidity damage and failure - [Em linha], atual. 2011. [Consult. 13 abr. 2014]. Disponível em: <URL:<http://www.rosahl.co.uk/protecting-external-electrical-equipment-from-humidity-damage-and-failure>>.
- [3] CATTONI, D.; DRAPER, C. - Conformal Coatings for LEDs on PCB Assemblies. 2013).
- [4] COATINGS, C. S. - Conformal Coatings Facts & Data Handbook. [s.d.].
- [5] Conformal Coatings Provide Superior Protection for Printed Circuit Boards - [Em linha] [Consult. 5 maio. 2014]. Disponível em: <URL:<http://techbriefs.b2b.ntent.com/EN/Microsites/1/Master+Bond+Inc/ConformalCoatings-UVCureEpoxiesandSiliconesProtectiveCoatings>>.
- [6] PETERS, L. - Processing instructions for the *conformal coatings* of the series ELPEGUARD SL 1300 to SL 1309 N and SL 1400. [s.d.].
- [7] How to Successfully Hand Spray Solvent-Based Conformal Coatings on to Printed Circuit Boards - [Em linha] [Consult. 7 maio. 2014]. Disponível em: <URL:<http://www.conformalcoatingconsultancy.com/cms/How-Spray-Coat>>.
- [8] Techspray Turbo-Coat Acrylic Conformal Coating - [Em linha] [Consult. 7 maio. 2014]. Disponível em: <URL:<http://www.intertronics.co.uk/products/tec2108conformalcoating.htm>>.
- [9] Dip-Coating - [Em linha] [Consult. 14 maio. 2014]. Disponível em: <URL:<http://www.ahk-service.de/main/coating-technologies/beschichtungsverfahren/dip-coating/?L=1>>.
- [10] JONES, T. C. - Dip Coating. Metal Finishing. . ISSN 00260576. 108:11-12 (2010) 130–132. doi: 10.1016/S0026-0576(10)80223-5.
- [11] Precision Coating Services - [Em linha] [Consult. 25 maio. 2014]. Disponível em: <URL:<http://scci.dyndns-server.com/sccinc>>.
- [12] WHEREVER, S. - High-Throughput Protective Coating Throughputs of the modula Throughputs of perfecta NT. 49:0 ([s.d.]).
- [13] Application of Reliability Centred Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants - May (2007).
- [14] REGO, A. A. - RCM Aplicada a Empresa Metalomecânica – Aplicação da Filosofia RCM. 2006).
- [15] LY, J. U. - Reliability Centered Maintenance. 2004).
- [16] Aplicação da FMECA a sistemas ferroviários - 2006) 1–93.

- [17] Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and Reliability Centred Maintenance (RCM) - [Em linha] [Consult. 23 abr. 2014]. Disponível em: <URL:<http://www.oilandgasfundamentals.com/wp-content/uploads/OGF-AIM-Course-4-Module-3.pdf>>.
- [18] DIN, Ford, & Zahn Cups - [Em linha] [Consult. 3 maio. 2014]. Disponível em: <URL:<http://www.finishsystems.com/fordzahncups.html>>.
- [19] Fluidez e Viscosidade - [Em linha] Disponível em: <URL:<http://www.tudosobreplasticos.com/propriedades/fluidez.asp>>.
- [20] KIM, C. H.; LIPTÁK, B. G.; REED, G. - Viscometers – Industrial. 2003).
- [21] Viscometer Types - [Em linha] [Consult. 10 ago. 2014]. Disponível em: <URL:http://www.rheosys.com/help_system/types_of_viscometer.htm>.
- [22] VA-100 - [Em linha] [Consult. 13 mar. 2014]. Disponível em: <URL:<http://www.marimex.de/eng-va-100-marimex-germany.php>>.
- [23] Viscosity Sensor 321: In-tank Viscometer - [Em linha] [Consult. 13 mar. 2014]. Disponível em: <URL:http://www.paclp.com/process_analytics/viscosity_sensor_321:_in-tank_viscometer>.
- [24] VTX423 - [Em linha] [Consult. 13 mar. 2014]. Disponível em: <URL:<http://www.tdcollaborative.com/vibroviscometer.htm>>.
- [25] XL7 series process viscometers - [Em linha] [Consult. 13 abr. 2014]. Disponível em: <URL:http://www.hydramation.com/XL7_standard.html>.
- [26] Solenoid Valves Information - [Em linha] [Consult. 23 ago. 2014]. Disponível em: <URL:http://www.globalspec.com/learnmore/flow_control_flow_transfer/valves/solenoid_valves>.
- [27] D-sub 9 Connector Pinout - [Em linha] [Consult. 19 set. 2014]. Disponível em: <URL:<http://www.db9-pinout.com>>.

Anexo I - ViscoScope VA-100C



Proposta: CO / 880
 V/Consulta:
 Concurso N.º:
 Data: 23.05.2014

BOSCH CAR MULTIMEDIA PORTUGAL, LDA.(P)
 A/C.: Eng.º Luís Branco
 Apartado 2458
 4701-970 BRAGA
 Fax : 253 309668

De acordo com o solicitado, enviamos a nossa melhor proposta para o material pretendido:

Referência	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Total
MRX-VA-100C	Viscosímetro em by-pass MARIMEX Sensor ViscoScope VA-100C -Modelo VA-100 -Tipo de sensor: C - cilíndrico para baixa viscosidade D= 32 x 145mm -Gama de calibração: 0 - 250 mPa.s x g/cm ³ -Temperatura de trabalho: max. 130 °C -Cabos ligação: ligação fêmea IP65 -Partes húmidas: 1.4404/1.4571 (316L/316Ti)	6.567,00	1,0	6.567,00
MRX-FLOWCHAMBER	Câmara de fluxo D=79 x 175mm para sensor VA100 com mont.79	535,00	1,0	535,00
MRX-CABLE	Cabo de transmissão, preto -Cabo preto especial, que liga sensor ao transmissor -Comprimento: 3 mt -Terminal do sensor: ficha IP65 -Terminal do transmissor: arco de metal	33,00	1,0	33,00
MRX-VS-4450	Transmissor-Modelo VS-4450 -Modelo: VS-4450 com display -Alimentação: 95...260 VAC, 50...60Hz, 15W -Saídas analógicas: 2 terminais-0/4...20 mA ou 0/2...10VDC, configurável activo-livre -Saída de série: não tem -Painel de relés: não tem -Armadura: Montagem de parede, IP65 - ABS	5.428,00	1,0	5.428,00

EM CASO DE ENCOMENDA P.F.DEVOLVER AS C.G.V.ASSINADAS. Base IVA
 IVA (23%)
TOTAL EUROS

Garantia:

Condições:

Validade:

Prazo de entrega:

Pagamento:

Estamos à vossa inteira disposição para qualquer esclarecimento.
 Com os nossos melhores cumprimentos,

Referência	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Total
------------	------------	----------------	------------	-------------

Nota: instalação e arranque não incluídos

EM CASO DE ENCOMENDA P.F.DEVOLVER AS C.G.V.ASSINADAS.	Base IVA	12.563,00
	IVA (23%)	2.889,49
	TOTAL EUROS	15.452,49

Garantia: 1 Ano contra defeitos de fabrico, em peças e mão-de-obra.

Deslocação e estadia não incluídas

Condições: Encomendas inferiores a 300.00 EUR terão encargos administrativos.

Validade: 30 DIAS

Prazo de entrega: 8 a 12 Semanas

Pagamento: 30% com a encomenda ; 60% com a entrega ; 10% com a instalação

Estamos à vossa inteira disposição para qualquer esclarecimento.

Com os nossos melhores cumprimentos,

Software PHC - Processado por programa certificado nº 0006/AT-Este documento não serve de fatura

ViscoScope VA-100C sensor



ViscoScope-sensor model **VA-100C-LT** with 1.5" NPT thread

Covering a viscosity range from 0.1 to 2,500 mPa·s, the **VA-100C** (cylinder) sensor is ideal for applications in oils, paints, varnishes, suspensions or emulsions. Reproducibility in Newtonian and non-Newtonian fluids is $\pm 0.3\%$ or ± 1 digit of the reading taken.

The sensor probe can also be fitted with an optional Pt100 temperature sensor, which makes it possible to calculate a temperature-compensated viscosity using the measured process temperature.

The sensor can be mounted in any position in vessels, pipes or flow-through cells and be supplied with NPT-thread or antiseptic fittings. This provides seamless monitoring of batch and continuous processes.

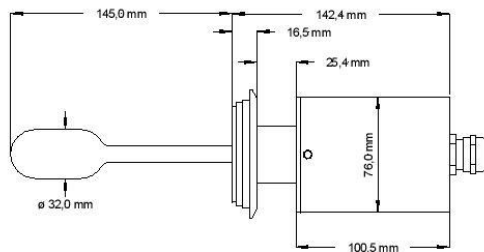
We are specialists in viscosity measurement in industrial processes and will be happy to advise you on selecting the correct system for your application.

Typical Applications

- Emulsions
- Suspensions
- Dispersions
- Varnishes
- Paints
- Oils
- Mayonnaise
- Sauces
- Chocolates

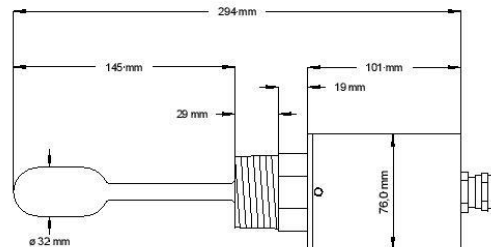
Sensor – Specification

Sensor type	VA-100C - cylinder
Viscosity range	0.1 – 2,500 mPa·s x gr/cm ³
Calibration	in 3 decades
Probe size	∅ 32 x 145 mm / ∅ 1.25 x 5.7"
Material	1.4571 and 316L option: Hastelloy C22, Duplex 2205, teflon coating
Protection	IP65
Process temperature (optional Pt100 is integrated into viscosity probe)	LT from -10°C to 130°C / -25°F to 270°F HT from -10°C to 250°C / -25°F to 480°F HT with air cooling
Process connection	1,5" NPT thread or Varivent [®] 50/40 or Tri-Clover [®] 2"
Pressure	Vacuum up to 64 bar / 950 psi, dependend on fitting
Installation	Installation in any orientation in reactor, vessel, pipe, flow-through cell
Resonance frequency Shear rate	~ 520 Hz ~ 3250 sec ⁻¹
Cable length Sensor - Transmitter	maximum 1,000 meters / 3,330 feet short cable length recommended for very low viscosities
Speed of flow	up to 5 m / sec. or 16 feet / sec., dependend on installation
Reproducibility of reading	± 0.3% or ± 1 Digit
Accuracy of reading	± 1% or ± 1 Digit
option: hazardous area	in planning



VA-100C with Varivent[®] fitting 50 / 40

VA-100C with 1.5" NPT thread



Bergiusstrasse 6
46244 Bottrop / Germany

Tel.: +49-(0)2045-4038-0
Fax: +49-(0)2045-4038-19

info@marimex.de
www.marimex.de
© Marimex 06/08

Anexo II - VISCOpro 1600 - 321



Proposta: CO / 542
 V/Consulta: mail 19/02/2014
 Concurso Nº:
 Data: 25.03.2014

BOSCH CAR MULTIMEDIA PORTUGAL, LDA.

A/C.: Engº Luís Branco

Fax : 253 309668

De acordo com o solicitado, enviamos a nossa melhor proposta para o material pretendido:

Referência	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Total
CVI-VP1600-SYSTEM	Viscosímetro em linha VISCOpro 1600 - 300 com sensor 321 PAC-Cambridge Viscosity - Série 300 - gama [25-500] cP VISCO PRO 1600 - Configurable System Configuração 507988 inclui: -VISCOpro 1600 - Sistema 300 - Sensor 321 (SPL) desenhado para aplicações em tanque. Braço extensível. - Bloco deflector - Pistão (série 300) 25-500 cP padronizado. Inclui padrão de calibração N35 - Compartimento electrónico de montagem directa para VISCOpro 1600, 12VDC, RS485, C11 Div 1 compartimento - Calibração - Cabo 4,5 m TEFLON com conector remoto phoenix (série 300) VP1600 -Certificação ATEX e instruções de segurança -Manual do sistema - Extensão adicional braço para sensor modelo 321 - com incrementos de 1 pé - Kit de acessórios para sistemas de processo série 300 (fórceps, cavilha, chave sextavada, chave de fendas) - Interface display VP1600 com dupla saída 4-20mA - Fonte de alimentação, tomada de parede	9.776,00	1,0	9.776,00

EM CASO DE ENCOMENDA P.F.DEVOLVER AS C.G.V.ASSINADAS. Base IVA
 IVA (23%)
TOTAL EUROS

Garantia:

Condições:

Validade:

Prazo de entrega:

Pagamento:

Estamos à vossa inteira disposição para qualquer esclarecimento.
 Com os nossos melhores cumprimentos,

Referência	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Total
NS-ARRANQ.ADICION	Opções: Arranque e formação no equipamento (1 dia)	570,00		

EM CASO DE ENCOMENDA P.F.DEVOLVER AS C.G.V.ASSINADAS.	Base IVA	9.776,00
	IVA (23%)	2.248,48
	TOTAL EUROS	12.024,48

Garantia: 1 Ano contra defeitos de fabrico, em peças e mão-de-obra.

Deslocação e estadia não incluídas

Condições: Encomendas inferiores a 300.00 EUR terão encargos administrativos.

Validade: 30 DIAS

Prazo de entrega: 8 a 12 Semanas Semanas

Pagamento: 30% com a encomenda ; 60% com a entrega ; 10% com a instalação

Estamos à vossa inteira disposição para qualquer esclarecimento.

Com os nossos melhores cumprimentos,

Software PHC - Processado por programa certificado nº 0006/AT-Este documento não serve de fatura

Technical specifications

Power input:	12 VDC, 12 W
Outputs:	(2) 4-20mA; 1 RS485
Accuracy:	+/- 1.0% of full scale (correlates to ASTM D445)
Repeatability:	0.8%
Ranges:	0.2-20,000cP (0.2-2cP, 0.25-5cP, 0.5-10cP, 1-20cP, 2.5-50cP, 5-100cP, 10-200cP, 25-500cP, 50-1,000cP, 100-2,000cP, 250-5,000cP, 500-10,000cP, 1,000-20,000cP)
Wetted Components:	Standard 316L/430 Stainless Steel, Optional Hastalloy and Sanitary Components
Temperature Range:	-40°C to 190°C (375°F)
Maximum Operating Pressure:	1000 psi (70.3 bar)
Temperature Sensor Type:	4 wire Platinum RTD
Certifications:	FM, 3A, CE, ATEX – EExdIIC, [EEx d IIC T4, -20C<Ta<95C (For SPL Models), EEx d IIC T2, -20C<Ta<190C (For SPL Models)] Factory Mutual - Class 1 Div.1, Group C, D:T3 NEMA4, IP-66 (Sensor model 571 - only CE certified. Ranges differ, call factory)

Anexo III - TD Collaborative VTX423

Quotation



Technology that Makes Sense

Quote #: 13069

PO#:

Invoice#:

Date: 7-Mar-14

Valid Until: 6-May-14

To:
 Bosch Car Multimedia Portugal S.A.
 Car Multimedia, BrgP/TEF8
 Apartado 2458
 4701-970 Braga, PORTUGAL
 Attn: Louis Branco
 Ph: +351 253 606 778
 email: Louis.Branco@pt.bosch.com
 VAT#

From:
 TD Collaborative LLC
 3 Green Street Rear
 Woburn, MA, USA
 01801
 Attn: Hugh Wright <hugh.wright@tdcollaborative.com>
 Ph: 1.781.933.6116 or 1.781.820.1005 [cell]
 Fax: 1.781.305.3736
 Fed EIN: 20-4381771

Wire Acct#: 3900495553

Swift/Bic: SVRN US33 // FW 011075150

Bank: Sovereign Bank, 1130 Berkshire Blvd, Wyomissing, PA, 19610

Item#	Description	Availability ARO	Qty	\$Price	\$Extend
1	VTL 423T-32-09 300cp tank style viscometer	4-6 wks typ	1	\$1,980.00	\$1,980.00
2	D422 Display Optional 7-segment, 4 digit, 2 channel display of viscosity and temp	4-6 wks typ	1	\$395.00	\$395.00
3					
4					
5					
	Volume Discount		1		\$0.00
Terms: Net 60 days, -1.5% 30 days, -3% 15 days				Est Shipping & Insurance:	\$200.00

Total Due 60 days After Receipt of Order: \$2,575.00

OR, Total Due 30 days ARO: \$2,536.38

OR, Total Due 15 days ARO: \$2,497.75

Signed: _____

www.TDCollaborative.com

TD Collaborative LLC

VTX423T: Viscosity and Temperature Sensor for In-Tank Applications

Highlights

- All welded construction
- Patented "Hammer and Anvil" technique
 - Increased low end sensitivity
 - Stable ratio-metric measurement
- No-moving-parts reliability
- Fast and accurate response
 - 5 measurements per second
 - 1000 ohm Platinum RTD
- Outputs for monitoring and control
 - 4-20ma, Viscosity and Temperature
 - Serial port monitoring and set up
- Easily installed using built in tank flange adaptor



Overview: The VTX423T is a simple, cost effective way to monitor and control fluid viscosity in day tanks, mix tanks, etc.. It inserts directly into a tank. It's ratings of 100 deg.C. [212F] makes it suitability for use with most unpressurized fluids. Control circuitry is housed in a rugged industrial enclosure mounted directly to the sensor. It runs on safe 24Vdc power, returning sourced 4-20ma signals AND a serial port data and setup link. The companion [optional] D422 display provides a visual high intensity 7-segment display with easy access to both the serial and 4-20ma data streams. See the D422-1 data sheet for additional details.

Operation: Every 200ms a new measurement is made of viscosity and temperature. Viscosity is measured using our proprietary vibrating cantilever beam and post [US patent 6,668,621]. Vibration of the beam is induced with a coil inside the sensor. New, fourth generation, variable reluctance techniques are used to measure

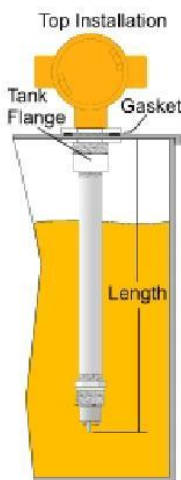
beam tip vibrations. Variable reluctance is simple and reliable, AND it eliminates the need for environmentally hazardous piezoelectrics. Ratio-metric measurement virtually eliminates sensitivity shifts due to age or sensitivity drift. Our proprietary "hammer and anvil" beam tip design increases viscosity measurement sensitivity, particularly at low viscosities such as those needed for HFO pre-combustion control. Temperature is measured using a 1000 ohm precision platinum RTD positioned near the beam tip. There are no moving parts to wear or jam, no motors, no rotating seals, no shuttling bobbins to jam, no capillaries to plug and no measurable self heat to corrupt the viscosity and temperature measurements. We use no rare earth magnets. All wetted materials are corrosion resistant materials such as 316 SS and mumetal, Ebeam welding eliminates any weld stick foreign materials.

Specifications

Model	Viscosity	Temperature
VTL423T-41	3 - 40cp	0-140 degC
VTL423T-12	7 -100cp	0-140 degC
VTL423T-32	15 - 300 cp	0-140 degC
RMS error	<5% Reading	±0.1 degC
Resolution	±0.01cp to 100cp, ±0.1cp above 100cp	±0.01 degC

Mounting	Tank flange with o-ring seal, [requires 1 5/8" clearance hole].
Interconnect Hubs	3/4" NPT for flexible or rigid conduit
Required Power	24 ±4Vdc, 300ma
Maximum tank wall thickness	3/4" [19mm]
Length Options	5", 7", 9", 11", 15", 21", 27" [13, 18, 23, 30, 38, 53, 69 cm]

Installation



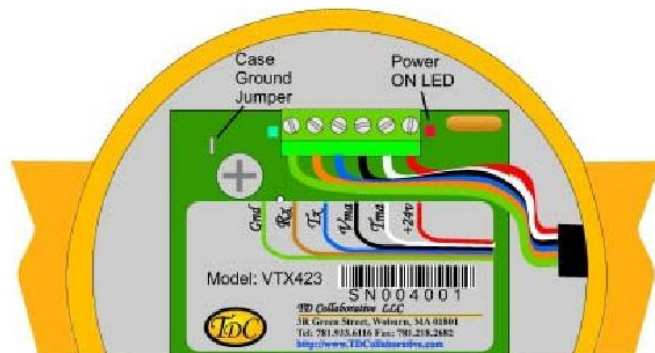
If the fluid viscosity exceeds the measurement range, there is no damage to the sensing head. Care should be taken to not drain the tank level below the sensing head if the fluid is prone to dry out [e.g. paint]. The yellow junction box should not be disconnected from the stem or the stem from the sensor.

Electrical Hookup

Inside the screw off cap, there is a 1 x 6 terminal strip. Pins 1 and 6 are for ground and 24V power respectively. Pins 2 and 3 are Rx and Tx for "3-wire" 2400 baud, 8bit, no parity, 1 stop bit, no handshake serial communication [see TechNote 10354 for details]. Pins 4 and 5 are sourced 4-20ma outputs corresponding to viscosity and temperature respectively. It is recommended that the interconnect cable be shielded and grounded at the both ends. As shipped the sensor case is connected to electrical ground through the "Case Ground Jumper". To isolate the case cut the jumper.

VTX423T Tank Installation

The tank configuration installs into the side, bottom, or top of a tank. The tank flange requires a 1 5/8" access hole, through which the sensing head will pass. The assembly is held in place with an internal nut. Inside length should be specified from the list above.



Consult the factory for additional details and options or for a quote.



TD Collaborative LLC *Technology Leadership - it's in the name*

3R Green Street, Woburn, MA 01801
Tel: 781.933.6116 Fax: 781.218.2682

Anexo IV - Hydramotion XL7

XL7 process viscometer data

The **XL7 transducer** can be supplied in a range of sizes with virtually any process fitting. The XL7-100 model with a flanged connection is shown below as an example.



XL7 viscometer	
Range	0 to 1,000,000,000 cP
Accuracy	±1% of reading
Repeatability	±0.3% of reading
Temperature	standard: -40 to +150 °C HT2 high temp: up to 400 °C
Pressure	to process connection
Process connection	to suit application
Safety certification	All instruments also available as intrinsically safe IEC Ex ia versions
Overall length	443 mm (standard)
Materials	all 316 stainless steel (standard); other materials on request
Construction	all-welded crevice-free wetted parts
Finish	standard: high polish optional: electropolish; PTFE coated
Environmental rating	IP68

VP550 signal processor	
Power supply	24V DC @ 150 mA (including transducer)
Inputs (optional)	<ul style="list-style-type: none"> temperature (PRT or 4-20mA analogue) density (4-20mA analogue) pressure (4-20mA analogue)
Outputs	3 x 4 - 20 mA analogue, fully configurable, representing either viscosity or referenced viscosity • RS485 ModBus serial link
Environmental rating	IP65
Safety certification	Safe Area
Features	<ul style="list-style-type: none"> Viscosity correction to standard conditions 2-off volt-free contact outputs
Options	USB output

Anexo V - Burkert 125304

2/2-Way; G 1/8" – G 3/8"; PN up to 25 bar



DTS 1000011032 EN Version: B Status: PL (released | freigegeben | validé) printed: 30.06.2006

Design/Function

The 6013 valves are based on a modular concept comprising three basic elements: Valve body, push-over coil and standard cable plug. The valve assembly consists of a body to which the armature guide tube containing the plunger, seals and springs is attached.

The coil is pushed over the guide tube and thus isolated from the medium.

The medium is only in contact with the valve internals and body.

A wide selection of port and orifice sizes is offered. The valve body material is brass and stainless steel. All valves have high quality FKM seals as standard.

To simplify ordering, a wide selection of standard combinations of valve body, push over coil and standard cable plug can be ordered with one order number.

Cable plug options of Type 2508 are available to suit special electrical application requirements.

- The modular concept provides flexibility to meet application requirements.
- The valves are interchangeable with Type 211.

Advantages/Benefits

- ▶ Coil can easily be changed with valve in place
- ▶ Coil lockable in 4 x 90° positions or freely movable in between, as required
- ▶ Medium is only in contact with the valve internals and the body
- ▶ High-quality seal material FKM as standard
- ▶ High temperature option

Applications

Fluids

Brass version:

Neutral gases and liquids, e.g. compressed air, town gas, natural gas, water, hydraulic oil, petrol.

Stainless steel version:

Difficult and slightly aggressive media

High temperature version:

Steam

Suitable for technical vacuum

Applications

- Pneumatic control
- Shut-off, dosing, filling and venting
- Small-scale instruments, laboratory and measuring technology
- Welding technology

burkert
Easy Fluid Control Systems

Compact Solenoid Valve - General Purpose

Threaded Port G 1/8" - G 3/8"

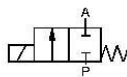
Type 6013

Technical Data Type 6013

Circuit function

A 2/2-way valve,
normally closed

Symbol



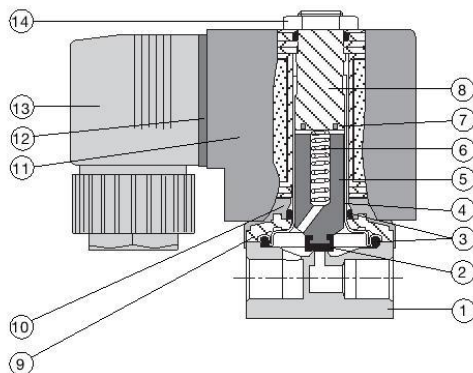
Operating Data (Valve)

Pressure range	0-25 bar (see specifications)
Port connection	Threaded port G 1/8"-G 3/8"
Orifice	DN 2,0-6,0 mm
Fluid	Neutral gases and liquids, e.g. compressed air, town gas, natural gas, water, hydraulic oil, petrol. Stainless steel version for difficult and slightly aggressive media. High temperature version for steam. Suitable for techn. vacuum.
Medium temperature	
FKM	-10 up to +100 °C
PTFE / Graphite	0 up to +180 °C
Max. ambient temperature	+55 °C
Max. viscosity	21 mm ² /s
Response times	
Opening	AC, DC 20 ms
Closing	AC, DC 30 ms
Installation	As required, but preferably with solenoid system upright

Operating Data (Actuator)

Operating voltages	AC 24, 110, 230 V/50 Hz, 24 V/DC
Voltage tolerance	±10 %
Power consumption	See ordering chart
Duty cycle	100% continuously rated
Duty cycle for multiple manifolds	60% periodic duty (30 min) or use 5W-version (on request)
Cycling rate	Up to 1 000 c.p.m.
Rating with cable plug	IP 65
Electr. connection	Delivery standard: Cable plug DIN 43650 A, 0-250 V. (other versions see accessories)
On request	<ul style="list-style-type: none"> • Ex version EEx me II T4 • Analytical version • DVGW version

Materials



1 Valve body:	Brass, SS 1.4305 (G1/8") SS 1.4401 (G1/4")
2 Plunger-seal:	FKM
3 O-rings:	FKM
4 Armature guide tube:	1.4303
5 Plunger:	1.4105
6 Spring:	1.4310
7 Shading ring:	Cu (brass version) Ag (stainless steel version)
8 Stopper:	1.4105
9 Flange:	Zn3 gl cC (surface)
10 Bonnet:	Durethan BKV30H
11 Coil:	PA (Polyamide)
12 Flat seal:	NBR
13 Cable plug:	PA (Polyamide)
14 Locknut:	9SMnPb28K (surface Zn5glcA)

DTS 1000011032 EN Version: B Status: PL (released | freigegeben | validé) printed: 30.06.2006

Compact Solenoid Valve - General Purpose

Threaded Port G 1/8" - G 3/8"

Type 6013

Specifications - Ordering Chart (Other Versions on Request)

Standard version (up to 100 °C); FKM sealing

(with standard-cable plug 0-250 V AC/DC)

Circuit function	Orifice	Port connection	Kv-Value water ¹⁾	Power consumption (coil) [W]	Pressure range ²⁾ [bar]	Voltage/frequency [V/Hz]	Item-No.	Item-No.
	[mm]						[inch]	[m ³ /h]
A	2.0	G 1/8	0.12	8	0 - 12 0 - 25 0 - 25 0 - 25	24/DC 24/50 110/50 230/50	134 237 M	134 233 R
							132 865 R	134 234 J
							134 238 W	134 235 K
							134 239 X	134 236 L
A	2.0	G 1/4	0.12	8	0 - 12 0 - 25 0 - 25 0 - 25	24/DC 24/50 110/50 230/50	137 537 D	137 533 H
							137 538 N	137 534 A
							137 539 P	137 535 B
							137 540 U	137 536 C
A	2.5	G 1/8	0.16	8	0 - 10 0 - 16 0 - 16 0 - 16	24/DC 24/50 110/50 230/50	134 240 C	-
							134 241 Z	-
							134 242 S	-
							134 243 T	-
A	2.5	G 1/4	0.16	8	0 - 10 0 - 16 0 - 16 0 - 16	24/DC 24/50 110/50 230/50	137 541 R	-
							137 542 J	-
							137 543 K	-
							137 544 L	-
A	3.0	G 1/8	0.23	8	0 - 6 0 - 10 0 - 10 0 - 10	24/DC 24/50 110/50 230/50	126 091 F	126 078 Z
							126 092 G	126 079 S
							126 093 H	126 080 Q
							126 094 A	126 081 D
A	3.0	G 1/4	0.23	8	0 - 6 0 - 10 0 - 10 0 - 10	24/DC 24/50 110/50 230/50	125 301 V	125 317 L
							125 302 W	126 082 E
							125 303 X	126 083 F
							125 304 Y	126 084 G
A	4.0	G 1/4	0.30	8	0 - 1.5 0 - 4 0 - 4 0 - 4	24/DC 24/50 110/50 230/50	125 306 S	125 318 V
							125 307 T	125 319 W
							125 308 C	126 085 H
							125 309 D	125 320 T
A	6.0	G 1/4	0.55	8	0 - 0.5 0 - 1.5 0 - 1.5 0 - 1.5	24/DC 24/50 110/50 230/50	125 311 N	-
							125 312 P	-
							125 313 Q	-
							125 314 R	-
A	3.0	G 3/8	0.23	10	0 - 8 0 - 14 0 - 14 0 - 14	24/DC 24/50 110/50 230/50	134 248 G	-
							134 249 H	-
							134 250 E	-
							134 251 T	-
A	4.0	G 3/8	0.30	10	0 - 2.5 0 - 6 0 - 6 0 - 6	24/DC 24/50 110/50 230/50	134 252 U	-
							134 252 V	-
							134 254 W	-
							134 255 X	-
A	6.0	G 3/8	0.55	10	0 - 0.75 0 - 2.5 0 - 2.5 0 - 2.5	24/DC 24/50 110/50 230/50	134 256 Y	-
							134 257 Z	-
							134 258 A	-
							134 259 B	-

High temperature version (up to 180 °C); PTFE/Graphite sealing

(with standard-cable plug 0-250 V AC/DC)

Circuit function	Orifice	Port connection	Kv-Value water ¹⁾	Materials	Power consumption (coil) [W]	Pressure range ²⁾ [bar]	Voltage/frequency [V/Hz]	Item-No.
	[mm]							[inch]
A	2.0	G 1/4	0.12	Brass body SS seat	8	0 - 6.00 0 - 10.00 0 - 10.00 0 - 10.00	24/DC 24/50 110/50 230/50	136 015 C
								136 016 D
								136 017 E
								136 018 P
A	3.0	G 1/4	0.23	Brass body SS seat	10	0 - 6.00 0 - 10.00 0 - 10.00 0 - 10.00	24/DC 24/50 110/50 230/50	136 019 Q
								136 020 M
								136 021 A
								136 022 B
A	3.0	G 3/8	0.23	Brass body SS seat	10	0 - 6.00 0 - 10.00 0 - 10.00 0 - 10.00	24/DC 24/50 110/50 230/50	136 023 C
								136 024 D
								136 025 E
								136 026 F

¹⁾ Measured with 6 bar upstream pressure and 1 bar pressure drop across the valve at +20°C.
²⁾ All pressures quoted are gauge pressures with respect to the prevailing atmospheric pressure.

Options on request:

- Rc and NPT threads
- Other voltages and 60 Hz
- EEx, UL and CSA approvals
- Sub-base
- EPDM seals for -30 up to +120°C

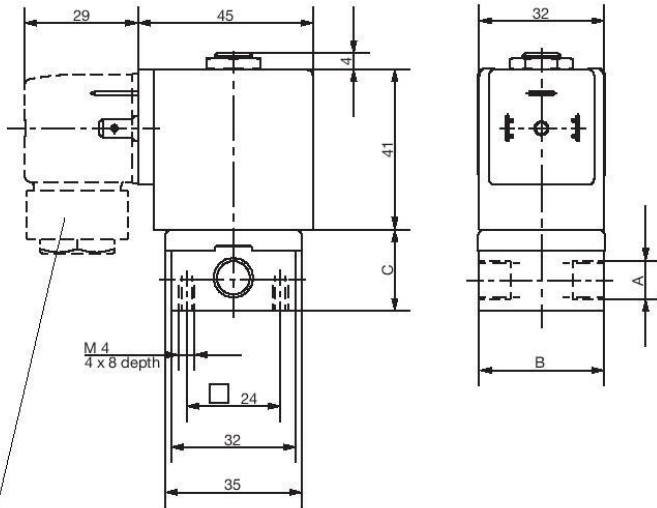
Compact Solenoid Valve - General Purpose

Threaded Port G 1/8" – G 3/8"

Type 6013

Dimensions [mm]

Threaded port version

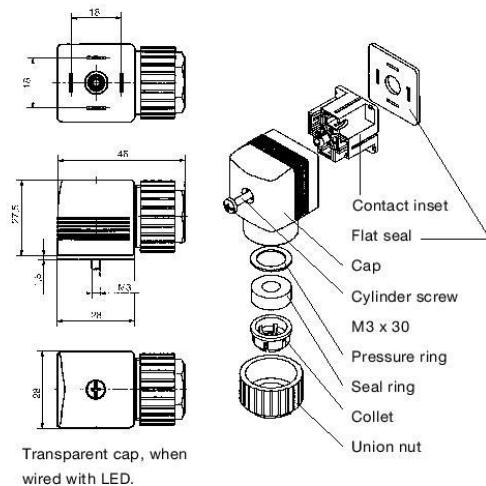


Cable plug DIN 43650, form A,
(0-250 V AC/DC) delivery standard.

Variable dimensions [mm]

	A	B	C
Threaded port G 1/8	32	20.8	
Threaded port G 1/4	46	26.8	
Threaded port G 3/8	50	39.8	

Dimensions Accessories [mm]



Transparent cap, when
wired with LED.

Ordering Chart for Accessories

Device/ Accessory	Features	Item-No.
Cable plugs ¹⁾ Type 2508	Standard cable plug, 0–250 V AC/DC (standard-delivery) ¹⁾	008 376 N
	with LED, 12–24 V AC/DC	008 360 S
	with LED, 100–120 V AC/DC	008 361 P
	with LED + varistor, 12–24 V AC/DC	008 367 M
	with LED + varistor, 100–120 V AC/DC	008 368 W
	with LED + varistor, 200–240 V AC/DC	008 369 X
	(optional wirings and connection specifications see data sheet Type 2508)	

¹⁾ The standard cable plug (0-250 V AC/DC), Order-No. 008 376 N is part of the standard delivery.
Ordering of optional cable plugs with separate item number.

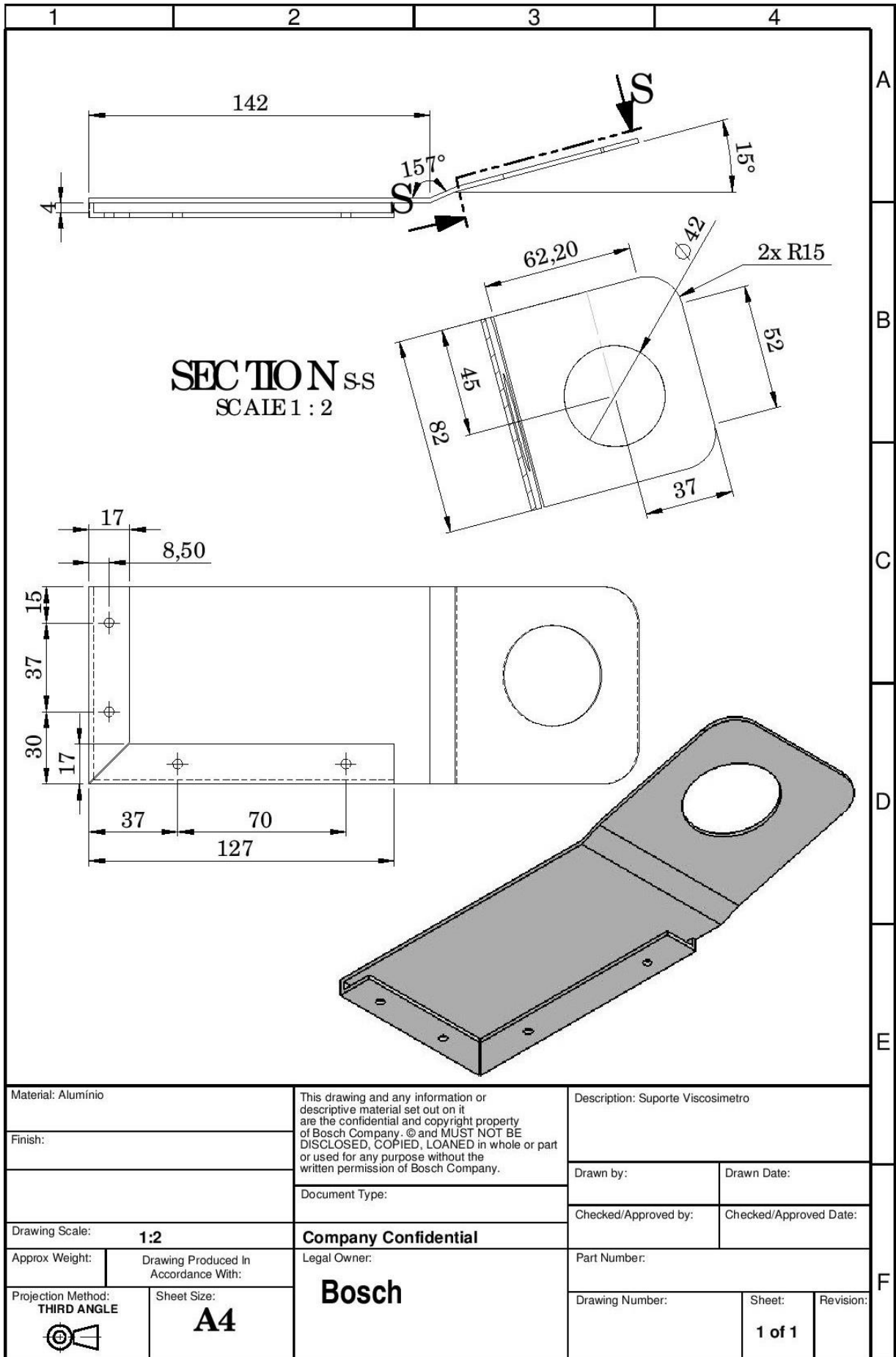
A wide selection of further cable plugs is available
(see data sheet type 2508)

In case of special requirements
please consult for advice.

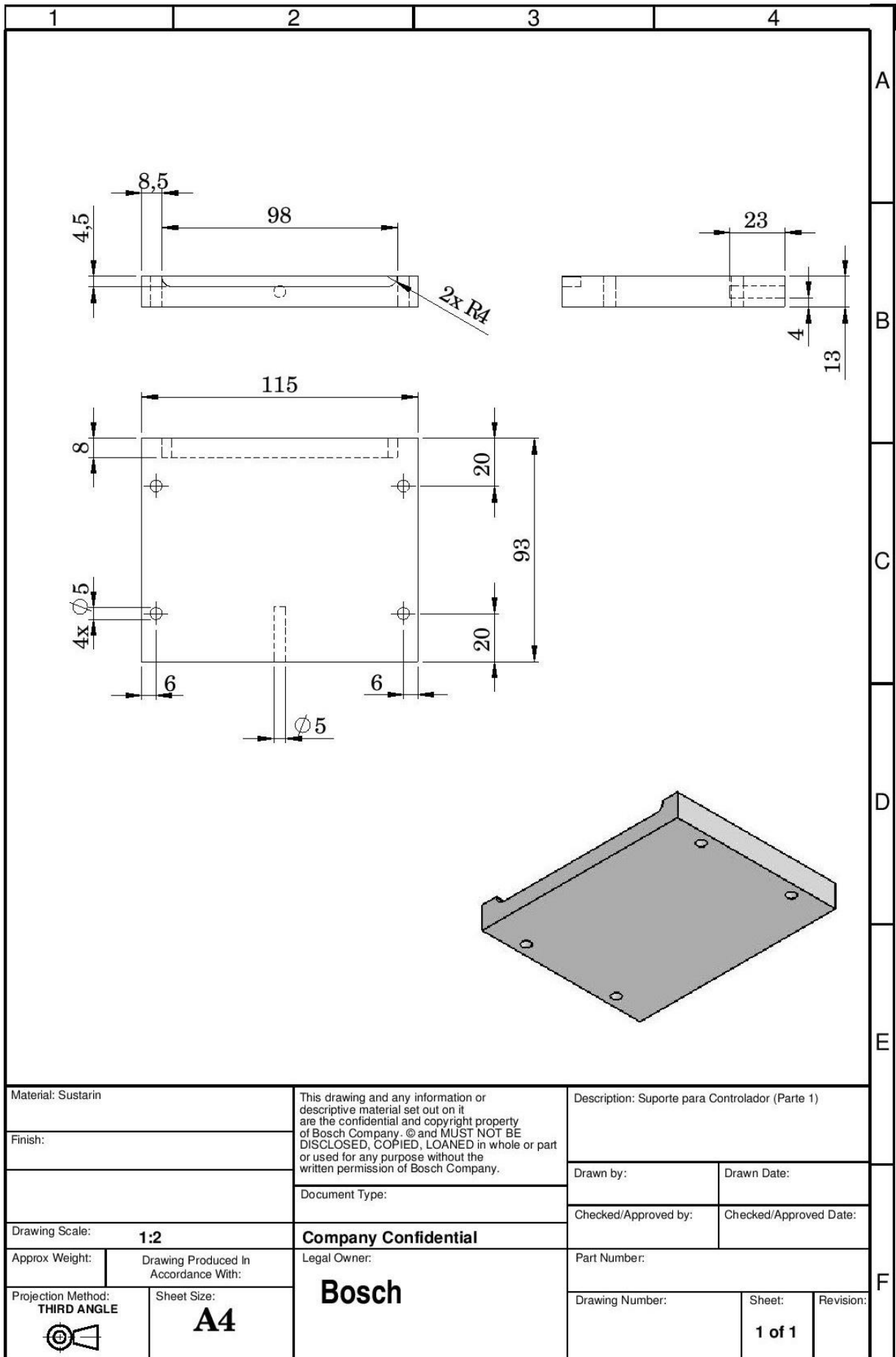
We reserve the right to make technical
changes without notice.

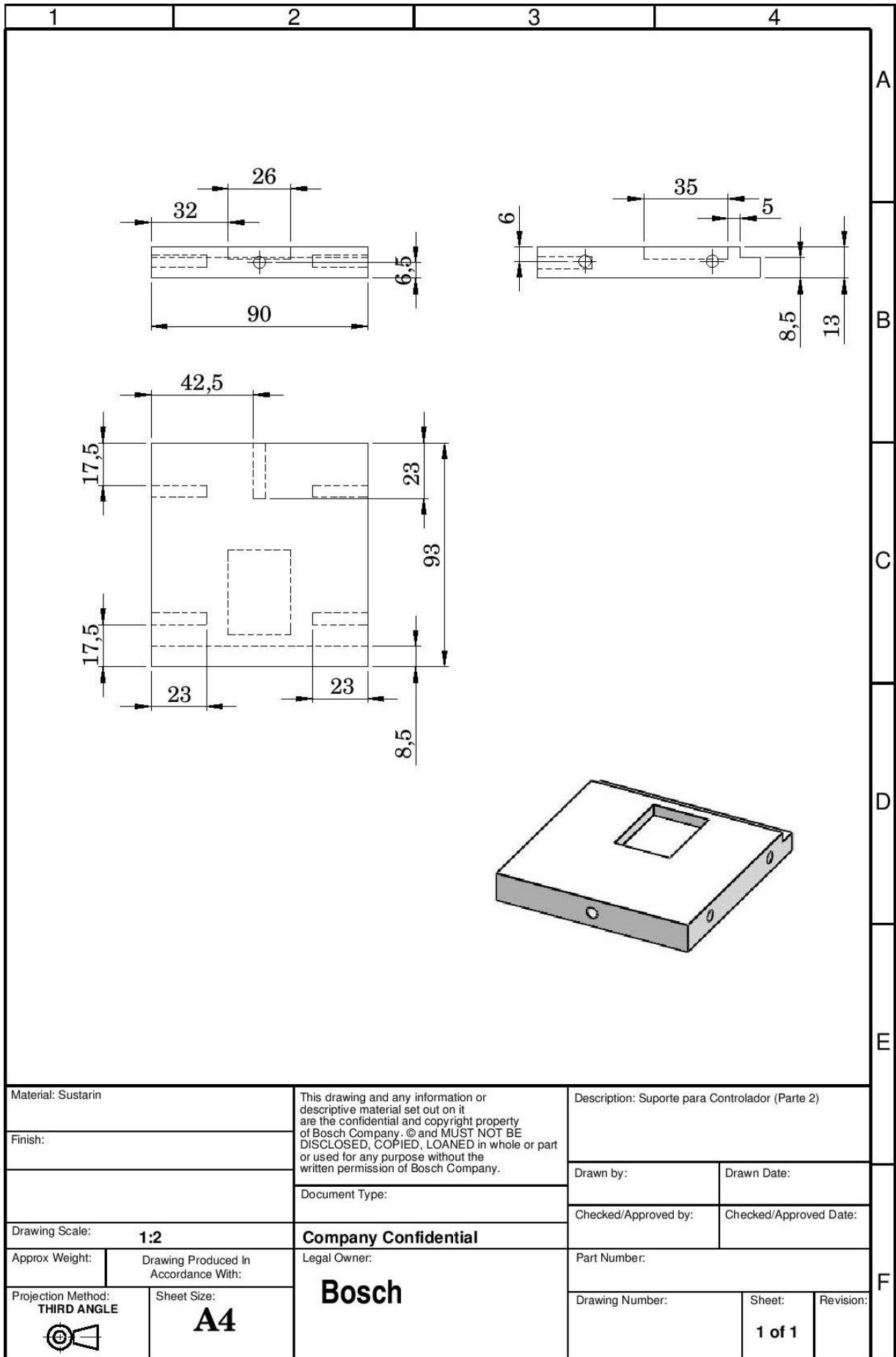
710-GB/3-0046

Anexo VI - Suporte para viscosímetro



Anexo VII - Suporte para controlador





**Anexo VIII - Manutenção preventiva de substituição
das molas dos pendurais**

DP01 | Manutenção às molas dos pendurais (7min.)



Desacoplamento do pendural [Técnico: A]

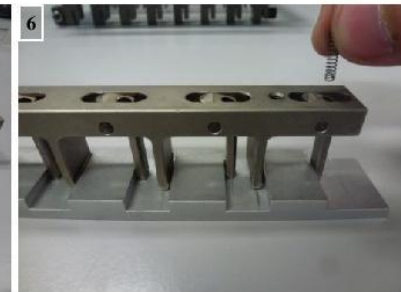
- 1 - Desaparafusar os parafusos [O1]
- 2 - Desacoplar o pendural [O2]

Substituição das molas [Técnico: A]

- 3 - Remoção das molas [O3]
- 4 - Acoplar o calibre ao suporte das molas [O4]
- 5 - Colocar o conjunto horizontalmente [O5]
- 6 - Colocação das molas [O6]

Montagem do pendural [Técnico: A]

- 7 - Alinhar o pendural [O7]
- 8 - Aparafusar os parafusos [O8]



DP01 | Manutenção às molas dos pendurais (7min.)



Lista de equipamentos :

Lista de consumíveis :

Lista de observações :

- O1 - Desaparafusar os três parafusos assinalados na figura. Para tal, deverá ser utilizada uma chave de umbrako de tamanho 2,5.
- O2 - Desacoplar o suporte das molas do restante pendural.
- O3 - Remover as 8 molas dos respetivos orifícios.
- O4 - Posicionar o calibre e o suporte como ilustrado na figura.
- O5 - Colocar o conjunto (calibre - suporte) numa posição horizontal.
- O6 - Inserir as molas nos respetivos orifícios.
- O7 - Colocar os parafusos no pendural, alinhando-os com o suporte.
- O8 - Aparafusar os três parafusos com uma chave de umbrako de tamanho 2,5.

Manutenção :

Título : Manutenção às molas dos pendurais

Aprovador : Luis Branco

Versão : 7

Tempo de ciclo : 7 (min.)

Dificuldade (0-5) : 3

Criada : 2014-05-07 15:27:11

Alterada : 2014-05-07 16:05:37

Tolerância : 1 (min.)

Informações :

Linha : CC LWS (2F45)

Máquina : DP01

NºSAP : 5441055

Data : ____/____/____

Início : ____:____:____

Fim : ____:____:____

Técnico : _____

Observações :



**Anexo IX - Calibre de auxílio ao processo de
manutenção**

