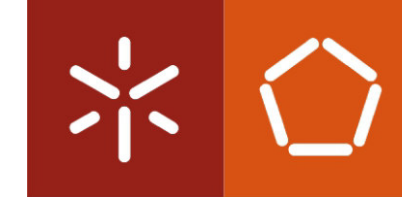


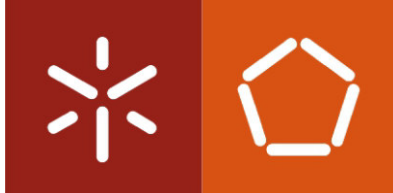


Caracterização química e física de *conformal coatings* envolvidos na produção de *PCBA's*

Marta da Costa Correia

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Marta da Costa Correia

Caracterização química e física de *conformal coatings* envolvidos na produção de *PCBA's*

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia de Materiais

Trabalho efetuado sob a orientação da

Professora Doutora Maria da Conceição Paiva

e do

Engenheiro José Luís Ribas

DECLARAÇÃO

Nome:

Marta da Costa Correia

Endereço eletrónico: a52641@alunos.uminho.pt

Telefone: 969355910

Número do Bilhete de Identidade: 13218229

Título da dissertação:

Caracterização química e física de *conformal coatings* envolvidos na produção de *PCBA's*.

Orientador(es):

Professora Doutora Maria da Conceição Paiva; Engenheiro José Luís Ribas.

Ano de conclusão: 2015.

Designação do Mestrado:

Mestrado Integrado em Engenharia de Materiais.

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE
DESTA TESE/TRABALHO

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação de mestrado é o resultado de uma importante etapa da minha vida que contou com o apoio e incentivo de algumas pessoas a quem estarei eternamente grata.

À minha orientadora, a Professora Doutora Maria da Conceição Paiva, por todo o conhecimento transmitido e pela constante disponibilidade em responder a todas as minhas dúvidas.

À *Bosch Car Multimedia S.A.*, por permitir e apoiar a realização de projetos em parceria com a Universidade do Minho. Com um particular agradecimento, ao meu co-orientador, o Engenheiro José Luís Ribas, por me ter sugerido o projeto e por fazer com que a sua concretização fosse possível.

Ao pessoal que integra os departamentos *CM/MFI2-CP* e *CM/MFI2-CH* da *Bosch Car Multimédia S.A.*, por me terem recebido tão bem, acompanhando todos os momentos desta etapa. Um agradecimento especial ao José Ricardo Alves, pela sua paciência, disponibilidade, interesse e por toda a sabedoria transmitida.

Ao Engenheiro Maurício Malheiro, técnico superior do Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho, pelo suporte prestado na realização dos ensaios de DSC, TGA e FTIR.

Ao Laboratório Químico Marques Ferreira, nomeadamente ao Pedro Carvalho, pela rapidez e eficácia nas preparações materialográficas e por toda a sua ajuda e apoio.

Aos colegas de trabalho e amigos, com quem partilhei esta experiência, em particular à Ana Miranda, ao Rogério Pinto e à Vânia Rêgo, cujo apoio tem sido crucial ao longo dos últimos 7 anos.

Aos meus amigos, Ana Gonçalves, João Pedro Barbosa, Joana Bravo e Francisco Serra, pelo incentivo e pela partilha de bons e menos bons momentos. Sem esquecer os meus pequenos, Nono e Kiko, que sem se aperceberem ainda, me proporcionam momentos muito especiais.

Um muito obrigada ao Raul Bravo, pela pessoa inspiradora que é, por ser uma influência muito positiva na minha vida e por ser um verdadeiro porto de abrigo.

À minha família, tias (Carmo, Rosinha, Titi e Irene), tios (Chico, Zé, Arlindo e Fernando), primos (Gabriela, Marina, Ângela, Pedro, Juliana, Adelaide e o pequeno Tiaguinho) e às minhas avós (Maria e M^a Teresa) por estarem presentes em todos os momentos da minha vida e por se preocuparem com todos sem exceção.

Por último, mas não menos importantes, quero agradecer aos meus pais, Rosa e Manuel, a quem dedico este trabalho, por apoiarem sempre as minhas decisões, mesmo aquelas que menos compreendiam e por fazerem tudo para que eu pudesse estar aqui hoje.

RESUMO

Atualmente quase todos aparelhos usados no dia-a-dia, como televisões, rádios, telemóveis, brinquedos robotizados, etc., contêm placas de circuito impresso montadas, os *PCBA's*. Os *PCBA's* são compostos por placas de circuitos impressos eletricamente isolantes, que possuem vias condutoras e ilhas de cobre para a colocação de componentes elétricos.

A montagem de *PCB's* envolve um conjunto de processos desde a colocação de componentes, pelas tecnologias *Through Hole (THT)* e *Surface Mount (SMT)*, até à montagem final, passando pelos processos de proteção de componentes elétricos, como o *conformal coating*. O processo de *conformal coating* consiste na aplicação de resinas sobre os componentes elétricos com a finalidade de os proteger da humidade, funcionando ao mesmo tempo como isolante elétrico.

Nesta dissertação foram caracterizados química e fisicamente os processos de secagem e cura de dois *coatings* utilizados na produção de *PCBA's* da *Bosch Car Multimedia S.A.*. Os *coatings* caracterizados são resinas de bases diferentes, uma acrílica (PC88) e uma de poliuretano (Peters 1301). Os métodos utilizados para esta caracterização foram a Calorimetria Diferencial de Varrimento, a Análise Termogravimétrica e a Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier. Além dos ensaios anteriormente referidos, foram ainda observadas por microscopia ótica as secções das amostras dos ensaios de DSC e TGA, para avaliar a espessura do *coating* no final desses ensaios, o que permitiu aferir de que forma essa espessura influencia os processos de secagem e cura.

Os ensaios revelaram que, para o *coating* PC88, os parâmetros utilizados na *Bosch Car Multimedia S.A.* permitem a obtenção de *PCBA's* com qualidade, visto que só ocorre evaporação de solvente neste material durante o seu processo de secagem. No caso do *coating* Peters 1301, os ensaios mostram que o material é estável para espessuras até 100µm, já que seca totalmente para espessuras inferiores e até esta espessura, com evaporação de 40% em massa do solvente. No entanto, o fornecedor deste *coating* admite a existência de um processo de cura que não foi evidenciado nos ensaios realizados.

ABSTRACT

Currently most of the day-to-day equipment and gadgets, such as TVs, radios, robotic toys and mobile phones, incorporate printed circuit boards assembled (PCBA's). The PCBA's are composed of printed circuit board electrically insulated and have conductive vias and pads in copper for placing electrical components.

The PCB assembly involves a number of processes from the placement of components, by Through Hole (THT) and Surface Mount technologies (SMT), until final assembly and protection processes of electrical components such as the conformal coating. The conformal coating process involves the coating of electrical components with a resin for protection against moisture, acting at the same time as an electrical insulator.

This thesis aims to characterize chemically and physically the drying and curing processes of two coatings used to protect the PCBA's of Bosch Car Multimedia S.A.. The coatings have different resin composition, one is acrylic (PC88) and the other is a polyurethane (Peters 1301). The methods used for coatings characterization were Differential Scanning Calorimetry, Thermogravimetric Analysis and Fourier Transform Infrared. Furthermore the samples tested were sectioned and observed under optical microscopy to evaluate the thickness of the coating after the tests, and to correlate it with the characteristics of the drying and curing processes.

The tests revealed that the parameters used in Bosch Car Multimedia S.A. for the drying of PC88 allowed to obtain good quality PCBA's since solvent evaporation occurs completely, and no other reactions were observed. In case of the coating Peters 1301, the tests showed that the material is stable for thicknesses below 100 μ m, since drying is total up to this thickness, with 40% weight evaporation. However, the supplier of this coating admits the existence of a curing process that was not observed in the tests.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xix
Lista de Acrónimos, Siglas e Símbolos.....	xxi
Capítulo 1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da dissertação.....	3
Capítulo 2. Produção de <i>PCBA's</i>	5
2.1 Definição de <i>PCB</i>	5
2.2 História.....	6
2.3 Montagem de <i>PCB's</i>	8
2.3.1 Tecnologia <i>TH</i>	9
2.3.2 Tecnologia <i>SMT</i>	11
2.3.3 Defeitos na montagem de <i>PCB's</i>	15
Capítulo 3. <i>Conformal coating</i>	17
3.1 Introdução.....	17
3.2 Principais requisitos dos <i>conformal coatings</i>	18
3.2.1 Proteção conta humidade.....	19
3.2.2 Isolamento elétrico.....	20
3.2.3 Adesão.....	21
3.3 Métodos de aplicação.....	22
3.3.1 <i>Spray</i>	23
3.3.2 <i>Coating</i> por mergulho.....	24
3.3.3 <i>Coating</i> por cortina seletiva.....	25

3.4	Classificação e tipos de <i>coatings</i>	28
3.4.1	<i>Coating</i> acrílico.....	29
3.4.2	<i>Coating</i> de poliuretano.....	30
3.5	Caracterização de <i>conformal coatings</i>	32
Capítulo 4. Materiais e métodos.....		35
4.1	Introdução	35
4.2	Materiais e sua preparação	36
4.2.1	Espessura de <i>coating</i>	37
4.3	Métodos de caracterização	38
4.3.1	Calorimetria diferencial de varrimento (DSC)	39
4.3.2	Análise termogravimétrica (TGA)	41
4.3.3	Cortes seccionais	44
4.3.4	Infravermelhos com transformada de Fourier (FTIR)	46
Capítulo 5. Resultados e discussão		49
5.1	Introdução	49
5.2	Calorimetria Diferencial de Varrimento (DSC).....	49
5.3	Análise termogravimétrica (TGA).....	54
5.4	Análise de microscopia ótica: cortes seccionais	57
5.5	Espectroscopia de infravermelhos (FTIR)	61
Capítulo 6. Conclusões.....		63
Capítulo 7. Trabalhos futuros.....		67
Capítulo 8. Referências bibliográficas.....		69
Anexo I – Ficha técnica do <i>coating</i> PC88		75
Anexo II – Ficha técnica do <i>coating</i> Peters 1301		89
Anexo III – Curvas de TGA para o <i>coating</i> PC88		97
Anexo IV – Curvas de TGA para o <i>coating</i> Peters 1301		99
Anexo V – Cortes seccionais do <i>coating</i> PC88.....		101
Anexo VI – Cortes seccionais do <i>coating</i> Peters 1301.....		107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representação de um <i>PCB</i> (Adaptado de (Borba, 2011)).....	5
Figura 2. Evolução dos <i>PCB's</i> : a) Circuitos elétricos com válvulas de vácuo; b) Rádio de Paul Eisler; c) Altair 8800 com <i>PCB</i> da <i>MITS Technology</i> , d) Rádio militar; e) Placas paralelas unidas por transistores; f) Paul Eisler (Adaptado de (Mehl, 2011)).....	6
Figura 3. <i>PCB's</i> : a) <i>FR-2</i> , b) <i>FR-4</i> (Adaptado de (Mehl, 2011)).	7
Figura 4. Diferentes tipos de inserção de componentes em <i>PCB's</i> : a) Componentes <i>TH</i> montados numa face do <i>PCB</i> , b) Componentes <i>SMD</i> montados em ambas as faces do <i>PCB</i> , c) Componentes <i>SMD</i> montados em ambas as faces do <i>PCB</i> e componentes <i>TH</i> montados na face superior do <i>PCB</i> (Adaptado de (Doro, 2004)).	9
Figura 5. Etapas dos processos de soldagem: a) Por onda; b) Seletiva (Adaptado de (Vitronics Soltec, 2014)).	11
Figura 6. Condensador e resistência <i>SMD</i>	12
Figura 7. Marcas <i>fiducials</i>	14
Figura 8. Perfil temperatura <i>vs.</i> tempo utilizado na soldagem por refluxo (Adaptado de (Tsai, 2012)).	14
Figura 9. <i>Tombstone</i> (Adaptado de (Lasky, 2007)).	16
Figura 10. Crescimento de dendrites entre dois pernos de um componente elétrico.	17
Figura 11. Defeitos de <i>coating</i> após ensaios térmicos e mecânicos.	18
Figura 12. Migração metálica (Adaptado de (Alves, 2014)).	20
Figura 13. Corrosão química (Adaptado de (Alves, 2014)).	20
Figura 14. Aplicação de <i>coating</i> pelo método de <i>spray</i> (Adaptação de (Suppa, 2012)).	23
Figura 15. <i>Coating</i> por mergulho (Adaptado de (Suppa, 2012)).	24
Figura 16. <i>Carrier</i> utilizado no <i>coating</i> por mergulho (Adaptado de (SCH <i>Thecnologies</i> , 2012)).	25
Figura 17. Aplicação de <i>coating</i> pelo método de cortina seletiva (Adaptado de (Nordson, 2014)).	26
Figura 18. Influência dos parâmetros de aplicação na qualidade do produto final (Adaptado de (Suppa, 2012)).	26
Figura 19. Perfil de temperatura <i>vs.</i> tempo utilizado no processo de secagem do PC88 (Adaptado de (Alves, 2014)).....	30
Figura 20. Fluxograma das várias etapas seguidas nesta dissertação.	36
Figura 21. Microscópio Keyence VHX-2000.....	37

Figura 22. Cortes seccionais para determinação da espessura do <i>coating</i> : a) Cápsula com 2 gotas; b) Cápsula com 3 gotas; c) Cápsula com 4 gotas.....	38
Figura 23. Equipamento de DSC: a) DSC NETZSCH 214 Polyma; b) Mecanismo de fluxo de calor (Adaptado de (NETZSCH, 2014)).	40
Figura 24. Cápsulas de alumínio utilizadas no DSC: a) Referência; b) Amostra de <i>coating</i>	40
Figura 25. Exemplo de uma curva obtida por DSC (Adaptado de (Tentardini, 2014)).....	41
Figura 26. Análise termogravimétrica: a) TGA Q500; b) TGA vertical (Adaptado de (Sepe, 1997)).	42
Figura 27. Condições das análises TGA.....	44
Figura 28. Procedimento utilizado para obter os cortes seccionais.....	45
Figura 29. Corte seccional, com medição, de uma amostra de PC88 de um ensaio de TGA.....	45
Figura 30. Procedimento dos ensaios de FTIR.....	47
Figura 31. Curva exemplo de um ensaio de FTIR (Adaptado de (Birkner, 2014)).....	47
Figura 32. Massa média de cada quantidade de <i>coating</i> utilizado no DSC.	50
Figura 33. Curvas de DSC para o <i>coating</i> PC88: a) 25°C; b) 55°C; c) 75°C; — 2 gotas; — 3 gotas; — 4 gotas.....	50
Figura 34. Área dos picos de DSC para o PC88.	51
Figura 35. Curvas de DSC para o <i>coating</i> Peters 1301: a) 25°C; b) 85°C; c) 100°C; — 2 gotas; — 3 gotas; — 4 gotas.....	52
Figura 36. Área dos picos de DSC para o Peters 1301.	53
Figura 37. Curvas resultantes dos ensaios de TGA: a) PC88 (— 55°C; — 75°C); b) Peters 1301 (— 85°C; — 100°C).....	55
Figura 38. Perda de peso do <i>coating</i> PC88: a) 55°C; b) 75°C.	55
Figura 39. Perda de peso do <i>coating</i> Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.....	57
Figura 40. Medição da espessura de <i>coating</i> PC88, indicando as três zonas de medição.....	58
Figura 41. Variação da espessura ao longo da cápsula em função da quantidade de <i>coating</i> PC88....	58
Figura 42. Medição da espessura das diferentes fases do <i>coating</i> Peters 1301.	59
Figura 43. Variação da espessura ao longo da cápsula em função da quantidade de <i>coating</i> Peters 1301.	59
Figura 44. Cortes seccionais de cápsulas com 3 gotas de <i>coating</i> PC88 sujeitas a uma temperatura de secagem de 75°C: a) 1º ensaio de TGA; b) 3º ensaio de TGA.	60

Figura 45. Cortes seccionais de cápsulas com 3 gotas de <i>coating</i> Peters 1301 sujeitas a uma temperatura de secagem de 100°C: a) 1º ensaio de TGA; b) 3º ensaio de TGA.	60
Figura 46. Espectro de FTIR para o <i>coating</i> PC88: — após o processo de secagem; — após 4 dias.	61
Figura 47. Espectro de FTIR para o <i>coating</i> Peters 1301: — após o processo de secagem; — após 4 dias.....	62
Figura 48. 1º ensaio de TGA com <i>coating</i> PC88: a) 2 gotas; b) 3 gotas; c) 4 gotas; — 55°C; — 75°C.	97
Figura 49. 2º ensaio de TGA com <i>coating</i> PC88: a) 2 gotas; b) 3 gotas; c) 4 gotas; — 55°C; — 75°C.	97
Figura 50. 3º ensaio de TGA com <i>coating</i> PC88: a) 2 gotas; b) 3 gotas; c) 4 gotas; — 55°C; — 75°C.	98
Figura 51. 1º ensaio de TGA com <i>coating</i> Peters 1301: a) 2 gotas; b) 3 gotas; c) 4 gotas; — 85°C; — 100°C.....	99
Figura 52. 2º ensaio de TGA com <i>coating</i> Peters 1301: a) 2 gotas; b) 3 gotas; c) 4 gotas; — 85°C; — 100°C.....	99
Figura 53. 3º ensaio de TGA com <i>coating</i> Peters 1301: a) 2 gotas; b) 3 gotas; c) 4 gotas; — 85°C; — 100°C.....	100
Figura 54. Cortes seccionais de cápsulas de DSC com 2 gotas de <i>coating</i> PC88: a) 25°C; b) 55°C; c) 75°C.	101
Figura 55. Cortes seccionais de cápsulas de DSC com 3 gotas de <i>coating</i> PC88: a) 25°C; b) 55°C; c) 75°C.	101
Figura 56. Cortes seccionais de cápsulas de DSC com 4 gotas de <i>coating</i> PC88: a) 25°C; b) 55°C; c) 75°C.	102
Figura 57. Variação da espessura ao longo das cápsulas do DSC em função da quantidade de <i>coating</i> PC88.	102
Figura 58. Cortes seccionais de cápsulas do 1º ensaio de TGA com 2 gotas de <i>coating</i> PC88: a) 55°C; b) 75°C.	103
Figura 59. Cortes seccionais de cápsulas do 1º ensaio de TGA com 3 gotas de <i>coating</i> PC88: a) 55°C; b) 75°C.	103

Figura 60. Cortes seccionais de cápsulas do 1º ensaio de TGA com 4 gotas de <i>coating</i> PC88: a) 55°C; b) 75°C.	103
Figura 61. Variação da espessura ao longo das cápsulas do 1º ensaio de TGA em função da quantidade de <i>coating</i> PC88.	103
Figura 62. Cortes seccionais de cápsulas do 2º ensaio de TGA com 2 gotas de <i>coating</i> PC88: a) 55°C; b) 75°C.	104
Figura 63. Cortes seccionais de cápsulas do 2º ensaio de TGA com 3 gotas de <i>coating</i> PC88: a) 55°C; b) 75°C.	104
Figura 64. Cortes seccionais de cápsulas do 2º ensaio de TGA com 4 gotas de <i>coating</i> PC88: a) 55°C; b) 75°C.	104
Figura 65. Variação da espessura ao longo das cápsulas do 2º ensaio de TGA em função da quantidade de <i>coating</i> PC88.	104
Figura 66. Cortes seccionais de cápsulas do 3º ensaio de TGA com 2 gotas de <i>coating</i> PC88: a) 55°C; b) 75°C.	105
Figura 67. Cortes seccionais de cápsulas do 3º ensaio de TGA com 3 gotas de <i>coating</i> PC88: a) 55°C; b) 75°C.	105
Figura 68. Cortes seccionais de cápsulas do 3º ensaio de TGA com 4 gotas de <i>coating</i> PC88: a) 55°C; b) 75°C.	105
Figura 69. Variação da espessura ao longo das cápsulas do 3º ensaio de TGA em função da quantidade de <i>coating</i> PC88.	105
Figura 70. Cortes seccionais de cápsulas de DSC com 2 gotas de <i>coating</i> Peters 1301: a) 25°C; b) 85°C; c) 100°C.	107
Figura 71. Cortes seccionais de cápsulas de DSC com 3 gotas de <i>coating</i> Peters 1301: a) 25°C; b) 85°C; c) 100°C.	107
Figura 72. Variação da espessura ao longo das cápsulas do DSC em função da quantidade de <i>coating</i> Peters 1301.	108
Figura 73. Cortes seccionais de cápsulas do 1º ensaio de TGA com 2 gotas de <i>coating</i> Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.	109
Figura 74. Cortes seccionais de cápsulas do 1º ensaio de TGA com 3 gotas de <i>coating</i> Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.	109

Figura 75. Cortes seccionais de cápsulas do 1º ensaio de TGA com 4 gotas de <i>coating</i> Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.....	109
Figura 76. Variação da espessura ao longo das cápsulas do 1º ensaio de TGA em função da quantidade de <i>coating</i> Peters 1301.	109
Figura 77. Cortes seccionais de cápsulas do 2º ensaio de TGA com 2 gotas de <i>coating</i> Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.....	110
Figura 78. Cortes seccionais de cápsulas do 2º ensaio de TGA com 3 gotas de <i>coating</i> Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.....	110
Figura 79. Cortes seccionais de cápsulas do 2º ensaio de TGA com 4 gotas de <i>coating</i> Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.....	110
Figura 80. Variação da espessura ao longo das cápsulas do 2º ensaio de TGA em função da quantidade de <i>coating</i> Peters 1301.	110
Figura 81. Cortes seccionais de cápsulas do 3º ensaio de TGA com 2 gotas de <i>coating</i> Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.....	111
Figura 82. Cortes seccionais de cápsulas do 3º ensaio de TGA com 3 gotas de <i>coating</i> Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.....	111
Figura 83. Cortes seccionais de cápsulas do 3º ensaio de TGA com 4 gotas de <i>coating</i> Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.....	111
Figura 84. Variação da espessura ao longo das cápsulas do 3º ensaio de TGA em função da quantidade de <i>coating</i> Peters 1301.	111

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Processos de produção de <i>PCBA's</i> utilizados na <i>Bosch Car Multimedia S.A.</i>	8
Tabela 2. Tipos de componentes <i>TH</i> (Adaptado de (Doro, 2004))......	10
Tabela 3. Componentes <i>SMD</i> (Adaptado de (Doro, 2004)).	12
Tabela 4. Métodos de aplicação de <i>coating</i> (Adaptado de (Suppa, 2012))......	22
Tabela 5. Materiais que constituem os <i>coatings</i> (Adaptado de (Suppa, 2012))......	28
Tabela 6. Propriedades físicas e químicas do PC88 (Adaptado de (Henkel, 2008)).	29
Tabela 7. Parâmetros de <i>flash-off</i> , secagem e cura do <i>coating</i> Peters 1301 (Adaptado de (Alves, 2014)).	31
Tabela 8. Programas de aquecimento utilizados nos ensaios de DSC.	41

LISTA DE ACRÓNIMOS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ΔT	Diferença de T emperatura
Ag	Prata
Al₂O₃	Óxido de Alumínio
AOI	A utomatic O ptical I nspection
ASTM	A merican S ociety of T esting and M aterials
BGA	B all G rid A rray
Bi	Bismuto
DEP	D epartamento de E ngenharia de P olímeros
DFP	D ual F lat P ack
DIP	D ual I n P ackage
DSC	D ifferential S canning C alorimetry
E	Campo elétrico
FR-2	F lame R esistant 2
FR-4	F lame R esistant 4
FTIR	F ourier T ransform I nfrared Spectroscopy
IC	Integrated C ircuit
IPC	Institute for P rinted C ircuit
J-STD	J oint S tandard
Lab. MF	L aboratório Químico M arques F erreira
LED	Light E mitting D iode
M	M olhabilidade
MCPCB	M etal C lad P rinted C ircuit B oard
MELF	M etal E lectronic F aces
NaCl	Cloreto de sódio
Pb	Chumbo
PCB	P rinted C ircuit B oard
PCBA	P rinted C ircuit B oard A ssembled
PGA	P in G rid A rray

PTFE	P oli T etra F luoro E tileno
q	Fluxo de calor
QFP	Q uad F lat P ack
R	R esistência
SEM	S canning E lectron M icroscope
SIP	S ingle I n P ackage
SMD	S urface M ount D evice
SMT	S urface M ount T echnology
Sn	Estanho
SOT	S mall O utline T ransistor
SPI	S older P aste I nspection
TGA	T hermo g ravimetric A nalysis
TH	T hrough H ole
THT	T hrough H ole T echnology
σ_{coating}	Tensão superficial do coating
σ_{PCB}	Tensão superficial do P rinted C ircuit B oard

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A partir de meados do século XX foi notório um aumento no consumo de bens elétricos e eletrónicos, dos quais as placas de circuitos impressos montadas (*PCBA's*) são elementos fundamentais. Equipamentos de várias indústrias, como televisões, computadores, telemóveis, autorrádios, entre outros, são exemplos de bens que funcionam graças aos *PCBA's* (Doro, 2004; Helo, 2000; LaDou, 2006; Marques et. al., 2013).

As placas de circuitos impressos (*PCB's*) são finas placas poliméricas feitas a partir de resina e fibra de vidro, sendo por isso eletricamente isolantes. No entanto, estas placas possuem vias condutoras e *pads* (locais específicos para colocação de componentes elétricos), geralmente de cobre (Doro, 2004).

A complexidade do produto final é determinante no que toca às especificações do *PCBA* e depende dos componentes elétricos que são agregados aos *pads* da placa. Inicialmente os componentes eram colocados em furos da placa através da tecnologia *Through Hole (THT)*, no entanto tornou-se mais recorrente a utilização da tecnologia *Surface Mount (SMT)* que é mais rápida e mais precisa. Deste modo, obtêm-se *PCBA's* com maior complexidade e cujo processo de manufatura é também mais complexo (Doro, 2004; Helo, 2000).

O facto de os processos de manufatura de *PCBA's* serem de complexidade elevada implica que haja também um elevado investimento em equipamentos. No entanto, se o número de operações para

produção de um *PCBA* aumenta, isso significa que a manufatura será mais complexa e, como consequência, haverá um aumento da taxa de falhas (Helo, 2000; LaDou, 2006).

As falhas que aparecem nos *PCBA's* podem ser classificadas em três grupos: erros de manufatura, erros de desempenho e erros de especificação. Estes últimos são aqueles que levam o *PCBA* a falhar quando exposto a determinadas condições durante a sua utilização (Helo, 2000). Para evitar essas falhas é possível adicionar à manufatura alguns processos para proteção de componentes, como o *conformal coating* no qual se utiliza um revestimento designado como *coating*.

O processo de *conformal coating* é utilizado para proteger os componentes da humidade e também para os isolar da corrente elétrica. Visto que o tamanho dos componentes elétricos está cada vez mais reduzido, é possível colocar os componentes mais próximos uns dos outros e em maior quantidade no mesmo *PCBA*. A proximidade entre os componentes faz com que seja mais fácil a ocorrência de curto circuitos, que levam à falha dos componentes e do próprio *PCBA* e daí a importância do processo de *conformal coating* (Helo, 2000; Otiaba, 2011; Leon and Peters, 1998; Sim et. al., 2005).

1.2 Objetivos

Esta dissertação foca-se na caracterização física e química de diferentes materiais utilizados no processo de aplicação de *coating*. No entanto, é necessário compreender que durante a produção de um *PCBA* cada processo é influenciado e tem influência sobre todos os outros, havendo interação entre os processos. Assim, será necessário atingir os seguintes objetivos:

- Caracterizar, de forma geral, a produção de *PCBA's*, mostrando quais os processos envolvidos;
- Caracterizar, química e fisicamente, os diferentes materiais utilizados no processo de aplicação de *coating*, segundo os parâmetros atuais da *Bosch Car Multimedia S.A.*;
- Testar novos parâmetros de processamento dos materiais utilizados no processo de *conformal coating*, para otimizar os processos de secagem e cura;
- Comparar os resultados obtidos com os diferentes parâmetros.

1.3 Estrutura da dissertação

No capítulo 1 é feita uma introdução ao tema desta dissertação, descrevendo as motivações para o trabalho, e os respetivos objetivos a alcançar.

O capítulo 2 define o que é um *PCB* e descreve o procedimento geral para a sua montagem, particularizando algumas das tecnologias e processos de soldagem utilizados na montagem dos *PCB's*.

No capítulo 3 são apresentadas algumas das soluções atualmente existentes para a proteção dos componentes elétricos através da utilização de *conformal coatings*, descrevendo requisitos, métodos de aplicação, tipos de *conformal coatings* e ainda uma descrição do estado da arte no que diz respeito à caracterização destes materiais.

No capítulo 4 são descritos os métodos de análise do problema, no qual são apresentadas soluções para a caracterização dos *conformal coatings*, descrevendo todos os materiais, métodos e protocolos a utilizar ao longo da caracterização.

O capítulo 5 serve para apresentar os ensaios e os resultados experimentais realizados para a caracterização dos diferentes materiais em análise, descrevendo as condições em que os ensaios foram realizados e os respetivos resultados. Foram efetuados vários ensaios, alguns dos quais para validar e comparar os resultados obtidos com resultados disponibilizados pelos fornecedores dos materiais em estudo.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões desta dissertação, resumindo os objetivos cumpridos e as possíveis modificações a efetuar aos processos de secagem e cura dos *conformal coatings* analisados.

Por fim, no capítulo 7 apresentam-se sugestões para trabalhos futuros, entre as quais se encontra a possibilidade de interação entre o *coating* e o *gap filler*.

CAPITULO 2. PRODUÇÃO DE *PCBA's*

2.1 Definição de *PCB*

Um *PCB* é uma fina placa laminada constituída por uma malha de fibra de vidro impregnada de uma resina epóxi, conhecida como *FR-4 (Flame Resistant 4)* e na qual são impressas ou depositadas pistas condutoras, geralmente, em cobre. Essas pistas de cobre podem existir apenas de um lado da placa ou em ambos, de acordo com as funções que o *PCB* irá realizar (Borba, 2011; Doro, 2004).

Além das pistas condutoras, as placas podem ainda possuir *pads*, que são ilhas em cobre definidas para a colocação de componentes elétricos, e também vias condutoras, que são furos metalizados que fazem a conexão entre pistas das diferentes faces da placa utilizados para colocação de componentes *TH (Through Hole)*. Na Figura 1 observa-se uma representação esquemática de um *PCB* que possui pistas condutoras, *pads* e vias condutoras (Borba, 2011; Doro, 2004).

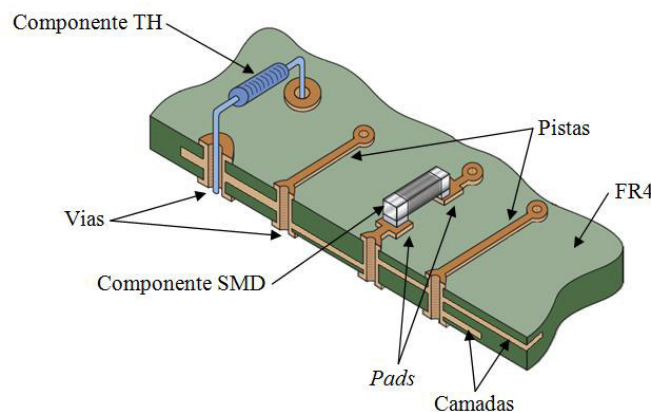


Figura 1. Representação de um *PCB* (Adaptado de (Borba, 2011)).

Como pode ser visualizado na Figura 1, um *PCB* pode possuir várias camadas, sendo denominado de *PCB* de multicamada. O número de camadas pode variar entre 2 e 40 e essas camadas podem estar conectadas através das vias condutoras (LaDou, 2006).

2.2 História

Quando surgiram os primeiros circuitos elétricos não existiam os transístores e, por isso, eram utilizadas válvulas de vácuo que tornavam as dimensões do circuito de tal maneira grandes que na montagem final se dispensava a redução do tamanho (Mehl, 2011).

Em 1936, Paul Eisler, um engenheiro austríaco, patenteou um método de corrosão de cobre depositado sobre uma superfície isolante, sendo este considerado o primeiro passo para o desenvolvimento dos circuitos impressos. Anteriormente em 1925, Charles Ducas já tinha patenteado o método de deposição de uma tinta condutora sobre um substrato isolante (Mehl, 2011).

Foi em 1943 que teve início a utilização dos circuitos impressos em equipamentos de rádio para uso militar. Mais tarde, em 1945, a indústria militar voltou a investir nos circuitos impressos com a utilização de placas isolantes paralelas unidas por transístores na construção de mísseis telecomandados (Mehl, 2011).

O engenheiro Paul Eisler voltou a ter uma importante intervenção para a indústria dos *PCB's* quando em 1946 construiu um rádio utilizando circuitos impressos muito semelhantes aos atuais (Mehl, 2011).

Existe registo que data do ano 1950, de uma patente para a montagem de componentes elétricos em placas isolantes, através de pistas de cobre. Contudo, a *MITS Technology* foi a primeira empresa que, em 1975, produziu um microcomputador, recorrendo aos *PCB's*. A Figura 2 retrata um pouco da evolução na indústria dos *PCB's* (Mehl, 2011).

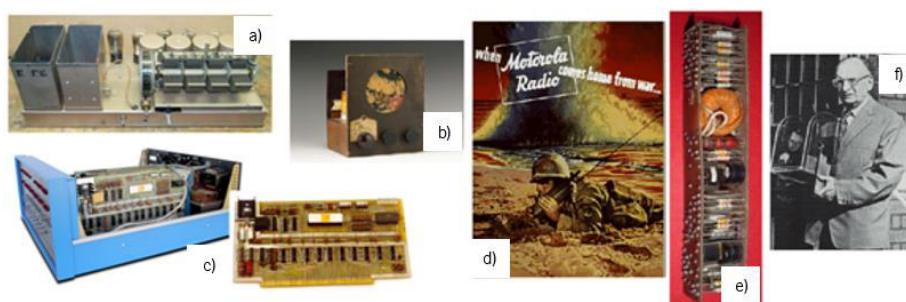


Figura 2. Evolução dos *PCB's*: a) Circuitos elétricos com válvulas de vácuo; b) Rádio de Paul Eisler; c) Altair 8800 com *PCB* da *MITS Technology*; d) Rádio militar; e) Placas paralelas unidas por transístores; f) Paul Eisler (Adaptado de (Mehl, 2011)).

Inicialmente os *PCB's* eram produzidos com recurso a uma resina fenólica e uma determinada percentagem de papel picado, que servia como carga, sendo este material designado de fenolite (*FR-2*). Como se vê na Figura 3.a), estas placas apresentavam cor castanha, mais ou menos escura dependendo da quantidade de papel que lhe era adicionado. O processo de produção de uma placa de *FR-2* é bastante simples, consistindo na moldação e prensagem a quente de forma a obter placas com espessuras variáveis. Devido ao facto de as cargas utilizadas serem à base de celulose, estas placas possuem um carácter bastante higroscópico, o que é prejudicial no que toca às características isolantes pretendidas para os *PCB's*. No entanto, a utilização deste tipo de *PCB's* é suportada pelo seu baixo custo, bem como a facilidade em furar e cortar estas placas (Mehl, 2011).

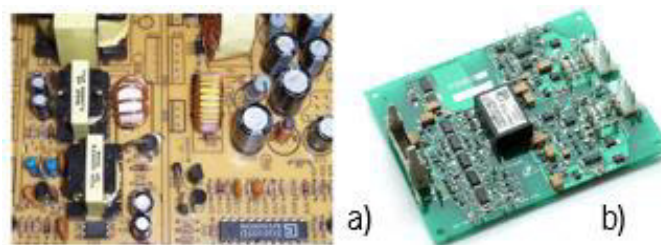


Figura 3. PCB's: a) FR-2; b) FR-4 (Adaptado de (Mehl, 2011)).

Mais tarde, durante os anos 60, surgiram as placas de *FR-4* (Figura 3.b)), uma mistura de resina epóxi reforçada com uma manta de fibra de vidro. As placas de *FR-4* quando comparadas com as de *FR-2* têm uma qualidade superior, principalmente pelo facto de a resina epóxi ser resistente à água. Nos dias de hoje as placas de *FR-4* são as mais utilizadas não só pelas suas excelentes capacidades isolantes, mas também pela sua estabilidade dimensional. No entanto, o custo destas placas é cerca de 30% superior às de *FR-2* e, como as *FR-4* são placas difíceis de cortar e furar, necessitam de ferramentas especiais. Mais recentemente para casos especiais, onde não é possível recorrer às placas de *FR-2* ou *FR-4*, existem outros tipos de placas. Por exemplo, quando se pretendem placas para aplicações que exigem polarização dielétrica, existem as placas de PTFE (Poli Tetrafluoro Etileno), cuja constante dielétrica não varia com a frequência aplicada, ou então placas à base de filmes de poliimida ou poliéster, que permitem a produção de circuitos flexíveis muito utilizados em equipamentos portáteis. Quando a aplicação exige placas com boa dissipação de calor, como nos *LED's* (*Light-Emitting Diodes*) de alta potência, a opção mais viável são os *MCPCB's* (*Metal Clad Printed Circuit Boards*), placas de alumínio com espessura entre 2 e 3mm, sobre a qual se deposita uma camada de material dielétrico, Al_2O_3 obtido por anodização, e uma camada condutora de cobre (Mehl, 2011).

2.3 Montagem de PCB's

A obtenção de um produto de qualidade é assegurada por um conjunto de processos com diferentes variáveis bem definidas, ou seja, é fundamental caracterizar os processos envolvidos na produção de um PCBA. A caracterização de um processo envolve parâmetros, procedimentos, métodos, máquinas e equipamentos, materiais e, em atividades especiais, condições ambientais controladas. Depois de caracterizar e controlar convenientemente todos os processos, a montagem de PCB's é uma sequência de atividades com *inputs* e *outputs* específicos (JEDEC, 2007).

A produção de um PCBA envolve processos de manutenção, fixação, inserção, soldagem, inspeção e proteção de componentes. Na Tabela 1 encontra-se uma listagem dos processos utilizados na *Bosch Car Multimedia S.A.*

Tabela 1. Processos de produção de PCBA's utilizados na Bosch Car Multimedia S.A..

Processos de manutenção	Manuseamento de PCB's
	Limpeza de PCB's
	Marcação a laser
Processos para fixação de componentes	Impressão de pasta de solda
	Aplicação de pontos de cola e respetiva cura
	Fixação de componentes inseridos manualmente
Processos de inserção de componentes	Colocação de <i>Surface Mount Devices (SMD's)</i>
	Inserção de pinos
	Inserção radial
	Inserção manual
Processos de soldagem	Soldagem refluxo
	Soldagem por onda
	Soldagem seletiva
Processos de inspeção	Inspeção da pasta de solda: 3D SPI
	Inspeção ótica automática: AOI
	Inspeção por raio-X
Processos de proteção de componentes	Barreira à humidade: <i>conformal coating</i>
	Dissipador de vibrações: <i>dow corning</i>
	Extrator de calor: <i>gap filler</i>

O processo de montagem de um *PCB* pode ter ligeiras variações, dependendo das funções que esse *PCB* vai desempenhar, ou seja, dependendo da placa e dos componentes elétricos que são previamente selecionados com base nesse conjunto específico de funções. Como se vê na Tabela 1 existem vários processos de inserção de componentes, devido sobretudo à geometria dos próprios componentes, pois um *PCB* pode conter somente componentes *TH*, *SMD* ou ambos. Além disso, esses componentes podem ser montados apenas numa das faces do *PCB* ou em ambas. Na Figura 4 observam-se alguns dos tipos de montagem de *PCB*'s com base na inserção dos diferentes tipos de componentes (Doro, 2004).

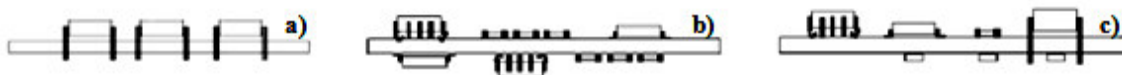






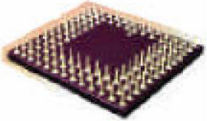

Figura 4. Diferentes tipos de inserção de componentes em *PCB*'s: a) Componentes *TH* montados numa face do *PCB*; b) Componentes *SMD* montados em ambas as faces do *PCB*; c) Componentes *SMD* montados em ambas as faces do *PCB* e componentes *TH* montados na face superior do *PCB* (Adaptado de (Doro, 2004)).

2.3.1 Tecnologia *TH*

A tecnologia *TH* surgiu por volta dos anos 40 com o objetivo de conectar componentes *TH* aos *PCB*'s. Estes componentes possuem terminais longos que passam por furos da placa eletricamente conectados às pistas metálicas, ou seja, um componente *TH* é montado através da tecnologia *TH* pela passagem dos seus terminais ao longo das vias (Doro, 2004).

A inserção de componentes *TH* pode ser manual ou automática. A mais comum é a inserção automática, uma vez que se trata de um processo mais rápido e mais preciso no qual os componentes *TH*, contidos em fitas, são apanhados por um *nozzle* e inseridos no furo que lhe corresponde do *PCB*. No entanto, a inserção automática só pode ser utilizada para componentes *TH* axiais, radiais e *IC*'s (*Integrated Circuit*), como os *SIP* (*Single In Package*), *DIP* (*Dual In Package*) e *PGA* (*Pin Grid Array*). Os restantes componentes *TH* têm de ser colocados manualmente. A Tabela 2 mostra os diferentes tipos de componentes *TH* e o processo de inserção correspondente a cada tipo (Doro, 2004).

Tabela 2. Tipos de componentes TH (Adaptado de (Doro, 2004)).

Tipos de componentes	Exemplo			Tipo de inserção
Axiais				Automática
Radiais				Automática
IC's	<p style="text-align: center;"><i>SIP</i></p> 	<p style="text-align: center;"><i>DIP</i></p> 	<p style="text-align: center;"><i>PGA</i></p> 	Automática
Outros				Manual

Depois de serem inseridos, os componentes TH são soldados por um processo de soldagem por onda. Este processo de soldagem pode ser dividido em três etapas:

- Fluxação: o PCB é coberto por um fluxo formado por solvente e ativadores, esse fluxo pode estar contido numa cuba ou pode ser vaporizado sobre o PCB;
- Pré-aquecimento: de modo a evitar que o PCB sofra choques térmicos é feito um pré-aquecimento que prepara o PCB para o processo de soldagem e elimina o solvente do fluxo;
- Soldagem: nesta etapa o PCB passa por uma cuba que contém a solda fundida que irá aderir aos terminais dos componentes e aos furos do PCB. A solda irá solidificar de modo a promover a soldagem dos componentes.

Existe também um tipo particular de soldagem que se utiliza para fixar componentes TH, denominado de soldagem seletiva. Este tipo de soldagem é semelhante à soldagem por onda, residindo as diferenças nas etapas de fluxação e soldagem. Na soldagem seletiva o fluxo é aplicado apenas em locais específicos

do PCB e a solda é posteriormente conduzida a esses locais através de um *nozzle*. Na Figura 5 é possível observar os processos de soldagem por onda e soldagem seletiva e as diferenças nas etapas de fluxação e soldagem (Doro, 2004).

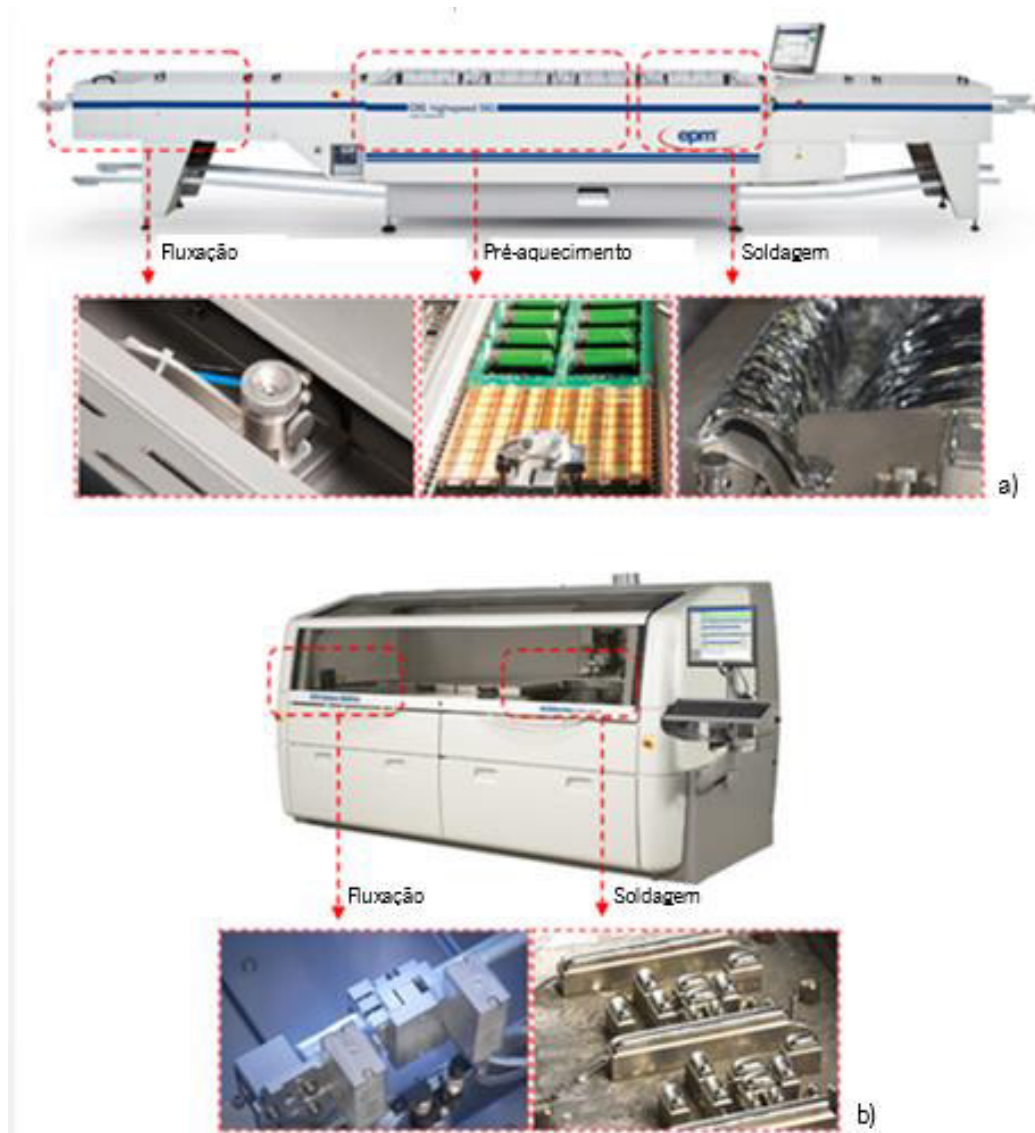






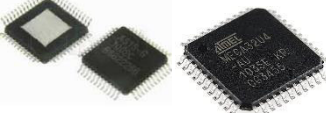

Figura 5. Etapas dos processos de soldagem: a) Por onda; b) Seletiva (Adaptado de (Vitronics Soltec, 2014)).

2.3.2 Tecnologia SMT

A tecnologia *Surface Mounted (SMT)* surgiu nos anos 60 e tem evoluído muito rapidamente, sendo hoje o método mais utilizado para conectar os componentes SMD (*Surface Mount Devices*) ao PCB (Doro, 2004; Tsai, 2012).

Os componentes *SMD* são aqueles que estão conectados à superfície do *PCB*, os quais estão representados na Tabela 3. Inicialmente estes componentes eram semelhantes aos *TH*, pois possuíam terminais longos que eram cortados e moldados para poderem ser soldados aos *pads* que se encontram na superfície do *PCB*. Hoje em dia a largura dos terminais e a geometria dos componentes *SMD* é cada vez menor. A Figura 6 mostra um condensador e uma resistência *SMD* com uma ampliação de 200 vezes, sendo o condensador um 3225, ou seja, a sua dimensão é 3,2mm por 2,5mm e a resistência é uma 0603, com 0,6mm por 0,3mm (Doro, 2004).

Tabela 3. Componentes *SMD* (Adaptado de (Doro, 2004)).

Componentes <i>SMD</i>		
<p><i>Chips</i></p> 	<p><i>MELF's</i> (Metal Electronic Faces)</p> 	<p><i>SOT's</i> (Small Outline Transistors)</p> 
<p><i>DFP (Dual Flat Pack)</i></p> 	<p><i>QFP (Quad Flat Pack)</i></p> 	<p><i>BGA (Ball Grid Arrays)</i></p> 

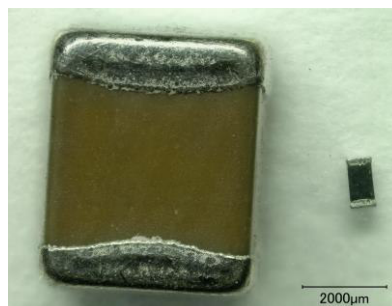


Figura 6. Condensador e resistência *SMD*.

Na montagem de um *PCB*, os componentes *SMD* podem ser soldados ao *PCB* de duas formas: soldagem por refluxo ou soldagem por onda (Doro, 2004).

No caso da soldagem de componentes *SMD* pelo processo de soldagem por onda, os componentes são, numa fase inicial, colados ao *PCB*, que passa por um forno para curar a cola e, por fim, dá-se o processo de soldagem por onda da mesma forma que nos componentes *TH* (Doro, 2004).

O processo de soldagem de componentes *SMD* por refluxo é um processo mais complexo do que a soldagem por onda, porque envolve um maior número de etapas posteriores à própria soldagem envolvendo por isso um maior número de variáveis. Este processo envolve três etapas: a impressão da pasta, a colocação de componentes e a soldagem propriamente dita (Doro, 2004; Tsai, 2012).

A impressão da pasta é feita antes da colocação dos componentes sendo a pasta de solda espalhada sobre o *PCB* com a utilização de um rodo e uma tela metálica denominada de *stencil*. O rodo pressiona e espalha a pasta, de modo a que esta passe através dos furos da tela, que coincidem com os *pads* do *PCB* aos quais os componentes serão soldados. A pasta de solda é uma mistura de um pó metálico, que pode ou não conter chumbo (por exemplo: 63%Sn/37%Pb ou 42%Sn/57%Bi/1%Ag), com um fluxo que contém resina, ativadores, aditivos reológicos e solventes (Doro, 2004; Tsai, 2012).

A segunda etapa consiste na colocação de componentes sobre os *pads* que já têm a pasta de solda. A colocação dos componentes é feita por inserção automática através da utilização de máquinas de *Pick-and-Place*. Como o nome indica, o *Pick-and-Place* pega nos componentes *SMD* com o auxílio de um *nozzle* e coloca-os nos *pads* indicados. Este é um processo muito rápido e muito preciso, durante o qual a pressão é um fator de extrema importância, isto porque:

- Se a pressão for muito elevada, é possível que tanto os componentes como o *PCB* sejam danificados;
- Se a pressão for muito baixa, o *nozzle* pode não ser capaz de agarrar o componente, e este ficará em falta no *PCB*, ou pode deixar cair o componente durante o transporte sobre a placa ficando mal colocado (Doro, 2004; Tsai, 2012).

Nas etapas anteriores (impressão de pasta e colocação de componentes) a precisão é um fator chave. Para que isso seja controlado os *PCB's* possuem marcas de referência que são lidas pelas máquinas para se reconhecer a posição da placa. Estas marcas, os *fiducials*, representados na Figura 7, encontram-se regra geral nos cantos das placas (Doro, 2004).

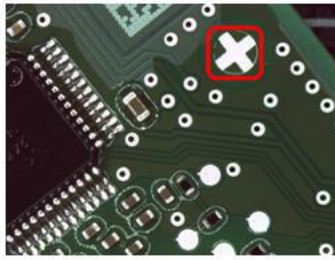


Figura 7. Marcas fiducials.

Na etapa de soldagem por refluxo o *PCB* é aquecido na totalidade de forma a fundir a pasta de solda, que depois de arrefecida irá solidificar para formar a junta de solda entre os componentes e o *PCB*, sem que com isso as características dos componentes sejam alteradas. No processo de soldagem por refluxo é utilizado um perfil de aquecimento, ou seja, um gráfico temperatura *vs.* tempo, que controla a distribuição de calor durante todo o processo. Esse perfil de aquecimento pode ser dividido em quatro zonas distintas, identificadas na Figura 8 (Tsai, 2012).

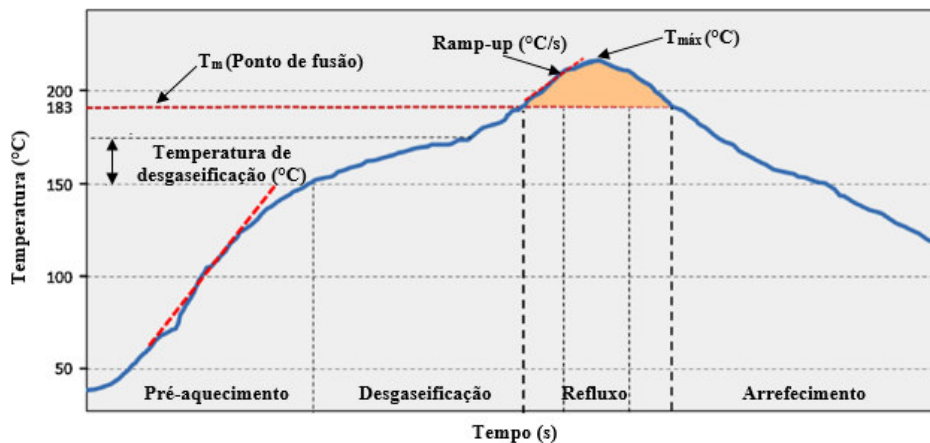


Figura 8. Perfil temperatura *vs.* tempo utilizado na soldagem por refluxo (Adaptado de (Tsai, 2012)).

A partir do gráfico apresentado na Figura 8 observa-se que o perfil de aquecimento se divide nas seguintes etapas:

- Pré-aquecimento: nesta etapa ocorre um aumento gradual de temperatura do modo a que o solvente presente na pasta de solda evapore;
- Desgaseificação: durante esta etapa a temperatura aumenta lentamente para que o *PCB* fique com uma temperatura uniforme e também para ativar o fluxo da pasta de solda que irá evitar a oxidação dos componentes;

- Refluxo: é na etapa de refluxo que a solda funde, por aumento da temperatura;
- Arrefecimento: durante o arrefecimento a temperatura diminui gradualmente até à temperatura ambiente, permitindo assim a formação das juntas de solda (Doro, 2004; Tsai, 2012).

Para o processo de soldagem por refluxo é muito importante que o perfil de aquecimento seja correto, pois só assim se consegue garantir a qualidade da solda e, assim, assegurar a qualidade do produto final. No entanto, este processo de soldagem é conhecido como um dos principais responsáveis pelas falhas que ocorrem na produção de um *PCBA* (Doro, 2004; Tsai, 2012).

2.3.3 Defeitos na montagem de *PCB's*

Para a produção de *PCBA's* é muito importante que se estabeleça um processo de manufatura *standard*, realizado segundo regras pré-estabelecidas que obedecem aos conceitos de triagem, arrumação, limpeza, normalização e disciplina (conceito 5S do japonês: *Seiri, Seiton, Seison, Seiketsu, Shitsuke*) (Krichbaum, 2008).

O trabalho para criar um processo de manufatura *standard* nunca está completo, isto é, a manufatura é melhorada, mas nunca é perfeita e cada novo passo dado nessa direção vai alterar o *standard* estabelecido em termos de qualidade, produtividade, segurança, mas também no que toca à satisfação do cliente (Krichbaum, 2008).

Mesmo com um bom *standard* de trabalho podem ocorrer erros na produção dos *PCBA's*, erros esses que tanto podem estar ligados aos materiais como aos processos de transformação. Todas estas falhas, quer dos materiais, quer dos processos, levam à redução do desempenho do *PCBA* ou mesmo à sua inutilização (Park, 2011).

No que diz respeito às falhas relacionadas com os processos podem-se referir a colocação excessiva de pasta de solda, componentes mal colocados ou em falta, entre outros. Por exemplo, durante a inserção dos componentes, a otimização do *Pick-and-Place* é muito importante para que o processo seja eficiente, uma vez que se colocam componentes com diferentes formas e tamanhos em sítios muito específicos do *PCB* e, para isso, encontrar o trajeto adequado para o *Pick-and-Place* pode ser muito complicado (Su and Fu, 1998).

A otimização do *Pick-and-Place* é tão problemática quanto a seleção do *nozzle* adequado, visto que é possível fazer varias alterações nos *nozzles*, sendo que se este não for o adequado, a eficiência do processo fica comprometida (Souza and Lijun, 1995).

Existem outros problemas a considerar na otimização dos processos de produção de um *PCBA*, como o agrupar de componentes, as diferentes velocidades a que o *PCB* está sujeito durante a montagem, os movimentos do *Pick-and-Place*, o tempo de transporte dos componentes, etc. (Souza and Lijun, 1995).

No que toca a falhas ligadas aos materiais estas podem ser causadas por contaminações dos materiais, ou por problemas físicos do próprio material, como alterações de viscosidade do *coating* (Park, 2011).

Mesmo que todos os requisitos dos processos e dos materiais sejam cumpridos é possível a ocorrência de defeitos. De forma simplificada é possível dividir os defeitos em três tipos:

- Defeitos nos componentes ou nas placas: causados pela má qualidade dos componentes ou das placas, como consequência do armazenamento, transporte ou manuseamento incorreto. Exemplos: componentes eletricamente defeituosos, danificados, contaminados, mal dimensionados, com terminais não coplanares, etc.
- Defeitos na inserção: gerados em operações manuais, como falhas do operador, ou erros de programação e variações da máquina. Exemplos: componentes em falta, invertidos, incorretos, desalinhados.
- Defeitos nas terminações: originados por fatores como a aplicação de pasta de solda, parâmetros de soldagem, ou orientação e espaçamento de componentes. Exemplos: curto-circuitos, ausência, excesso ou insuficiência de pasta de solda, vazios nas juntas de solda (*voids*), componente suspenso de um dos lados (*tombstone* – Figura 9), fluidez excessiva do *coating* (Doro, 2004).

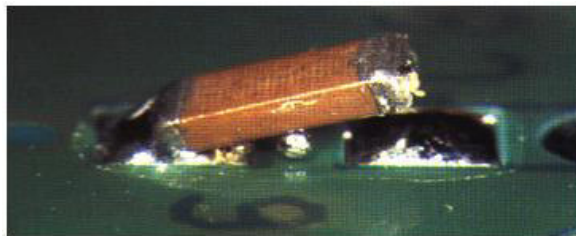


Figura 9. Tombstone (Adaptado de (Lasky, 2007)).

CAPITULO 3. CONFORMAL COATING

3.1 Introdução

Quando surgiu a tecnologia dos circuitos elétricos, antes do desenvolvimento dos *PCB's*, surgiu a necessidade de proteger os componentes elétricos da ocorrência de alguns problemas, como os curto-circuitos e, para isso, eram utilizados revestimentos baseados em resinas orgânicas, os *coatings* (Suppa, 2012).

Mais tarde, com o desenvolvimento da indústria eletrônica e a criação dos *PCB's*, os requisitos no que toca à proteção dos circuitos elétricos aumentaram (Suppa, 2012).

Os *coatings* são utilizados com a finalidade de: proteção contra a humidade e isolamento elétrico, sendo ainda capazes de proteger os *PCB's* durante o seu manuseamento e reduzindo a probabilidade de contaminações iónicas e/ou de partículas. A *IPC standard* (IPC-T-50) define o *coating* como um revestimento isolante e compatível, que é capaz de proteger os *PCB's* das influências do ambiente em que estes se encontram. Estes materiais podem ser utilizados para proteção contra a corrosão, causada pela humidade atmosférica ou por infestações de bolor, e para minimizar o crescimento de dendrites (Figura 10) (Kokko, 2010; Suppa, 2012).



Figura 10. Crescimento de dendrites entre dois pernos de um componente elétrico.

Os componentes elétricos utilizados nos *PCB's* são cada vez mais reduzidos e, por isso, são colocados cada vez mais próximos uns dos outros. Isto faz com que o risco de ocorrer migração iônica aumente. Os *coatings*, devidos às suas propriedades dielétricas, permitem que o espaço disponível para a passagem de corrente seja reduzido (Suppa, 2012).

No entanto, o nível de proteção conferido pelo *coating* depende do material utilizado, do método de aplicação e das condições de secagem e/ou cura do material (Suppa, 2012).

3.2 Principais requisitos dos *conformal coatings*

Para que os *coatings* cumpram a sua função corretamente é necessário que preencham alguns requisitos:

- Proteção contra humidade;
- Isolamento elétrico;
- Boa adesão ao *PCB* (Kokko, 2010).

Além destes requisitos obrigatórios, os *coatings* devem ainda possuir outras propriedades que os tornam mais atrativos, tais como:

- Elevada pureza do material, o que torna as suas propriedades melhor definidas;
- Capacidade de resistir ao envelhecimento sem ocorrência de delaminações (perda de adesão do *coating* à superfície do *PCB*) e/ou bolhas (Figura 11);
- Boas propriedades mecânicas, que não permitam o aparecimento de fissuras (Figura 11) quando o *coating* é sujeito a tensões elevadas;
- Dependendo do ambiente em que se utiliza, o *coating* deve ser resistente à degradação por radiação (Kokko, 2010).

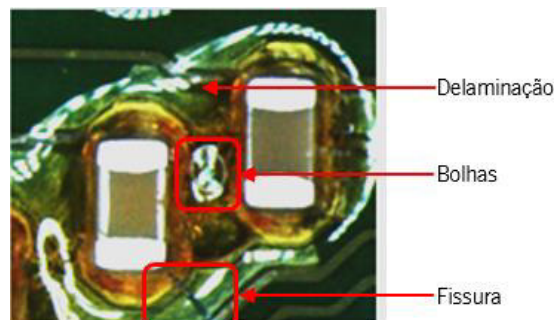


Figura 11. Defeitos de *coating* após ensaios térmicos e mecânicos.

A utilização de *coating* confere ao *PCB* um certo nível de proteção no que toca ao seu manuseamento, evitando que o *PCB* contenha, por exemplo, alguns resíduos de impressões digitais. Para produtos sujeitos a manuseamento excessivo é necessário que o *coating* selecionado tenha uma boa resistência à abrasão (Kokko, 2010).

Devido às suas propriedades mecânicas, o *coating* consegue proteger as juntas de soldadura e os componentes mais frágeis. No entanto, é possível que as tensões desenvolvidas nessas zonas devido à aplicação do *coating* diminuam a fiabilidade do produto (Kokko, 2010).

Para produtos sujeitos a ambientes muito húmidos, o *coating* utilizado deve ser resistente a microrganismos, pois o crescimento de micróbios induz a sua decomposição, diminuindo as suas propriedades. Isto pode ainda provocar corrosão metálica que pode alterar a superfície do próprio *coating*, aumentando a sua rugosidade (Kokko, 2010; Licari, 2003).

3.2.1 Proteção conta humidade

Uma das propriedades asseguradas pelo *coating* é a proteção contra a humidade, mas não existe nenhum material polimérico completamente impermeável e, por isso, na estrutura do polímero irá permanecer sempre uma certa quantidade de água. Este facto leva a que existam vários níveis de proteção no que toca à humidade, sendo que esse nível depende da estrutura molecular do polímero, do grau de polimerização, da quantidade de impurezas e da adesão entre o *coating* e a superfície do *PCB* (Kokko, 2010; Licari, 2003).

O nível de proteção de um *coating* é definido pela sua permeabilidade à humidade, ou seja, pela capacidade que o *coating* tem para transportar líquidos ou gases (Kokko, 2010; Licari, 2003).

A humidade é um fator de risco para os *PCB's*, porque pode promover migração iónica, corrosão química e/ou corrosão galvânica (Kokko, 2010; Licari, 2003).

A migração metálica (Figura 12) ocorre quando dois pontos condutores com potenciais elétricos diferentes estão próximos e, devido à presença de um eletrólito, formam uma ponte condutora, como as dendrites. A formação de dendrites pode originar um curto-circuito, resultante da redução da resistência e do aumento da passagem de corrente (Kokko, 2010; Licari, 2003).

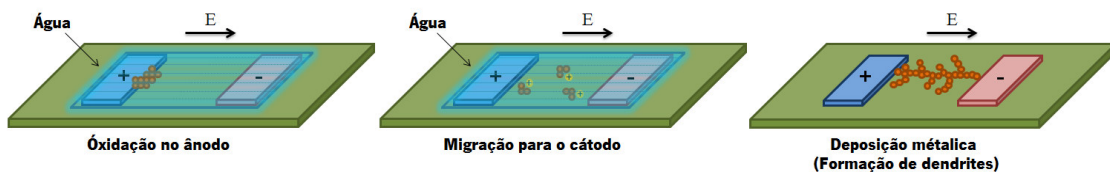


Figura 12. Migração metálica (Adaptado de (Alves, 2014)).

A corrosão química (Figura 13) é originada por reações de materiais metálicos com a humidade e pode ser prevenida minimizando a passagem de corrente. Já a corrosão galvânica é originada pela reação de dois metais diferentes que podem estar em contato direto ou através de uma solução condutora (Kokko, 2010; Licari, 2003).

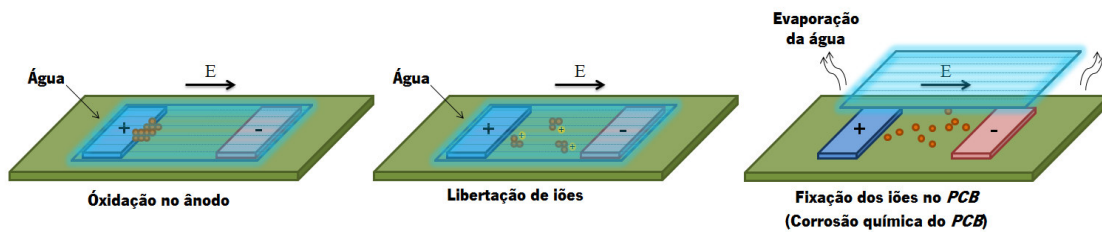


Figura 13. Corrosão química (Adaptado de (Alves, 2014)).

Os *conformal coatings* podem ser utilizados com a finalidade de evitar a ocorrência dos fenômenos eletroquímicos anteriormente descritos (Kokko, 2010; Licari, 2003).

3.2.2 Isolamento elétrico

Outra das principais funções do *coating* é o isolamento elétrico que é definido pela resistência que um material oferece à passagem de corrente, pela resistividade volumétrica, pela resistência superficial e pela constante dielétrica (Kokko, 2010).

O isolamento elétrico de um *coating* pode ser afetado pela sua composição, pureza e estrutura molecular, mas também pelo ambiente em que ele se encontra. A humidade, assim como a temperatura e outros fatores, afetam as propriedades isolante dos *coatings* (Kokko, 2010).

Para que um *coating* seja um bom isolante elétrico deve possuir uma elevada resistência, superficial e volumétrica, e também uma elevada constante dielétrica, isto porque:

- A resistência superficial é a capacidade que um material tem para isolar a passagem de corrente ao longo de dois pontos à sua superfície;
- A resistência volúmica é a capacidade que um material tem para isolar corrente ao longo do seu volume;
- A constante dielétrica é a voltagem necessária para que um material deixe de ser isolante (Kokko, 2010).

3.2.3 Adesão

A adesão pode ser definida como a interação entre as superfícies de materiais diferentes. A adesão de um *coating* à superfície de um *PCB* depende do tipo de *coating*, mas também das condições da superfície do *PCB*. Uma boa adesão do *coating* à superfície do *PCB* implica que esta esteja limpa, sem resíduos de impressões digitais e sem resíduos de fluxo (Suppa, 2012; Kokko, 2010).

Hoje em dia muitos produtores de *PCBA's* utilizam fluxos que não requerem lavagem (Fluxos *No Clean*), o que implica que o *coating* seja aplicado sobre resíduos desses fluxos, sendo a compatibilidade de ambos os materiais um fator chave. Essa compatibilidade passa por garantir uma boa adesão entre os resíduos e o *coating*, sem ocorrência de reações secundárias (Suppa, 2012).

Um *coating* deve ter uma boa adesão com a superfície do *PCB* tanto inicialmente, como durante o processo de produção do *PCB* e ao longo do seu tempo de vida. A adesão de um *coating* à superfície de um *PCB* é assegurada por interações intermoleculares do *coating* com a superfície e pode ser comprovada pela medição da força coesiva, mesmo sob cargas mecânicas e térmicas (Suppa, 2012).

A molhabilidade é um fator chave para garantir uma boa adesão e para que esta seja possível é necessário que a tensão superficial do *PCB* seja maior do que a do *coating*, como mostra a Equação (1) (Suppa, 2012).

$$M = \sigma_{\text{coating}} < \sigma_{\text{PCB}} \quad \text{Equação (1)}$$

No entanto, para garantir uma boa adesão entre o *coating* e a superfície do *PCB* uma boa molhabilidade não é suficiente, sendo também necessário que a interação entre ambos seja suficiente (Suppa, 2012).

3.3 Métodos de aplicação

Hoje em dia existem diversos métodos de aplicação de *coating* sobre *PCB's*, mas os primeiros métodos a surgir foram o método por mergulho ou a aplicação direta com um pincel. Estes métodos iam de encontro às necessidades que os *coatings* existentes na altura apresentavam em termos de viscosidade (*coatings* de poliuretano). Só mais tarde, com o desenvolvimento de *coatings* baseados em resinas epóxi, acrílicas ou em silicões, surgiram novos métodos de aplicação como o *spray* ou o seletivo (Suppa, 2012).

Os métodos de aplicação de *coating* podem ser agrupados em duas categorias, tendo em conta se a área de aplicação é total ou parcial (seletiva). Na Tabela 4 é possível observar quais os métodos correspondentes a cada um das categorias, sendo que o método mais utilizado para aplicar *coating* numa área selecionada é o *spray* seletivo, mais conhecido como cortina seletiva (Suppa, 2012).

Tabela 4. Métodos de aplicação de *coating* (Adaptado de (Suppa, 2012)).

<i>Coating</i> total	<i>Spray</i> Mergulho
<i>Coating</i> seletivo	Filme Copo horizontal Mergulho parcial Cortina seletiva Dispensação Pintura manual

Independentemente do método de aplicação selecionado é necessário que o processo de aplicação cumpra alguns requisitos, como:

- Espessura do *coating*: a espessura de um *coating* aplicado sobre um *PCB* deve ser uniforme e variar entre 30 e 130 μ m, sem ultrapassar esse valor já que isso dificulta ou impossibilita o processo de secagem e/ou cura do *coating*,
- Viscosidade do *coating*: a seleção de um método de aplicação adequado pode ser condicionada pela viscosidade do *coating*, sendo que em alguns casos esta pode ser ajustada e monitorizada durante a própria aplicação, visto que a temperatura do processo pode afetar a viscosidade do *coating* (Suppa, 2012).

Na seleção de um método de aplicação para o *coating* é necessário ter em conta os seguintes fatores:

- Geometria da montagem;
- Se a aplicação é feita apenas num ou em ambos os lados do *PCB*;
- Área de aplicação total ou parcial;
- Tipo de *coating* utilizado;
- Dimensão da produção (Suppa, 2012).

Nos subcapítulos que se seguem serão apresentados os métodos mais utilizados na indústria eletrónica para a aplicação de *coating*, *spray*, mergulho e cortina seletiva. Como o método utilizado na *Bosch Car Multimedia S.A.* é o método de cortina seletiva, serão ainda abordados todos os passos e variáveis deste processo.

3.3.1 *Spray*

O método de *spray* consiste, como o seu nome indica, em pulverizar o *PCB* com *coating* utilizando um equipamento adequado. Este método é vantajoso, porque exige pouco investimento sem comprometer a qualidade do produto final. Além disso, quando comparado com outros métodos, é mais rápido e permite uma troca mais rápida de material, pois não necessita de limpar todo o sistema, sendo só necessário trocar o *nozzle* (Kokko, 2010).

Na Figura 14 é possível visualizar uma representação esquemática do funcionamento deste método, onde pode ser visto que o *coating* é aplicado na totalidade do *PCB*. Para evitar falhas de *coating*, o material deve ser aplicado em cruz, ou seja, em movimentos horizontais e verticais com uma velocidade controlada (Kokko, 2010).

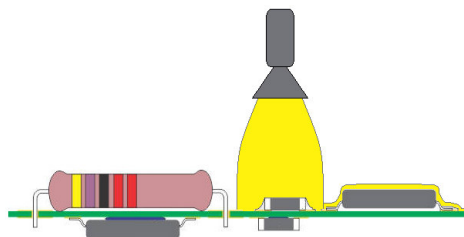


Figura 14. Aplicação de *coating* pelo método de *spray* (Adaptação de (Suppa, 2012)).

Uma vez que a aplicação do *coating* pelo método de *spray* é feita em cruz é muito comum o aparecimento de grandes discrepâncias no que toca à espessura da camada de *coating*, ou seja, é quase impossível obter uma camada de *coating* com espessura uniforme. Este método exige que o material tenha uma baixa viscosidade e, por isso, é possível que as perdas de material sejam elevadas, devido ao *spray* em excesso, este facto impede ainda que o *coating* possa ser aplicado dos dois lados (Kokko, 2010).

3.3.2 *Coating* por mergulho

No *coating* por mergulho o *PCB* é submerso num tanque que contém o material líquido, ficando coberto de ambos os lados (Figura 15).

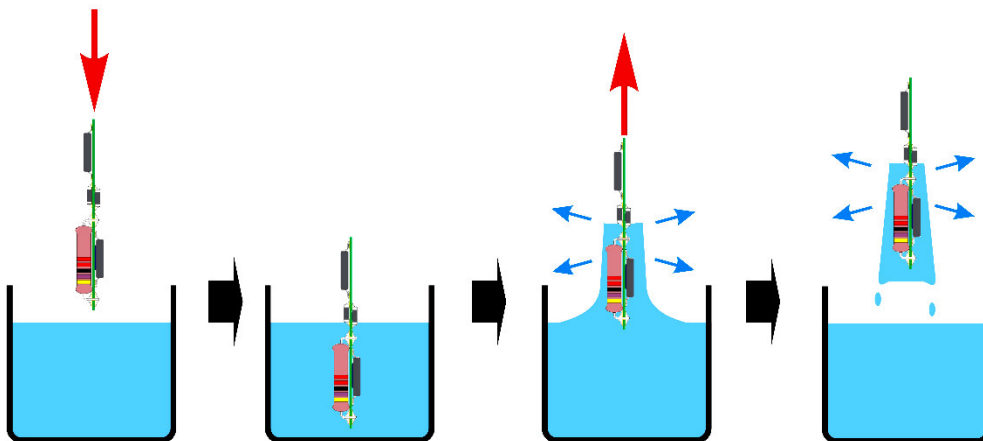


Figura 15. *Coating* por mergulho (Adaptado de (Suppa, 2012)).

Este método de aplicação de *coating* é considerado o mais simples do ponto de vista funcional, permitindo ainda a aplicação de *coating* em vários *PCB*'s em simultâneo através da utilização de um *carrier* (Figura 16). Contudo, para que isso seja possível é necessário que os *PCB*'s possuam um *design* específico (Kokko, 2010).



Figura 16. Carrier utilizado no coating por mergulho (Adaptado de (SCH Technologies, 2012)).

Como este é um processo automatizado, o resultado final depende apenas da viscosidade e da temperatura, já que são esses os fatores responsáveis pela espessura do *coating* (Kokko, 2010). No entanto, a escolha de um tanque adequado também é um facto importante e é determinada pelos requisitos e tipo de *coating* que irá aplicar e pela continuidade do seu fluxo. A dimensão do tanque deve ser suficiente, não só para assegurar a continuidade do fluxo de material, mas também para que os cantos do tanque possam ser evitados, visto que nessas zonas o *coating* tem tendência para gelificar. O tipo de *coating* utilizado pode obrigar a que o tanque seja coberto quando não está a ser utilizado para evitar a evaporação do solvente, bem como para evitar que o lixo ou pó se acumulem na superfície ou que o *coating* gelifique superficialmente (Kokko, 2010).

3.3.3 *Coating* por cortina seletiva

O método de aplicação de *coating* por cortina seletiva é semelhante ao *spray*, sendo que o *coating* é aplicado automaticamente pela dispensação do material líquido (Figura 17). Como este método é totalmente automatizado é possível definir quais as áreas que se pretende revestir, tendo em conta que o *PCB* possuiu áreas de aplicação proibida, como conectores, entre outros. Isto torna este método muito atrativo visto que há um aumento na complexidade dos *layouts* desenvolvidos para as montagens eletrónicas (Suppa, 2012).

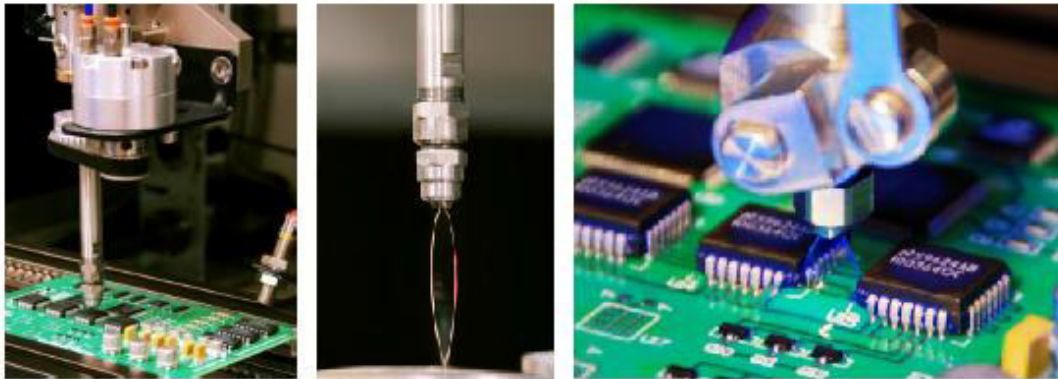


Figura 17. Aplicação de *coating* pelo método de cortina seletiva (Adaptado de (Nordson, 2014)).

A aplicação de *coating* pelo método de cortina seletiva permite aplicar filmes uniformes diferentes entre si através da utilização de diferentes *nozzles* de aplicação. As características finais do filme dependem das condições do *coating*, em particular da viscosidade e da temperatura. Existem ainda outros parâmetros capazes de afetar a qualidade do produto final, como mostra o esquema da Figura 18 (Suppa, 2012).

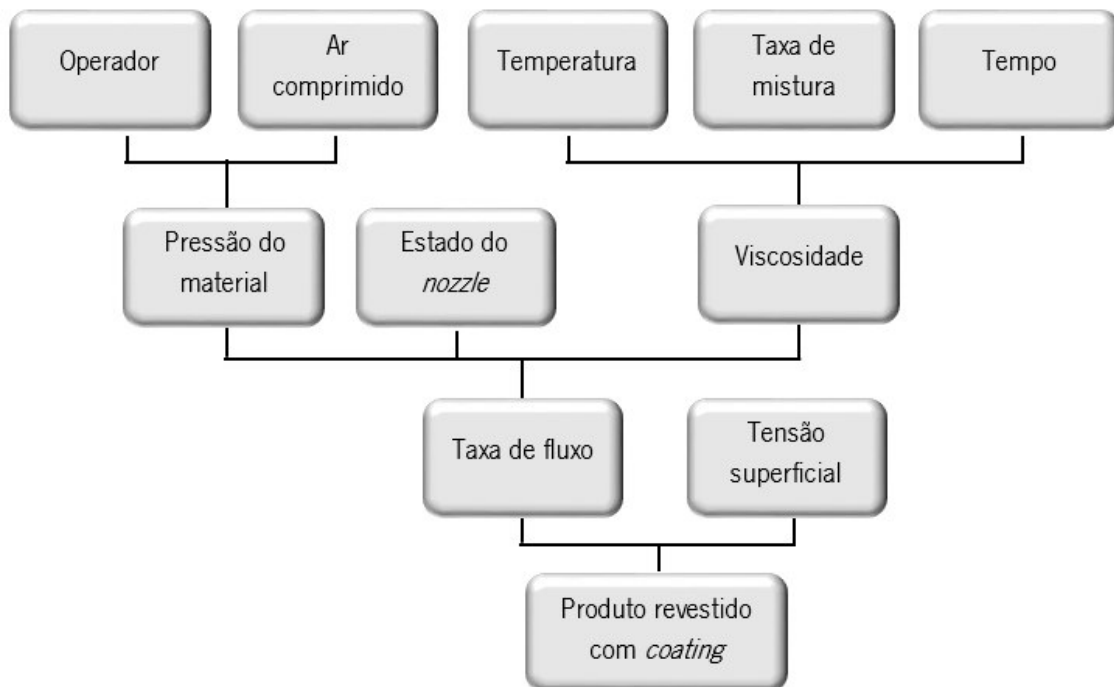


Figura 18. Influência dos parâmetros de aplicação na qualidade do produto final (Adaptado de (Suppa, 2012)).

A Nordson B. V. Electronics Systems Group patenteou este método de cortina seletiva para a aplicação de *coating*, para o qual desenvolveu diversos sistemas que podem ser ajustados segundo os

requisitos do cliente (Suppa, 2012; Nordson, 2014). Para a aplicação de *coating*, a *Bosch Car Multimedia S.A.* utiliza o método de cortina seletiva desenvolvido pela *Nordson*, do qual utiliza os sistemas seguintes:

- Sistema de visão: permite a criação rápida e precisa de programas de aplicação de *coating*, nos quais se definem quais as áreas do *PCB* que serão revestidas;
- Sistema de reconhecimento da placa: desenvolvido para corrigir automaticamente o desalinhamento do *PCB* através da leitura dos *fiducials*;
- Sistema de presença de placa: o sensor verifica a presença ou ausência do *PCB* e inicia ou não o processo de aplicação;
- Sistema de reconhecimento: é um leitor de códigos de barras que lê o código do *PCB* e seleciona automaticamente o programa de aplicação, se este já existir;
- Sensor de nível baixo do fluido: no próprio reservatório do material é colocado um sensor que avisa o operador quando o nível de material está em baixo;
- Caixa de escova: utilizada para remover material acumulado no *nozzle*;
- Suporte de dupla ação: permite a aplicação de *coating* em dois *PCB's* em simultâneo;
- Controlo da largura da cortina: utilizando um sensor *laser* que mede a largura da cortina é possível ajustar a pressão do *coating* fluido, ajustando a sua viscosidade, sendo assim a largura da cortina consistente;
- Sistema de monitorização do caudal: mede o volume de *coating* aplicado e compara-o com um limite pré-estabelecido, registando a quantidade de material aplicado num *software* próprio (Nordson, 2014).

Após a aplicação do *coating*, os *PCB's* passam por dois períodos de secagem, um à temperatura ambiente e o outro dentro de um forno a uma temperatura controlada, que depende do *coating* aplicado. Em alguns casos os *coatings* necessitam também de um período de cura. Contudo estes parâmetros são dependentes do tipo de *coating* que se aplica, como será explicado no subcapítulo seguinte.

3.4 Classificação e tipos de *coatings*

Os *coatings* são constituídos por uma conjunto de materiais voláteis e não voláteis (Tabela 5) e a sua classificação é feita tendo em conta esses materiais. Assim sendo, os *coatings* podem ser classificados segundo o tipo de:

- Ligante;
- Solvente;
- Formação do filme;
- Método de aplicação (Suppa, 2012).

Tabela 5. Materiais que constituem os *coatings* (Adaptado de (Suppa, 2012)).

Material volátil	Solventes		Solventes orgânicos Água
	Produtos de clivagem		De cura térmica De cura oxidativa De cura química
	Aditivos		Agentes anti contração Agentes formadores de filme
Material não volátil	Ligantes	Formadores de filme	Resinas
		Material auxiliar	Dissecantes Catalisadores Agentes de molhamento Fungicidas Conservantes
	Aditivos		Pigmentos Corantes

Embora existam diferentes formas de classificar os *coatings*, a classificação mais comum é feita de acordo com a estrutura molecular do polímero que o constitui. Desta forma diz-se que existem cinco tipos de *coating*: à base de epóxi, silicone, acrílico, poliuretano e parileno (Kokko, 2010).

A *Bosch Car Multimedia S.A.* utiliza apenas dois tipos de *coating*, um acrílico e outro de poliuretano, que serão caracterizados nos subcapítulos seguintes.

3.4.1 Coating acrílico

Os *coatings* acrílicos são muito utilizados na proteção dos *PCB's* devido às propriedades que apresentam, como excelentes isolantes elétricos, proteção contra humidade e possibilidade de permitir a reparação do *PCB*, tudo isto aliado ao baixo custo (Kokko, 2010).

As resinas acrílicas são derivadas de ácido e esteres acrílicos e, por isso, existem muitas soluções diferentes. A seleção de um *coating* acrílico adequado depende do intervalo de temperatura e de outras propriedades ambientais a que o *PCB* está sujeito. Além disso é necessário que o solvente e a resistência química da resina sejam específicos e é necessário cumprir o tempo de cura, a área de aplicação e os *standards* de aplicação (Kokko, 2010).

A possibilidade de reparação é resultado da baixa resistência que os acrílicos têm a ácidos fortes e a solventes, o que faz com que os acrílicos não possam ser utilizados em alguns ambientes quimicamente exigentes (Kokko, 2010).

A *Bosch Car Multimedia S.A.* utiliza o PC88, um *conformal coating* de base acrílica que confere aos *PCB's* proteção mecânica e do ambiente e é por isso indicado para a indústria automóvel, entre outras. A Tabela 6 mostra algumas das propriedades do PC88 (Henkel, 2008).

Tabela 6. Propriedades físicas e químicas do PC88 (Adaptado de (Henkel, 2008)).

Aspetto	Líquido incolor
Odor	A solvente
Ponto de ebulição inicial	>79°C
Densidade (20°C)	0,900 – 0,904g/cm ³
Solubilidade qualitativa (20°C; Solvente orgânico)	Solúvel

Depois de se aplicar o PC88 pelo método de cortina seletiva, o solvente presente no *coating* tem de evaporar, para que o *coating* consiga cumprir a sua função. Para que isso seja possível o *PCB* terá de passar por um período de estabilização à temperatura ambiente durante, pelo menos, 8 minutos (*flash-off*) e de seguida por um processo de secagem, como pode ser visto no gráfico da Figura 19 (Alves, 2014).

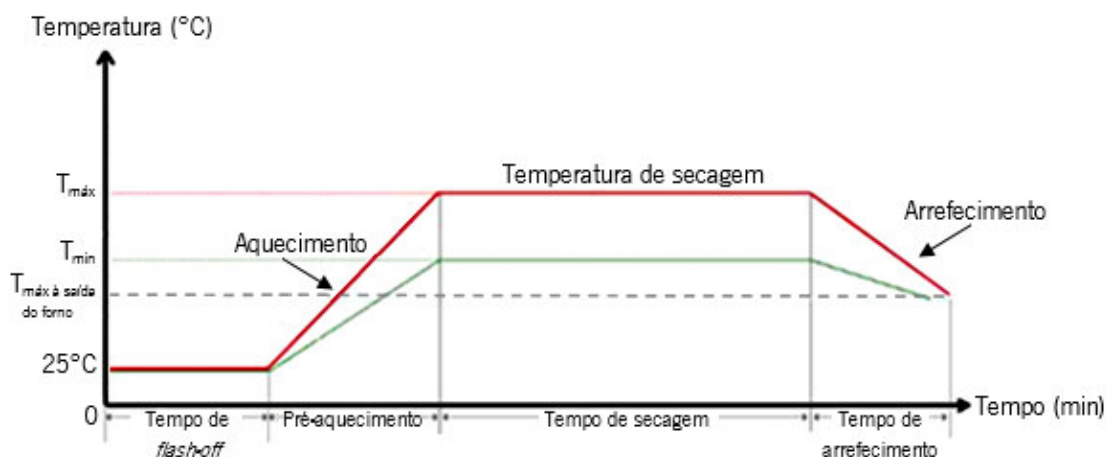


Figura 19. Perfil de temperatura vs. tempo utilizado no processo de secagem do PC88 (Adaptado de (Alves, 2014)).

O processo de secagem deve ser feito a uma temperatura que varia entre 55 e 75°C, durante 9 a 12 minutos. Normalmente, utiliza-se a temperatura mínima (55°C) em *PCB's* que possuem componentes sensíveis à humidade ou à temperatura e utiliza-se a temperatura máxima (75°C) nos restantes casos (Alves, 2014).

Após secagem, o PC88 apresenta uma maior dureza e uma maior resistência à abrasão e, mesmo depois de uma extensa exposição ao ambiente, mantém a sua cor. A secagem deste *coating* depende da evaporação de solvente que é influenciada pela temperatura e pelo tempo. Para otimizar o processo de secagem não é recomendado aumentar a temperatura além do intervalo especificado, pois pode levar à formação de bolhas se existir solvente aprisionado que não evaporou. A melhor forma de otimizar o processo é através da redução do tempo de secagem, tempo esse que depende da espessura do *coating* e do *design* do *PCB*. A secagem do PC88 é um processo relativamente rápido, visto que este *coating* não contém tolueno (Henkel, 2008).

É possível, mesmo após secagem completa, remover o *coating* quando existe a necessidade de reparar os componentes ou as juntas de solda, através da utilização de um ferro de soldar. Este remove parcialmente o *coating* por aquecimento e utilizando um solvente apropriado para remover o *coating* por dissolução (Henkel, 2008).

3.4.2 *Coating* de poliuretano

Os *coatings* de poliuretano foram os primeiros a ser utilizados para proteção de *PCB's*, uma vez que ofereciam boa resistência à humidade, fungos, abrasão, resistência química, adesão, flexibilidade,

elasticidade e baixa contração. No entanto, como estes *coatings* oferecem boa resistência química, isso dificulta a reparação de componentes e/ou dos *PCB's* (Kokko, 2010).

Em alguns produtos a *Bosch Car Multimedia S.A.* utiliza um *coating* de poliuretano da serie Elpeguard SL 1301 ECO-FLZ, o Peters 1301, que tem como principais funções:

- Proteger os *PCB's* mesmo em ambiente muito húmido;
- Isolar equipamentos elétricos, painéis e terminais de placas;
- Permitir a reparação dos componentes e/ou do *PCB* por remoção parcial com um ferro de soldar (Peters, 2014).

Muitos dos *coatings* de poliuretano podem ter propriedades nocivas, por possuírem grupos de isocianato. Contudo, é possível reduzir o número de grupos de isocianato induzido co-reações com poliols, baixando a toxicidade. No caso dos *coating* da serie da Elpeguard existem algumas soluções amigas do ambiente que não contém hidrocarbonetos aromáticos (benzeno, tolueno, etc.), crómio, chumbo ou isocianato (Peters, 2014).

Tal como no *coating* acrílico também o Peters 1301, após ser aplicado pelo método de cortina seletiva, passa por duas etapas de secagem, uma à temperatura ambiente e outra a uma temperatura que varia entre 85 e 100°C. Este *coating*, além da secagem, passa por um processo de cura à temperatura ambiente. Na Tabela 7 encontram-se os parâmetros destas três etapas, *flash-off*, secagem e cura.

Tabela 7. Parâmetros de *flash-off*, secagem e cura do *coating* Peters 1301 (Adaptado de (Alves, 2014)).

<i>Flash-off</i>	
Temperatura (°C)	20 – 30
Tempo (min)	6 – 12
Parâmetros de Secagem	
Temperatura (°C)	85 – 100
Tempo (min)	20 – 60
Taxa de aquecimento (°C/min)	≤10
Parâmetros de Cura	
Temperatura (°C)	20 – 30
Tempo (horas)	96

Os *PCBA's* que utilizam *coating* Peters 1301 só podem ser manuseados após o processo de cura estar completo.

3.5 Caracterização de *conformal coatings*

Como já foi referido ao longo do capítulo 3, os *coatings* são resinas sintéticas aplicadas no final do processo de produção dos *PCB's* para servirem de barreira à humidade, poeiras e outros contaminantes externos. Devido às suas propriedades como a boa adesão à superfície do *PCB*, funcionando como barreira, o bom isolamento elétrico, a hidrofobia, a resistência à permeabilidade de humidade e gases, os *coatings* conseguiram melhorar a fiabilidade dos *PCB's*. No entanto, o desempenho dos *coatings* depende do ambiente a que o *PCB* está exposto, da limpeza do substrato, da espessura do *coating* e das suas propriedades química (Rathinavelu, 2012).

Para melhorar a fiabilidade dos *PCB's* têm sido feitos alguns estudos para caracterizar os *conformal coatings*, utilizando diferentes soluções em diferentes substratos, com o objetivo de melhorar as propriedades do *coating*.

Num artigo para a revista *Reinforced Plastics*, Sarah Vickers (Vickers, 2014) mostrou como é possível promover a adesão de *conformal coatings* de poliuretano e epóxi através da utilização de um material denominado Onto™ EP1000. Os Onto são materiais percursores de carbenos não ativados, estáveis quando expostos ao calor e à luz, compatíveis com vários solventes, como o caso de misturas álcool/água. Neste estudo foram utilizados *PCB's* previamente lavados com uma solução de álcool e água e desses alguns foram tratados superficialmente com Onto™ EP1000. Em ambos os casos foram aplicados *coatings* de poliuretano e epóxi com duas espessuras, 200nm e 2µm. A secagem foi feita num forno de convecção a 115°C. As amostras foram submetidas a um ensaio de adesão segundo a norma ASTM D3359-08 e em todos os casos as amostras tratadas com Onto™ EP1000 passaram e as não tratadas falharam, sendo esse resultado visualmente evidente e reproduzível. Estes tratamentos superficiais permitem que *coatings* desenvolvidos especificamente para substratos de vidro e metal possam ser aplicados em substratos termoplásticos sem serem reformulados, já que os tratamentos promovem uma boa adesão.

Mirabedini et. al. (Mirabedini et. al., 2013) investigou a relação entre a perceção sensorial e as características mecânicas de *coatings* de poliuretano. A investigação consistia em relacionar a perceção sensorial de 72 pessoas que tocavam no *coating* avaliando a sua maciez com os resultados de ensaios mecânicos de dureza Vickers e ensaios de tração. Produziram-se *coatings* com diferentes misturas de resinas, os quais foram aplicados sobre vidros pelo método de mergulho a um taxa de 2mm/min e deixadas a secar à temperatura ambiente durante 15 dias. A dureza foi medida aplicando uma carga de

980mN durante 20 segundos e a tração foi feita a uma taxa de 2mm/min à temperatura ambiente. Os ensaios de dureza mostraram que uma maior dureza não leva necessariamente à sensação de um material menos rugoso, mas existe uma relação linear entre o coeficiente de atrito e a dureza, sendo que quanto menor for o coeficiente de atrito menos rugoso será o material. A combinação de resinas duras e pouco rugosas, a otimização da rugosidade superficial, a dureza, a elasticidade e o coeficiente de atrito são os fatores necessários para que os *coatings* sejam menos rugosos ao toque.

Cho et. al. (Cho et. al., 2013) caracterizou um *coating* de poliuretano usado para impedir o crescimento de *whiskers* de estanho. Com a miniaturização contínua a diminuição do espaço entre os pernos dos componentes elétricos diminui, fazendo com que o crescimento de *whiskers* seja um problema cada vez maior, não sendo completamente eliminado com a aplicação do *coating*, pois é possível que mesmo com o *coating* apareçam *whiskers*. É importante garantir que os *whiskers* não formem pontes entre os pernos, uma vez que podem ocorrer curto-circuitos. Para este estudo foram produzidos *coatings* com resinas de poliuretano reforçados com nanopartículas de sílica funcionalizadas com isocianato. Com isto pretendia-se aumentar as propriedades mecânicas do *coating*, aumentando a reticulação entre as cadeias do polímero. O *coating* foi depositado em diferentes substratos e espalhado até se obter uma espessura entre 20 e 40µm. De seguida as amostras foram secas com ar durante 30 a 40 minutos e, por fim, passaram por um período de cura durante 2 horas a 60°C. Com o aumento das propriedades mecânicas do *coating* impede-se a formação das pontes de *whiskers*. No entanto, como as nanopartículas tem tendência a aglomerar-se, não foi possível produzir um *coating* com propriedades mecânicas homogêneas, sendo os resultados deste estudo pouco conclusivos.

Rathinavelu et. al. (Rathinavelu, 2012) fez um estudo sobre a influência de fluxos *no-clean* na performance de um *coating* acrílico em condições agressivas. Para isso utilizou diferentes tipos de PCB's previamente limpos por imersão em álcool isopropílico com ultrassons durante 30 minutos, para remover todos os resíduos de fluxo. De seguida os PCB's foram mergulhados em água e secos com ar quente. Produziram-se 4 tipos de amostras:

- PCB's limpos;
- PCB's contaminados com fluxo;
- PCB's contaminados com fluxo e aquecidos a $255 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 45 segundos;
- PCB's contaminados com o componente mais ácido do fluxo (2% de ácido adípico misturado com álcool isopropílico).

Em algumas das amostras foi aplicado um *coating*acrílico pelo método de *spin*, com uma velocidade de rotação de 120rpm durante 10 minutos, obtendo uma espessura de 30 a 40 μ m. Essas amostras foram mergulhadas em água a 60°C durante 10 e 15 dias. Depois foram secas e pesadas, sendo que a diferença do peso antes e depois do ensaio revela a quantidade de água absorvida pelo *coating*. A presença de fluxo resultou na degradação do desempenho do *coating*, permitindo com a entrada de água a formação de bolhas cujo tamanho é dependente da quantidade de fluxo. Nas restantes amostras foi aplicado o mesmo *coating* pelo mesmo método, mas com uma velocidade de 150rpm durante 1 minuto, sendo a espessura entre 10 e 20 μ m. Estas amostras foram submetidas a um ensaio de corrosão, aplicando um potencial de 12V, com os PCB's imersos em água a 30°C durante 50 horas, sendo a passagem de corrente registada a cada segundo. Este ensaio mostrou elevada passagem de corrente e falhas dos PCB's quando a sua superfície estava contaminada com fluxo. O SEM (Microscopia Eletrónica de Varrimento) e os cortes seccionais mostraram ocorrência de corrosão debaixo do *coating* e delaminações onde o fluxo está presente. Em ambos os ensaios, feitos a todas as amostras em que o fluxo foi aquecido, o *coating* absorve mais água, há mais passagem de corrente e maior ataque corrosivo.

CAPITULO 4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os materiais a caracterizar, bem como os métodos de caracterização física e química, os procedimentos adotados na preparação das amostras e na execução dos ensaios realizados.

Os materiais caracterizados neste estudo são dois *coatings*, que consistem em resinas de bases diferentes, uma acrílica (PC88) e uma de poliuretano (Peters 1301). Tratam-se de resinas utilizadas na produção de PCBA's da *Bosch Car Multimedia S.A.*, como método de proteção contra a humidade e como isolante elétrico, para as quais se pretendem avaliar os processos de secagem e cura (quando existente), e compreender se as transformações destes materiais são físicas e/ou químicas. Os métodos usados para a caracterização das resinas incluíram os ensaios de Calorimetria Diferencial de Varrimento (DSC), de Análise Termogravimétrica (TGA) e Espectroscopia de Infravermelhos com Transformada de Fourier (FTIR). Visto que a espessura do *coating* pode influenciar os seus processos de secagem e cura, as amostras utilizadas nos ensaios de DSC e TGA, foram cortadas seccionalmente para avaliar a espessura das mesmas.

Na Figura 20 é apresentado o fluxograma representativo das várias etapas do trabalho desenvolvido na presente dissertação.

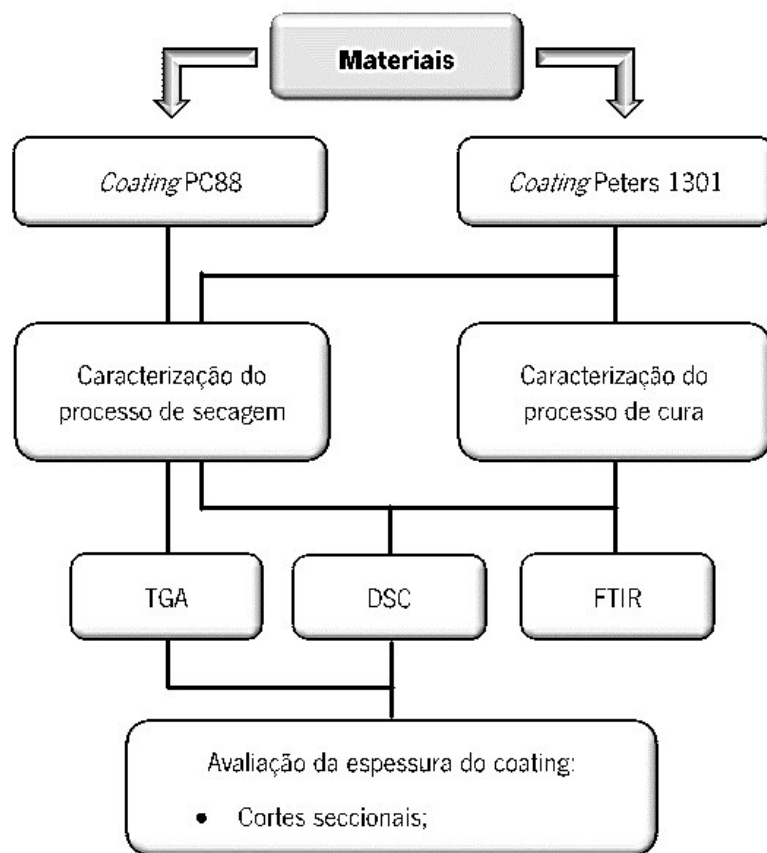


Figura 20. Fluxograma das várias etapas seguidas nesta dissertação.

4.2 Materiais e sua preparação

Os *coatings* usados neste trabalho, PC88 e Peters 1301, foram desenvolvidos e caracterizados físico-quimicamente pela Hysol® e pela Elpeguard®, respetivamente. Assim, parte da caracterização física e química encontra-se já disponível, como por exemplo a viscosidade. No entanto, em relação aos processos de secagem e cura, os fornecedores apenas revelam quais os intervalos de tempo e temperatura que devem ser utilizados, sendo por isso necessário caracterizar o perfil de secagem e cura ótimo.

Nos Anexos I e II encontram-se as fichas técnicas dos materiais em estudo nesta dissertação.

4.2.1 Espessura de *coating*

Quando se aplica *coating* sobre os *PCBA's* é possível fazê-lo com diferentes espessuras, o que poderá afetar os seus processos de secagem e/ou cura. Nesse sentido, ao caracterizar o perfil de secagem e cura ideal, é necessário ter em consideração se esse perfil é apropriado a todo o intervalo de espessuras que se podem utilizar.

Segundo as normas IPC-CC-830, IPC-2221, IPC-A-610E e J-STD-001 a espessura de *coatings* de base acrílica e uretano deve estar compreendido entre 30 e 130 μm , sendo mais comum utilizar-se uma espessura de aproximadamente 100 μm (Suppa, 2012). No entanto, as normas citadas apenas se referem a espessura de *coating* aplicado sobre superfícies planas. Os processos de *conformal coating* utilizados na *Bosch Car Multimedia S. A.* respeitam essas normas e, conseqüentemente, o intervalo dessas espessuras. Como tal, visto que se pretendem caracterizar os processos de secagem e/ou cura desses *coatings* é necessário estudar os processos para diferentes espessuras de *coating*, para a posterior caracterização.

Para seleccionar as espessuras a caracterizar, foi feito um estudo prévio realizado da seguinte forma: colocaram-se diferentes quantidades de *coating* em cápsulas de alumínio de 25 μl da NETZSCH utilizadas nos ensaios de DSC com o auxílio de uma seringa cuja terminação é de 585 μm diâmetro. As cápsulas foram cortadas seccionalmente, após a secagem num forno de convecção da *Bosch Car Multimedia S. A.* e a espessura do *coating* foi medida com o auxílio do microscópio Keyence VHX – 2000 (Figura 21).



Figura 21. Microscópio Keyence VHX-2000.

Na Figura 22 ilustram-se esses cortes seccionais com as respetivas espessuras.

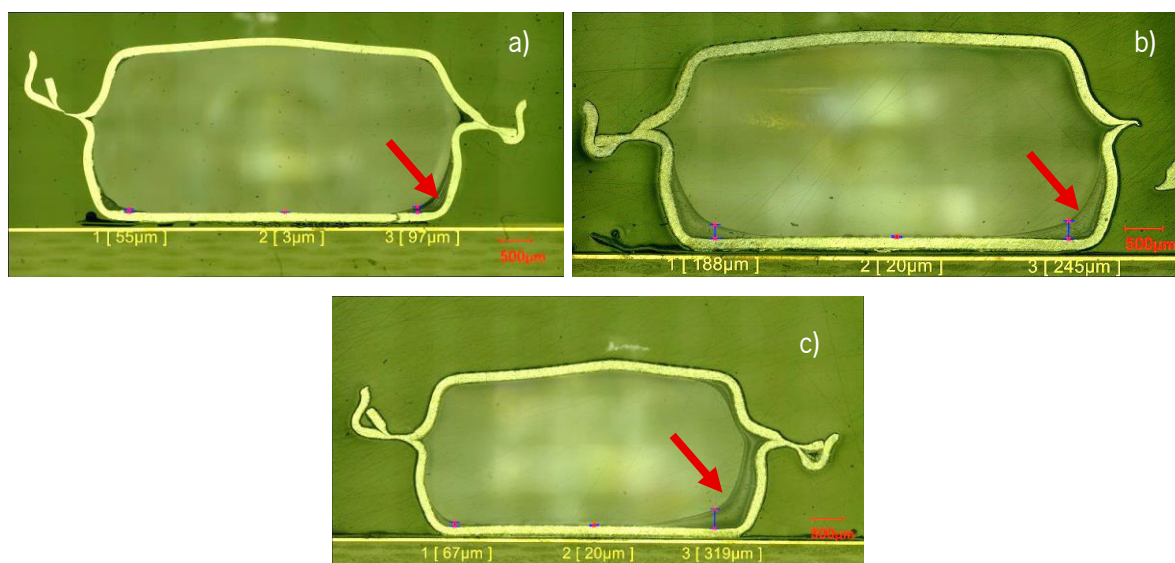


Figura 22. Cortes seccionais para determinação da espessura do *coating*: a) Cápsula com 2 gotas; b) Cápsula com 3 gotas; c) Cápsula com 4 gotas.

As quantidades utilizadas foram 2, 3 e 4 gotas de *coating*, sendo que a estas correspondem espessuras nos intervalos de [3 – 97µm], [20 – 245µm] e [20 – 319µm], respetivamente (Figura 22.a), b) e c)). A gama de espessuras de *coating* obtidas é muito ampla, uma vez que existe a tendência do *coating* se espalhar pela cápsula, concentrando-se em maior quantidade junto às paredes das cápsulas.

4.3 Métodos de caracterização

Para a caracterização dos *coatings* estudados neste trabalho foram usadas as seguintes técnicas:

- Calorimetria diferencial de varrimento (DSC) – Identificação das variações de entalpia que ocorrem durante o processo de secagem;
- Análise termogravimétrica (TGA) – Caracterização da perda de peso do *coating* em função do perfil de aquecimento utilizado;
- Cortes seccionais – Medição da espessura de *coating* após os ensaios de DSC e TGA;
- Infravermelhos com transformada de Fourier (FTIR) – Avaliação da estrutura química dos *coatings* após os processos de secagem e cura.

4.3.1 Calorimetria diferencial de varrimento (DSC)

O DSC é uma análise térmica que permite a determinação de propriedades específicas dos materiais através da medição do fluxo de calor trocado pela amostra durante transformações físicas ou químicas, e é o único método de determinação direta da entalpia associada a certos processos endo ou exotérmicos. O DSC regista variações de quantidade calor libertado ou absorvido pela amostra em estudo, em função da diferença de temperatura entre essa amostra e uma referência (Gill et. al., 2010; Höhne et. al., 2003).

O DSC pode ser baseado em dois mecanismos operacionais de funcionamento, o fluxo de calor e a compensação de energia. O mecanismo utilizado nos ensaios desta dissertação foi o fluxo de calor. No fluxo de calor, a amostra é colocada numa cápsula fechada e é utilizada como referência uma cápsula vazia, igualmente fechada. As duas cápsulas são colocadas sobre um disco termoeletrico por dentro de um forno. O forno é aquecido a uma taxa constante segundo um programa pré-definido e o calor é transferido do disco termoeletrico para as cápsulas. Devido à capacidade calorífica da amostra, e devido a reações ou mudanças de estado que esta possa sofrer, observam-se diferenças de temperatura entre a amostra e a referência, que são medidas por termopares permitindo a determinação do fluxo de calor através da lei de Ohm, descrita na Equação 2, onde q é o fluxo de calor da amostra, ΔT é a diferença de temperatura entre a amostra e a referência e R é a resistência do disco termoeletrico (Gill et. al., 2010).

$$q = \frac{\Delta T}{R} \quad \text{Equação (2)}$$

Com o ensaio de DSC pretendia-se determinar a existência de reações associadas ao processo de secagem de ambos os *coatings*, PC88 e Peters 1301, e compreender de que forma a quantidade de material influencia o processo de secagem e as respetivas reações associadas, quando existentes.

Os ensaios de DSC foram realizados no Laboratório de Ciência de Polímeros do Departamento de Engenharia de Polímeros (DEP) da Universidade do Minho. O equipamento utilizado para os ensaios de calorimetria foi o DSC NETZSCH 214 Polyma (Figura 23.a)), usando o mecanismo de fluxo de calor (Figura 23b)). Este equipamento foi projetado para a caracterização de materiais poliméricos, tais como os *coatings* (NETZSCH, 2014).

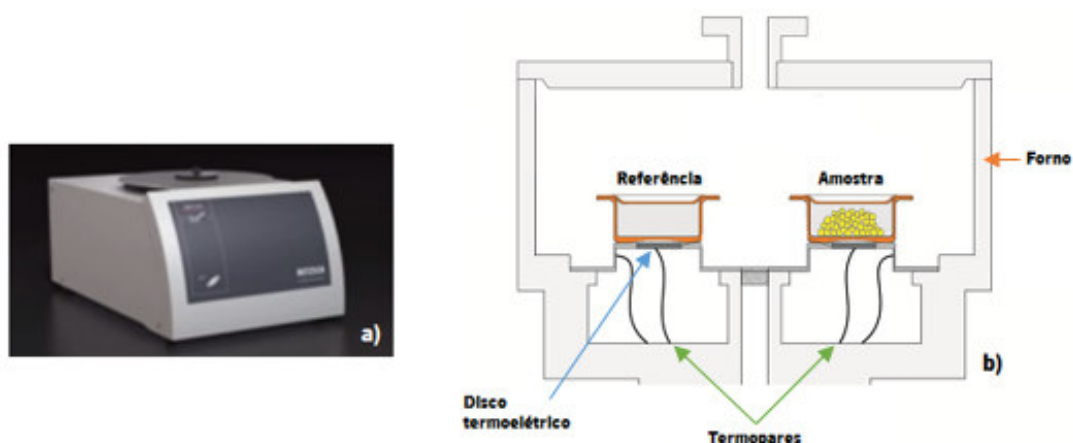


Figura 23. Equipamento de DSC: a) DSC NETZSCH 214 Polyma; b) Mecanismo de fluxo de calor (Adaptado de (NETZSCH, 2014)).

Foi utilizada como referência uma cápsula de alumínio de 25 μ L da NETZSCH. As amostras de *coating* foram colocadas em cápsulas iguais à referência, com o auxílio de uma seringa em quantidades de 2, 3 e 4 gotas. A Figura 24 mostra uma cápsula de referência e uma cápsula com *coating*.

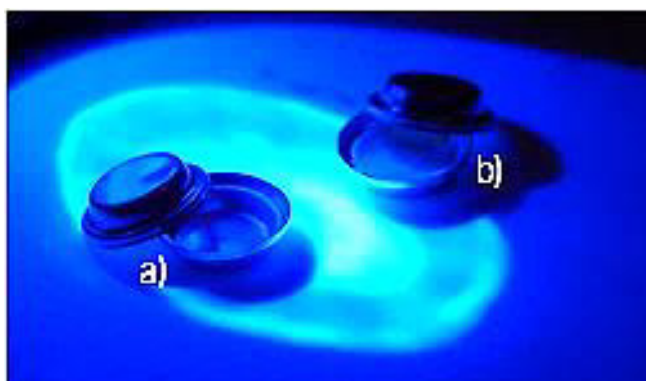


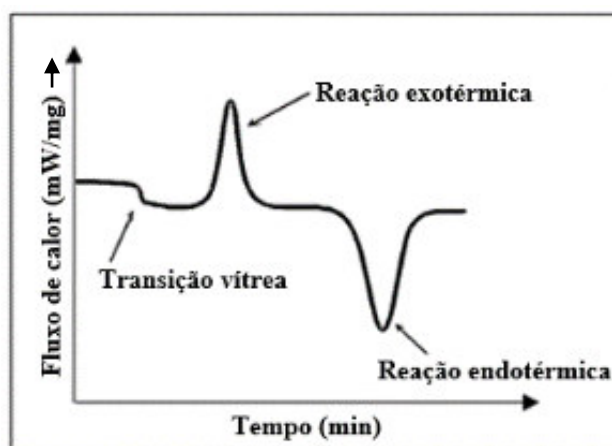
Figura 24. Cápsulas de alumínio utilizadas no DSC: a) Referência; b) Amostra de *coating*.

O perfil de temperaturas foi definido segundo o processo de secagem de cada *coating* em estudo, ou seja, foram realizados ensaios isotérmicos que consistiam num período de equilíbrio de temperatura durante 8 minutos a 22°C, seguido por um aumento da temperatura a uma taxa de 10°C/min e, por fim, um outro período de equilíbrio de temperatura durante o tempo máximo de secagem de cada material a diferentes temperaturas. Na Tabela 8 é possível observar os perfis de temperatura utilizados.

Tabela 8. Programas de aquecimento utilizados nos ensaios de DSC.

Material	Equilíbrio		Rampa de aquecimento (°C/min)	Equilíbrio	
	Temperatura (°C)	Tempo (min)		Temperatura (°C)	Tempo (min)
PC88	22	8	10	25	12
	22	8	10	55	12
	22	8	10	75	12
Peters 1301	22	8	10	25	60
	22	8	10	85	60
	22	8	10	100	60

A partir dos ensaios de DSC obtém-se uma curva que revela picos relativos a transformações endo ou exotérmicas, ou a outras transformações de natureza térmica, tal como a temperatura de transição vítrea. Na Figura 25 pode-se observar uma curva exemplo obtida a partir do DSC de um polímero (Tentardini, 2014).

**Figura 25. Exemplo de uma curva obtida por DSC (Adaptado de (Tentardini, 2014)).**

Depois de testadas, todas as cápsulas foram cortadas seccionalmente para avaliar a espessura de *coating* após secagem ou cura.

4.3.2 Análise termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica (TGA) mede a variação de massa de uma amostra em função da temperatura ou do tempo de aquecimento, numa determinada atmosfera controlada. A medição realiza-

se numa balança de elevada sensibilidade e precisão acoplada a um forno com controlo de temperatura, velocidade de aquecimento e atmosfera. Essas variações de massa permitem determinar a composição e a estabilidade térmica da amostra em estudo, visto que é possível medir perdas de água, perdas de plasticizante, perdas de solvente, entre outros aspetos. Contudo, a escolha da atmosfera pode afetar os resultados do ensaio, já que ao utilizar uma atmosfera inerte, como o azoto, a decomposição pode ser atrasada (Sepe, 1997; PerkinElmer, 2014).

Os ensaios de TGA, tal como os de DSC, foram realizados no Laboratório de Ciência de Polímeros do Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho. Os equipamentos de TGA podem funcionar com duas configurações distintas: horizontal ou vertical. O TGA Q500 da *TA Instruments* (Figura 26.a)), utilizado para testar os *coatings* PC88 e Peters 1301, funciona com a configuração vertical (Figura 26.b)), ou seja, o porta amostras é suportado por um gancho situado por baixo da balança, e o forno onde se vai realizar o ensaio encontra-se na vertical. Com esta configuração é possível obter medições reproduzíveis (Sepe, 1997; PerkinElmer, 2014; TA Instruments, 2014).

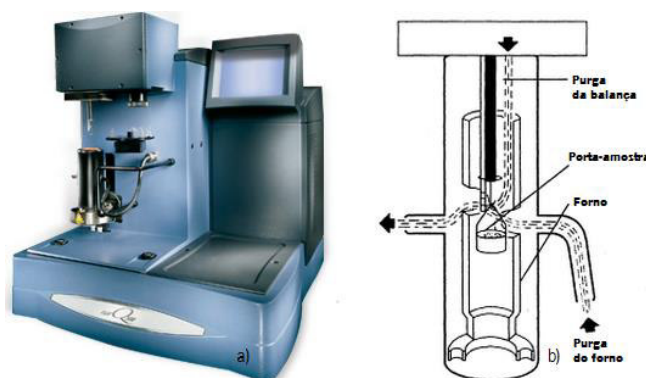


Figura 26. Análise termogravimétrica: a) TGA Q500; b) TGA vertical (Adaptado de (Sepe, 1997)).

Com o TGA pretendia-se avaliar a perda de solvente dos *coatings* PC88 e Peters 1301. Para isso, foram utilizadas amostras com as mesmas quantidades que se utilizaram no DSC, ou seja, 2, 3 e 4 gotas, colocadas em cápsulas abertas de alumínio de 25 μ L da NETZSCH. Regra geral, no TGA não se utilizam cápsulas para colocar a amostra, já que o sistema do TGA Q500 possui um porta-amostras de platina. Contudo, como no final do TGA se pretendia medir a espessura de *coating* após secagem, era necessário cortar seccionalmente as amostras, por isso foram utilizadas as cápsulas de alumínio do DSC como suporte para as amostras ensaiadas no TGA.

No TGA foram feitos três ensaios diferentes com alguns parâmetros semelhantes, ou seja, todos os ensaios de TGA começaram por simular o que acontece durante a *flash-off*. Isto significa que todos os ensaios de TGA começaram por equilibrar a temperatura a 22°C, mantendo essa temperatura durante 8 minutos. A partir daí os ensaios tiveram algumas variações. Inicialmente pretendia-se compreender o que ocorre durante a produção de um *PCBA*, por isso, avaliou-se a perda de solvente durante o período máximo de secagem para as temperaturas de secagem mínima e máxima de cada *coating*, sendo que para o PC88 se utilizou um tempo de 12 minutos, a 55 e 75°C e para o Peters 1301 60 minutos, a 85 e 100°C.

Segundo os fornecedores dos materiais em estudo, elevar a temperatura acima da temperatura máxima por eles estipulada pode alterar algumas propriedades do *coating*, como a sua resistência elétrica. Porém, no que diz respeito ao tempo de secagem, os fornecedores afirmam que este pode ser ajustado para otimização do processo. Por essa razão, e para verificar se o solvente evapora na totalidade, foi feito um segundo ensaio de TGA, no qual se aumentou o tempo de secagem para o dobro. Isto significa que os ensaios foram feitos a 55 e 75°C durante 24 minutos para o PC88 e a 85 e 100°C durante 120 minutos para o Peters 1301.

Em muitos *PCBA's* o *coating* não se mantém apenas à superfície dos componentes elétricos, havendo migração deste para debaixo de alguns componentes, como os *IC's*. Essa migração de *coating* ocorre por capilaridade e não pode ser evitada. Nesses casos o *coating* que se encontra por baixo dos componentes elétricos, não consegue secar. Para se verificar este efeito, foram feitos ensaios de TGA nos quais as cápsulas eram fechadas, mas cujos parâmetros utilizados são os de produção (12 minutos a 55 e 75°C para o PC88 e 60 minutos a 85 e 100°C para o Peters 1301).

A Figura 27 esquematiza de forma simplificada os ensaios de TGA realizados e as respetivas condições.

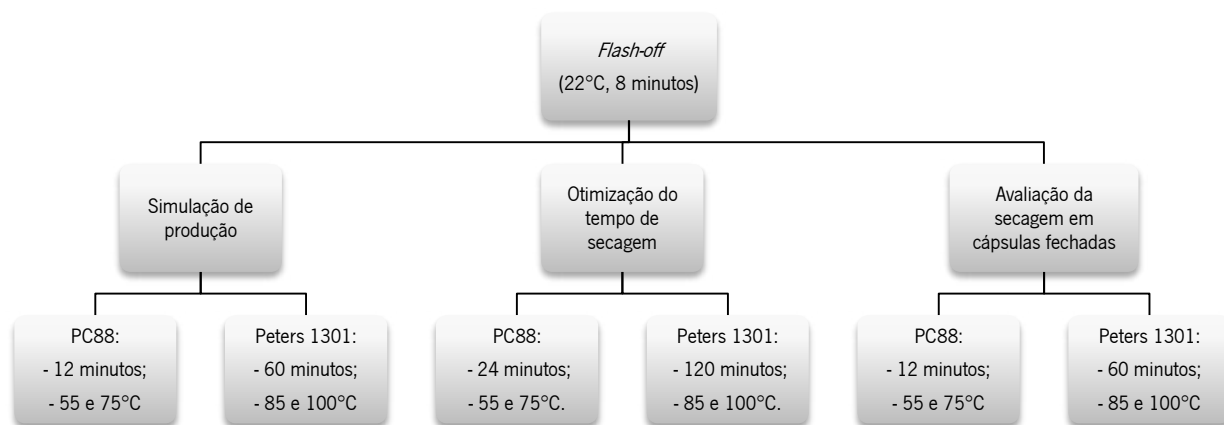


Figura 27. Condições das análises TGA.

4.3.3 Cortes seccionais

A materialografia é uma técnica muito utilizada na indústria dos *PCBA's* para avaliar fissuras e outros defeitos de soldagem, camadas intermetálicas, estados de oxidação e também para avaliar a integridade e a espessura dos *coatings*. Esta técnica, habitualmente denominada por corte seccional, consiste na preparação da superfície de uma amostra, desbastando, polindo e atacando quimicamente, para revelar a estrutura dessa amostra (Struers, 2014; Voort, 2007; Zipperian, 2011). No entanto, para que se chegue a um bom resultado final é necessário seguir o procedimento subsequente:

- Selecionar a área a analisar e com um disco de corte, destacar essa área do restante *PCBA*;
- Polir a amostra de forma a garantir a sua orientação no final do procedimento;
- Colar a amostra num molde apropriado e adicionar a resina (7,5mg de resina epóxi com 1,5mg de endurecedor);
- Colocar o molde com a amostra numa câmara de vácuo para eliminar as bolhas de ar presentes na resina;
- Aguardar, no mínimo, 8 horas para curar a resina;
- Desbastar e polir a superfície da amostra com lixas e panos, com granulometrias sucessivamente mais finas, até ao resultado desejado;
- Atacar quimicamente a amostra para revelar a sua estrutura (Voort, 2007).

Os cortes seccionais foram feitos no Laboratório Químico Marques Ferreira (Lab. MF), em Braga, e as amostras não foram atacadas quimicamente, visto que apenas se pretendia medir a espessura de

coating após os ensaios de DSC e TGA. A Figura 28 esquematiza o procedimento utilizado nos cortes seccionais das cápsulas utilizadas no DSC e no TGA.

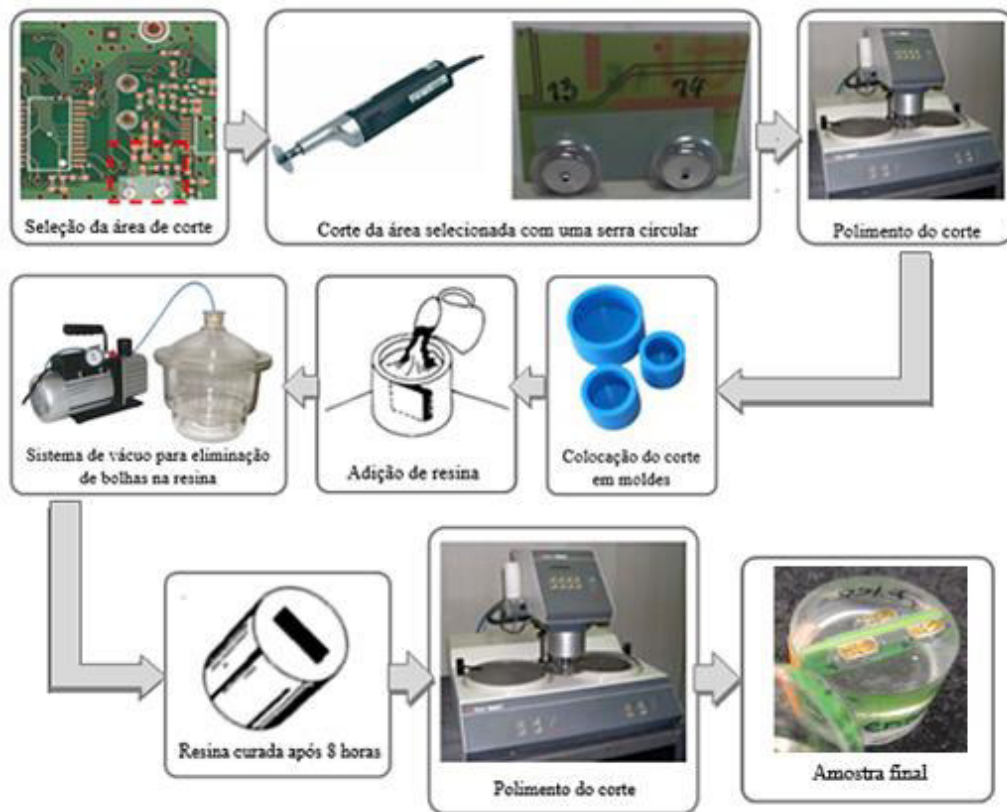


Figura 28. Procedimento utilizado para obter os cortes seccionais.

Uma vez preparados, com o auxílio do microscópio Keyence VHX – 2000, os cortes seccionais foram fotografados com uma ampliação de 200 vezes e a espessura do *coating* foi medida, como mostra o exemplo da Figura 29.

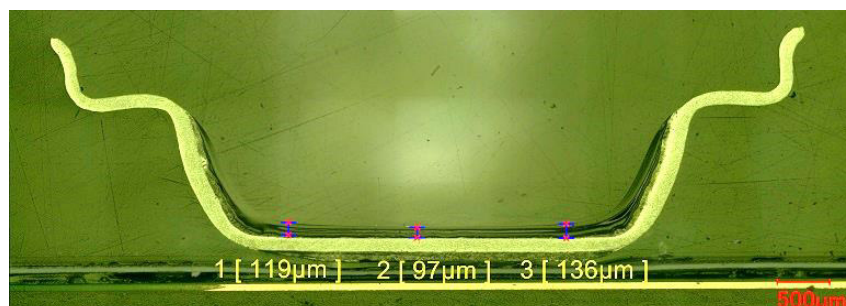


Figura 29. Corte seccional, com medição, de uma amostra de PC88 de um ensaio de TGA.

4.3.4 Infravermelhos com transformada de Fourier (FTIR)

Os ensaios de FTIR são um tipo de espectroscopia na qual se utiliza radiação infravermelha para identificar as ligações químicas características do material da amostra (Vakkasoglu, 2009).

Os resultados de um ensaio de FTIR podem ser apresentados na forma de radiação absorvida, radiação refletida ou radiação transmitida através da amostra, conforme a técnica de medição usada. Isto significa que o espectro resultante de um ensaio de FTIR representa a quantidade de energia absorvida, refletida ou transmitida pelas moléculas da amostra em estudo, na gama de comprimento de onda de infravermelho analisado. Isso permite identificar a amostra em estudo através do espectro resultante, uma vez que cada tipo de ligação química (se for ativa no infravermelho) absorve radiação de comprimento de onda específico, permitindo a identificação da estrutura molecular (Vij, 2006; Intertec, 2014).

Com o FTIR é possível realizar ensaios quantitativos, mas também qualitativos, de materiais orgânicos e inorgânicos, com sensibilidade, exatidão e rapidez (Vij, 2006).

Os *coatings* PC88 e Peters 1301 foram sujeitos a ensaios de FTIR no Laboratório de Caracterização Química II, do Departamento de Engenharia de Polímeros (DEP) da Universidade do Minho. Para estes ensaios foram preparadas amostras na *Bosch Car Multimedia S.A.*, os *coatings* foram aplicados sobre pastilhas de NaCl (transparentes aos infravermelhos) através do método de aplicação de cortina seletiva, com uma velocidade de aplicação de 400mm/min. De seguida as amostras passaram por dois processos de secagem, um à temperatura ambiente e outro dentro de um forno de convecção. Por fim, utilizando o espectrómetro FTIR 100 da PerkinElmer, as amostras foram sujeitas ao ensaio de FTIR, no dia de produção e após 4 dias, para verificar se em algum dos *coatings* ocorre um processo de cura durante este período. Os espectros foram obtidos em modo de transmissão, na gama de comprimentos de onda entre 4000 e 500cm⁻¹. O esquema da Figura 30 representa o procedimento seguido durante a realização dos ensaios de FTIR.

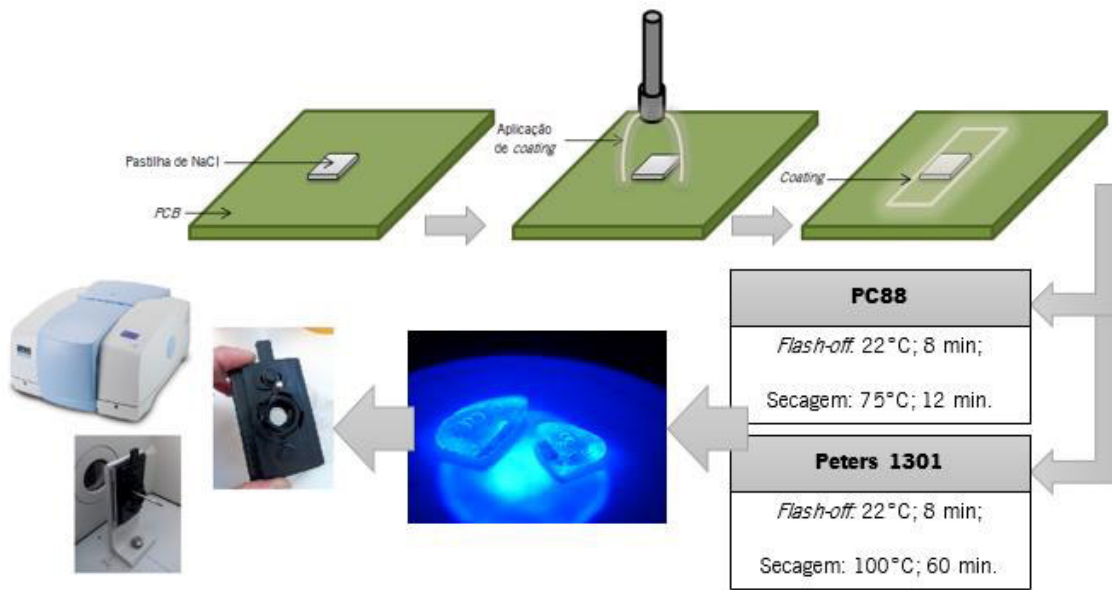


Figura 30. Procedimento dos ensaios de FTIR.

O resultado dos ensaios de FTIR é um espectro que mostra a quantidade de energia transmitida pelas amostras de *coating*, em função do comprimento de onda, como mostra o exemplo da Figura 31.

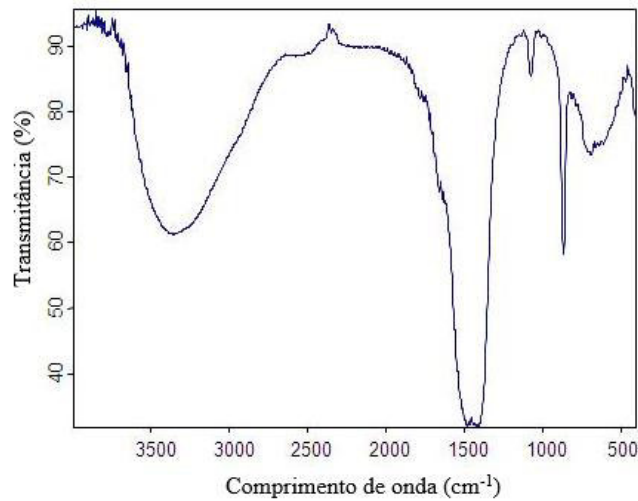


Figura 31. Curva exemplo de um ensaio de FTIR (Adaptado de (Birkner, 2014)).

CAPITULO 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos neste estudo, nas etapas de caracterização dos processos de secagem e cura dos *coatings* PC88 e Peters 1301, nas diversas condições de ensaio consideradas. Este estudo permitiu otimizar as condições de secagem e cura para cada um dos materiais em estudo.

5.2 Calorimetria Diferencial de Varrimento (DSC)

Os objetivos da realização dos ensaios de DSC foram verificar a existência de reações endo ou exotérmicas nas condições associadas ao processo de secagem dos *coatings* PC88 e Peters 1301 e avaliar simultaneamente se a quantidade de material depositado tem ou não influência sobre o estado final do *coating*.

O aparecimento de picos nas curvas de DSC está relacionado com alterações físicas ou químicas sofridas pelo *coating* nas condições de temperatura impostas. A análise dos picos permite verificar se o material sofre principalmente evaporação do solvente, apresentando o pico endotérmico correspondente, e observar a possível ocorrência de outros fenômenos térmicos para além da evaporação.

O gráfico da Figura 32 mostra as massas médias correspondentes a 2, 3 e 4 gotas de cada material, correspondendo às quantidades analisadas nos ensaios de DSC.

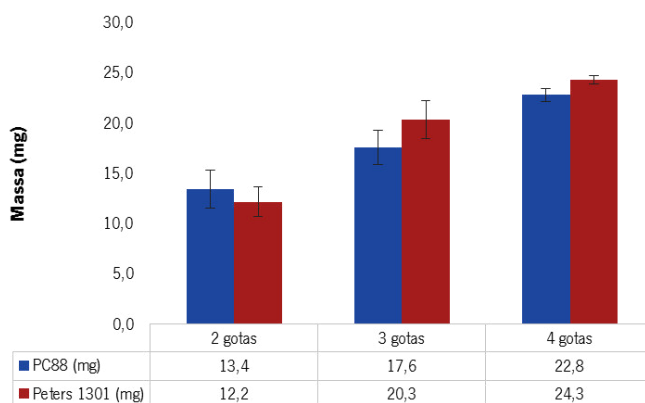


Figura 32. Massa média de cada quantidade de *coating* utilizado no DSC.

Após os ensaios de DSC do PC88, obtiveram-se os gráficos da Figura 33 correspondentes às diferentes temperaturas de aquecimento utilizadas. Nestes gráficos observam-se três curvas de DSC, cada uma associada a uma quantidade diferente de material colocado no cadinho de DSC (2, 3 ou 4 gotas).

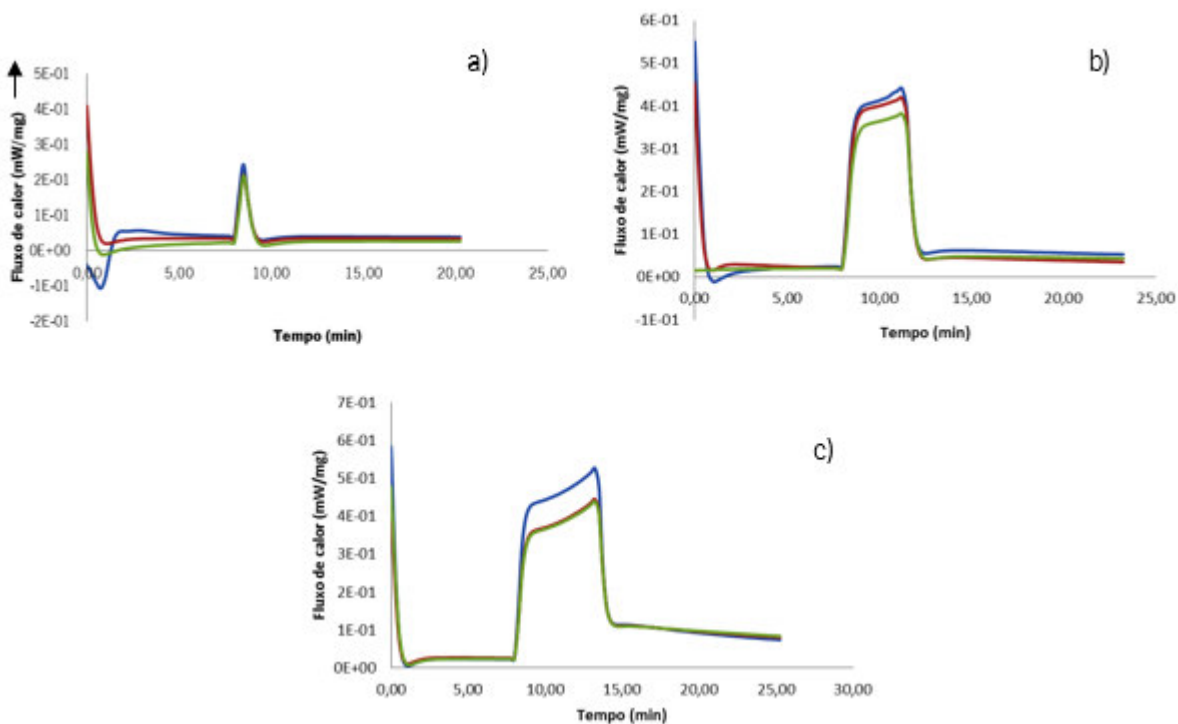


Figura 33. Curvas de DSC para o *coating* PC88: a) 25°C; b) 55°C; c) 75°C; — 2 gotas; — 3 gotas; — 4 gotas.

Partindo dos gráficos da Figura 33, resultantes dos ensaios de DSC ao *coating* PC88, verifica-se que cada curva revela apenas um pico e que esse pico é correspondente à fase de aquecimento da amostra de *coating*. Isto significa, que os picos revelados pelo DSC não correspondem a uma transformação química do material, mas sim a uma transformação física que representa a evaporação do solvente. Este facto é suportado pelo tempo em que se iniciam todos os picos, ou seja, todos os picos tem início aos 8 minutos e são mais ou menos largos, consoante a temperatura do estágio final do ensaio (25, 55 e 75°C).

A área do pico revelado pelo DSC é proporcional à quantidade de solvente evaporado durante o processo de secagem do *coating*. Assim, calculando a área desse pico é possível verificar como ocorre a evaporação do solvente em função da temperatura e da quantidade de material ensaiado (Figura 34). Uma vez que a área do pico é determinada através do fluxo de calor (mW/mg) e do tempo (minutos), o resultado obtido será a energia em função da massa ((J/g)x60), ou seja, o resultado será a energia necessária para evaporar o solvente presente numa dada massa de *coating*.

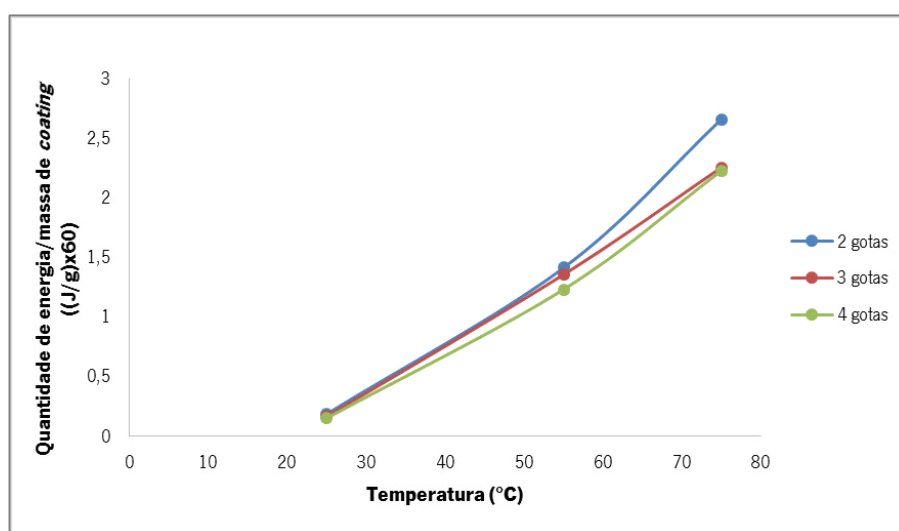


Figura 34. Área dos picos de DSC para o PC88.

Observando o gráfico da Figura 34 é possível verificar que à medida que a temperatura de secagem aumenta, também aumenta a energia necessária para eliminar uma certa quantidade de solvente. Além disso, é notório que quanto menor for a quantidade de *coating* ensaiado, maior é a energia necessária para evaporar uma certa quantidade de solvente. Em suma, a evaporação de solvente do *coating* PC88 é tanto maior, quanto menor a espessura e maior a temperatura de secagem.

No caso dos ensaios de DSC do *coating* Peters 1301, os resultados são apresentados nos gráficos da Figura 35. Tal como para o PC88, também para o Peters 1301 os diferentes gráficos, correspondem às diferentes temperaturas ensaiadas (25, 85 e 100°C) e cada gráfico contém três curvas que correspondem às diferentes quantidades de material utilizado no ensaio (2, 3 e 4 gotas).

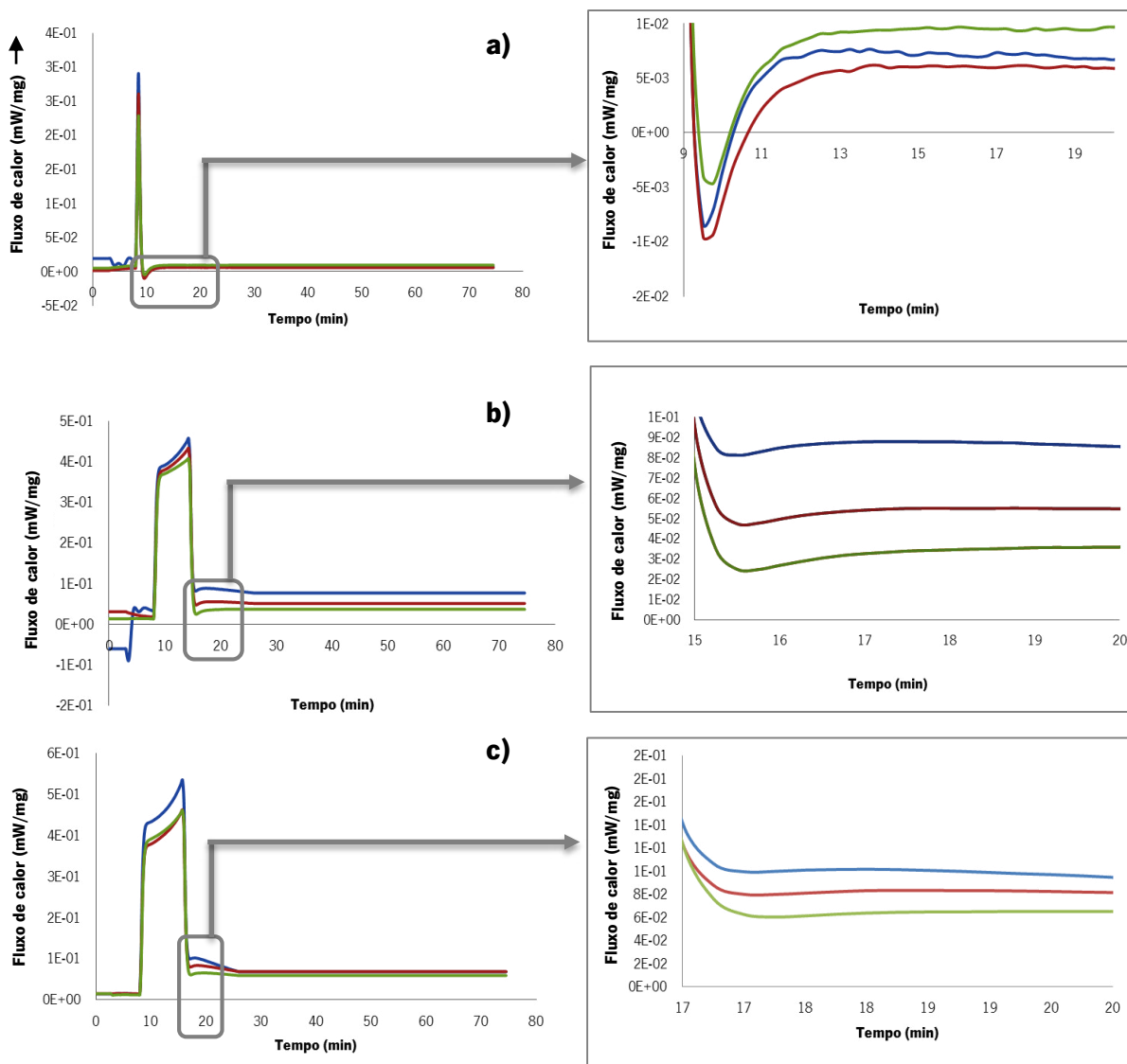


Figura 35. Curvas de DSC para o *coating* Peters 1301: a) 25°C; b) 85°C; c) 100°C; — 2 gotas; — 3 gotas; — 4 gotas.

Tal como para os ensaios de DSC do PC88, também os ensaios do *coating* Peters 1301 existe um pico referente à variação da entalpia associada à evaporação do solvente. No entanto, é visível uma ligeira variação de entalpia no final da evaporação do solvente, o que pode significar que para o *coating*

Peters 1301 existe outra reação além da evaporação do solvente, embora não seja possível definir claramente essa reação, uma vez que não se sabe quando esta tem início.

Considerando apenas o fenômeno de evaporação do solvente, determinou-se a área correspondente a essa reação a fim de verificar se existe uma tendência no que toca à quantidade de solvente evaporado para o Peters 1301, tal como acontece para o PC88. As áreas determinadas a partir dos ensaios de DSC do Peters 1301 encontram-se no gráfico da Figura 36.

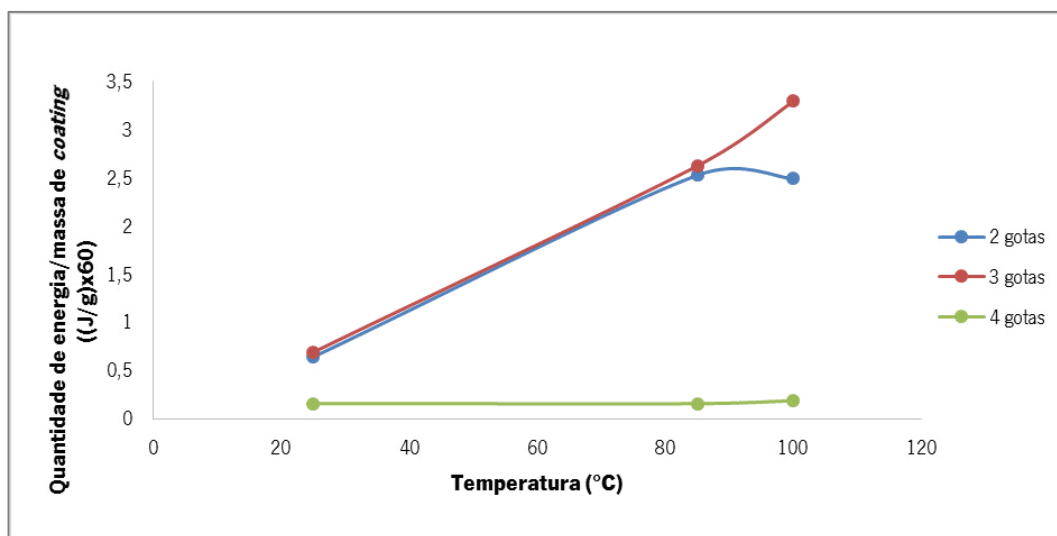


Figura 36. Área dos picos de DSC para o Peters 1301.

Contrariamente ao que se observou para o *coating* PC88 (Figura 34), para o Peters 1301 observando o gráfico da Figura 36 não se verifica uma tendência sistemática no que toca à energia utilizada para evaporar uma certa quantidade de solvente. Apenas se pode constatar que, independentemente da quantidade de *coating* ensaiado, há um aumento da evaporação de solvente com o aumento da temperatura de 25 para 85°C.

Estes resultados mostram que durante o processo de *conformal coating*, que envolve a aplicação, a *flash-off* e a secagem no forno de convecção, ocorre evaporação do solvente de ambos os *coatings*, que se pode verificar pela presença de um pico endotérmico nas curvas de DSC. Contudo, durante o período de estabilização de quatro dias à temperatura ambiente (22°C em produção) para o *coating* Peters 1301, é possível que ocorram outras reações endo ou exotérmicas associadas a um processo de cura, embora isso não tenha sido comprovado experimentalmente. Além disso, o processo de *conformal*

coating é feito ao ar, ou seja, numa atmosfera que contém oxigénio, e os ensaios de DSC foram feitos numa atmosfera de azoto, e a falta da atmosfera oxidante pode inibir o aparecimento de picos associados a reações químicas de oxidação.

5.3 Análise termogravimétrica (TGA)

Os ensaios de TGA permitem medir as variações de massa de uma amostra em função da temperatura numa determinada atmosfera controlada. Essas variações de massa durante o processo de secagem dos *coatings* PC88 e Peters 1301 devem-se à evaporação de solvente.

Foram feitos ensaios de TGA com diferentes objetivos, sendo eles:

- Simulação de produção (1º ensaio): nestes ensaios foram utilizadas as condições de produção utilizadas na *Bosch Car Multimedia S. A.*, para avaliar se a quantidade de solvente que evapora durante o processo de secagem está de acordo com o valor especificado pelos fornecedores do material;
- Otimização do tempo de secagem (2º ensaio): de forma a avaliar se após o processo de secagem ainda existe solvente que possa evaporar, foram ensaiadas novas amostras dos *coatings* PC88 e Peters 1301 durante o dobro do tempo (24 minutos para o PC88 e 120 minutos para o Peters 1301);
- Avaliação da secagem em cápsulas tapadas (3º ensaio): com estes ensaios pretendia-se avaliar o processo de secagem dos *coatings* quando estes se encontram por baixo de alguns componentes elétricos, como os *IC's*, ou seja, avaliar a secagem dos *coatings* quando estes estão, se alguma forma, cobertos. Note-se que a cápsula usada, apesar de ser selada, continha uma pequena perfuração de modo a que o ensaio se realizasse em sistema aberto.

Com estes ensaios era esperado que durante os processos de secagem os *coatings* PC88 e Peters 1301 tivessem perdas de massa na ordem dos 60 e 40% (Alves, 2014), respetivamente. Ao aumentar o tempo de secagem os resultados poderiam ser semelhantes aos do caso anterior ou poder-se-iam verificar dois cenários diferentes: por um lado, se o solvente não tivesse evaporado na totalidade durante o período de secagem normal, seria esperado que a perda de massa aumentasse. Por outro lado, considerando que no final do processo de secagem o solvente já teria evaporado na totalidade e, como

nos ensaios de TGA se utiliza uma atmosfera que não contém oxigênio, é possível que os *coatings* mantenham a sua perda de peso. No caso dos ensaios com cápsulas tapadas é esperada uma diminuição da quantidade de solvente evaporado. No entanto, tal como nos ensaios de DSC, também os ensaios de TGA foram feitos numa atmosfera de azoto, o que pode condicionar os resultados destes ensaios.

Após os ensaios de TGA realizados a ambos os materiais é possível obter o tipo de gráfico que se observa na Figura 37, em que o gráfico da Figura 37.a) representa a perda de peso em função da temperatura durante o 1º ensaio de 3 gotas de *coating* PC88, enquanto o gráfico da Figura 37.b) é referente à amostra de 3 gotas de *coating* Peters 1301, para o mesmo ensaio.

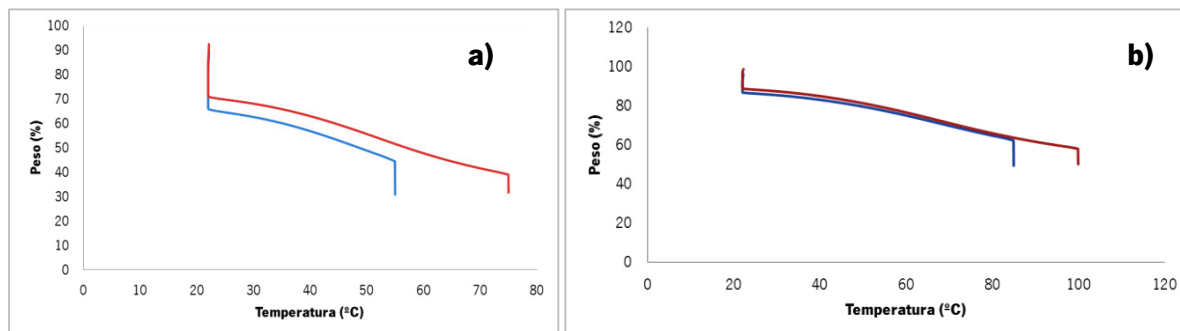


Figura 37. Curvas resultantes dos ensaios de TGA: a) PC88 (— 55°C; — 75°C); b) Peters 1301 (— 85°C; — 100°C).

Os gráficos resultantes dos ensaios de TGA ao *coating* PC88 encontram-se no Anexo III. Partindo desses ensaios, construíram-se os gráficos da Figura 38, que mostram as perdas de massa do *coating* PC88 para cada uma das temperaturas de secagem ensaiadas, 55 e 75°C. Em cada gráfico é possível comparar a perda de massa em cada ensaio realizado com diferentes quantidades de material.

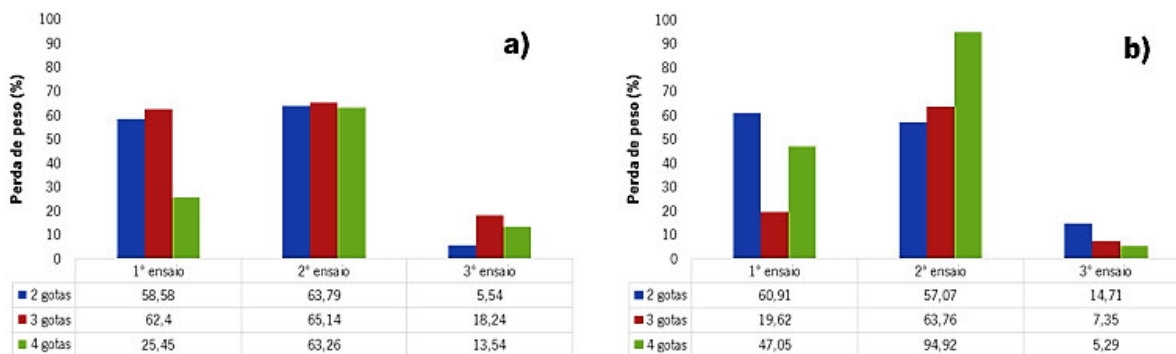


Figura 38. Perda de peso do *coating* PC88: a) 55°C; b) 75°C.

O gráfico da Figura 38 mostra grandes variações dos resultados no que toca à perda de massa do *coating* PC88 quando sujeito a um processo de secagem. No caso dos ensaios que simulam a secagem de duas gotas de *coating*, em ambas as temperaturas (55 e 75°C), a perda de peso está próxima dos 60% que se esperava, o que significa que o solvente evapora na totalidade e o mesmo acontece quando se utilizam três gotas de *coating* no ensaio de 55°C. No entanto, quando se utilizou três gotas a 75°C e quatro gotas em ambas as temperaturas, os resultados de perda de massa são abaixo do esperado, o que significa que o solvente não evapora totalmente e isso pode ser resultado de alguma instabilidade durante a realização do ensaio.

Os ensaios feitos para otimizar o processo de secagem do PC88, cujos resultados são visíveis na Figura 38 (2º ensaio), mostram que o solvente evapora totalmente em todos os casos, o que significa que quando o tempo de secagem é aumentando se consegue eliminar a totalidade do solvente, que antes com 12 minutos não se conseguia. Isto significa que mesmo com espessuras de *coating* PC88 muito elevadas, é possível remover todo o solvente que este material contém. Contudo, quando se ensaiaram quatro gotas do *coating* PC88 com uma temperatura de secagem de 75°C, a perda de peso é de 95%, aproximadamente, o que significa que não houve apenas evaporação de solvente. Este resultado particular, pode significar que o material se degrada quando exposto à sua temperatura máxima de serviço, durante um período muito longo.

Nos ensaios realizados com cápsulas fechadas (Figura 38, 3º ensaio), verifica-se para todos os casos, que a evaporação de solvente é apenas parcial. Este ensaio vem confirmar que quando o *coating* se encontra coberto, o processo de secagem é retardado e pode nunca chegar a estar completo.

Partindo dos ensaios de TGA ao *coating* Peters 1301 obtiveram-se os gráficos do Anexo IV. Esses ensaios permitiram construir os gráficos da Figura 39, que mostram as perdas de massa do *coating* Peters 1301 para as diferentes temperaturas de secagem ensaiadas, 85 e 100 °C. Tal como para o *coating* PC88, também os gráficos do Peters 1301 comparam a perda de peso de cada ensaio, para diferentes quantidades de material.

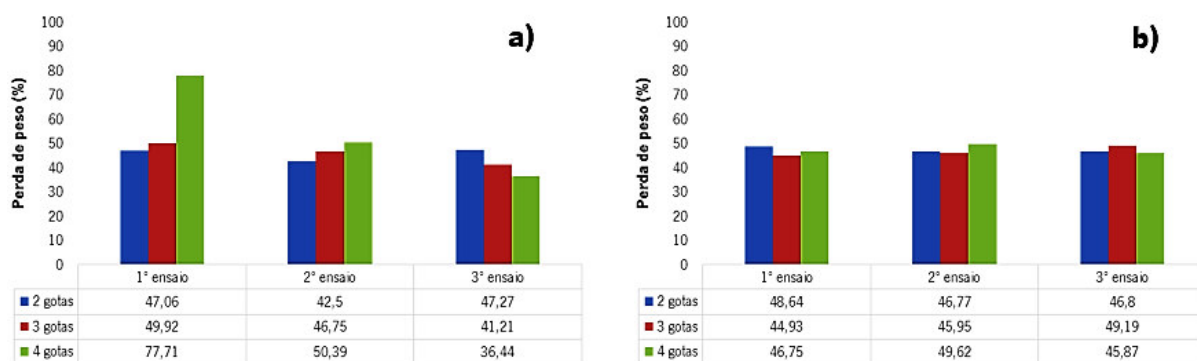


Figura 39. Perda de peso do *coating* Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.

Os gráficos apresentados na Figura 39 mostram que em quase todos os casos se verifica apenas evaporação total do solvente, com perdas de peso na ordem dos 40%, mesmo nos ensaios feitos com as cápsulas fechadas (3º ensaio). Existe apenas um caso que não está de acordo com estes resultados e para o qual não existe uma explicação razoável, quando se utilizaram quatro gotas de *coating* Peters 1301 e uma temperatura de secagem de 85°C, o ensaio revela uma perda de peso de 78%, aproximadamente.

5.4 Análise de microscopia ótica: cortes seccionais

O objetivo da observação em microscopia ótica dos cortes seccionais das amostras estudadas por análise térmica foi a medição da espessura de *coating* após os ensaios de DSC e TGA. Nesse sentido foram seccionadas todas as cápsulas utilizadas nesses ensaios, ou seja, 27 cápsulas para cada *coating*, e as secções foram observadas ao microscópio.

A medição de espessura foi feita unicamente em função da quantidade de *coating* aplicado em cada cápsula, o que significa que as restantes condições dos ensaios de DSC e TGA não foram consideradas para estes resultados. Nos Anexos V e VI, é possível observar diferentes gráficos de medição de espessura, que contemplam os diferentes ensaios realizados a cada um dos *coatings*.

Visto que o *coating* se espalha na cápsula, tendo tendência a concentrar-se em maior quantidade junto das paredes da cápsula, espera-se que haja uma variação bastante significativa na espessura do *coating* ao longo da cápsula. A avaliação de espessura de *coating* foi feita ao longo da cápsula, por essa razão, foram realizadas três medições como mostra o exemplo da Figura 40.

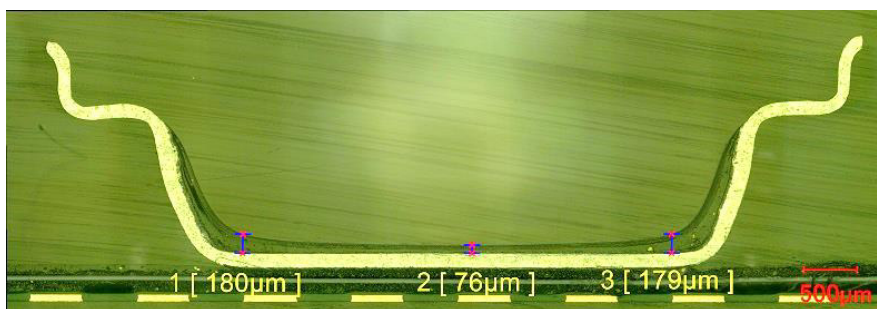


Figura 40. Medição da espessura de *coating* PC88, indicando as três zonas de medição.

Após a medição de todos os cortes seccionais feitos às cápsulas que continham *coating* PC88, construiu-se o gráfico da Figura 41, que evidencia a variação de espessuras ao longo da cápsula.

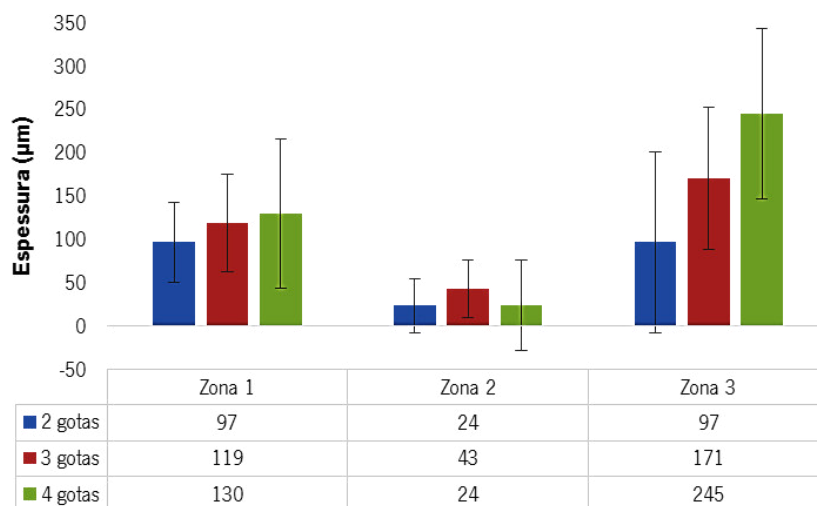


Figura 41. Variação da espessura ao longo da cápsula em função da quantidade de *coating* PC88.

O gráfico da Figura 41 mostra que, tanto para a zona 1 como para a zona 3, a espessura final aumenta com o aumento da quantidade de material aplicado na cápsula. Contudo, para a zona 2 as espessuras medidas são muito inferiores às das zonas 1 e 3, o que se justifica pelo facto de o *coating* se espalhar pela cápsula, acumulando-se na região de ângulo entre o fundo e a parede da cápsula.

Tal como no *coating* PC88, também para o Peters 1301, se pode observar uma grande variação da espessura ao longo da cápsula, devido ao espalhamento diferenciado do material ao logo do fundo e paredes da cápsula. No entanto, como é possível observar na Figura 42, existem duas fases distintas bem definidas nas cápsulas que contém *coating* Peters 1301.

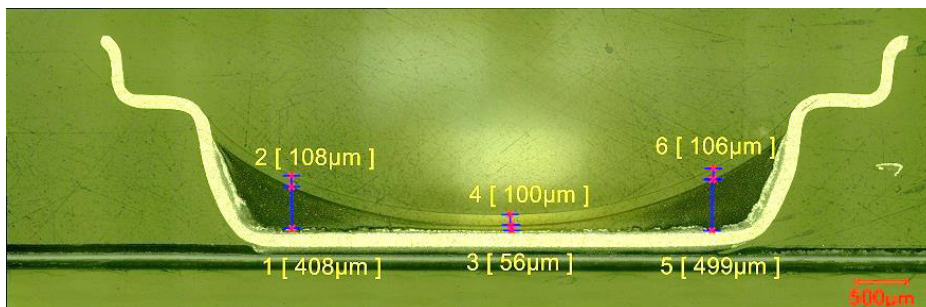


Figura 42. Medição da espessura das diferentes fases do *coating* Peters 1301.

A medição da espessura para o *coating* Peters 1301, foi feita separadamente para as duas fases que se observam na Figura 42, sendo que para efeitos de análise, apenas foram comparadas as espessuras de material seco (camada superior). Assim, o gráfico da Figura 43 mostra a variação da espessura de *coating* Peters 1301 ao longo da cápsula, em função da quantidade de material ensaiado.

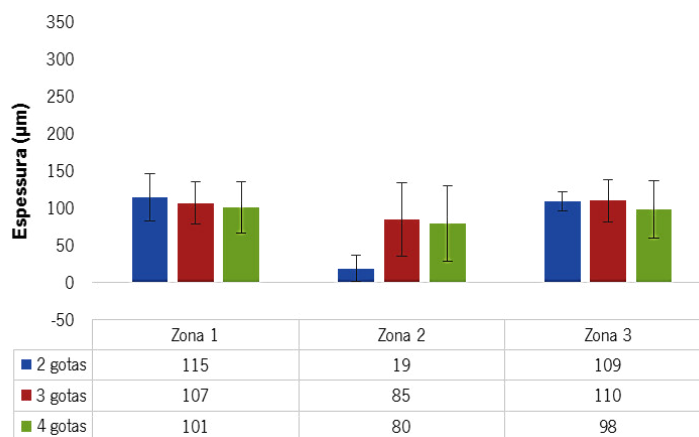


Figura 43. Variação da espessura ao longo da cápsula em função da quantidade de *coating* Peters 1301.

O gráfico da Figura 43 mostra que para as zonas 1 e 3 a espessura de *coating* seco é aproximadamente 100µm, independentemente da quantidade de *coating* que se aplicou na cápsula. Já para a zona 2, embora o *coating* se espalhe pela cápsula, verifica-se que para quantidades de 3 e 4 gotas a espessura de *coating* seco formada é próxima da que aparece nas zonas 1 e 3. Porém, para uma quantidade de 2 gotas, a espessura de *coating* seco que se forma na zona 2, não se aproxima dos restantes valores, o que pode significar que essa quantidade não é suficiente para a formação de uma camada de *coating* seco tão espessa.

Quando se comparam os resultados dos cortes às cápsulas de TGA do 1º ensaio com os do 3º ensaio, é visível uma diminuição da quantidade de *coating* seco nas amostras de PC88. Este facto já

tinha sido comprovado pelos ensaios de TGA e pode ser observado pela comparação das Figuras 44.a) e b), já que a Figura 44.a) mostra uma camada de *coating* uniforme e completamente seca, enquanto a Figura 44.b) mostra uma camada de *coating* de aspeto húmido.

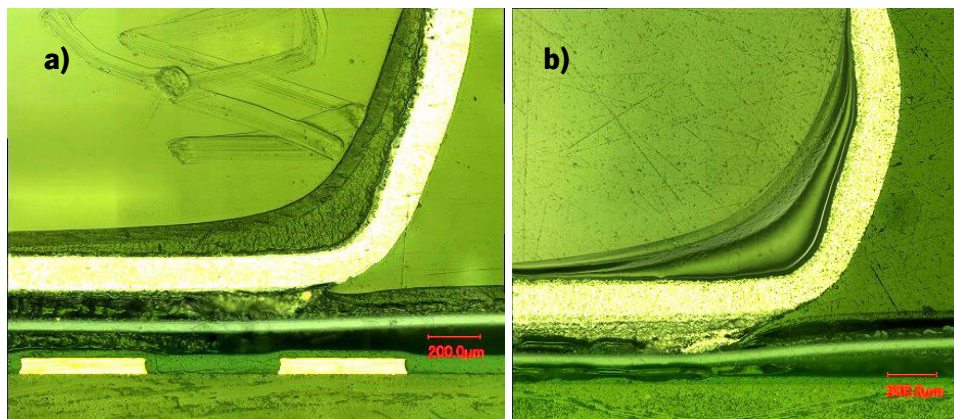


Figura 44. Cortes seccionais de cápsulas com 3 gotas de *coating* PC88 sujeitas a uma temperatura de secagem de 75°C: a) 1º ensaio de TGA; b) 3º ensaio de TGA.

A observação de cortes seccionais com *coating* Peters 1301 (Figura 45.a) e b)), equivalentes aos da Figura 44, mostra que nos dois ensaios houve formação de uma camada seca de *coating* à superfície do restante material, o que leva a querer que a camada de *coating* seco esteja de alguma forma a inibir o processo de secagem do restante material.

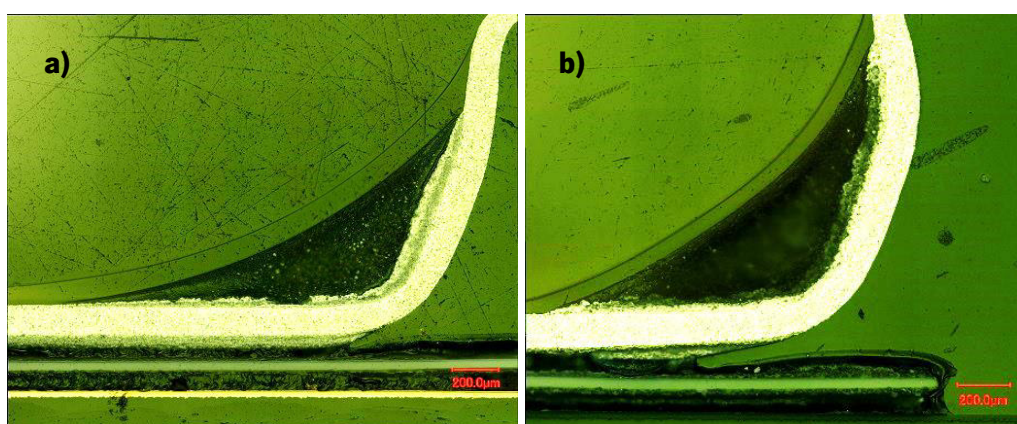


Figura 45. Cortes seccionais de cápsulas com 3 gotas de *coating* Peters 1301 sujeitas a uma temperatura de secagem de 100°C: a) 1º ensaio de TGA; b) 3º ensaio de TGA.

5.5 Espectroscopia de infravermelhos (FTIR)

Os ensaios de FTIR utilizam radiação infravermelha na gama de números de onda entre 4000 e 500 cm^{-1} para identificar as ligações químicas dos *coatings* PC88 e Peters 1301. Algumas dessas ligações químicas absorvem radiação infravermelha nessa gama de energia, a comprimentos de onda bem definidos, o que permite identificar os tipos de ligações químicas existentes no material.

Os ensaios foram realizados em amostras de *coating* imediatamente após o processo de secagem e passados 4 dias, com o objetivo de detetar diferenças na estrutura molecular dos *coatings*, associadas a um processo de cura. Este período de 4 dias é justificado pelos dados do fornecedor do *coating* Peters 1301, ou seja, a marca Elpeguard® afirma que o *coating* Peters 1301 sofre um processo de cura oxidativa após o processo de secagem, sendo que esse processo de cura tem uma duração de 96 horas.

Os espectros de FTIR obtidos para o *coating* PC88 estão apresentados na Figura 46.

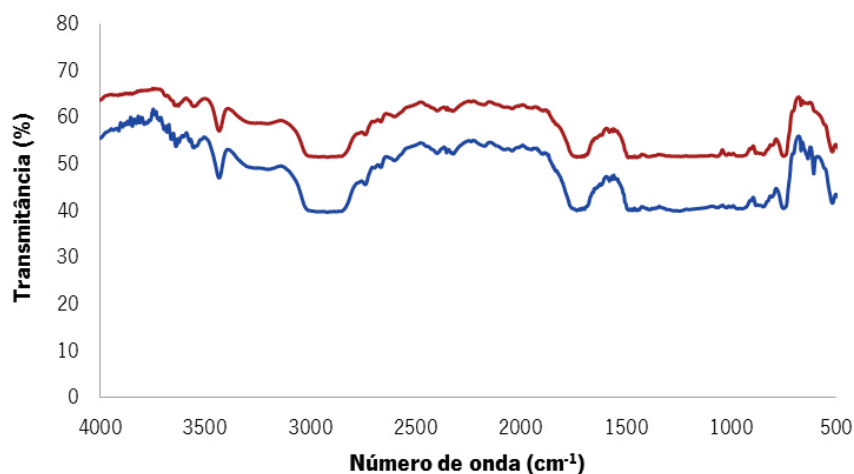


Figura 46. Espectro de FTIR para o *coating* PC88: — após o processo de secagem; — após 4 dias.

Tal como se esperava, o gráfico da Figura 46 mostra que os espectros de FTIR resultantes dos ensaios ao *coating* PC88 não mostram diferenças significativas de composição após secagem, o que é compatível com a ausência de reação após esse processo.

Os espectros de FTIR obtidos para o *coating* Peters 1301 encontram-se apresentados na Figura 47.

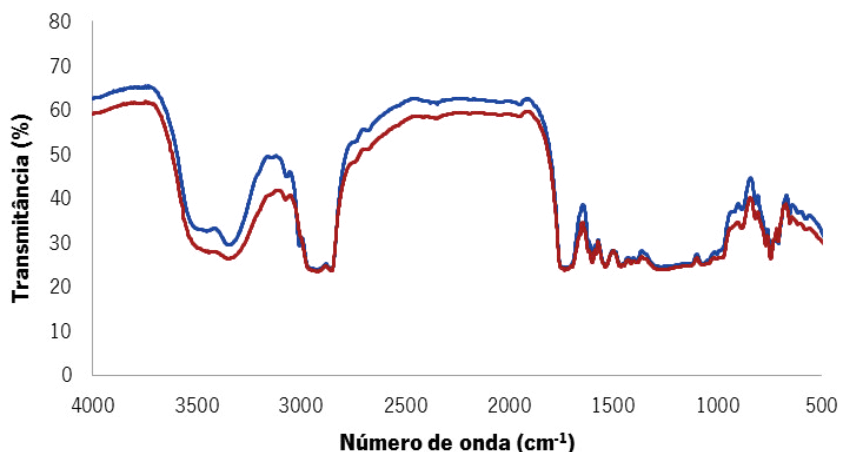


Figura 47. Espectro de FTIR para o *coating* Peters 1301: — após o processo de secagem; — após 4 dias.

Os ensaios de FTIR feitos à amostra de Peters 1301 revelam apenas uma ligeira alteração no espectro após aquecimento e 4 dias após a secagem, tal como aconteceu para o *coating* PC88, o que significa que a composição química da amostra se manteve, ou não sofreu alterações assinaláveis. Dado que a Elpeguard® indica a existência de um processo de cura para o *coating* Peters 1301, os resultados parecem contradizer esta informação. Além disso, durante a produção de um *PCBA's* com *coating* Peters 1301 é notório um aumento na dureza do material após os 4 dias referentes ao processo de cura, no entanto isso não se pode comprovar nesta dissertação visto que as propriedades mecânicas deste *coating* não foram avaliadas. É possível que a cura, ou reticulação, do *coating* não seja detetada no espectro de FTIR já que este tem limites de deteção, e podem ocorrer alterações mas não serem visíveis pois a concentração das ligações estabelecidas é muito baixa.

CAPITULO 6. CONCLUSÕES

Os objetivos desta dissertação passaram, em primeiro lugar, por estudar os processos de produção de PCBA's da *Bosch Car Multimédia S. A.*, para passar depois a uma fase experimental focada na caracterização química e fisicamente diferentes *coatings* utilizados na produção de PCBA's da *Bosch Car Multimédia S. A.*, testando os parâmetros atualmente utilizados em produção, comparando-os com novos parâmetros com vista à otimização do processo de *conformal coating*. Nesse sentido, foram feitos ensaios de DSC e TGA, a observação ao microscópio de cortes seccionais assim como ensaios de FTIR aos *coatings* PC88 e Peters 1301, fornecidos respetivamente pela *Hysol®* e pela *Elpeguard®*.

Segundo a *Hysol®*, o *coating* PC88 necessita apenas de passar por um processo de secagem para garantir as suas propriedades, ou seja, o *coating* PC88 após ser aplicado sobre os PCBA's requer apenas uma passagem pela *flash-off*, durante um período que pode variar entre 6 e 12 minutos à temperatura ambiente, seguindo depois para a secagem num forno de convecção, durante 9 a 12 minutos a uma temperatura entre 55 e 75°C. Utilizando estes parâmetros é expectável que o solvente evapore na totalidade, o que corresponde a cerca de 60% da massa total do *coating*. Além da evaporação do solvente, a *Hysol®* não refere a existência de um processo de cura, o que significa que durante o processo de *conformal coating* do PC88 apenas são esperadas transformações físicas nesse material. Os ensaios feitos a este *coating* permitem:

- Comprovar a inexistência de alterações químicas no material durante o processo de produção que envolve a *flash-off* e a secagem no forno, visto que as curvas de DSC não mostram nenhum pico, além do que se refere à fase de aquecimento;

- Verificar através dos ensaios de TGA que ocorre evaporação total do solvente em quantidades aceites em produção, já que a perda de peso é na ordem dos 60%;
- Observar que o processo de secagem é de alguma forma inibido quando o coating fica localizado por baixo de componentes, como se viu nos ensaios de TGA e nos cortes seccionais;
- Descartar a existência de um processo de cura após a secagem, visto que o espectro de FTIR não sofreu qualquer alteração entre a data de produção e após 4 dias.

No que toca ao *coating* Peters 1301, a *Elpeguard®* apenas consegue garantir a qualidade final do material quando este passa por um processo de *Elpeguard®* secagem (*flash-off* e secagem no forno), seguido de um processo de cura oxidativa. Isto significa que para obter um produto com qualidade é necessário que o *coating* Peters 1301 passe na *flash-off*, seguindo pelo forno a uma temperatura entre 85 e 100°C durante, no máximo, 60 minutos. Estes resultados são confirmados pelos ensaios DSC e TGA, que apenas mostram com clareza uma transformação física associada à perda de solvente. Os cortes seccionais permitem visualizar a estabilidade do *coating* Peters 1301, já que em todos eles se observa uma espessura seca uniforme e próxima de 100µm. Ou seja, os ensaios de DSC, TGA e os cortes seccionais mostram que o *coating* Peters 1301 é estável durante todo o processo de secagem, já que:

- Não existem transformações químicas óbvias no DSC;
- A perda de peso observada no TGA, relativa à evaporação do solvente, é aproximadamente constante e na ordem dos 40%;
- A espessura de *coating* seco observada nos cortes seccionais é sempre próxima dos 100µm.

Os ensaios de FTIR ao *coating* Peters 1301 não mostram alterações no espectro passados 4 dias do processo de secagem. A *Elpeguard®* afirma que para o *coating* Peters 1301 ter as propriedades ideais é necessário que ele passe por um processo de cura durante 96 horas (4 dias) à temperatura ambiente numa atmosfera que contenha oxigénio. No entanto, como as amostras para os ensaios de FTIR foram depositadas sobre pastilhas de NaCl, estas foram guardadas durante os 4 dias referentes à cura num exsiccador para evitar a absorção de humidade pelas pastilhas de NaCl e, por essa razão, a atmosfera pode não ser a ideal para que a cura aconteça.

Após a análise de todos os resultados obtidos ao longo desta dissertação é possível concluir que:

- Os parâmetros utilizados na *Bosch Car Multimedia S. A.* para a produção de *PCBA's* com *coating* PC88, permitem a obtenção de produtos com qualidade, já que os ensaios revelam que a única transformação ocorre durante a secagem e é uma transformação física, associada à perda de solvente;
- No que toca ao *Peters 1301*, este é um material bastante estável, que não aparenta sofrer transformações químicas durante o processo de secagem, observando-se evaporação de solvente, sempre na ordem dos 40%. Independentemente da quantidade de material que se aplica foi observada a secagem completa para espessuras até 100 μ m; Contudo o processo de cura não foi detetado em nenhum dos ensaios realizados e dessa forma não é possível garantir as propriedades finais do *coating*.

CAPITULO 7. TRABALHOS FUTUROS

De futuro, para complementar esta caracterização seria importante:

- Caracterizar o processo de secagem do *coating* Peters 1301, utilizando ensaios de DSC, TGA e cortes seccionais, com parâmetros semelhantes aos utilizados nesta dissertação, mas alterando a atmosfera para uma atmosfera com oxigénio;
- Avaliar a existência de um processo de cura em amostras de Peters 1301 expostas ao ar durante 96 horas, através da realização de ensaios de FTIR no dia de produção da amostra e após o período de cura;
- Estudar as propriedades mecânicas do Peters 1301, para quantificar a dureza do material antes e depois do processo de cura;
- Otimizar o processo de cura do *coating* Peters 1301, de forma a que este possa estar em contacto com outros materiais utilizados na produção dos PCBA's, como o *gap filler*.

CAPITULO 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, R. (2014). *Complete/Selective Area Conformal Coating*. Process Rules for Production, *Bosch Car Multimedia S.A.*.
- Alves, R. (2014). *Conformal coating for Peters Elpeguard SL1301 ECO-BA_FLZ/20*. Process Rules for Production, *Bosch Car Multimedia S. A.*.
- Birkner, Nancy & Wang, Qian (2014). *How na FTIR Spectrometer Operates*. UC Davis. ChemWiki. Consultado em 05/12/2014, disponível em <http://chemwiki.ucdavis.edu/@api/deki/pages/1844/pdf/How%2ban%2bFTIR%2bSpectrometer%2bOperates.pdf?stylesheet=default&origin=mt-web&deep=false>.
- Borba, G. (2011). *Construção eletrônica e placa de circuito impresso (PCI)*. Departamento de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Cho, J., Meschter, S. J., Maganty, S., Starkey, D., Gomez, M., Edwards, D. G., Ekin, A., Elsken, K., Keeping, J., Snugovsky, P., & Kennedy, J. (2013). *Characterization of hybrid conformal coatings used for mitigating TIN whiskers growth*. SMTA Proceedings.
- De Souza, R. & Lijun, W. (1995). *Intelligent optimization of component insertion in multi-head concurrent operation PCBA machines*. Journal of Intelligent Manufacturing, 6, 235-243.
- Doro, M. M. (2004). *Sistemática para implantação da garantia da qualidade em empresas montadoras de placas de circuito impresso*. Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial. Universidade Federal de Santa Catarina.

- Gill, P., Moghadam, T. T. & Ranjbar, B. (2010). *Differential Scanning Calorimetry Techniques: Applications in Biology na Nanoscience*. J. Biomol Tech, 21(4), 167-193.
- Helo, F. (2000). *Decision Support System to Predict the Manufacturing Yield of Printed Circuit Board Assembly Lines*. Master Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Henkel (2008). *Technical Data Sheet*. FDS-No. 285858.
- Höhne, G., Hemminger, W. & Flammersheim, H. J. (2003). *Differential Scanning Calorimetry*. Springer. 2nd Edition.
- Intertek (2014). *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Analysis*. Consultado em 05/12/2014, disponível em <http://www.intertek.com/analysis/ftir/>.
- JEDEC Solid State Technology Association (2007). *Process Characterization Guideline*. Electronic Industries Alliance. JEDEC Publication No.132. Arlington, Virginia.
- Kokko, K. (2010). *Reliability of ACA joints with conformal coating in harsh environments*. Tampere University of Technology, 913.
- Krichbaum, B. D. (2008). *Standardized work: The power of consistency*. Process Coaching Incorporated.
- LaDou, J. (2006). *Printed circuit board industry*. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 209, 211-219.
- Lasky, R. (2007). *Be Data Driven*. Consultado em 23/07/2014, disponível em <http://blogs.indium.com/blog/tombstoning>.
- Leon, J. V. & Peters, B. A. (2012). *A comparison of setup strategies for printed circuit board assembly*. Computers ind. Engng, Vol. 34, No. 1, 219-234.
- Licari, J. J. (2003). *Coating Materials for Electronic Applications: Polymers, Processes, Reliability, Testing*. William Andrew Publishing, Inc. New York.
- Marques, A. C., Cabrera, J. M., & Malfatti, C. F. (2013). *Printed Circuit Boards: A review on the perspective of sustainability*. Journal of Environmental Management, 131, 298-306.

- Mehl, E. L. M. (2011). *Placas de circuito impresso – conceitos fundamentais*. CAD para Eletrônica. Universidade Federal do Paraná.
- Mirabedini, A., Mohseni, M., & Ramezanzadeh, B. (2013). *A comparative study between experimentally measured mechanical attributes and user perception of soft feel coatings: Correlating human sense with surface characteristics of polyurethane based coating*. *Process in Organic Coatings*, 76, 1369-1375.
- NETZSCH, (2014). *Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC) Análise Térmica Diferencial (DTA)*. Consultado em 28/10/2014, disponível em <http://www.netzsch-thermal-analysis.com/pt/landing-pages/calorimetro-diferencial-de-varredura-dsc-analise-termica-diferencial-dta.html>
- Nordson, Asymtek (2014). *Conformal Coating Platform Options*. Consultado em 02/08/2014, disponível em <http://www.nordson.com/en-us/divisions/asymtek/solutions/PCB-Assembly/Pages/Conformal-Coating.aspx>.
- Otiaba, K. C., Ekere, N. N., Bhatti, R. S., Mallik, S., Alam, M. O., & Amalu, E.H. (2011). *Thermal interface materials for automotive electronic control unit: Trends technology and R&D challenges*. *Microelectronics Reliability*, 51, 2031-2043.
- Park, B. (2011). *Common PCB defects*. Consultado em 15/07/2014, disponível em <http://www.failureanalysisblog.com/common-pcb-defects.html>.
- PerkinElmer (2014). *Frequently Asked Questions: Thermogravimetric Analysis (TGA)*. A Beginner's Guide. Consultado em 02/12/2014, disponível em http://www.perkinelmer.com/cmsresources/images/44-74556gde_tgabeginnersguide.pdf
- Peters (2014). *Conformal coatings for printed circuits and assembled pcbs/flat pack*. Survey Report Group 1.
- Rathinavelu, U., Jellesen, M. S., Moller, P. & Ambat, R. (2012). *Effect of No-Clean Flux Residues on the Performance of Acrylic Conformal Coating in Aggressive Environments*. *IEEE Transactions on components, packaging and manufacturing technology*, Vol. 2, No. 4, 719-728.
- SCH Technologies (2012). *Conformal Coating Dip Equipment - DS101 Conformal Coating Dip System*. Consultado em 03/08/2014, disponível em

http://www.conformalcoating.co.uk/Conformal_Coating_Dip_Systems_Conformal_Coating_dipping.php.

Sepe, M. R. (1997). *Thermal Analysis of Polymers*. Rapra Technologies Lto. Vol. 8, No. 11.

Sim, L. C., Ramanan, S. R., Ismail, H., Seetharamu, K. N., & Goh, T. J. (2005). *Thermal Characterization of Al₂O₃ and ZnO reinforced silicone rubber as thermal pads for heat dissipation purposes*. *Thermochimica Acta*, 430, 155-165.

Struers, (2014). *Metallography, materialography and specimen preparation*. Consultado em 03/12/2014, disponível em <http://materialography.org/>.

Su, C. & Fu, H. (1998). *A simulated annealing heuristic for robotics assembly using the dynamic pick-and-place model*. *Production Planning and Control*, 9, 795-802.

Suppa, M. (2012). *Conformal coatings for electronics applications*. Werner Peters, 1st edition.

TA Instruments (2014). *TGA Q500 Specifications*. Consultado em 02/12/2014, disponível em <http://www.tainstruments.com/pdf/brochure/2011%20TGA%20Brochure.pdf>

Tentardini, E. K. & Matos, T. F. (2014). *Caracterização termofísica de materiais por calorimetria diferencial de varredura (DSC)*. Projeto de cooperação sul-americana em identificação de propriedades físicas em transferência de calor e massa. Consultado a 29/11/2014, disponível em http://www.propfis.org/index_arquivos/lectures/e1p12.pdf.

Tsai, T. N. (2012). *Thermal parameters optimization of a reflux soldering profile in printed circuit board assembly: A comparative study*. *Applied Soft Computing*, 12, 2601-2613.

Vakkasoglu, Ahmet S. (2009). *FTIR Spectroscopy Studies on Membrane Proteins*. UMI Microform. ProQuest LLC.

Vickers, S. (2014). *Adhesion promotion of polyurethane and epoxy coating*. *Reinforced Plastics*, Vol. 58, Issue 3, 32-34.

Vij, D. R. & Jaggi, N. (2006). *Handbook of Applied Solid State Spectroscopy*. Springer. Kurukshetra University. India.

Vitronics, S. (2014). *Delta N Inert Wave Soldering*. Consultado em 11/07/2014, disponível em <http://www.vitronics-soltec.com/wave/delta-n/>.

Voort, George F. V. (2007). *Metallography Principles and Practice*. Material Science and Engineering Series. ASM International. 4th edition.

Zipperian, Donald C. (2011). *Metallographic handbook*. Pace Technologies, USA. 1st edition.

ANEXO I – FICHA TÉCNICA DO COATING PC88

Technical Data Sheet



PC88

March 2013

PRODUCT DESCRIPTION

PC88 provides the following product characteristics:

Technology	Acrylic
Appearance	Clear liquid
Cure	Hot air drying
Product Benefits	<ul style="list-style-type: none"> • Toluene-free • Single component • Fluorescent under UV light • Superior toughness and abrasion resistance
Operating Temperature - Continuous	-40 to 125°C
Application	Conformal coating
Dried Film Thickness	25 to 100µm
Typical Assembly Applications	Printed circuit board coating

PC88 is a one component solvent based Acrylic conformal coating, designed to provide environmental and mechanical protection to printed circuit boards.

Components and joints may be repaired by heating the coating with a soldering iron for easy removal, or the entire coating may be removed with a suitable solvent. When fully dried, the material has superior toughness and abrasion resistance. Even after long environmental exposure, the coating retains its very light color. PC88 one component conformal coating is designed to provide environmental and mechanical protection to printed circuit boards used in automotive, military and other electronic applications.

TYPICAL PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

Solids Content, %	24
Specific Gravity @ 25°C	0.902
Viscosity, Brookfield - LV, 25 °C, mPa·s (cP):	
Spindle 1, speed 30 rpm	65
Shelf Life @ 25°C, days	183
Flash Point ISO 13736:1997, BS 2000 Part 170:1995, Abel Cup, °C	7.75

TYPICAL DRYING PERFORMANCE

Recommended Drying Conditions

45 minutes @ 75 °C

Alternative Drying Conditions

24 hours @ 25 °C

Tack Free Time

For a 120µm wet film, @ 25°C / 35% RH, on glass plate, <10 minutes

Drying of the coating is contingent on solvent evaporation. Drying at temperatures higher than that recommended could cause formulation of bubbles if bulk solvent is not allowed to evaporate before oven placement.

Optimization of the drying schedule is possible to reduce the time listed above. Drying times will depend on film thickness and circuit board design.

For optimum performance, boards should be air dried at least 30 minutes @ 25°C to remove solvents before final oven drying (or before applying additional coats).

Deaeration is not suggested.

The above cure profile is a guideline recommendation. Cure rate and ultimate depth of cure depend on light intensity, spectral distribution of light source, exposure time and the light transmittance of the substrate.

TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL

Electrical Properties

Insulation Resistance, 25 to 75 µm film:

Initial	25°C/50% R.H.	2.8x10 ¹²
Cycle 4	65°C/95% R.H.	9.7x10 ¹⁰
Cycle 7	65°C/95% R.H.	9.9x10 ¹⁰
Cycle 10	65°C/95% R.H.	1.2x10 ¹¹
24hours after Cycle 10	25°C/50% R.H.	2.7x10 ¹²

Dielectric Strength, ASTM D149, volts/mil

1,500

Dielectric Constant / Dissipation Factor:

@ 100Hz:	
@ 25°C	2.56/0.067
@ 60°C	2.87/0.045
@ 90°C	3.01/0.011
@ 110°C	3.21/0.033
@ 10kHz:	
@ 25°C	2.41/0.033
@ 60°C	2.56/0.056
@ 90°C	2.89/0.034
@ 110°C	3.02/0.024
@ 100kHz:	
@ 25°C	2.19/0.018
@ 60°C	2.45/0.063
@ 90°C	2.76/0.056
@ 100°C	2.89/0.016

GENERAL INFORMATION

For safe handling information on this product, consult the Material Safety Data Sheet, (MSDS).



Not for product specifications

The technical data contained herein are intended as reference only. Please contact your local quality department for assistance and recommendations on specifications for this product.

DIRECTIONS FOR USE

1. Any tank should be pressurized with dry nitrogen..
2. Ideally applied via non-atomised selective film coater.
3. Do not use hand gun spray tool as this will lead to clogging of the nozzle.
4. Substrate cleanliness is paramount in promoting adhesion and preventing underfilm corrosion of copper conductors.
5. Furthermore compatibility with solder paste and flux etc should always be verified.
6. Removal of liquid or dried PC88 can be achieved with Xylene or a Ketone (e.g. MEK).

Storage

Store product in the unopened container in a dry location. Storage information may be indicated on the product container labeling.

Optimal Storage: 25°C. Storage below 5°C or above 30°C can adversely affect product properties.

Once opened, containers should be purged with dry nitrogen.

Material removed from containers may be contaminated during use. Do not return product to the original container. Henkel Corporation cannot assume responsibility for product which has been contaminated or stored under conditions other than those previously indicated. If additional information is required, please contact your local Technical Service Center or Customer Service Representative.

Conversions

$(^{\circ}\text{C} \times 1.8) + 32 = ^{\circ}\text{F}$
 $\text{kV/mm} \times 25.4 = \text{V/mil}$
 $\text{mm} / 25.4 = \text{inches}$
 $\text{N} \times 0.225 = \text{lb}$
 $\text{N/mm} \times 5.71 = \text{lb/in}$
 $\text{N/mm}^2 \times 145 = \text{psi}$
 $\text{MPa} \times 145 = \text{psi}$
 $\text{N}\cdot\text{m} \times 8.851 = \text{lb}\cdot\text{in}$
 $\text{N}\cdot\text{m} \times 0.738 = \text{lb}\cdot\text{ft}$
 $\text{N}\cdot\text{mm} \times 0.142 = \text{oz}\cdot\text{in}$
 $\text{mPa}\cdot\text{s} = \text{cP}$

Disclaimer**Note:**

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. The product can have a variety of different applications as well as differing application and working conditions in your environment that are beyond our control. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product. Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Belgium NV, Henkel Electronic Materials NV, Henkel Nederland BV, Henkel Technologies France SAS and Henkel France SA please additionally note the following:

In case Henkel would be nevertheless held liable, on whatever legal ground, Henkel's liability will in no event exceed the amount of the concerned delivery.

In case products are delivered by Henkel Colombiana, S.A.S. the following disclaimer is applicable:

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product.

Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Corporation, Resin Technology Group, Inc., or Henkel Canada Corporation, the following disclaimer is applicable:

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, Henkel Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Henkel Corporation's products. Henkel Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits. The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Henkel Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

Trademark usage

Except as otherwise noted, all trademarks in this document are trademarks of Henkel Corporation in the U.S. and elsewhere. ® denotes a trademark registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

Reference **N/A**

Americas
+1.888.943.6535

Europe
+32.1457.5611

Asia
+86.21.3898.4800

For the most direct access to local sales and technical support visit: www.henkel.com/electronics



Safety Data Sheet according to (EC) No 1907/2006

Page 1 of 1

PC88 BULK

sds no.: 285858

V002.1

Revision: 17.05.2013

printing date: 17.05.2013

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1. Product identifier

PC88 BULK

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Intended use:

Acrylic Adhesive

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Henkel Ireland
Operations and Research Limited
Tallaght Business Park
Dublin 24

Ireland

Phone: +353 (14046444)

Fax-no.: +353 (14519926)

ua-productsafety.uk@uk.henkel.com

1.4. Emergency telephone number

24 Hours Emergency Tel: +44 (0)1442 278497

SECTION 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture

Classification (DPD):

F - Highly flammable

R11 Highly flammable.

R66 Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.

R67 Vapours may cause drowsiness and dizziness.

2.2. Label elements

Label elements (DPD):

F - Highly flammable

**Risk phrases:**

R11 Highly flammable.
 R66 Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.
 R67 Vapours may cause drowsiness and dizziness.

Safety phrases:

S16 Keep away from sources of ignition - No smoking.
 S23 Do not breathe vapour.
 S24 Avoid contact with skin.
 S51 Use only in well-ventilated areas.

2.3. Other hazards:

None if used properly.

SECTION 3: Composition/information on ingredients**General chemical description:**

Solvent based coating

Base substances of preparation:

Polyacrylate
 organic solvent

Declaration of the ingredients according to CLP (EC) No 1272/2008:

Hazardous components CAS-No.	EC Number REACH-Reg No.	content	Classification
n-Butyl acetate 123-86-4	204-658-1 01-2119485493-29	≥ 50 - ≤ 100 %	Flammable liquids 3 H226 Specific target organ toxicity - single exposure 3 H336
Butanone 78-93-3	201-159-0 01-2119457290-43	≥ 15 - < 20 %	Flammable liquids 2 H225 Specific target organ toxicity - single exposure 3 H336 Serious eye irritation 2 H319

For full text of the H - statements and other abbreviations see section 16 "Other information".

Substances without classification may have community workplace exposure limits available.

Declaration of ingredients according to DPD (EC) No 1999/45:

Hazardous components CAS-No.	EC Number REACH-Reg No.	content	Classification
n-Butyl acetate 123-86-4	204-658-1 01-2119485493-29	≥ 50 - ≤ 100 %	R10 R66 R67
Butanone 78-93-3	201-159-0 01-2119457290-43	≥ 15 - < 20 %	F - Highly flammable; R11 R67 Xi - Irritant; R36 R66

For full text of the R-Phrases indicated by codes see section 16 "Other Information".

Substances without classification may have community workplace exposure limits available.

SECTION 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

Inhalation:

Move to fresh air, consult doctor if complaint persists.

Skin contact:

Rinse with running water and soap. Apply replenishing cream. Change all contaminated clothing. If necessary, see a dermatologist.

Eye contact:

Wash with plenty of water immediately and continue for several minutes, holding eyelid open. Consult a doctor.

Ingestion:

Rinse mouth, drink 1-2 glasses of water, do not induce vomiting, consult a doctor.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

Prolonged or repeated contact may cause skin irritation.

Prolonged or repeated contact may cause eye irritation.

Vapors may cause drowsiness and dizziness.

SECTION 5: Firefighting measures

5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media:

Carbon dioxide, foam, powder
Water spray jet

Extinguishing media which must not be used for safety reasons:

Water jet (solvent-containing product).

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

Can form explosive gas/air mixtures.
See section 10.

5.3. Advice for firefighters

Wear self-contained breathing apparatus.
Keep personnel upwind of fire.

Additional information:

Cool endangered containers with water spray jet.

SECTION 6: Accidental release measures

General information:

Keep away from sources of ignition and naked flames.

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Ensure adequate ventilation.
Keep unprotected persons away.
Remove sources of ignition.
Wear protective equipment.
See advice in chapter 8

6.2. Environmental precautions

Do not empty into drains / surface water / ground water.
Collect contaminated washing water for appropriate disposal.
Inform authorities in the event of product spillage to water courses or sewage systems.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

Remove mechanically.
For small spills wipe up with paper towel and place in container for disposal.
Wipe up using absorbent material and subject to waste incineration.
Evacuate and ventilate spill area; dike spill to prevent entry into water system; wear full protective equipment during clean-up.
Dispose of contaminated material as waste according to Chapter 13.

6.4. Reference to other sections

See advice in chapter 8

SECTION 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

Do not spray onto flames or red-hot objects.
Ventilate working rooms thoroughly. Avoid naked flames, sparking and sources of ignition. Switch off electrical devices. Do not smoke, do not weld. Do not empty waste into waste water drains.
See advice in chapter 8
Take measures to prevent the build-up of electrostatic charges.

Hygiene measures:

Use only in well-ventilated areas.
Avoid spraying/aerosol generation.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Store in sealed original container.
Close the container carefully after use and store it at a good ventilated place.
Ensure that storage and workrooms are adequately ventilated.
Must be stored in a room with spill collection facilities.
Keep away from heat and direct sunlight.
Take precautionary measures against static discharges during storage and transport.
Do not store near sources of heat or ignition, or reactive materials.
Do not store together with oxidants.

7.3. Specific end use(s)

Acrylic Adhesive

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

Occupational Exposure Limits

Valid for
Great Britain

Ingredient	ppm	mg/m ³	Type	Category	Remarks
BUTYL ACETATE 123-86-4	150	724	Time Weighted Average (TWA):		EH40 WEL
BUTYL ACETATE 123-86-4	200	966	Short Term Exposure Limit (STEL):		EH40 WEL
BUTAN-2-ONE (METHYL ETHYL KETONE) 78-93-3	200	600	Time Weighted Average (TWA):		EH40 WEL
BUTAN-2-ONE (METHYL ETHYL KETONE) 78-93-3	300	899	Short Term Exposure Limit (STEL):		EH40 WEL
BUTAN-2-ONE (METHYL ETHYL KETONE) 78-93-3			Skin designation:	Can be absorbed through the skin.	EH40 WEL
BUTANONE 78-93-3	300	900	Short Term Exposure Limit (STEL):	Indicative	ECLTV
BUTANONE 78-93-3	200	600	Time Weighted Average (TWA):	Indicative	ECLTV

Predicted No-Effect Concentration (PNEC):

Name on list	Environmental Compartment	Exposure period	Value				Remarks
			mg/l	ppm	mg/kg	others	
n-Butyl acetate 123-86-4	aqua (freshwater)					0,18 mg/L	
n-Butyl acetate 123-86-4	aqua (marine water)					0,018 mg/L	
n-Butyl acetate 123-86-4	aqua (intermittent releases)					0,36 mg/L	
n-Butyl acetate 123-86-4	STP					35,6 mg/L	
n-Butyl acetate 123-86-4	sediment (freshwater)				0,981 mg/kg		
n-Butyl acetate 123-86-4	sediment (marine water)				0,0981 mg/kg		
n-Butyl acetate 123-86-4	soil				0,0903 mg/kg		
Butanone 78-93-3	aqua (freshwater)					55,8 mg/L	
Butanone 78-93-3	aqua (marine water)					55,8 mg/L	
Butanone 78-93-3	aqua (intermittent releases)					55,8 mg/L	
Butanone 78-93-3	STP					709 mg/L	
Butanone 78-93-3	sediment (freshwater)				284,7 mg/kg		
Butanone 78-93-3	sediment (marine water)				284,7 mg/kg		
Butanone 78-93-3	soil				22,5 mg/kg		

Derived No-Effect Level (DNEL):

Name on list	Application Area	Route of Exposure	Health Effect	Exposure Time	Value	Remarks
n-Butyl acetate 123-86-4	worker	inhalation	Acute/short term exposure - systemic effects		960 mg/m ³	
n-Butyl acetate 123-86-4	worker	inhalation	Acute/short term exposure - local effects		960 mg/m ³	
n-Butyl acetate 123-86-4	worker	inhalation	Long term exposure - systemic effects		480 mg/m ³	
n-Butyl acetate 123-86-4	worker	inhalation	Long term exposure - local effects		480 mg/m ³	
n-Butyl acetate 123-86-4	general population	inhalation	Acute/short term exposure - systemic effects		859,7 mg/m ³	
n-Butyl acetate 123-86-4	general population	inhalation	Acute/short term exposure - local effects		859,7 mg/m ³	
n-Butyl acetate 123-86-4	general population	inhalation	Long term exposure - systemic effects		102,34 mg/m ³	
Butanone 78-93-3	worker	dermal	Long term exposure - systemic effects		1161 mg/kg bw/day	
Butanone 78-93-3	worker	inhalation	Long term exposure - systemic effects		600 mg/m ³	
Butanone 78-93-3	general population	dermal	Long term exposure - systemic effects		412 mg/kg bw/day	
Butanone 78-93-3	general population	inhalation	Long term exposure - systemic effects		106 mg/m ³	
Butanone 78-93-3	general population	oral	Long term exposure - systemic effects		31 mg/kg bw/day	

Biological Exposure Indices:

Ingredient	Parameters	Biological specimen	Sampling time	Conc.	Basis of biol. exposure index	Remark	Additional Information
BUTAN-2-ONE 78-93-3	Butan-2-one	Urine	Sampling time: End of shift.		UKEH40BMG V		

8.2. Exposure controls:**Engineering controls:**

Ventilate working rooms thoroughly. Avoid naked flames, sparking and sources of ignition. Switch off electrical devices. Do not smoke, do not weld. Do not empty waste into waste water drains.

Respiratory protection:

In case of insufficient ventilation, wear suitable respiratory equipment.

Suitable respiratory protection:

Use filter A-P2 if vapours/aerosols occur which may be inhaled.

Hand protection:

Chemical-resistant protective gloves (EN 374).

Suitable materials for short-term contact or splashes (recommended: at least protection index 2, corresponding to > 30 minutes permeation time as per EN 374):

nitrile rubber (NBR; \geq 0.4 mm thickness)

Suitable materials for longer, direct contact (recommended: protection index 6, corresponding to > 480 minutes permeation time as per EN 374):

nitrile rubber (NBR; \geq 0.4 mm thickness)

This information is based on literature references and on information provided by glove manufacturers, or is derived by analogy with similar substances. Please note that in practice the working life of chemical-resistant protective gloves may be considerably shorter than the permeation time determined in accordance with EN 374 as a result of the many influencing factors (e.g. temperature). If signs of wear and tear are noticed then the gloves should be replaced.

Eye protection:

Protective goggles

or

facial protection

Skin protection:

Wear protective equipment.

Suitable protective clothing

apron

protective boots

Advices to personal protection equipment:

Wash off any dirt that gets onto the skin with lots of soap and water, skin care.

Do not breathe dust and vapors.

Do not eat, drink or smoke while working.

Use solvent-resistant skin protection cream.

SECTION 9: Physical and chemical properties**9.1. Information on basic physical and chemical properties**

Appearance	liquid liquid colourless
Odor	of solvent
Odour threshold	No data available / Not applicable
pH	No data available / Not applicable
Initial boiling point (1.013 hPa)	> 79 °C (> 174.2 °F)
Flash point	-4 °C (24.8 °F) Estimated
Decomposition temperature	No data available / Not applicable
Vapour pressure	No data available / Not applicable
Density (20 °C (68 °F))	0,900 - 0,904 g/cm ³
Bulk density	No data available / Not applicable
Viscosity	No data available / Not applicable
Viscosity (kinematic)	No data available / Not applicable
Explosive properties	No data available / Not applicable
Solubility (qualitative) (20 °C (68 °F); Solvent: Water)	Not miscible or difficult to mix
Solubility (qualitative) (20 °C (68 °F); Solvent: other organic solvents)	Soluble
Solidification temperature	No data available / Not applicable
Melting point	No data available / Not applicable
Flammability	No data available / Not applicable
Auto-ignition temperature	No data available / Not applicable
Explosive limits	
lower	1,2 %(V)
upper	11,5 %(V)
Partition coefficient: n-octanol/water	No data available / Not applicable
Evaporation rate	No data available / Not applicable
Vapor density	No data available / Not applicable

Oxidising properties No data available / Not applicable

9.2. Other information

No data available / Not applicable

SECTION 10: Stability and reactivity**10.1. Reactivity**

Reaction with strong oxidants.

10.2. Chemical stability

Stable under recommended storage conditions.

10.3. Possibility of hazardous reactions

See section reactivity

10.4. Conditions to avoid

Vapours may form explosive mixture with air.
Spray mist may be flammable at temperatures below the flash point.
Heat, flames, sparks and other sources of ignition.
Take measures to prevent the build-up of electrostatic charges.

10.5. Incompatible materials

None if used properly.

10.6. Hazardous decomposition products

Hydrocarbons
carbon oxides.

SECTION 11: Toxicological information**11.1. Information on toxicological effects****General toxicological information:**

The preparation is classified based on the conventional method outlined in Article 6(1)(a) of Directive 1999/45/EC. Relevant available health/ecological information for the substances listed under Section 3 is provided in the following.

Inhalative toxicity:

May cause headache and dizziness.

Skin irritation:

slightly irritating, does not require labeling.
Solvent may remove essential oils from the skin making it susceptible to attack from other chemicals.

Eye irritation:

slightly irritating, does not require labeling.

Acute oral toxicity:

Hazardous components CAS-No.	Value type	Value	Route of application	Exposure time	Species	Method
n-Butyl acetate 123-86-4	LD50	> 8.800 mg/kg	oral		rat	
Butanone 78-93-3	LD50	2.600 - 5.400 mg/kg	oral		rat	

Acute inhalative toxicity:

Hazardous components CAS-No.	Value type	Value	Route of application	Exposure time	Species	Method
n-Butyl acetate 123-86-4	LC50	> 23,4 mg/l	inhalation	4 h	rat	OECD Guideline 403 (Acute Inhalation Toxicity)
Butanone 78-93-3	LC50	> 5000 ppm	inhalation	6 h	rat	

Acute dermal toxicity:

Hazardous components CAS-No.	Value type	Value	Route of application	Exposure time	Species	Method
Butanone 78-93-3	LD50	6.400 - 8.000 mg/kg	dermal		rabbit	

Skin corrosion/irritation:

Hazardous components CAS-No.	Result	Exposure time	Species	Method
n-Butyl acetate 123-86-4	not irritating		rabbit	
Butanone 78-93-3	moderately irritating		rabbit	

Serious eye damage/irritation:

Hazardous components CAS-No.	Result	Exposure time	Species	Method
n-Butyl acetate 123-86-4	not irritating		rabbit	
Butanone 78-93-3	irritating		rabbit	OECD Guideline 405 (Acute Eye Irritation / Corrosion)

Respiratory or skin sensitization:

Hazardous components CAS-No.	Result	Test type	Species	Method
n-Butyl acetate 123-86-4	not sensitising	Guinea pig maximisation test	guinea pig	
Butanone 78-93-3	not sensitising	Guinea pig maximisation test	guinea pig	

Germ cell mutagenicity:

Hazardous components CAS-No.	Result	Type of study / Route of administration	Metabolic activation / Exposure time	Species	Method
n-Butyl acetate 123-86-4	negative	bacterial reverse mutation assay (e.g. Ames test)	with and without		
Butanone 78-93-3	negative	bacterial reverse mutation assay (e.g. Ames test)	with and without		OECD Guideline 471 (Bacterial Reverse Mutation Assay)

Repeated dose toxicity

Hazardous components CAS-No.	Result	Route of application	Exposure time / Frequency of treatment	Species	Method
Butanone 78-93-3	NOAEL=2500 ppm	inhalation	90 days 6 hours/day, 5 days/week	rat	

SECTION 12: Ecological information**General ecological information:**

The preparation is classified based on the conventional method outlined in Article 6(1)(a) of Directive 1999/45/EC. Relevant available health/ecological information for the substances listed under Section 3 is provided in the following.

12.1. Toxicity**Ecotoxicity:**

No data available for the product.

Do not empty into drains / surface water / ground water.

Hazardous components CAS-No.	Value type	Value	Acute Toxicity Study	Exposure time	Species	Method
n-Butyl acetate 123-86-4	LC50	62 mg/l	Fish	96 h	Leuciscus idus	
n-Butyl acetate 123-86-4	EC50	72,8 mg/l	Daphnia	24 h	Daphnia magna	
n-Butyl acetate 123-86-4	EC50	674,7 mg/l	Algae	72 h	Scenedesmus subspicatus (new name: Desmodesmus subspicatus)	OECD Guideline 201 (Alga, Growth Inhibition Test)
Butanone 78-93-3	LC50	3.220 mg/l	Fish	96 h	Pimephales promelas	OECD Guideline 203 (Fish, Acute Toxicity Test)
Butanone 78-93-3	EC50	5.091 mg/l	Daphnia	48 h	Daphnia magna	OECD Guideline 202 (Daphnia sp. Acute Immobilisation Test)
Butanone 78-93-3	EC50	> 1.000 mg/l	Algae			OECD Guideline 201 (Alga, Growth Inhibition Test)

12.2. Persistence and degradability

Hazardous components CAS-No.	Result	Route of application	Degradability	Method
n-Butyl acetate 123-86-4	readily biodegradable	aerobic	98 %	OECD Guideline 301 D (Ready Biodegradability: Closed Bottle Test)
Butanone 78-93-3	readily biodegradable	aerobic	> 60 %	

12.3. Bioaccumulative potential / 12.4. Mobility in soil

Hazardous components CAS-No.	LogKow	Bioconcentration factor (BCF)	Exposure time	Species	Temperature	Method
n-Butyl acetate 123-86-4	1,81				23 °C	OECD Guideline 107 (Partition Coefficient (n- octanol / water), Shake Flask Method)
Butanone 78-93-3	0,29					

12.5. Results of PBT and vPvB assessment

Hazardous components CAS-No.	PBT/vPvB
n-Butyl acetate 123-86-4	Not fulfilling Persistent, Bioaccumulative and Toxic (PBT), very Persistent and very Bioaccumulative (vPvB) criteria.
Butanone 78-93-3	Not fulfilling Persistent, Bioaccumulative and Toxic (PBT), very Persistent and very Bioaccumulative (vPvB) criteria.

12.6. Other adverse effects

No data available.

SECTION 13: Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

Product disposal:

Dispose of in accordance with local and national regulations.

Disposal of uncleaned packages:

After use, tubes, cartons and bottles containing residual product should be disposed of as chemically contaminated waste in an authorised legal land fill site or incinerated.

Waste code

08 04 09 waste adhesives and sealants containing organic solvents and other dangerous substances

The valid EWC waste code numbers are source-related. The manufacturer is therefore unable to specify EWC waste codes for the articles or products used in the various sectors. The EWC codes listed are intended as a recommendation for users. We will be happy to advise you.

SECTION 14: Transport information**14.1. UN number**

ADR	1866
RID	1866
ADNR	1866
IMDG	1866
LATA	1866

14.2. UN proper shipping name

ADR	RESIN SOLUTION
RID	RESIN SOLUTION
ADNR	RESIN SOLUTION
IMDG	RESIN SOLUTION
LATA	Resin solution

14.3. Transport hazard class(es)

ADR	3
	3
RID	3
	3
ADNR	3
	3
IMDG	3
	3
LATA	3
	3

14.4. Packaging group

ADR	II
RID	II
ADNR	II
IMDG	II
LATA	II

14.5. Environmental hazards

ADR	not applicable
RID	not applicable
ADNR	not applicable
IMDG	not applicable
LATA	not applicable

14.6. Special precautions for user

ADR	Special provision 640D
-----	------------------------

	Tunnelcode: (D/E)
RID	Special provision 640D
ADNR	Special provision 640D
IMDG	not applicable
IATA	not applicable

- 14.7. **Transport in bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and the IBC Code**
not applicable

SECTION 15: Regulatory information

15.1. Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

VOC content 67 %
(1999/13/EC)

15.2. Chemical safety assessment

A chemical safety assessment has not been carried out.

SECTION 16: Other information

The labelling of the product is indicated in Section 2. The full text of all abbreviations indicated by codes in this safety data sheet are as follows:

R10 Flammable.
R11 Highly flammable.
R36 Irritating to eyes.
R66 Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.
R67 Vapours may cause drowsiness and dizziness.
H225 Highly flammable liquid and vapor.
H226 Flammable liquid and vapor.
H319 Causes serious eye irritation.
H336 May cause drowsiness or dizziness.

Further information:

This information is based on our current level of knowledge and relates to the product in the state in which it is delivered. It is intended to describe our products from the point of view of safety requirements and is not intended to guarantee any particular properties.

ANEXO II – FICHA TÉCNICA DO COATING PETERS 1301

Safety Data Sheet

according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)

according to Regulation (EU) No 453/2010



Article No.: 01301SL20900 SL 1301 ECO-BA-FLZ/23
Print date: 08.10.2014 Revision date: 08.10.2014
Version: Issue date: 08.10.2014

EN
Page 1 / 8

1. Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1. Product identifiers

Article No. (manufacturer/supplier): 01301SL20900
Identification of the substance or mixture: SL 1301 ECO-BA-FLZ/23
ELPEGUARD conformal coating
(209), colourless

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Relevant identified uses:
Coatings and paints, thinners, paint removers

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

supplier (manufacturer/importer/downstream user/distributor)
Lackwerke Peters GmbH + Co KG
Hooghe Weg 13 Telephone: +49-2152-2009-0
47906 Kempen Telefax: +49-2152-2009-70
Dept. responsible for information:
Arbeitssicherheit und Umweltschutz
E-mail (competent person) tilman.sehlen@peters.de

1.4. Emergency telephone number

Emergency telephone number +49-2152-2009-78
Only available during office hours (8:00 - 16:00h).

2. Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture

Classification according to Regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP]

This mixture is classified as hazardous according to regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP].

Flam. Liq. 3 / H226 flammable liquids Flammable liquid and vapour.

Classification according to Directive 67/548/EEC or 1999/45/EC

This mixture is classified as hazardous according to 1999/45/EC.

R10 Flammable
R68 Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.
R67 Vapours may cause drowsiness and dizziness.

2.2. Label elements

Labelling according to Regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP]

Hazard pictograms



Warning

Hazard statements

H226 Flammable liquid and vapour.

Precautionary statements

P210 Keep away from heat/sparks/open flames/hot surfaces. - No smoking.
P233 Keep container tightly closed.
P243 Take precautionary measures against static discharge.
P280 Wear protective gloves/protective clothing/eye protection/face protection.
P303 + P361 + P353 IF ON SKIN (or hair): Remove/Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower.
P403 + P235 Store in a well-ventilated place. Keep cool.
P501 Dispose of contents/container to industrial incineration plant.

contains:

not applicable

Supplemental Hazard information (EU)

EUH068 Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.
EUH208 Contains 2-butanone oxime; cobalt bis(2-ethylhexanoate). May produce an allergic reaction.

Safety Data Sheet
 according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)
 according to Regulation (EU) No 453/2010



Article No.: 01301SL20900 SL 1301 ECO-BA-FLZ/23
 Print date: 08.10.2014 Revision date: 08.10.2014
 Version: Issue date: 08.10.2014

EN
 Page 2 / 8

Labelling (67/548/EEC or 1999/45/EC)

Hazard statements

- 10 Flammable
- 66 Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.
- 67 Vapours may cause drowsiness and dizziness.

Precautionary statements

- 24 Avoid contact with skin.
- 51 Use only in well-ventilated areas.

contains:

not applicable

Special provisions concerning the labelling of certain mixtures

- 99 Contains 2-butanone oxime; Cobalt octoate. May produce an allergic reaction.

2.3. Other hazards

3. Composition / Information on ingredients

3.2. Mixtures

Product description / chemical characterization

Description

Hazardous ingredients

Classification according to Regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP]

EC No. CAS No. INDEX No.	REACH No. Chemical name classification:	Wt % Remark
265-150-3		
64742-48-9 649-327-00-6	Naphtha (petroleum), hydrotreated heavy Flam. Liq. 3 H228 / Asp. Tox. 1 H304	25 - 50
204-658-1 123-86-4 607-025-00-1	01-2119485493-29-XXXX n-butyl acetate Flam. Liq. 3 H228 / STOT SE 3 H336	12,5 - 20
202-496-6 96-29-7 616-014-00-0	01-2119539477-28-XXXX 2-butanone oxime Carc. 2 H351 / Acute Tox. 4 H312 / Eye Dam. 1 H318 / Skin Sens. 1 H317	0,5 - 1
136-52-7	cobalt bis(2-ethylhexanoate) Eye Irrit. 2 H319 / Skin Sens. 1 H317 / Repr. 2 H361 / Aquatic Acute 1 H400 / Aquatic Chronic 1 H410	< 0,5
265-150-3 64742-48-9 649-327-00-6	Naphtha (petroleum), hydrotreated heavy (< 0,1 % Benzene) Asp. Tox. 1 H304	1 - 2,5

Classification according to Directive 67/548/EEC or 1999/45/EC

EC No. CAS No. INDEX No.	REACH No. Chemical name classification:	Wt % Remark
265-150-3		
64742-48-9 649-327-00-6	Naphtha (petroleum), hydrotreated heavy R10 / Xn; R65 / R66 / R67	25 - 50
204-658-1 123-86-4 607-025-00-1	01-2119485493-29-XXXX n-butyl acetate R10 / R66 / R67	12,5 - 20
265-150-3 64742-48-9 649-327-00-6	Naphtha (petroleum), hydrotreated heavy (Benzene content < 0,1 per cent) Xn; R65	1 - 2,5
202-496-6 96-29-7 616-014-00-0	01-2119539477-28-XXXX 2-butanone oxime Carc. Cat. 3; R40 / Xn; R21 / Xi; R41 / R43	0,5 - 1

Safety Data Sheet

according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)

according to Regulation (EU) No 453/2010



Article No.: 01301SL20900 SL 1301 ECO-BA-FLZ/23
Print date: 08.10.2014 Revision date: 08.10.2014
Version: Issue date: 08.10.2014

EN
Page 3 / 8

205-250-8 136-52-7	Cobalt octoate R43 / N; R50-53 / Repr.Cat.3; R62	< 0,5
-----------------------	---	-------

Additional information

Full text of R-phrases: see section 16.

Full text of H-phrases: see section 16.

4. First-aid measures

4.1. Description of first aid measures

General information

In all cases of doubt, or when symptoms persist, seek medical advice. In case of unconsciousness give nothing by mouth, place in recovery position and seek medical advice.

In case of inhalation

Remove casualty to fresh air and keep warm and at rest. In case of irregular breathing or respiratory arrest provide artificial respiration.

Following skin contact

Remove contaminated, saturated clothing immediately. After contact with skin, wash immediately with plenty of water and soap. Do not use solvents or thinners.

After eye contact

Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. Seek medical advice immediately.

After ingestion

If swallowed, rinse mouth with water (only if the person is conscious). Seek medical advice immediately. Keep victim calm. Do NOT induce vomiting.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

In all cases of doubt, or when symptoms persist, seek medical advice.

4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

5. Firefighting measures

5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media

alcohol resistant foam, carbon dioxide, Powder, spray mist, (water)

Extinguishing media which must not be used for safety reasons:

strong water jet

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

Dense black smoke occurs during fire. Inhaling hazardous decomposing products can cause serious health damage.

5.3. Advice for firefighters

Provide a conveniently located respiratory protective device. Cool closed containers that are near the source of the fire. Do not allow water used to extinguish fire to enter drains, ground or waterways. Treat runoff as hazardous.

6. Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Keep away from sources of ignition. Ventilate affected area. Do not breathe vapours.

6.2. Environmental precautions

Do not allow to enter into surface water or drains. If the product contaminates lakes, rivers or sewages, inform competent authorities in accordance with local regulations.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

Isolate leaked material using non-flammable absorption agent (e.g. sand, earth, vermiculit, diatomaceous earth) and collect it for disposal in appropriate containers in accordance with the local regulations (see chapter 13). Clean using cleansing agents. Do not use solvents.

6.4. Reference to other sections

Observe protective provisions (see chapter 7 and 8).

7. Handling and storage

Safety Data Sheet
according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)
according to Regulation (EU) No 453/2010



Article No.: 01301SL20900 SL 1301 ECO-BA-FLZ/23
Print date: 08.10.2014 Revision date: 08.10.2014
Version: Issue date: 08.10.2014

EN
Page 4 / 8

7.1. Precautions for safe handling

Advices on safe handling

Avoid formation of flammable and explosive vapour concentrations in the air and exceeding the exposure limit values. Only use the material in places where open light, fire and other flammable sources can be kept away. Electrical equipment must be protected meeting the accepted standard. Product may become electrostatically charged. Provide earthing of containers, equipment, pumps and ventilation facilities. Anti-static clothing including shoes are recommended. Floors must be electrically conductive. Keep away from heat sources, sparks and open flames. Use only spark proof tools. Avoid contact with skin, eyes and clothes. Do not inhale dusts, particulates and spray mist when using this preparation. Avoid respiration of swarf. When using do not eat, drink or smoke. Personal protection equipment: refer to chapter 8. Do not empty containers with pressure - no pressure vessel! Always keep in containers that correspond to the material of the original container. Follow the legal protection and safety regulations.

Precautions against fire and explosion:

Vapours are heavier than air. Vapours form explosive mixtures with air.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Requirements for storage rooms and vessels

Storage in accordance with the Ordinance on Industrial Safety and Health (BetrSiVO). Keep container tightly closed. Do not empty containers with pressure - no pressure vessel! Smoking is forbidden. Access only for authorised persons. Store carefully closed containers upright to prevent any leaks. Soils have to conform to the "Guidelines for avoidance of ignition hazards due to electrostatic charges (BGR 132)".

Hints on joint storage

Keep away from strongly acidic and alkaline materials as well as oxidizers.

Further information on storage conditions

Take care of instructions on label. Store in a well-ventilated and dry room at temperatures between 5 °C and 25 °C. Protect from heat and direct sunlight. Keep container tightly closed. Remove all sources of ignition. Smoking is forbidden. Access only for authorised persons. Store carefully closed containers upright to prevent any leaks.

7.3. Specific end use(s)

Observe technical data sheet. Observe instructions for use.

8. Exposure controls / Personal protection

8.1. Control parameters

Occupational exposure limit values:

n-butyl acetate
INDEX No. 607-025-00-1 / EC No. 204-858-1 / CAS No. 123-86-4
TWA: 724 mg/m³; 150 ppm
STEL: 966 mg/m³; 200 ppm

Additional information

TWA : long-term occupational exposure limit value
STEL : short-term occupational exposure limit value
Ceiling : peak limitation

8.2. Exposure controls

Provide good ventilation. This can be achieved with local or room suction. If this should not be sufficient to keep aerosol and solvent vapour concentration below the exposure limit values, a suitable respiratory protection must be used.

Occupational exposure controls

Respiratory protection

If concentration of solvents is beyond the occupational exposure limit values, approved and suitable respiratory protection must be used. Observe the wear time limits according GefStoffV in combination with the rules for using respiratory protection apparatus (BGR 190). Use only respiratory protection equipment with CE-symbol including four digit test number.

Hand protection

For prolonged or repeated handling the following glove material must be used: Nitrile rubber
Thickness of the glove material > 0,4 mm ; Breakthrough time (maximum wearing time) > 480 min.
Observe the instructions and details for use, storage, maintenance and replacement provided by the protective glove manufacturer. Penetration time of glove material depending on intensity and duration of exposure to skin. Recommended glove articles DIN EN 374
Barrier creams can help protecting exposed skin areas. In no case should they be used after contact.

Eye protection

Safety Data Sheet
 according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)
 according to Regulation (EU) No 453/2010



Article No.: 01301SL20900 SL 1301 ECO-BA-FLZ/23
 Print date: 08.10.2014 Revision date: 08.10.2014
 Version: Issue date: 08.10.2014

EN
 Page 5 / 8

Wear closely fitting protective glasses in case of splashes.

Protective clothing

Wear antistatic clothing of natural fibers (cotton) or heat resistant synthetic fibers.

Protective measures

After contact clean skin thoroughly with water and soap or use appropriate cleanser.

Environmental exposure controls

Do not allow to enter into surface water or drains. See chapter 7. No additional measures necessary.

9. Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

Appearance:

Physical state liquid
Colour colourless
Odour characteristic

Safety relevant basis data	Unit	Method	Remark
Flash point:	27 °C	DIN 51755	
Ignition temperature in °C:	240 °C	DIN 51794	
lower explosion limit	1,1 Vol-%		
Upper explosion limit	8,0 Vol-%		
Vapour pressure at 20 °C:	< 2 mbar		
Density at 20 °C:	0,91 g/cm ³	DIN 53217	
Water solubility (g/L)	insoluble		
pH value at 20 °C:	not applicable		
Viscosity at 20 °C	23 s 4 mm	DIN 53211	
Solvent separation test (%)	< 3 %	ADR/RID	
Solid content (%):	46,05 Wt %		
solvent content:			
Organic solvents:	53 Wt %		
Water:	0 Wt %		

9.2. Other information:

10. Stability and reactivity

10.1. Reactivity

10.2. Chemical stability

Stable when applying the recommended regulations for storage and handling. Further information on correct storage: refer to chapter 7.

10.3. Possibility of hazardous reactions

Keep away from strong acids, strong bases and strong oxidizing agents to avoid exothermic reactions.

10.4. Conditions to avoid

Hazardous decomposition byproducts may form with exposure to high temperatures.

10.5. Incompatible materials

10.6. Hazardous decomposition products

Hazardous decomposition byproducts may form with exposure to high temperatures, e.g.: carbon dioxide, carbon monoxide, smoke, nitrogen oxides.

11. Toxicological information

No data on preparation itself available.

11.1. Information on toxicological effects

Acute toxicity

Toxicological data are not available.

Irritant and corrosive effects

Toxicological data are not available.

Sensitisation

Toxicological data are not available.

Specific target organ toxicity

Safety Data Sheet
according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)
according to Regulation (EU) No 453/2010



Article No.: 01301SL20900 SL 1301 ECO-BA-FLZ/23
Print date: 08.10.2014 Revision date: 08.10.2014
Version: Issue date: 08.10.2014

EN
Page 6 / 8

Toxicological data are not available.

Aspiration hazard

Toxicological data are not available.

Practical experience/human evidence

Other observations:

Inhaling of solvent components above the MWC-value can lead to health damage, e.g. irritation of the mucous membrane and respiratory organs, as well as damage to the liver, kidneys and the central nerve system. Indications for this are: headache, dizziness, fatigue, amyosthenia, drowsiness, in serious cases: unconsciousness. Solvents may cause some of the aforementioned effects through skin resorption. Repeated or prolonged contact with the preparation may cause removal of natural fat from the skin resulting in non-allergic contact dermatitis and/or absorption through skin. Splashing may cause eye irritation and reversible damage.

Overall Assessment on CMR properties

The ingredients in this preparation do not meet the criteria for classification as CMR category 1 or 2 according to 67/548/EEC.

The preparation has been assessed following the conventional method of the Dangerous Preparations Directive 1999/45/EC and classified according to the toxicological dangers. See chapters 2 and 15 for details.

12. Ecological information

overall evaluation

There is no information available on the preparation itself.
Do not allow to enter into surface water or drains.

12.1. Toxicity

Toxicological data are not available.

12.2. Persistence and degradability

Toxicological data are not available.

12.3. Bioaccumulative potential

Toxicological data are not available.

12.4. Mobility in soil

Toxicological data are not available.

12.5. Results of PBT assessment

The substances in the mixture do not meet the PBT/vPvB criteria according to REACH, annex XIII.

12.6. Other adverse effects

No information available.

13. Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

Appropriate disposal / Product Recommendation

Do not allow to enter into surface water or drains. This material and its container must be disposed of in a safe way. Waste disposal according to EC directives 75/442/EEC and 91/689/EEC in the corresponding versions, covering waste and dangerous waste.

List of proposed waste codes/waste designations in accordance with EWC

080111 waste paint and varnish containing organic solvents or other dangerous substances

packaging

Recommendation

Non-contaminated packages may be recycled. Vessels not properly emptied are special waste.

14. Transport information

14.1. UN number

1263

14.2. UN proper shipping name

Land transport (ADR/RID):

Paint

Safety Data Sheet
 according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)
 according to Regulation (EU) No 453/2010



Article No.: 01301SL20900 SL 1301 ECO-BA-FLZ/23
 Print date: 08.10.2014 Revision date: 08.10.2014
 Version: Issue date: 08.10.2014

EN
 Page 7 / 8

Sea transport (IMDG):	PAINT
Air transport (ICAO-TI / IATA-DGR):	Paint
14.3. Transport hazard class(es)	3
14.4. Packing group	III
14.5. Environmental hazards	
Land transport (ADR/RID)	not applicable
Marine pollutant	not applicable
14.6. Special precautions for user	
Transport always in closed, upright and safe containers. Make sure that persons transporting the product know what to do in case of an accident or leakage.	
Advices on safe handling: see parts 6 - 8	
Additional information	
Land transport (ADR/RID)	
tunnel restriction code	D/E
Sea transport (IMDG)	
EmS-No.	F-E, S-E
14.7. Transport in bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and the IBC Code	
not applicable	

15. Regulatory information

- 15.1. Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture**
- EU legislation**
- Information according to 1999/13/EC about limitation of emissions of volatile organic compounds (VOC-guideline).**
- | | |
|---------------------------------|-----|
| VOC-value (in g/L) ISO 11890-2: | 527 |
| VOC-value (in g/L) ASTM D 2369: | 527 |
- National regulations**
- Restrictions of occupation**
- Observe employment restrictions under the Maternity Protection Directive (92/85/EEC) for expectant or nursing mothers.
 Observe restrictions to employment for juvenils according to the 'juvenile work protection guideline' (94/33/EC).
- Other regulations, restrictions and prohibition regulations**
- 15.2. Chemical Safety Assessment**
- Chemical safety assessments for substances in this preparation were not carried out.

16. Other information

Relevant R-and H-phrases (Number and full text):		
Flam. Liq. 3 / H228	flammable liquids	Flammable liquid and vapour.
Asp. Tox. 1 / H304	Aspiration hazard	May be fatal if swallowed and enters airways.
STOT SE 3 / H336	Specific target organ toxicity (single exposure)	May cause drowsiness or dizziness.
Carc. 2 / H351	Carcinogenicity	Suspected of causing cancer (state route of exposure if it is conclusively proven that no other routes of exposure cause the hazard).
Acute Tox. 4 / H312	Acute toxicity (dermal)	Harmful in contact with skin.
Eye Dam. 1 / H318	Serious eye damage/eye irritation	Causes serious eye damage.
Skin Sens. 1 / H317	respiratory or skin sensitisation	May cause an allergic skin reaction.
Eye Irrit. 2 / H319	Serious eye damage/eye irritation	Causes serious eye irritation.
Repr. 2 / H361	Reproductive toxicity	Suspected of damaging fertility.
Aquatic Acute 1 / H400	Hazardous to the aquatic environment	Very toxic to aquatic life.
Aquatic Chronic 1 / H410	Hazardous to the aquatic environment	Very toxic to aquatic life with long lasting effects.
Carc.Cat.3; R40	Carcinogenic Cat. 3 (Carc. Cat. 3)	Limited evidence of a carcinogenic effect.
Xn; R21	Harmful	Harmful in contact with skin.

Safety Data Sheet
 according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)
 according to Regulation (EU) No 453/2010



Article No.: 01301SL20900 SL 1301 ECO-BA-FLZ/23
 Print date: 08.10.2014 Revision date: 08.10.2014
 Version: Issue date: 08.10.2014

EN
 Page 8 / 8

Xi; R41 R43 R10 R68	Irritant	Risk of serious damage to eyes. May cause sensitization by skin contact. Flammable Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.
R67 N; R50-53	Dangerous for the environment	Vapours may cause drowsiness and dizziness. Very toxic to aquatic life. May cause long-term adverse effects in the aquatic environment.
Repr.Cat.3; R62 Xn; R65	Reproductive toxic Cat.3 (Repr. Cat. 3) Harmful	Possible risk of impaired fertility. Harmful: may cause lung damage if swallowed.

Additional information

The information supplied on this safety data sheet complies with our current level of knowledge as well as with national and EU regulations. Without written approval, the product must not be used for purposes different from those mentioned in chapter 1. It is always the user's duty to take any necessary measures for meeting the requirements laid down by local rules and regulations. The details in this safety data sheet describe the safety requirements of our product and are not to be regarded as guaranteed attributes of the product.
 Observe technical data sheet.

Annex

At present, data / information on exposure scenarios are not available, so that an evaluation of the preparation cannot yet be made.

ANEXO III – CURVAS DE TGA PARA O *COATING* PC88

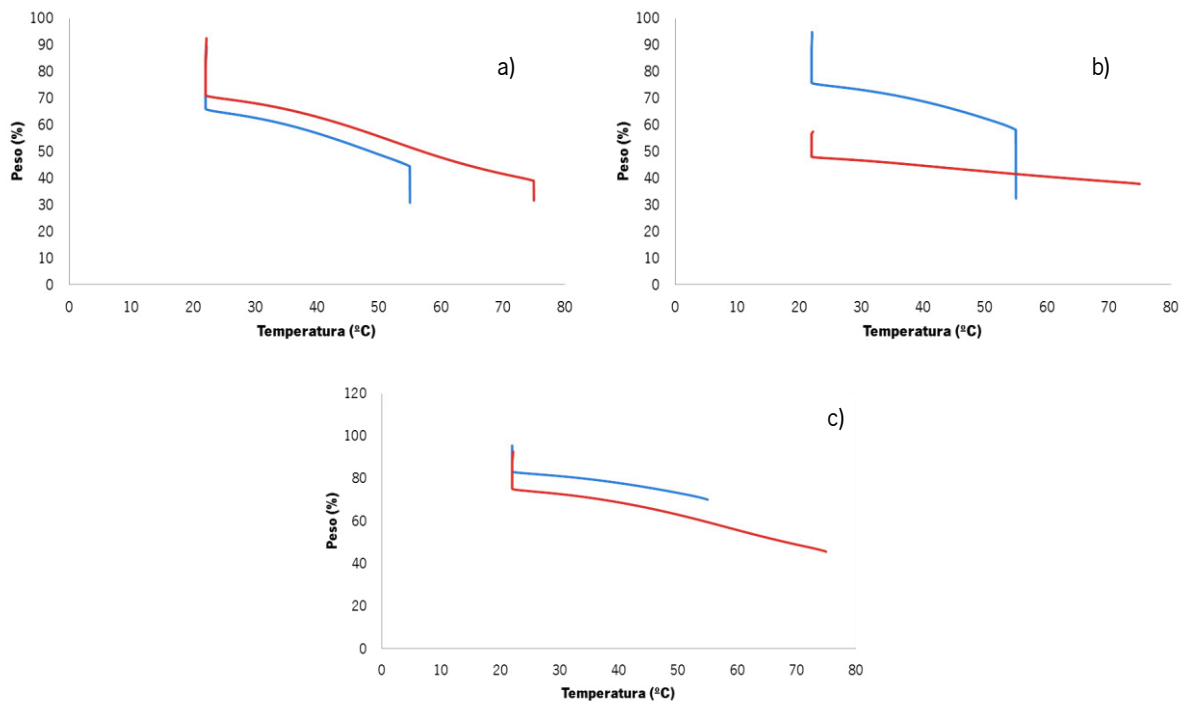


Figura 48. 1º ensaio de TGA com *coating* PC88: a) 2 gotas; b) 3 gotas; c) 4 gotas; — 55°C; — 75°C.

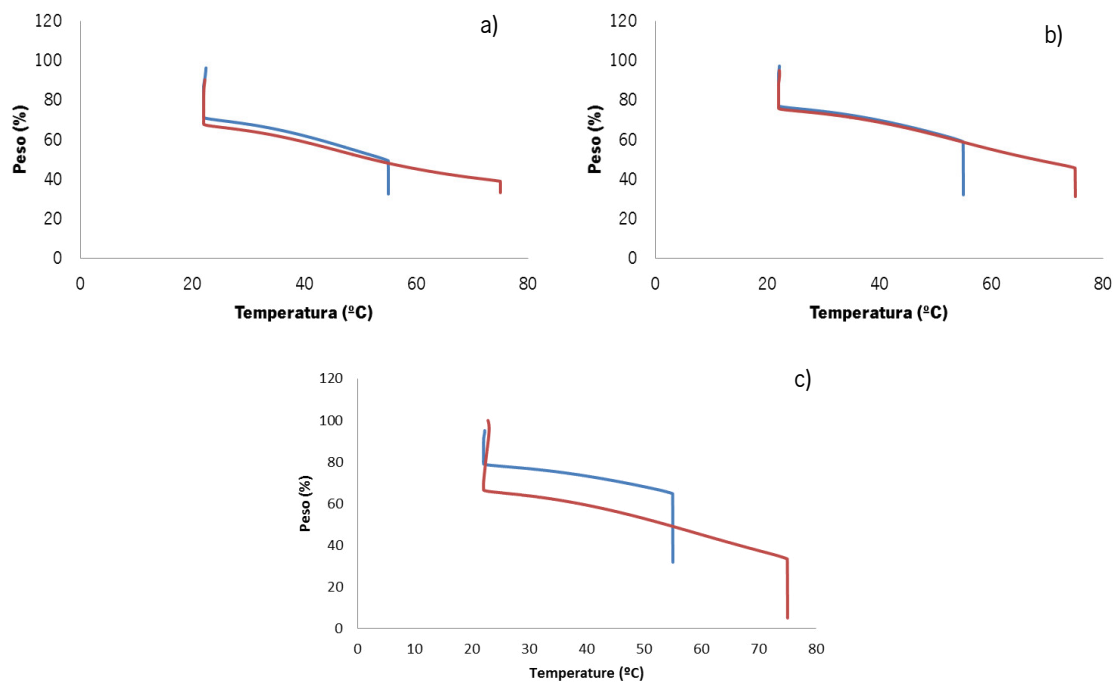


Figura 49. 2º ensaio de TGA com *coating* PC88: a) 2 gotas; b) 3 gotas; c) 4 gotas; — 55°C; — 75°C.

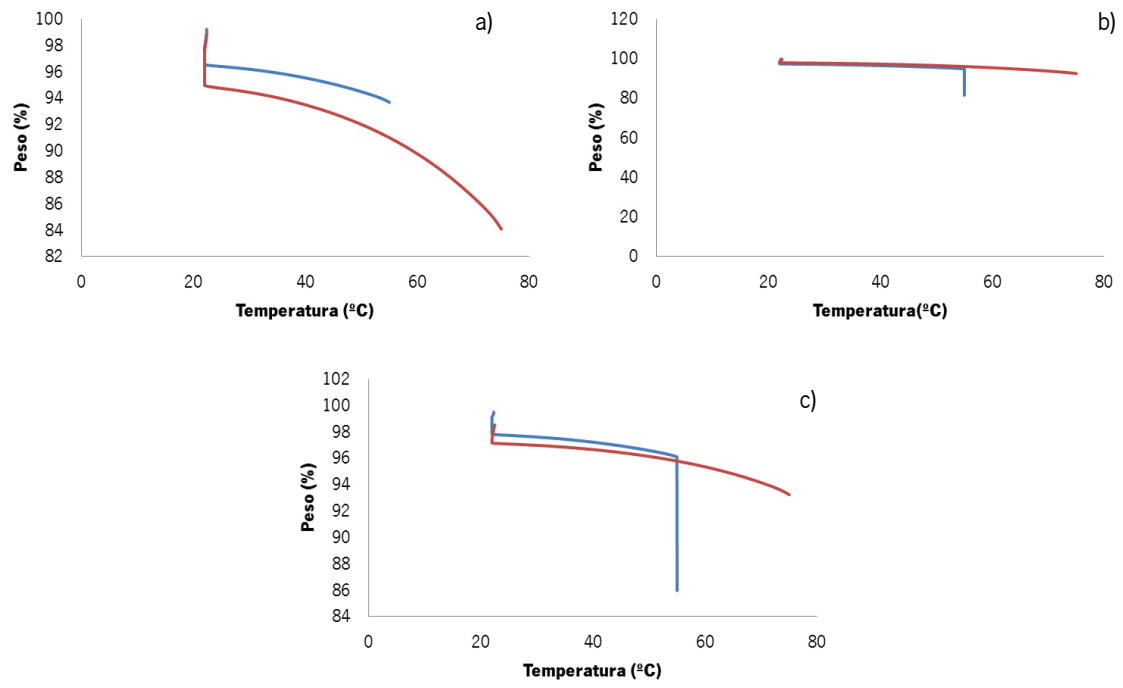


Figura 50. 3º ensaio de TGA com *coating* PC88: a) 2 gotas; b) 3 gotas; c) 4 gotas; — 55°C; — 75°C.

ANEXO IV – CURVAS DE TGA PARA O *COATING* PETERS 1301

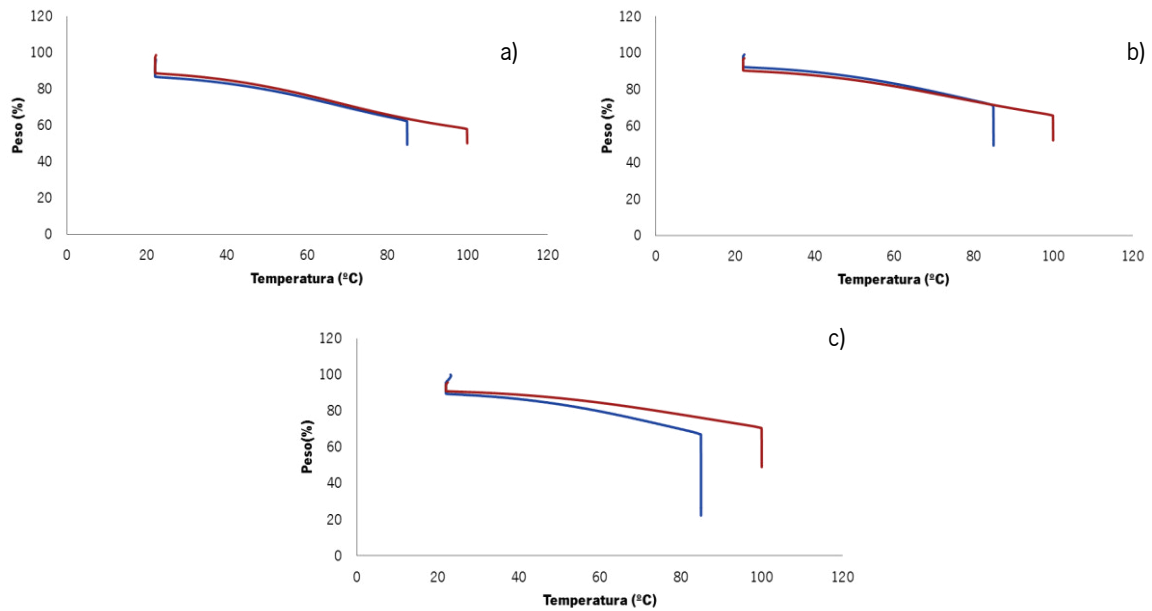


Figura 51. 1º ensaio de TGA com *coating* Peters 1301: a) 2 gotas; b) 3 gotas; c) 4 gotas; — 85°C; — 100°C.

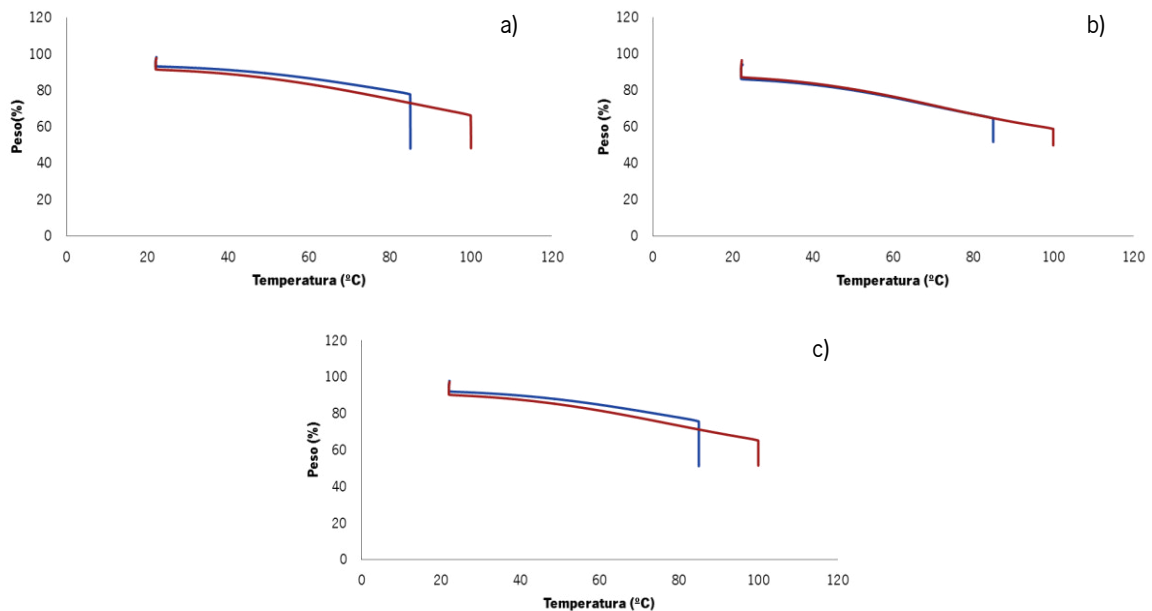


Figura 52. 2º ensaio de TGA com *coating* Peters 1301: a) 2 gotas; b) 3 gotas; c) 4 gotas; — 85°C; — 100°C.

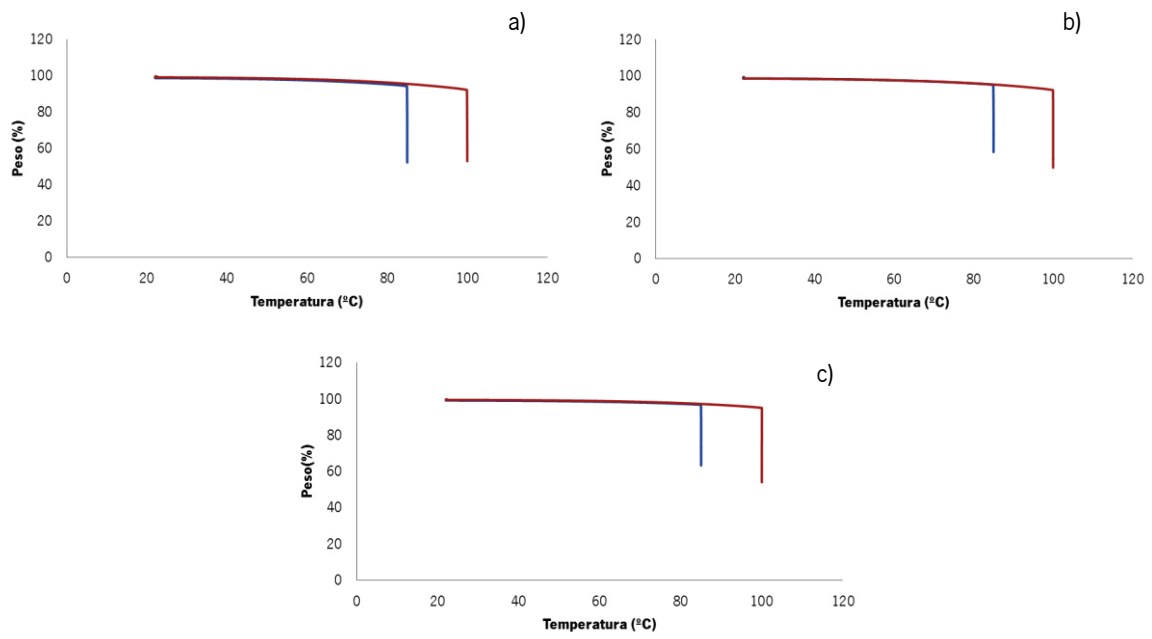


Figura 53. 3º ensaio de TGA com *coating* Peters 1301: a) 2 gotas; b) 3 gotas; c) 4 gotas; — 85°C; — 100°C.

ANEXO V – CORTES SECCIONAIS DO *COATING* PC88

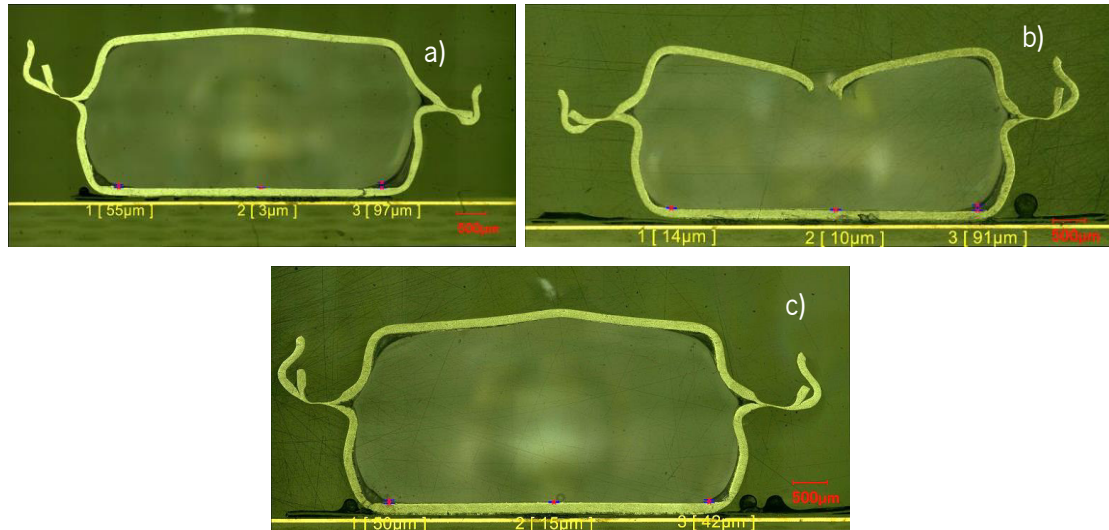


Figura 54. Cortes seccionais de cápsulas de DSC com 2 gotas de *coating* PC88: a) 25°C; b) 55°C; c) 75°C.

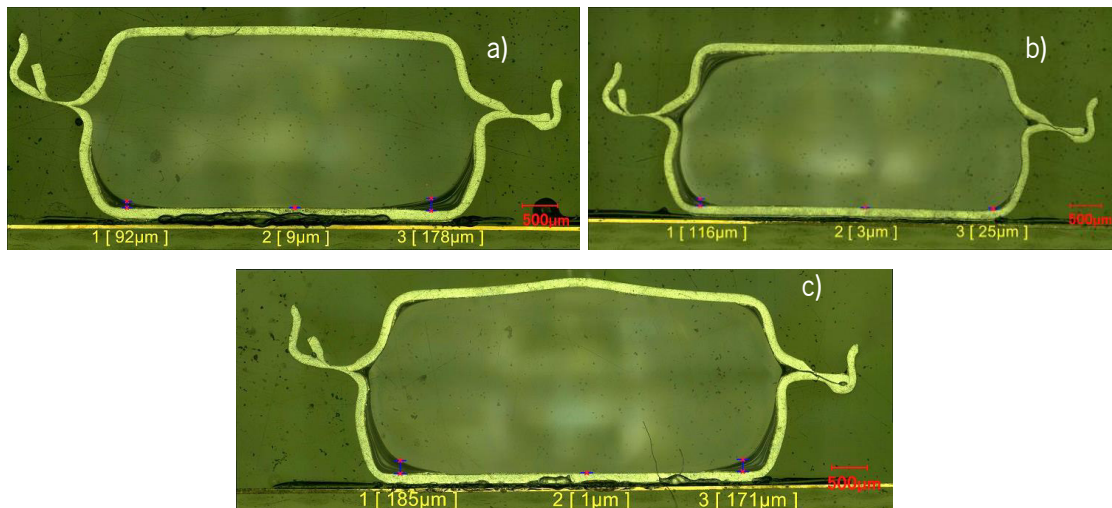


Figura 55. Cortes seccionais de cápsulas de DSC com 3 gotas de *coating* PC88: a) 25°C; b) 55°C; c) 75°C.

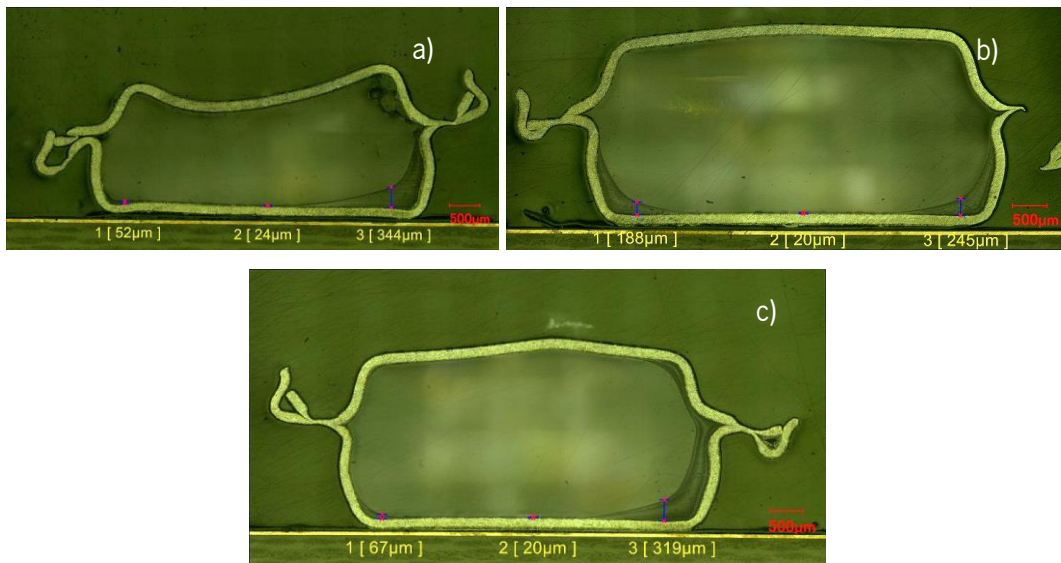


Figura 56. Cortes seccionais de cápsulas de DSC com 4 gotas de *coating* PC88: a) 25°C; b) 55°C; c) 75°C.

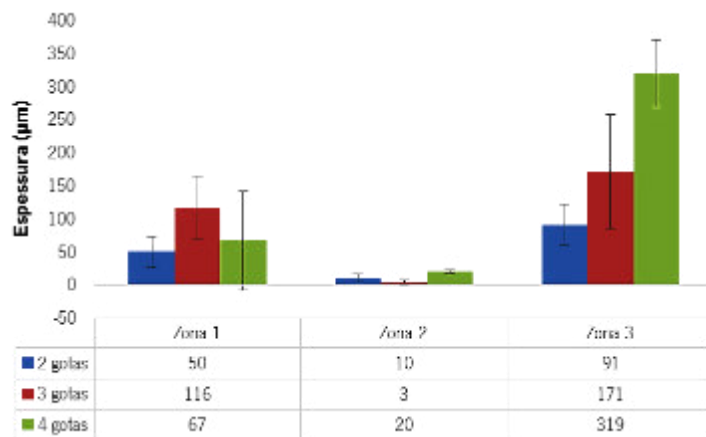
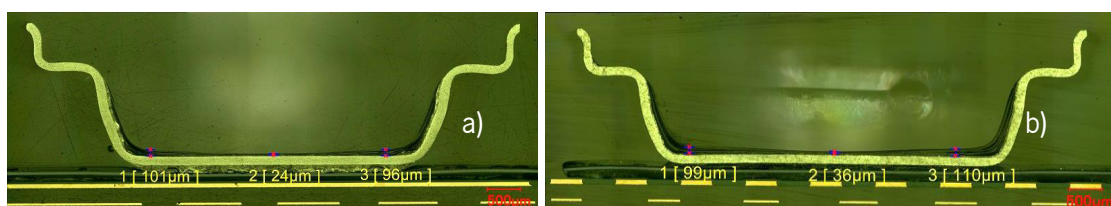


Figura 57. Variação da espessura ao longo das cápsulas do DSC em função da quantidade de *coating* PC88.



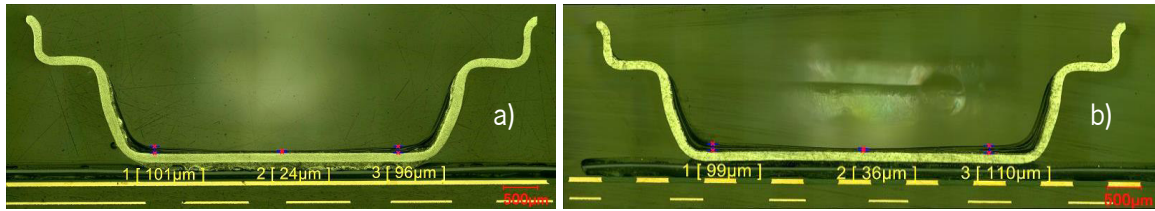


Figura 58. Cortes seccionais de cápsulas do 1º ensaio de TGA com 2 gotas de *coating* PC88: a) 55°C; b) 75°C.

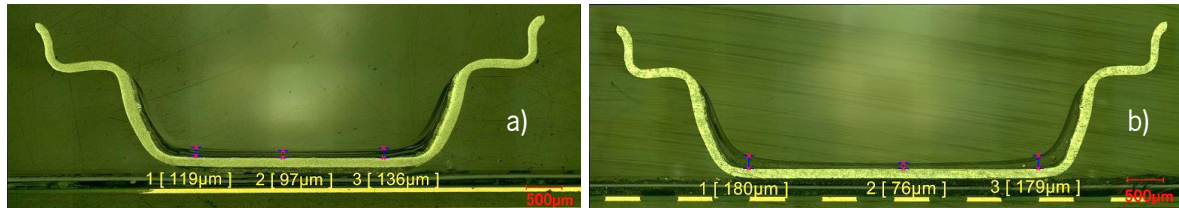


Figura 59. Cortes seccionais de cápsulas do 1º ensaio de TGA com 3 gotas de *coating* PC88: a) 55°C; b) 75°C.

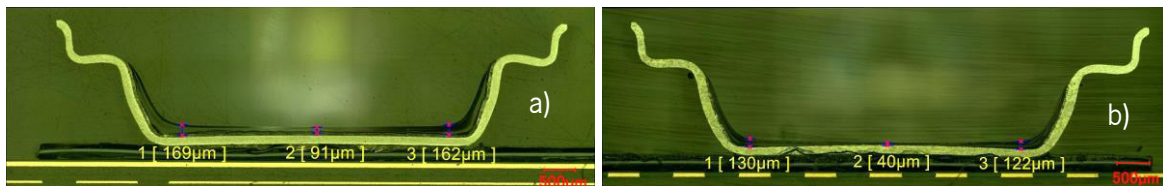


Figura 60. Cortes seccionais de cápsulas do 1º ensaio de TGA com 4 gotas de *coating* PC88: a) 55°C; b) 75°C.

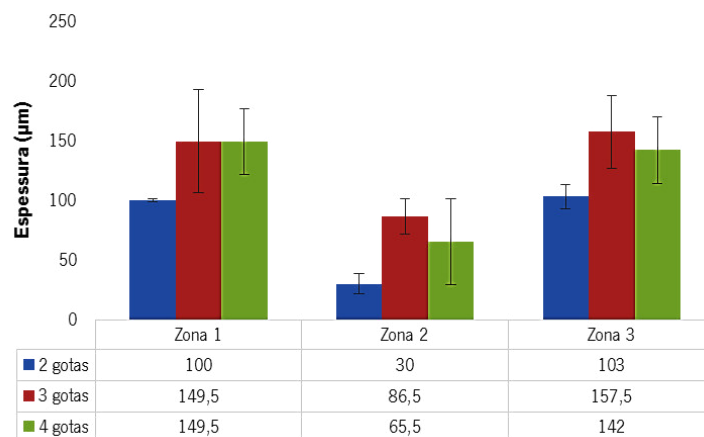


Figura 61. Variação da espessura ao longo das cápsulas do 1º ensaio de TGA em função da quantidade de *coating* PC88.

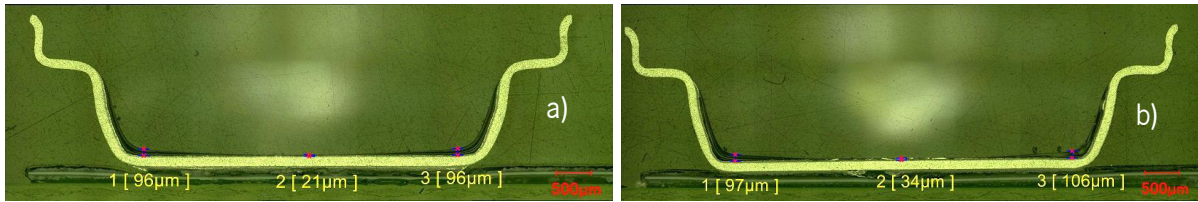


Figura 62. Cortes seccionais de cápsulas do 2º ensaio de TGA com 2 gotas de *coating* PC88: a) 55°C; b) 75°C.

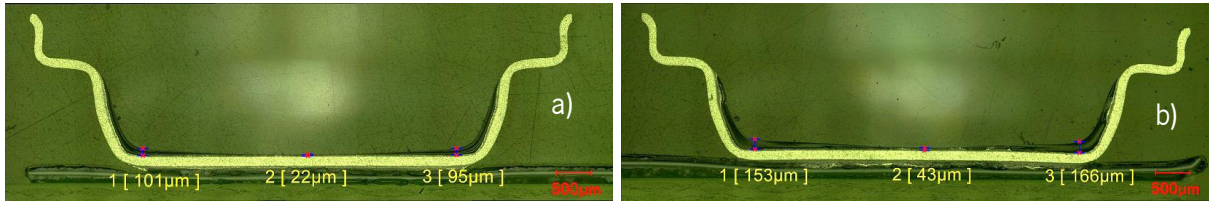


Figura 63. Cortes seccionais de cápsulas do 2º ensaio de TGA com 3 gotas de *coating* PC88: a) 55°C; b) 75°C.

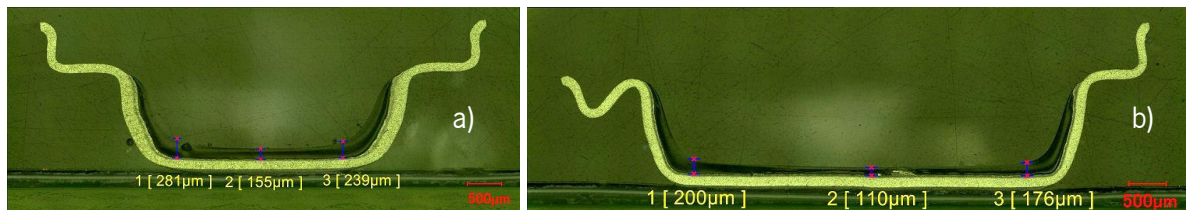


Figura 64. Cortes seccionais de cápsulas do 2º ensaio de TGA com 4 gotas de *coating* PC88: a) 55°C; b) 75°C.

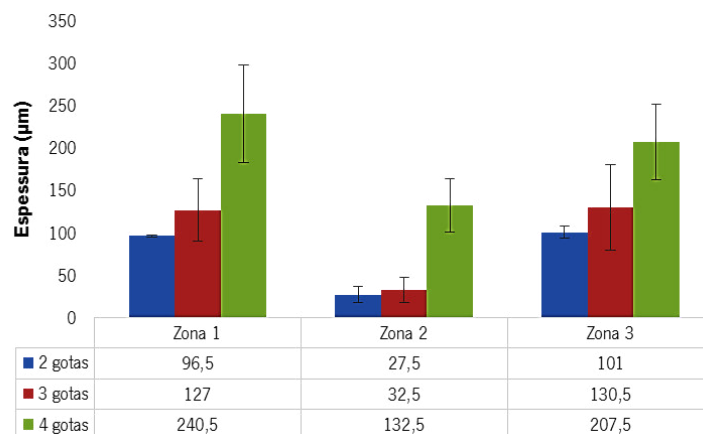


Figura 65. Variação da espessura ao longo das cápsulas do 2º ensaio de TGA em função da quantidade de *coating* PC88.

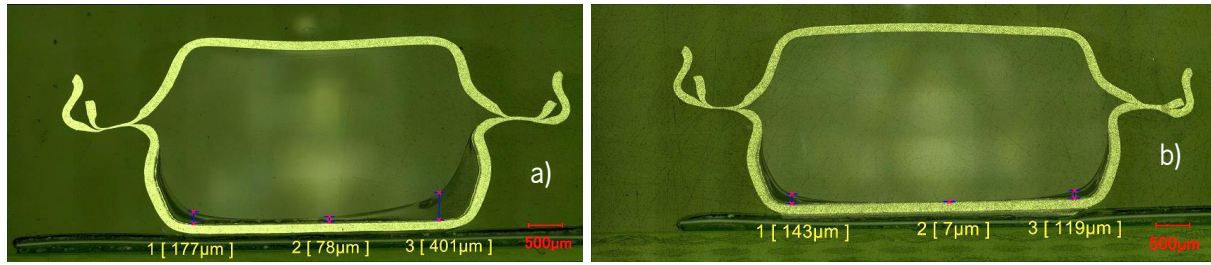


Figura 66. Cortes seccionais de cápsulas do 3º ensaio de TGA com 2 gotas de *coating* PC88: a) 55°C; b) 75°C.

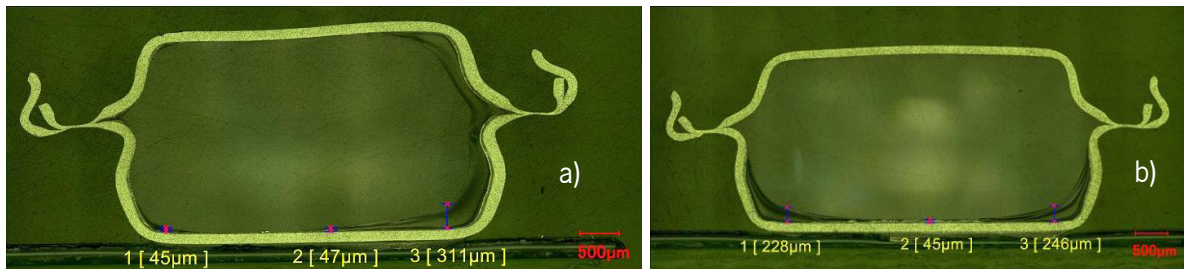


Figura 67. Cortes seccionais de cápsulas do 3º ensaio de TGA com 3 gotas de *coating* PC88: a) 55°C; b) 75°C.

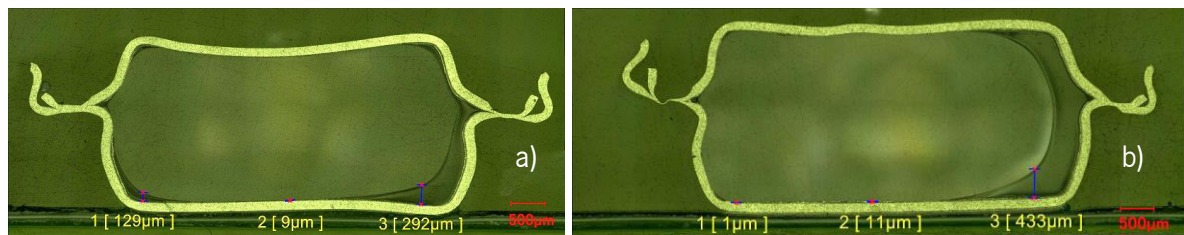


Figura 68. Cortes seccionais de cápsulas do 3º ensaio de TGA com 4 gotas de *coating* PC88: a) 55°C; b) 75°C.

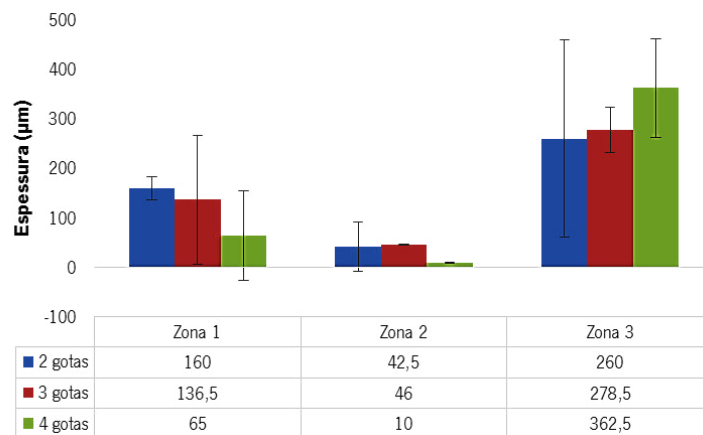


Figura 69. Variação da espessura ao longo das cápsulas do 3º ensaio de TGA em função da quantidade de *coating* PC88.

ANEXO VI – CORTES SECCIONAIS DO *COATING* PETERS 1301

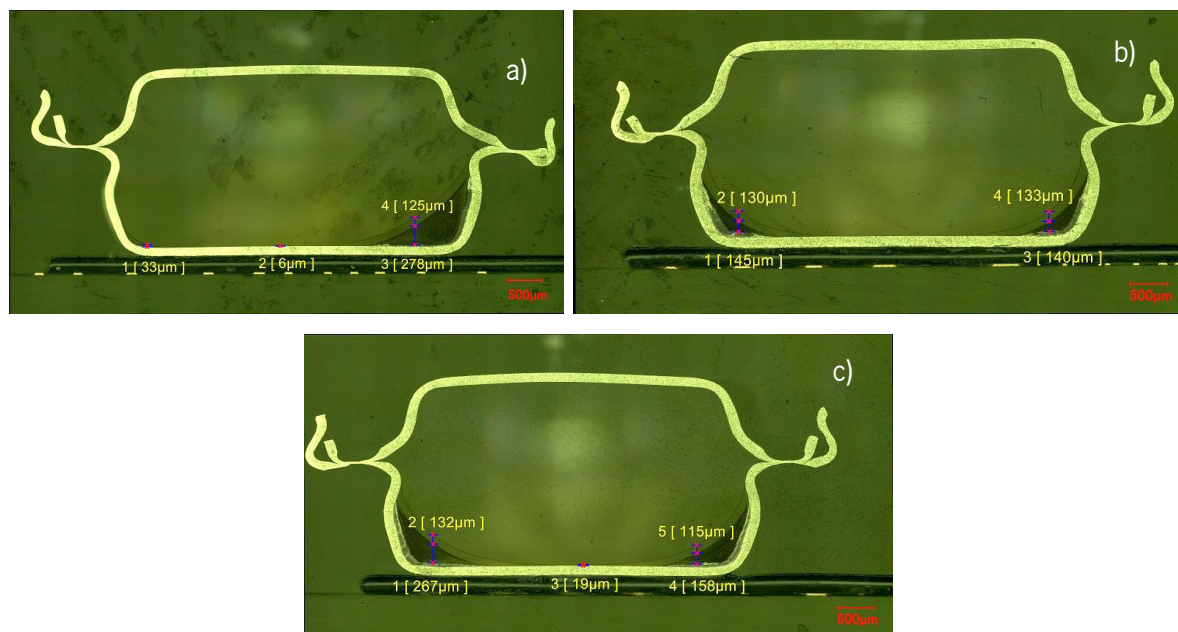


Figura 70. Cortes seccionais de cápsulas de DSC com 2 gotas de *coating* Peters 1301: a) 25°C; b) 85°C; c) 100°C.

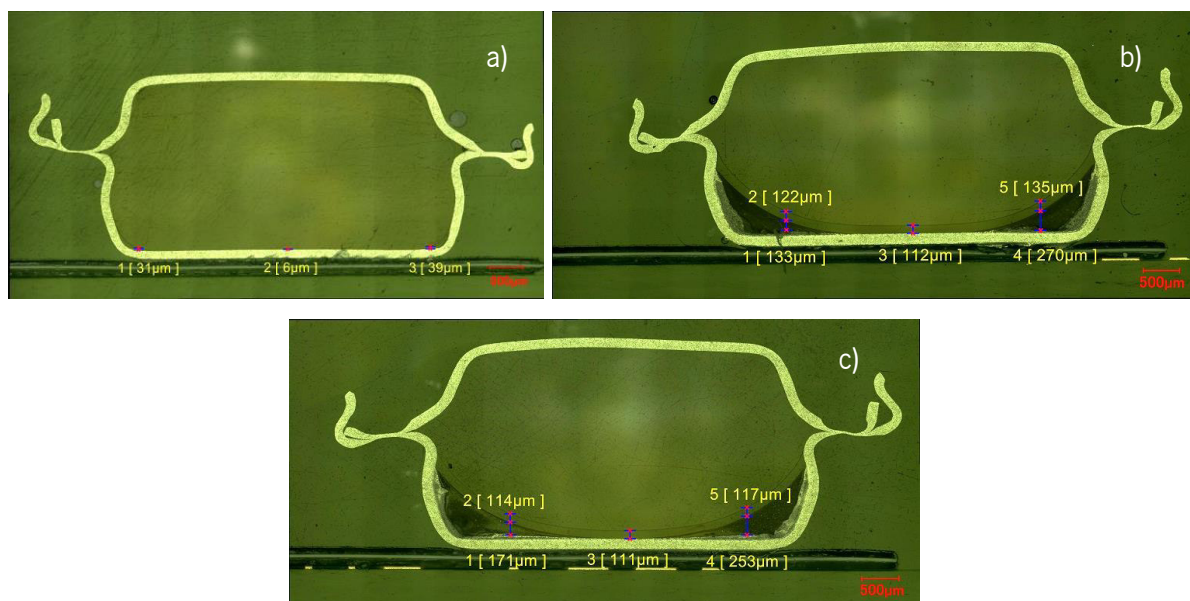
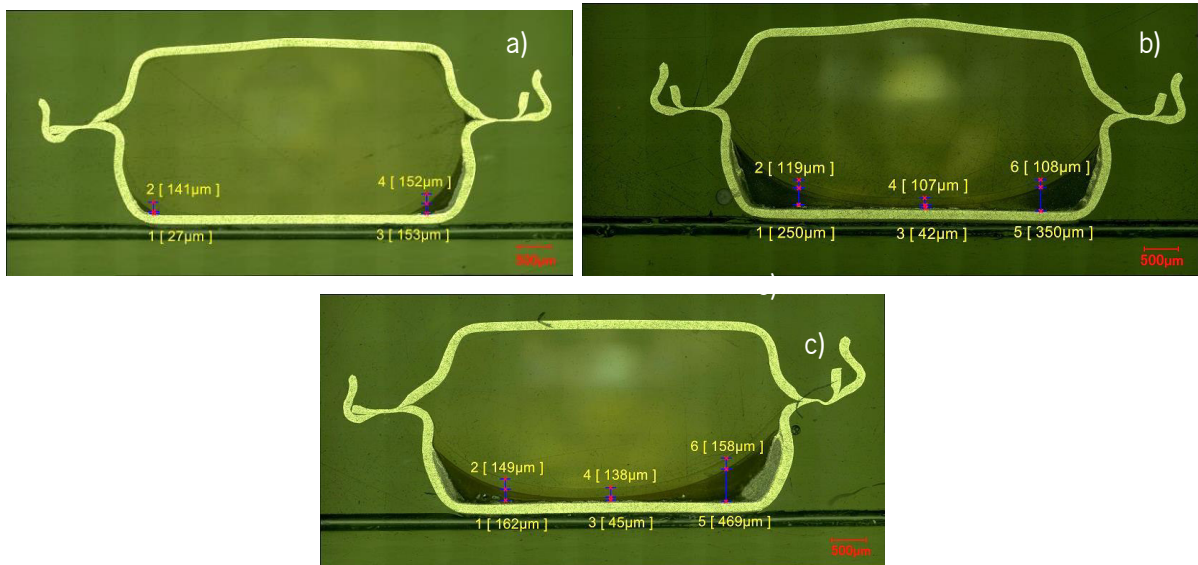


Figura 71. Cortes seccionais de cápsulas de DSC com 3 gotas de *coating* Peters 1301: a) 25°C; b) 85°C; c) 100°C.



Cortes seccionais de cápsulas de DSC com 4 gotas de *coating* Peters 1301: a) 25°C; b) 85°C; c) 100°C.

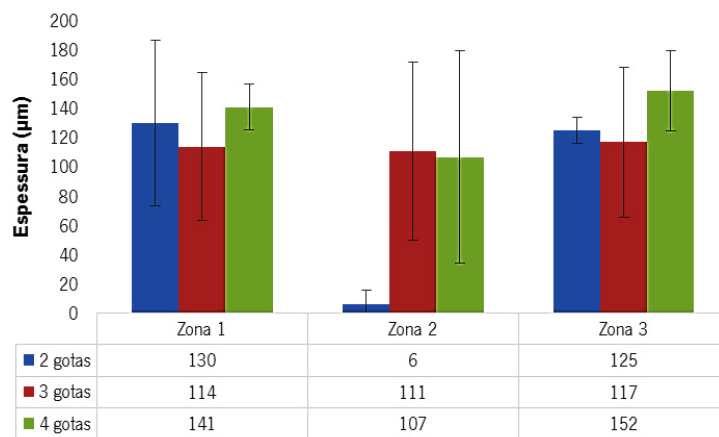


Figura 72. Variação da espessura ao longo das cápsulas do DSC em função da quantidade de *coating* Peters 1301.

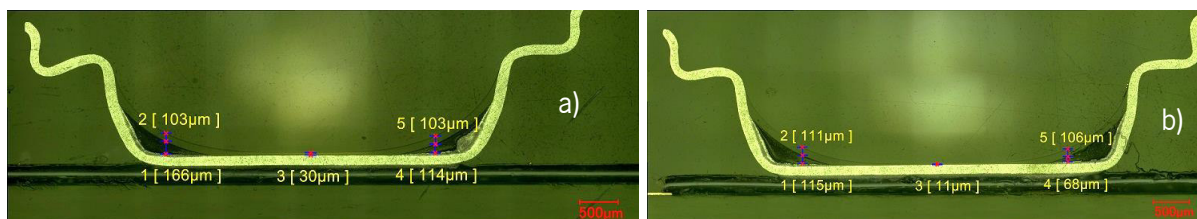


Figura 73. Cortes seccionais de cápsulas do 1º ensaio de TGA com 2 gotas de *coating* Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.

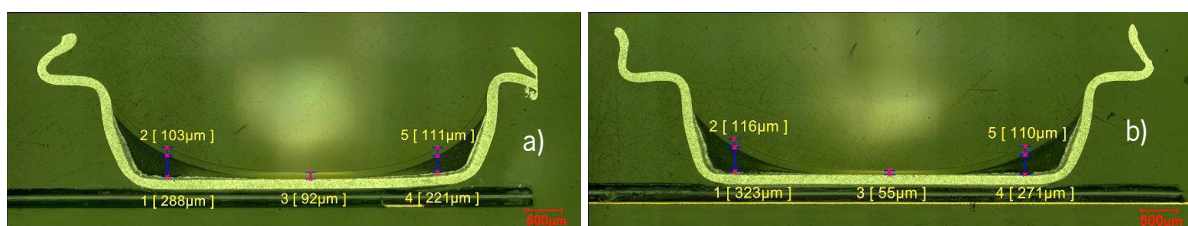


Figura 74. Cortes seccionais de cápsulas do 1º ensaio de TGA com 3 gotas de *coating* Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.

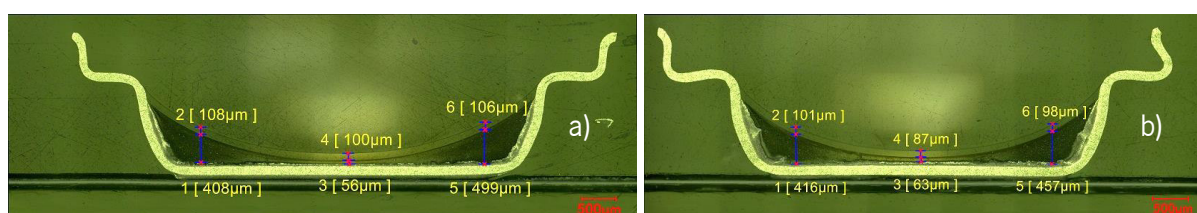


Figura 75. Cortes seccionais de cápsulas do 1º ensaio de TGA com 4 gotas de *coating* Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.

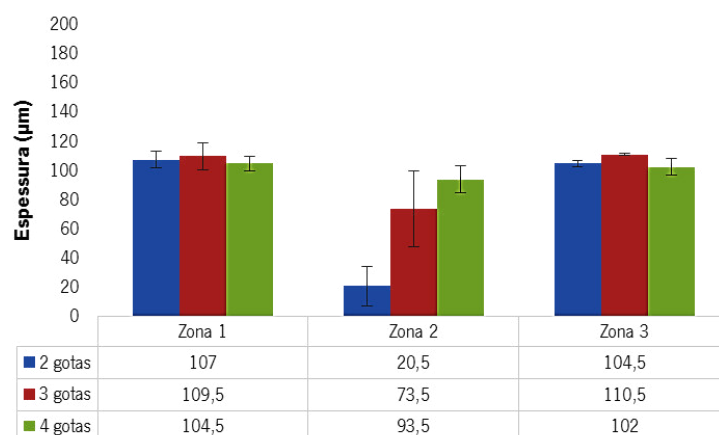


Figura 76. Variação da espessura ao longo das cápsulas do 1º ensaio de TGA em função da quantidade de *coating* Peters 1301.

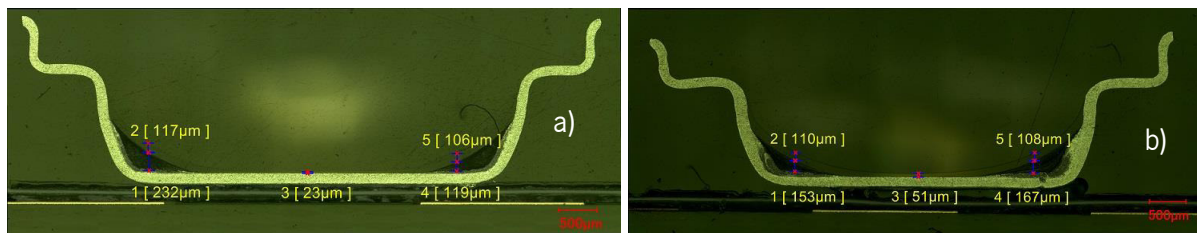


Figura 77. Cortes seccionais de cápsulas do 2º ensaio de TGA com 2 gotas de *coating* Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.

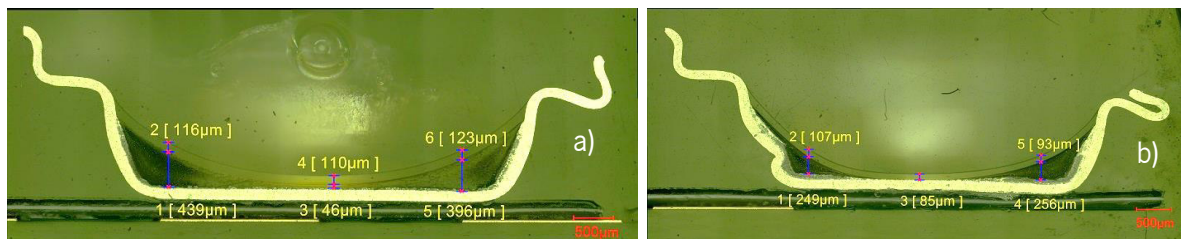


Figura 78. Cortes seccionais de cápsulas do 2º ensaio de TGA com 3 gotas de *coating* Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.

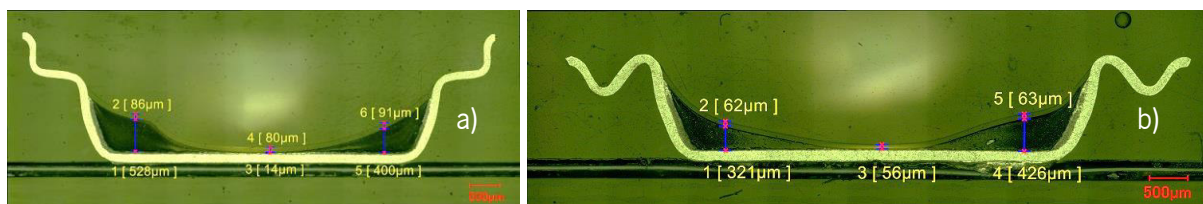


Figura 79. Cortes seccionais de cápsulas do 2º ensaio de TGA com 4 gotas de *coating* Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.

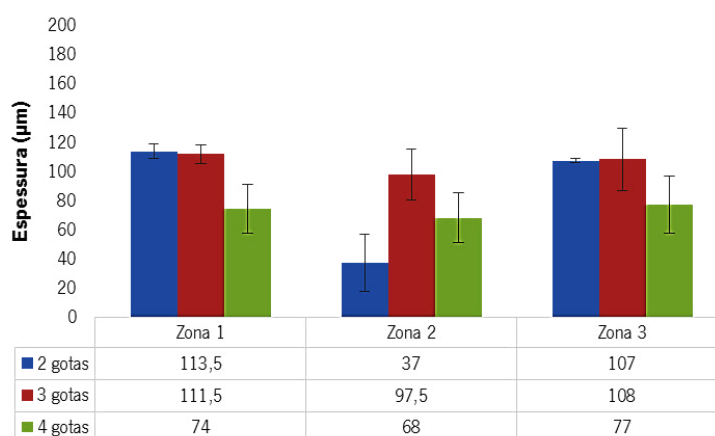


Figura 80. Variação da espessura ao longo das cápsulas do 2º ensaio de TGA em função da quantidade de *coating* Peters 1301.

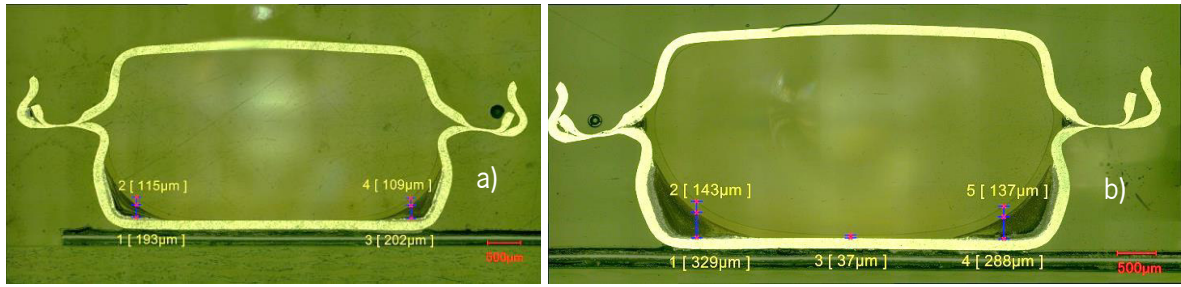


Figura 81. Cortes seccionais de cápsulas do 3º ensaio de TGA com 2 gotas de *coating* Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.

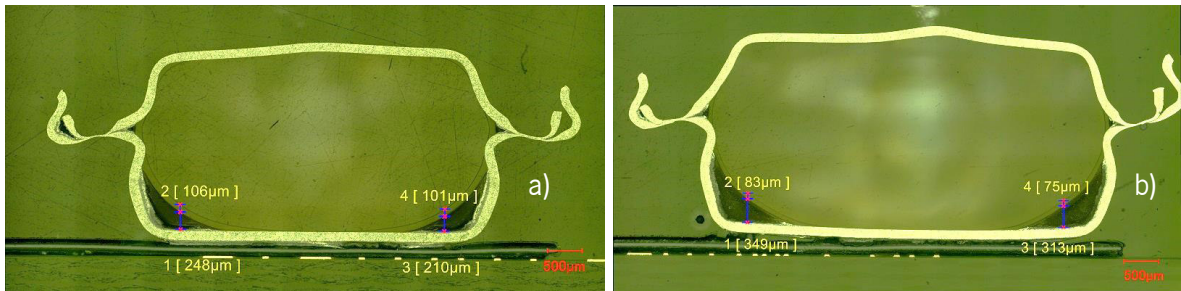


Figura 82. Cortes seccionais de cápsulas do 3º ensaio de TGA com 3 gotas de *coating* Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.

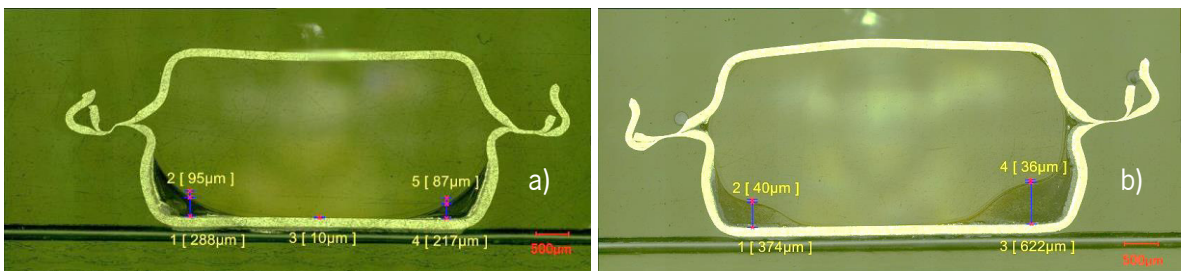


Figura 83. Cortes seccionais de cápsulas do 3º ensaio de TGA com 4 gotas de *coating* Peters 1301: a) 85°C; b) 100°C.

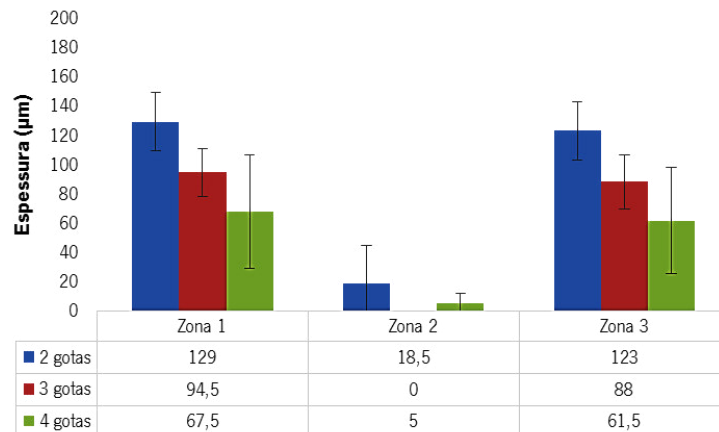


Figura 84. Variação da espessura ao longo das cápsulas do 3º ensaio de TGA em função da quantidade de *coating* Peters 1301.

