



# **CONTROLO DE QUALIDADE APLICADO A TUBAGENS DE AR CONDICIONADO AUTOMÓVEL**

**VANESSA SOFIA DIAS COELHO**

julho de 2020

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO  
PORTO**

Mestrado em Engenharia Química



**CONTROLO DE QUALIDADE APLICADO A  
TUBAGENS DE AR CONDICIONADO  
AUTOMÓVEL**

VANESSA COELHO

*Página intencionalmente em branco*

**CONTROLO DE QUALIDADE APLICADO A  
TUBAGENS DE AR CONDICIONADO  
AUTOMÓVEL**

Vanessa Sofia Dias Coelho

Dissertação Submetida para a Obtenção do Grau de Mestre em  
Qualidade

Departamento de Engenharia Química

10 de julho de 2020

*Página intencionalmente em branco*

Relatório da Unidade Curricular de Dissertação do 2º ano do Mestrado em Qualidade

Aluna Vanessa Coelho, Nº 1150568, 1150568@isep.ipp.pt

Período de estágio: 15 de setembro de 2019 a 30 de julho de 2020

Orientação Científica:

Professora Doutora Susana Sousa, sms@isep.ipp.pt

---

Engenheira Susana Almeida, susana.almeida@hutchinson.com

---

Empresa:



Mestrado em Qualidade  
Departamento de Engenharia Química



10 de julho de 2020

*Página intencionalmente em branco*

## **Declaração de Integridade**

Eu, Vanessa Sofia Dias Coelho, estudante do Mestrado de Qualidade em Engenharia Química do Instituto Superior de Engenharia do Porto, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração desta dissertação.

Confirmo que todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a auditoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele).

Alego ainda que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciados ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.

Porto, \_\_\_\_\_, de \_\_\_\_\_ de 2020

-----  
(Vanessa Coelho)

*Página intencionalmente em branco*

## **Agradecimentos**

À empresa Hutchinson que permitiu a realização deste estágio e me cedeu todos os meios necessários para a concretização da dissertação.

À Engenheira Marta Costa que sempre me auxiliou em todas as importantes decisões tomadas ao longo do estágio. Em especial à Engenheira Susana Almeida, ao Ricardo Pacheco, Vera Silva, Filipe Rodrigues e Andreia Teixeira por toda disponibilidade que dedicaram e por toda partilha de conhecimento.

À Professora Susana Sousa pela sua disponibilidade, dedicação, partilha de conhecimento e orientação deste trabalho.

Aos meus pais, José Coelho e Florinda Ferreira, pelo enorme esforço, dedicação e apoio, nunca me deixaram desanimar e devido a eles, foi possível a realização desta dissertação.

Ao meu namorado, Vítor Barros, que sempre me encorajou em todas as fases desta grande etapa da minha vida.

Por último, gostaria de agradecer à minha cunhada que sempre me apoiou e me ajudou quando mais precisei: Soraia Barros, um muito obrigado.

E a todas as pessoas que não mencionei, mas que sabem que fazem parte da minha vida e me guiaram na direção certa.

*Página intencionalmente em branco*

## Resumo

Esta dissertação foi desenvolvida no sentido de acompanhar e de estudar melhorias ao processo de produção de uma tubagem de ar condicionado automóvel, recorrendo a métodos de controlo de qualidade já implementados na empresa.

Para isso efetuou-se o controlo da formação de partículas, em algumas das operações de produção, através dos ensaios de limpeza externa e interna dos tubos de alumínio, um dos constituintes da tubagem de ar condicionado automóvel.

Para consolidação dos conhecimentos adquiridos, consideraram-se dois casos de estudo sobre a introdução de operações extra nas extremidades dos tubos de alumínio (a escovagem e o sopro) para otimização dos resultados obtidos na limpeza interna dos tubos. A análise morfológica das partículas recolhidas foi efetuada recorrendo a métodos gravimétricos e granulométricos e, a análise da composição química foi efetuada através da microscopia eletrónica de varrimento – microanálise por raio-X..

Numa perspetiva de aumentar os recursos internos de controlo de qualidade dos produtos, e para melhoria dos seus processos de produção, a empresa investiu em equipamentos que lhe permitem a realização de ensaios metalográficos. Este processo de aquisição e implementação decorreu durante o período experimental da dissertação onde foi possível acompanhar a implementação dos equipamentos e a elaboração de toda a documentação suporte à utilização dos mesmos.

Por último, realizou-se uma aplicação prática da calibração interna de paquímetros e da verificação interna de ferramentas de produção, punções e chaves de óbus.

### **Palavras – Chave:**

Limpeza Externa e Interna; Escovagem; Sopro; Partículas; Granulometria; Gravimetria; Microscópio de varrimento eletrónico; Metalografia; Gestão de calibrações e verificações;

*Página intencionalmente em branco*

## **Abstract**

This dissertation was developed to monitor and study improvements to the production process of an automotive air conditioning pipe, using quality control methods already implemented in the company.

For that, the formation of particles was controlled in some of the production operations, through the tests of external and internal cleaning of the aluminum tubes, one of the constituents of the automotive air conditioning piping.

To consolidate the knowledge acquired, two case studies were considered on the introduction of extra operations at the ends of the aluminum tubes (brushing and blowing) to optimize the results obtained in the internal cleaning of the tubes. The morphological analysis of the collected particles was carried out using gravimetric and granulometric methods, and the analysis of the chemical composition was carried out through scanning electron microscopy.

With a view to increasing internal resources for product quality control, and to improve its production processes, the company invested in equipment that allows it to perform metallographic tests. This acquisition and implementation process took place during the experimental period of the dissertation, where it was possible to monitor the implementation of the equipment and the preparation of all documentation supporting their use.

Finally, a practical application of the internal calibration of calipers and the internal verification of production tools, punches, and bus key was conducted.

### **Key words:**

External and Internal Cleaning; Brushing; Blowing; Particles; Granulometry; Gravimetry; Scanning electron microscope; Metallography; Management of calibrations and verifications.

*Página intencionalmente em branco*

## Notação e Glossário

AA - *Aluminum Association*

AI - Análise de Imagem

CA - Critério de Aceitação

CFC - Cúbica de Faces Centradas

CTU - Contamination Test Unit

FESEM - *Field Emission Scanning Electron Microscope*

LM - Microscópio Ótico

$m_c$  - Massa do contaminante

$m_f$  – Massa do contaminante final

$m_i$  – Massa do contaminante inicial

TRC - Tubos de Raios Catódicos

SEM - *Scanning Electron Microscope*

*Página intencionalmente em branco*

# Índice

<b>Resumo</b> .....	IX
<b>Abstract</b> .....	XI
<b>Índice</b> .....	XV
<b>Índice de Figuras</b> .....	XXI
<b>Índice de Tabelas</b> .....	XXV
<b>Capítulo I - Introdução</b> .....	1
1.1    Enquadramento e Apresentação do Projeto .....	1
1.2    A empresa Hutchinson e seus produtos .....	1
1.3    Organização da Tese.....	2
<b>Capítulo II – Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel</b> .....	5
2.1    Ensaio de Limpeza Externa .....	5
2.1.1    Teste da Caneta Pink .....	5
2.2    Ensaio de Limpeza Interna .....	6
2.2.1    Extração de partículas em banco de ensaio .....	8
2.2.1.1    Preparação da amostra para ensaio .....	8
2.2.1.1.1    Equipamentos e consumíveis .....	8
2.2.3    Preparação da Blank Membrane .....	11
2.2.4    Preparação da membrana de ensaio .....	11
2.2.5    Ensaio da amostra .....	12
2.3    Análise das Partículas.....	13
2.3.1    Análise gravimétrica.....	13
2.3.2    Análise Granulométrica .....	13
2.3.3    Microscopia eletrónica de varrimento.....	17
2.3.3.1    Funcionamento .....	17
2.3.3.2    Modos de imagem.....	18
2.3.3.2.1    Eletrões Secundários.....	19
2.3.3.3    Tipos de SEM.....	21
2.3.3.4    Caraterização da Amostra - Tubos de alumínio .....	22
2.3.3.4.1    Liga de Alumínio – Manganês (3XXX).....	26
2.3.3.4.2    Liga de Alumínio-Magnésio (5XXX).....	27
2.4    Casos de Estudo.....	28
2.4.1    Caso de Estudo I.....	28
2.4.1.1    Descrição das operações realizadas no processo de lavagem.....	28
2.4.1.2    Recolha de amostras .....	29

2.4.1.3	Condições do processo.....	30
2.4.1.5	Quantidade de amostras retiradas .....	30
2.4.1.6	Caracterização das amostras retiradas .....	30
2.4.1.7	Resultados.....	31
2.4.1.7.1	Análise Gravimétrica .....	31
2.4.1.7.2	Análise Granulométrica .....	33
2.4.1.7.2.1	Determinação das dimensões das partículas libertadas pela operação Curvatura .....	33
2.4.1.7.2.2	Dimensões das partículas libertadas pela operação Escovagem .....	35
2.4.1.7.2.3	Dimensões das partículas libertadas pela operação Sopros.....	36
2.4.1.7.2.4	Nível de limpeza segundo a Norma ISO 16232-10:2007 .....	37
2.4.1.8	Conclusões.....	38
2.4.2	Caso de Estudo II.....	39
2.4.2.1	Descrição do funcionamento da máquina de lavagem automática .....	39
2.4.2.2	Descrição das operações realizadas no processo de produção .....	42
2.4.2.3	Operações extra .....	42
2.4.2.5	Recolha de amostras .....	42
2.4.2.6	Caracterização de variáveis do processo .....	43
2.4.2.7	Quantidade de amostras retiradas .....	44
2.4.2.8	Caracterização das amostras retirada .....	44
2.4.2.9	Resultados .....	45
2.4.2.9.1	Análise do tempo da Operação Escovagem .....	45
2.4.2.9.2	Análise do tempo da Operação Sopros .....	46
2.4.2.9.3	Avaliação da Limpeza Externa – Teste <i>Pink</i> .....	47
2.4.2.9.4	Análise Gravimétrica .....	49
2.4.2.9.5	Análise Granulométrica .....	49
2.4.2.9.5.1	Definição dos parâmetros de análise do programa Filtrex.....	50
2.4.2.9.5.2	Comparação da dimensão mínima nas diferentes etapas .....	50
2.4.2.9.5.3	Comparação da dimensão média nas diferentes etapas .....	51
2.4.2.9.5.4	Comparação da dimensão máxima nas diferentes etapas .....	52
2.4.2.9.5.5	Comparação das dimensões das partículas entre os diferentes dias durante as etapas.....	52
2.4.2.9.5.6	Nível de limpeza segundo a Norma ISO 16232-10:2007 .....	55
2.4.2.9.6	Análise química das partículas por microscopia eletrónica de varrimento .....	57
2.4.2.10	Conclusões.....	61
<b>Capítulo III - Metalografia .....</b>		<b>63</b>

3.1	Preparação da Amostra .....	64
3.1.1	Equipamentos, Consumíveis e Reagentes Químicos.....	69
3.1.1.1	Equipamentos .....	69
3.1.1.2	Consumíveis .....	69
3.1.1.2.1	Discos Abrasivos .....	69
3.1.1.2.2	Resinas.....	69
3.1.1.2.3	Lixas .....	69
3.1.1.2.4	Panos de <i>Nylon</i> .....	71
3.1.1.3	Reagentes químicos .....	71
<b>Capítulo IV – Gestão de Calibrações e Verificações .....</b>		<b>73</b>
4.1	Calibrações Externas .....	74
4.2	Calibrações e Verificações Internas .....	74
4.2.1	Procedimento para Verificações e Calibrações Internas .....	74
4.2.1.1	Paquímetro - Digital .....	74
4.2.1.2	Manómetros, Régua Metálicas .....	75
4.2.1.3	Fitas Métricas .....	75
4.2.1.4	Chaves Dinamométricas .....	75
4.2.1.5	Chaves Aparafusadoras.....	76
4.2.1.6	Galgas, Sondas e Calibres.....	76
4.2.1.7	Chaves de Óbus e Punções .....	76
4.2.2	Período de Verificação e Calibração Interno .....	76
4.3	Aplicação prática: Verificação de ferramentas de produção e Calibração de equipamento de medição .....	77
4.3.1	Descrição das ferramentas de produção a verificar: Punção e Chave de óbus	78
4.3.1.1	Punção .....	78
4.3.1.2	Chaves de Óbus .....	78
4.3.2	Descrição do equipamento a calibrar: Paquímetro - Digital.....	79
4.3.3	Resultados .....	79
4.3.3.1	Punções.....	79
4.3.3.2	Chaves de Óbus .....	80
4.3.3.3	Paquímetros .....	81
4.3.3.3.1	Ensaio de Exatidão .....	82
4.3.4	Conclusões.....	83
<b>Capítulo V – Conclusões e Trabalho Futuro .....</b>		<b>85</b>
5.1	Conclusões .....	85
5.2	Trabalho Futuro.....	86
<b>Referências.....</b>		<b>87</b>

<b>Anexos</b> .....	89
<b>Anexo A</b> - Ficha de Segurança do Desodo.....	90
<b>Anexo B</b> – Excerto do Capítulo 10 da Norma ISO 16232 - 2007: Classes do Tamanho das Partículas.....	98
<b>Anexo C</b> - Ficha Técnica e cálculo da área dos Tubos para Ar Condicionado.....	100
<b>Anexo C 1</b> - Ficha técnica da Amostra utilizada no Caso de Estudo I.....	100
<b>Anexo C 2</b> - Ficha técnica da amostra do Caso de Estudo II para os dias 25, 26, 27 e 28. ....	101
<b>Anexo C 3</b> - Ficha técnico da amostra utilizada no Caso de Estudo II no dia 29.....	102
<b>Anexo C 4</b> – Cálculo da área da superfície molhada dos tubos.....	103
<b>Anexo D</b> - Resultados da Análise Gravimétrica.....	104
<b>Anexo D 1</b> - Resultados da análise gravimétrica do Caso de Estudo I.....	104
<b>Anexo D 2</b> - Resultados da análise gravimétrica do Caso de Estudo II.....	106
<b>Anexo E</b> - Resultados da Análise Granulométrica.....	111
<b>Anexo E 1</b> - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 1ª amostragem. Para Caso de Estudo I.....	111
<b>Anexo E 2</b> - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 2ª amostragem para Caso De Estudo I.....	119
<b>Anexo E 3</b> - Cálculo do tamanho mínimo, médio e máximo das partículas 1ª Amostragem Para Caso de Estudo I.....	128
<b>Anexo E 4</b> - Cálculo do tamanho mínimo, médio e máximo das partículas 2ª Amostragem Para Caso de Estudo I.....	130
<b>Anexo E 5</b> - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para o Caso De Estudo II.....	132
<b>Anexo E 5.1</b> - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 25/05/2020.....	132
<b>Anexo E 5.2</b> - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020.....	143
<b>Anexo E 5.3</b> - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020.....	155
<b>Anexo E 5.4</b> - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020.....	167
<b>Anexo E 5.5</b> - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020.....	179
<b>Anexo F</b> - Resultados para determinação do nível de limpeza.....	191
<b>Anexo F 1</b> - Resultados para determinação do nível de limpeza da amostragem para o Caso de Estudo I.....	191

<b>Anexo F 2</b> - Resultados para determinação do nível de limpeza da amostragem para o Caso de Estudo II .....	192
<b>Anexo G</b> - Registo dos tempos das operações extra à limpeza interna dos tubos .....	195
<b>Anexo G 1</b> - Registo dos tempos de Escovagem e de Sopro para o dia 25/05/2020.....	195
<b>Anexo G 2</b> - Registo dos tempos de Escovagem e de Sopro para o dia 26/05/2020.....	196
<b>Anexo G 3</b> - Registo dos tempos de Escovagem e de Sopro para o dia 27/05/2020.....	197
<b>Anexo G 4</b> - Registo dos tempos de Escovagem e de Sopro para o dia 28/05/2020.....	198
<b>Anexo G 5</b> - Registo dos tempos de Escovagem e de Sopro para o dia 29/05/2020.....	199
<b>Anexo H</b> - Resultados das análises do SEM .....	200
<b>Anexo H 1</b> - Caraterização química das partículas das etapas do dia 25/05 – Caso de Estudo II.....	200
<b>Anexo I</b> - Resultados das calibrações e verificações dos equipamentos de medição e de ferramentas de produção .....	210

*Página intencionalmente em branco*

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> - Exemplo de tubagem para transferência de fluidos de ar condicionado [3].	2
<b>Figura 2</b> - Teste da Caneta Pink.	5
<b>Figura 3</b> - Fluxo de produção de uma tubagem completa.	6
<b>Figura 4</b> - Máquina de lavar da linha de produção.	8
<b>Figura 5</b> - Constituição do banco de ensaio CTU.	9
<b>Figura 6</b> - Processo de filtração do CTU.	9
<b>Figura 7</b> - Controlo de vácuo e de ar comprimido.	10
<b>Figura 8</b> - Localização da membrana de nitrato de celulose no banco de ensaio CTU.	12
<b>Figura 9</b> - Resolução de pixels da análise da imagem [11].	14
<b>Figura 10</b> - Método de digitalização do Filtrex.	15
<b>Figura 11</b> - Contagem de partículas na área efetiva.	15
<b>Figura 12</b> - Exemplos da maior dimensão de uma partícula, X [8].	16
<b>Figura 13</b> - Constituição de um SEM (adaptado de [12]).	18
<b>Figura 14</b> - Constituição do SEM existente da Hutchinson.	22
<b>Figura 15</b> - A evolução do consumo do teor de alumínio por carro produzido na Europa [14].	23
<b>Figura 16</b> - Ligas de alumínio com e sem endurecimento estrutural [13].	26
<b>Figura 17</b> - Recristalização: ciclo de deformação plástica e recozido [13].	26
<b>Figura 18</b> - Diagrama de equilíbrio Al-Mn [13].	27
<b>Figura 19</b> - Diagrama de equilíbrio Al-Mg [13].	27
<b>Figura 20</b> - Sequência das operações de Processo.	28
<b>Figura 21</b> - Escova utilizada no processo de escovagem dos tubos.	29
<b>Figura 22</b> - Peça antes de Curvar (Peça A); Peça depois de curvar (Peça B).	30
<b>Figura 23</b> - Perda de massa devido ao rasgo da membrana.	31
<b>Figura 24</b> - Comparação da massa das partículas nas diferentes etapas em dois períodos diferentes de amostra.	32
<b>Figura 25</b> - Tamanho das partículas da 1ª amostragem para a operação curvatura.	33
<b>Figura 26</b> - Tamanho das partículas da 2ª amostragem para a etapa curvatura.	34
<b>Figura 27</b> - Dimensões mínimas, médias e máximas das partículas após curvatura da peça.	34
<b>Figura 28</b> - Tamanho das partículas da 1ª amostragem para a operação de escovagem.	35
<b>Figura 29</b> - Tamanho das partículas da 1ª amostragem para a operação de escovagem.	35
<b>Figura 30</b> - Dimensões mínimas, médias e máximas das partículas após escovagem da peça.	36
<b>Figura 31</b> - Tamanho das partículas da 1ª amostragem para a operação de sopro.	36
<b>Figura 32</b> - Tamanho das partículas da 2ª amostragem para a operação de sopro.	37
<b>Figura 33</b> - Dimensões mínimas, médias e máximas das partículas após o sopro da peça.	37
<b>Figura 34</b> - Nível de limpeza de cada etapa de limpeza.	38

<b>Figura 35</b> - Secções de funcionamento da máquina.....	40
<b>Figura 36</b> - Vista lateral e frontal da máquina de lavagem automática. ....	40
<b>Figura 37</b> - Robot associado à curvadora. ....	41
<b>Figura 38</b> - Constituição da curvadora. ....	41
<b>Figura 39</b> - Flange e casquilhos embutidos no tubo da amostra. ....	44
<b>Figura 40</b> - Flange embutida no tubo da amostra. ....	45
<b>Figura 41</b> - Tempos médios da operação escovagem em cada dia.....	46
<b>Figura 42</b> - Tempos médios da operação sopro em cada dia. ....	46
<b>Figura 43</b> - Resumo dos valores médios obtidos para as massas das partículas em cada etapa. ....	49
<b>Figura 44</b> - Parâmetros a definir no programa Filtrex. ....	50
<b>Figura 45</b> - Comparação dos valores médios para a dimensão mínima nos diferentes dias para cada etapa.....	51
<b>Figura 46</b> - Comparação dos valores médios para a dimensão média nos diferentes dias para cada etapa. ....	51
<b>Figura 47</b> - Comparação dos valores médios para a dimensão máxima nos diferentes dias para cada etapa.....	52
<b>Figura 48</b> - Tamanho das partículas nas diferentes etapas no dia 25/05. ....	53
<b>Figura 49</b> - Tamanho das partículas nas diferentes etapas no dia 26/05. ....	53
<b>Figura 50</b> - Tamanho das partículas nas diferentes etapas no dia 27/05. ....	53
<b>Figura 51</b> - Tamanho das partículas nas diferentes etapas no dia 28/05. ....	54
<b>Figura 52</b> - Tamanho das partículas nas diferentes etapas no dia 29/05. ....	54
<b>Figura 53</b> - Nível de limpeza na Etapa A. ....	55
<b>Figura 54</b> - Nível de limpeza na Etapa B.....	56
<b>Figura 55</b> - Nível de limpeza na Etapa C.....	56
<b>Figura 56</b> - Nível de limpeza na Etapa D. ....	57
<b>Figura 57</b> - Composição química das partículas da Etapa A. ....	58
<b>Figura 58</b> - Composição química das partículas da Etapa B.....	59
<b>Figura 59</b> - Composição química das partículas da Etapa C.....	60
<b>Figura 60</b> - Composição química de um pente de uma escova. ....	61
<b>Figura 61</b> - Esquema da sequência de etapas na preparação de uma amostra metalográfica [19]. .....	63
<b>Figura 62</b> - Processo Lixamento [19]. ....	66
<b>Figura 63</b> - Formação de células locais durante o ataque químico [19]. ....	67
<b>Figura 64</b> - Constituição do microscópio metalográfico [19]. ....	68
<b>Figura 65</b> - Riscos na superfície de uma amostra de ouro de 24 quilates, introduzida durante a operação de retificação fina em discos de carboneto de silício. Ampliação 100x [21]. ....	70
<b>Figura 66</b> - Efeito da retificação da deformação plástica [21]. ....	70

<b>Figura 67</b> - Exemplo de uma ficha técnica de um punção. ....	78
<b>Figura 68</b> - Exemplo de uma chave de óbus. ....	79
<b>Figura 69</b> - Exemplar de um paquímetro digital. ....	79
<b>Figura 70</b> - Ficha técnica dos punções analisados. ....	80
<b>Figura 71</b> - Ficha técnica da chave de Óbus. ....	81
<b>Figura 72</b> - Paquímetro a calibrar. ....	82
<b>Figura 73</b> - Blocos padrão utilizados na calibração do paquímetro. ....	82

*Página intencionalmente em branco*

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1</b> - Séries de alumínio utilizadas para fabrico de tubos constituintes de tubagens para ar condicionado automóvel [5][6].	7
<b>Tabela 2</b> - Classificação das classes de acordo com a dimensão das partículas.	16
<b>Tabela 3</b> - Utilização do alumínio nas peças dos automóveis (adaptado de [14]).	23
<b>Tabela 4</b> - Propriedades físicas e químicas do alumínio [13][16][17][18].	24
<b>Tabela 5</b> - Composição, propriedades e aplicações de algumas ligas de alumínio (adaptado de [13]).	25
<b>Tabela 6</b> - Método da recolha de amostras.	29
<b>Tabela 7</b> - Características do tubo usado como amostra.	30
<b>Tabela 8</b> - Resumo dos resultados da análise gravimétrica.	31
<b>Tabela 9</b> - Método da recolha de amostras.	42
<b>Tabela 10</b> - Registo dos valores medidos e estados das condições de operação para os dias 25 a 29.	43
<b>Tabela 11</b> - Características do tubo usado como amostra.	44
<b>Tabela 12</b> - Características do tubo usado como amostra.	45
<b>Tabela 13</b> - Registo dos resultados do teste Pink	48
<b>Tabela 14</b> - Seleção da forma de corte [19].	64
<b>Tabela 15</b> - Características dos diferentes tipos de resina a utilizar na embutição [19].	65
<b>Tabela 16</b> - Procedimento para preparação dos diferentes agentes químicos [23].	71
<b>Tabela 17</b> - Periodicidade genérica de cada equipamento [27].	77
<b>Tabela D 1. 1</b> - Registo de massa das partículas da primeira amostragem.	104
<b>Tabela D 1. 2</b> - Registo de massas das partículas da segunda amostragem.	104
<b>Tabela D 1. 3</b> - Registo dos valores médios e desvio padrão da primeira amostragem.	105
<b>Tabela D 1. 4</b> - Registo dos valores médios e desvio padrão da segunda amostragem.	105
<b>Tabela D 2. 1</b> - Registo de massas das partículas do 1º Dia (25/05/2020).	106
<b>Tabela D 2. 2</b> - Registo da média e desvio padrão das massas das partículas do 1º Dia (25/05/2020).	106
<b>Tabela D 2. 3</b> - Registo de massas das partículas do 2º Dia (26/05/2020).	107
<b>Tabela D 2. 4</b> - Registo da média e desvio padrão das massas das partículas do 2º Dia (26/05/2020).	107
<b>Tabela D 2. 5</b> - Registo de massas das partículas do 3º Dia (27/05/2020).	108
<b>Tabela D 2. 6</b> - Registo da média e desvio padrão das massas das partículas do 3º Dia (27/05/2020).	108

<b>Tabela D 2. 7</b> - Registo de massas das partículas do 4º Dia (28/05/2020). .....	109
<b>Tabela D 2. 8</b> - Registo da média e desvio padrão das massas das partículas do 4º Dia (28/05/2020).....	109
<b>Tabela D 2. 9</b> - Registo de massas das partículas do 5º Dia (29/05/2020). .....	110
<b>Tabela D 2. 10</b> - Registo da média e desvio padrão das massas das partículas do 5º Dia (29/05/2020).....	110
<b>Tabela E 3. 1</b> - Tamanho mínimo, médio e máximo das partículas após a curvatura das peças. ....	128
<b>Tabela E 3. 2</b> - Tamanho mínimo, médio e máximo das partículas após a escovagem das peças. ....	128
<b>Tabela E 3. 3</b> - Tamanho mínimo, médio e máximo das partículas após o sopro das peças. ...	129
<b>Tabela E 4. 1</b> - Tamanho mínimo, médio e máximo das partículas após a curvatura das peças. ....	130
<b>Tabela E 4. 2</b> - Tamanho mínimo, médio e máximo das partículas após a escovagem das peças. ....	130
<b>Tabela E 4. 3</b> - Tamanho mínimo, médio e máximo das partículas após o sopro das peças. ...	131
<b>Tabela F 1. 1</b> - Resultados do nível de limpeza para cada etapa de limpeza.....	191
<b>Tabela F 2. 1</b> - Resultados do nível de limpeza para cada etapa de limpeza para as amostras do caso de estudo II.....	192
<b>Tabela F 2. 2</b> - Resultados do nível de limpeza para cada etapa de limpeza para as amostras do caso de estudo II (Continuação). .....	193
<b>Tabela F 2. 3</b> - Resultados do nível de limpeza para cada etapa de limpeza para as amostras do caso de estudo II (Continuação). .....	194
<b>Tabela G 1. 1</b> - Registo dos tempos das operações Escovagem e Sopro para o dia 25/05/2020. ....	195
<b>Tabela G 2. 1</b> - Registo dos tempos das operações Escovagem e Sopro para o dia 26/05/2020. ....	196
<b>Tabela G 3. 1</b> - Registo dos tempos das operações Escovagem e Sopro para o dia 27/05/2020. ....	197

<b>Tabela G 4. 1</b> - Registo dos tempos das operações Escovagem e Sopro para o dia 28/05/2020. .....	198
<b>Tabela G 5. 1</b> - Registo dos tempos das operações Escovagem e Sopro para o dia 29/05/2020. .....	199
<b>Tabela I - 1</b> Resultados das medições das cotas críticas dos punções analisados. ....	210
<b>Tabela I - 2</b> Resultados das medições das cotas críticas da chave de óbus. ....	211
<b>Tabela I - 3</b> Resultados das medições das maxilas exteriores. ....	212
<b>Tabela I - 4</b> Resultados das medições das maxilas interiores. ....	212
<b>Tabela I - 5</b> Resultados das medições das hastes de profundidade. ....	213

*Página intencionalmente em branco*

# Capítulo I - Introdução

---

## 1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

Este estágio curricular, que integra o plano de estudos do 2º ano do mestrado em Engenharia Química no Instituto Superior de Engenharia do Porto, foi realizado na empresa Hutchinson-Tubos Flexíveis, Lda. Teve a orientação da Engenheira Susana Almeida da referida empresa e da Engenheira Susana Sousa do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O estágio teve início em setembro de 2019 com uma duração de oito horas semanais divididas em dois dias durante os primeiros quatro meses. Este período serviu não só para integração na empresa, mas também para iniciar a abordagem ao trabalho proposto para esta dissertação. Após este período, o estágio passou para uma duração de oito horas diárias durante cinco dias por semana, tendo sido interrompido pelo aparecimento da epidemia Covid-19.

O objetivo da tese foi aquisição de conhecimentos teóricos e práticos sobre o controlo de qualidade das tubagens de ar condicionado automóvel realizado na empresa Hutchinson.

Em conjunto com a empresa, definiram-se dois casos de estudo para aplicação dos conhecimentos adquiridos.

## 1.2 A empresa Hutchinson e seus produtos

A Hutchinson foi criada em 1853 em França, por Hiram Hutchinson, na cidade Châlette-Sur-Loing para a produção de botas de borracha, mas depressa se expandiu a outros produtos fabricados à base de borracha, nomeadamente pneus para bicicletas, chegando aos componentes automóveis e à indústria aeroespacial [1][2]. Em 1974 foi adquirida pela Total, uma multinacional líder no ramo do petróleo, com sede em França. Atualmente, a Hutchinson possui 87 unidades fabris distribuídas por 21 países e um volume de emprego de 25 448 trabalhadores [1].

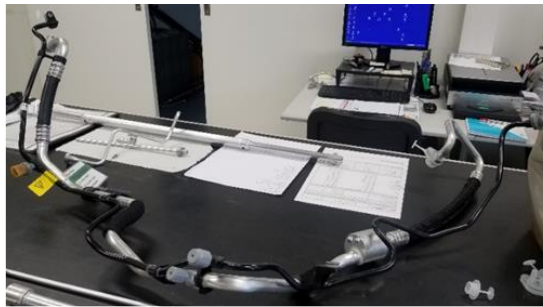
A Hutchinson possui três unidades fabris em Portugal. O presente trabalho realizou-se na unidade fabril do Porto.

A Hutchinson Porto é certificada pela IATF 16949: 2015 desde 2017 [2]. Esta unidade fabril produz e comercializa tubagens para transferência de fluidos de ar condicionado e de direção assistida. É um fornecedor TIER1 da indústria automóvel, quer isto dizer que, na cadeia de fornecimento, fornece diretamente as plataformas de montagem de veículos de diferentes marcas de automóveis: Renault, Peugeot / Citroen, Nissan, Daimler (Mercedes), Ford e OPEL. O maior volume de negócio está centrado nas tubagens de transferências de fluidos de ar condicionado. Podemos encontrar uma diversidade enorme de configurações nestas tubagens

pois, cada modelo de veículo tem o seu próprio design interior e estas tubagens são dimensionadas e projetadas ao detalhe de acordo com esse mesmo design. As tubagens podem ser:

- ✓ 100% rígidas, constituídas 100% em alumínio, ou,
- ✓ Combinadas. Estas são constituídas por uma parte rígida (alumínio/plástico) e uma parte flexível (mangueira).

Adicionalmente a cada configuração, podem-se encontrar associados diferentes acessórios/componentes (válvulas para enchimento do gás de ar condicionado, válvulas para medição da pressão, flanges nas extremidades da tubagem para permitirem a conexão a outros elementos do veículo, *brackets* para fixação da tubagem ao veículo, etc..). Na Figura 1 encontra-se exemplificada uma tubagem para transferência de fluidos de ar condicionado.



*Figura 1 - Exemplo de tubagem para transferência de fluidos de ar condicionado [3].*

A indústria automóvel rege-se por muitas normas e por requisitos específicos e restritos. A lista é extensa e bastante pormenorizada. Cada cliente, tem os seus requisitos específicos, e a Hutchinson como fornecedor tem de evidenciar o conhecimento e cumprimento desses mesmos requisitos. Para tal, são definidos planos de ensaios para controlo do produto e do processo, auditorias ao produto e ao processo, entre outros.

### 1.3 Organização da Tese

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos:

Capítulo I- No primeiro capítulo é identificado o objetivo do trabalho e a sua contextualização na empresa e nas suas áreas de negócio, fazendo-se uma apresentação da empresa e dos seus produtos.

Capítulo II- No segundo capítulo, são apresentados os métodos e os procedimentos dos ensaios de limpeza a nível externo e interno dos tubos e a análise das partículas tendo por base a gravimetria, granulometria e a microscopia eletrónica de varrimento. Para aplicação prática deste capítulo, são apresentados dois casos de estudo para avaliar a possível melhoria dos resultados de

limpeza interna dos tubos através da realização de operações extra ao processo normal de produção, escovagem e sopro.

Capítulo III- Neste capítulo é feita uma abordagem teórica à metalografia, que serviu de base à elaboração das instruções de utilização dos equipamentos necessários à realização deste tipo de ensaio.

Capítulo IV- Este capítulo aborda o modo como a Hutchinson faz a gestão das calibrações internas e externas e as verificações dos recursos de medição e monitorização.

Capítulo V- Por fim, este último capítulo apresenta as principais conclusões dos casos de estudo do capítulo II e, propostas de melhoria para trabalho futuro.

*Página intencionalmente em branco*

## Capítulo II – Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel

---

Um dos ensaios para controlo de qualidade do produto é o ensaio de limpeza para avaliar a limpeza externa e interna de um tubo [4].

### 2.1 Ensaio de Limpeza Externa

Durante o processo de produção, a superfície dos tubos pode entrar em contacto com as máquinas lubrificadas, nomeadamente, as máquinas de embutição de flanges e casquilhos. No entanto, após a lavagem automática, com o uso de detergentes e desgordurantes, os tubos permanecem com vestígios superficiais de óleo. Estes vestígios de óleo são analisados através de um método visual recorrendo ao teste da Caneta *Pink*. O ensaio de limpeza externa avalia assim, o nível de sujidade na superfície dos tubos.

#### 2.1.1 Teste da Caneta *Pink*

O teste da Caneta *Pink* consiste numa avaliação simples e prática da limpeza externa dos tubos. A solução *Pink* é constituída por dietilenoglicol e 2- metil-2,4-pentanodiol e, perante o contacto com superfícies gordurosas, produz um risco desfocado como se verifica na Figura 2. A produção do risco desfocado deve-se a fraca adesão entre a gordura presente na superfície do tubo e a solução *Pink*. Através deste teste analisou-se grau de limpeza externa do tubo.



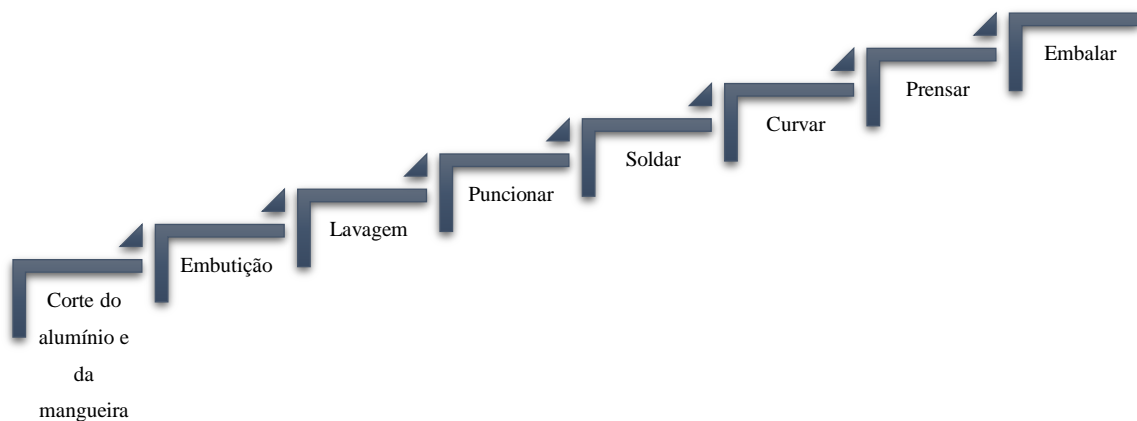
Figura 2 - Teste da Caneta *Pink*.

Este método de ensaio está em desenvolvimento, pelo que os resultados obtidos serão apenas indicativos.

### 2.2 Ensaio de Limpeza Interna

O ensaio de limpeza interna consiste na avaliação de partículas livres no interior dos tubos, que com a utilização do veículo podem levar à rutura da tubagem, ou ao dano de outras peças do automóvel. Durante o processo de produção de uma tubagem, os tubos sofrem transformações mecânicas sujeitas a tensões que provoca a libertação de partículas. A ausência total de partículas é impossível de se obter, devido aos processos de produção utilizados e às características das matérias-primas utilizadas, existindo especificações que definem a dimensão e quantidade admissível de partículas numa tubagem.

O ensaio de limpeza interno pode ser realizado a tubagens completas ou semi-completas. Entende-se por uma tubagem completa, uma tubagem que passou por todas as operações de produção e embalagem e que está pronta para ser expedida para o cliente. Uma tubagem semi-completa, é uma tubagem que não passou por todas as operações de produção e que não está pronta para ser expedida para o cliente. Poderá ser também denominada de componente da tubagem completa. Na Figura 3 é apresentado um exemplo de um fluxo de produção de uma tubagem completa:



*Figura 3 - Fluxo de produção de uma tubagem completa.*

Dependendo das operações pela qual a tubagem vai passar, a qualidade da matéria-prima pode influenciar na performance das operações de produção e, conseqüentemente, o resultado do ensaio de limpeza. No caso do alumínio, as diferentes séries de alumínio utilizadas para produção de tubos diferem na composição química. A denominação das séries de alumínio segue o sistema de classificação da *Aluminum Association* (AA) em que a série 1XXX identifica o alumínio

## Capítulo II - 2. Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel

comercialmente puro em diferentes graus de pureza, desde 99,00 % (denominado 1000) até 99,99 % (denominado 1099) [5]. Neste sistema, os dois últimos algarismos referem-se ao grau de pureza da liga, ou seja, até à casa centesimal acima de 99,00 %. Assim sendo, o alumínio comercialmente puro com 99,50 % de alumínio é conhecido como 1050 [5]. O alumínio comercialmente puro caracteriza-se pelas elevadas condutividades térmica e elétrica e pela baixa resistência mecânica, ao contrário das ligas de alumínio (séries 2XXX a 8XXX).

As séries utilizadas para o fabrico dos tubos são AA 3XXX e AA 5XXX. Na Tabela 1 encontram-se as ligas de alumínio utilizadas [5][6].

*Tabela 1 - Séries de alumínio utilizadas para fabrico de tubos constituintes de tubagens para ar condicionado automóvel [5][6].*

Série	Elemento de liga principal
AA 3XXX	Mn
AA 5XXX	Mg

Como se pode verificar na Figura 1, a tubagem pode ser constituída por tubos de alumínio que foram curvados e soldados. Desta forma, é exigido que o material tenha não só uma elevada ductilidade, mas também boa resistência à soldabilidade [5]. Estas características são atribuídas ao alumínio pela presença do magnésio na liga 3XXX. Além disto, o magnésio não afeta significativamente a formação da camada de óxido de alumínio,  $Al_2O_3$ , formada na superfície do alumínio quando exposto a oxigénio. Assim sendo, permite que a resistência à corrosão exigida se mantenha para o fim do produto. A série 5XXX possui ligas de alumínio em que a percentagem de magnésio varia entre 3 e 5% [5]. Esta série possui propriedades intermédias entre as ligas da série 3XXX e das ligas endurecíveis por precipitação (ligas Al-Cu, Al-Mg-Si e Al-Zn-Mg, séries 2XXX, 6XXX e 7XXX, respetivamente).

Conforme referido anteriormente, para garantir que o produto final cumpra as especificações do cliente, durante o processo de produção são definidos controlos produto/processo que garantem o cumprimento das especificações. Para o caso específico da limpeza interna dos tubos, uma das operações de produção é a lavagem. Esta é realizada a tubagens semi-completas (componentes)

O objetivo é a remoção de partículas e também de resíduos de óleo que possam ter ficado das etapas de produção anteriores. As máquinas de lavar diferem de acordo com as dimensões do tubo. Na Figura 4 encontra-se um exemplar de uma máquina de lavar.



*Figura 4 - Máquina de lavar da linha de produção.*

Após a lavagem de componentes, foi definido um ponto de controlo para garantir a qualidade produto/processo, ou seja, a realização de ensaios de limpeza aos componentes lavados.

#### 2.2.1 Extração de partículas em banco de ensaio

Para a realização do controlo de limpeza interna dos tubos foi necessário a extração das partículas. O método utilizado para a extração das partículas de uma amostra em banco de ensaio segue a norma ISO16232-5:2007 [7].

##### 2.2.1.1 Preparação da amostra para ensaio

Cuidados a considerar na preparação da amostra para ensaio:

- Deve ser retirada da produção após conclusão de todas as operações objeto de análise de limpeza.
- Deve ser embalada em saco plástico de modo a proteger de possíveis contaminações durante o transporte e o tempo de espera até realização do ensaio.

##### 2.2.1.1.1 Equipamentos e consumíveis

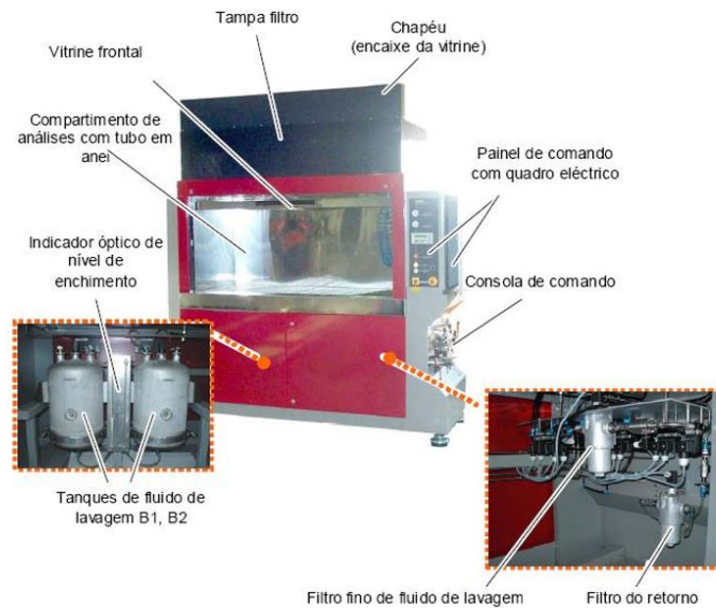
Os equipamentos utilizados durante os ensaios de limpeza interna dos tubos foram:

- Banco de ensaio CTU

O banco de ensaio CTU é um dos equipamentos utilizados para medir o nível de limpeza da superfície interna dos sistemas de transferência de fluidos. O equipamento utilizado foi da marca

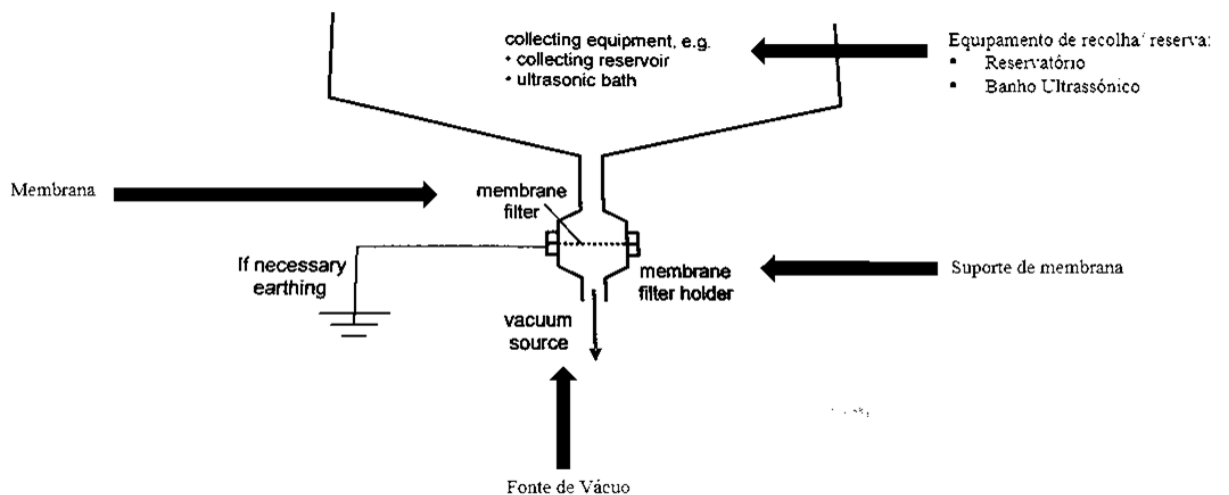
## Capítulo II - 2. Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel

HYDAC do modelo 2200. Na Figura 5 encontra-se esquematizada a constituição do banco de ensaio CTU.



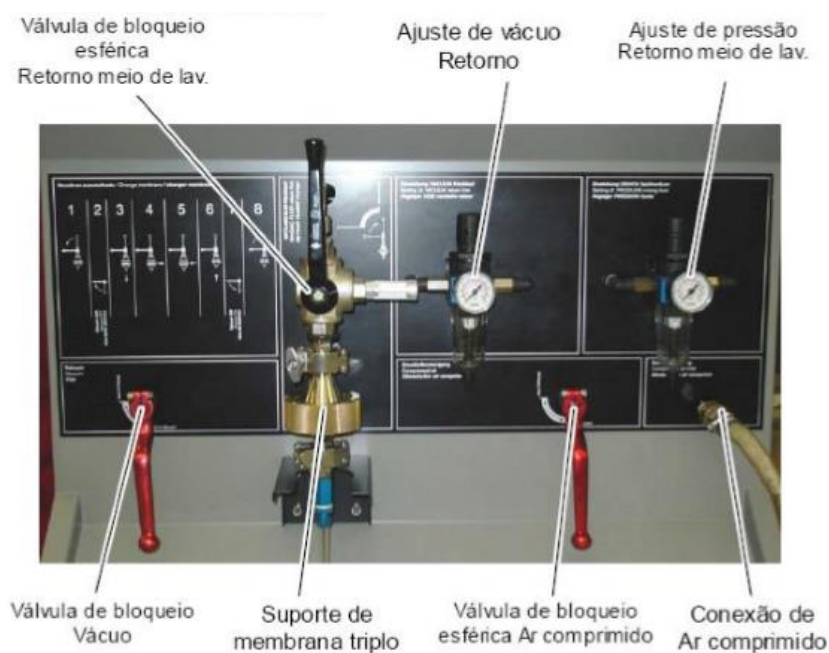
*Figura 5 - Constituição do banco de ensaio CTU.*

Analisando a Figura 5, os tanques de fluido de lavagem B1 e B2 são os tanques de armazenamento do líquido de lavagem (Desodo 58) que tem uma circulação em circuito fechado. Estes possuem uma capacidade de cerca de 8 litros. No compartimento de análises colocou-se a amostra para a realização do ensaio. O Desodo 58 utilizado nos ensaios foi filtrado pela membrana de nitrato de celulose. A filtração foi auxiliada pela passagem de vácuo que força a passagem do Desodo 58 na membrana como se pode observar na Figura 6.



*Figura 6 - Processo de filtração do CTU.*

A membrana foi colocada no suporte de membrana triplo como se observa na Figura 7. O controlo do vácuo e do ar comprimido foi realizado pelas válvulas indicadas na Figura 7.



**Figura 7 - Controlo de vácuo e de ar comprimido.**

- Pinça
- Estufa por convecção com capacidade de funcionamento a  $80 \pm 5^\circ\text{C}$
- Balança analítica com precisão de 0,01mg
- Exsicador
- Scanner (marca: *Epson Perfection* e modelo: *V700 PHOTO*).

Os consumíveis utilizados durante os ensaios de limpeza interna dos tubos foram: fluido de ensaio Desodo 58 (ver ficha de segurança no Anexo A), caixa de *Petri*, lâminas de vidro, fita-cola e membrana de nitrato de celulose de porosidade  $5 \mu\text{m}$  e de diâmetro 47 mm (marca *Whatman*).

Na escolha da membrana a utilizar deve ser considerado [8]:

- O diâmetro dos poros:
  - Deve ser adequado ao tamanho mínimo de partículas a serem analisadas
  - Deve evitar a sobreposição das partículas
  - Deve ser compatível com o fluido de ensaio utilizado para limpeza da amostra de forma a evitar que esta seja dissolvida pelo fluido.

O procedimento adotado segue a norma ISO 16232-5:2007-*Road vehicles-Cleanliness of componentes of fluid circuits* [7].

### *2.2.3 Preparação da Blank Membrane*

O nível de limpeza no banco de ensaio CTU bem como o das membranas a utilizar nos ensaios, tem de ser o máximo, de forma a que os contaminantes não consigam contribuir significativamente para o resultado [8]. Assim sendo, foi necessário limpar previamente o equipamento pois poderia conter contaminação (ar ambiente, fluido de ensaio, etc., ...). Para isso, foi colocada uma membrana no suporte do equipamento e passar fluido de ensaio até que não fossem visíveis partículas na membrana.

### *2.2.4 Preparação da membrana de ensaio*

O procedimento para a preparação da membrana de ensaio consistiu em:

1. Calcular o volume de fluido de ensaio a passar na amostra em função da área interna da amostra a ensaiar. A área corresponde à superfície molhada no interior do tubo e foi calculada segundo a fórmula (1):

$$\text{Área} = l \times \pi \times D_{\text{interno}} \quad (1)$$

Em que,

$l$  - Comprimento do tubo, cm

$D_{\text{interno}}$  – Diâmetro interno do tubo, cm

A unidade da área da superfície molhada deverá ser em  $\text{cm}^2$  visto que o programa utilizado para contagem das partículas realiza uma extrapolação para  $1000 \text{ cm}^2$  como o indicado na norma 16232-10:2007-*Road vehicles- Cleanliness of componentes of fluid circuits-Part 10: Expression of results* [9].

2. Verificar se a pressão de rede e do banco de ensaio se encontrava a  $7 \pm 1$  bar;
3. Com a ajuda da pinça colocar a membrana de  $5 \mu\text{m}$  no suporte de membrana triplo e molhá-la com o fluido de ensaio;
4. Colocar a membrana numa caixa de *Petri*;
5. Colocar a caixa de *Petri* na estufa a  $80 \pm 5$  ° C durante aproximadamente 30 minutos;
6. Retirar a caixa de *Petri* da estufa e colocá-la no exsiccador durante cerca de 30 minutos a 2 horas;

7. Retirar a caixa de *Petri* do exsicador e deixar arrefecer;
8. Retirar a membrana da caixa de *Petri* e pesar na balança;
9. Anotar a massa  $m_i$  (massa inicial em mg);
10. Colocar a membrana novamente na caixa de *Petri*.

### 2.2.5 Ensaio da amostra

O procedimento para a realização do ensaio consistiu em:

1. Com a ajuda das pinças colocar a membrana do procedimento anterior no suporte de membrana do equipamento, como se verifica na Figura 8:



*Figura 8 - Localização da membrana de nitrato de celulose no banco de ensaio CTU.*

2. Retirar a amostra do saco plástico e colocá-la no compartimento de análise;
3. Programar no CTU o volume de fluido de ensaio a passar na amostra;
4. Aplicar 50% do volume de fluido de ensaio numa das extremidades da amostra;
5. Aplicar o restante volume na outra extremidade da amostra;
6. Passar entre 2 e 3 litros de fluido de ensaio no compartimento de análise por forma a escoar todas as partículas que possam ter ficado no circuito;
7. Com a ajuda da pinça, retirar a membrana do suporte;
8. Colocar a membrana na caixa de *Petri*;
9. Colocar a caixa de *Petri* na estufa durante aproximadamente 30 minutos a  $80 \pm 5^\circ\text{C}$ ;
10. Retirar a caixa de *Petri* da estufa;
11. Retirar a membrana da caixa de *Petri* e colocá-la no exsicador durante 30 minutos a 2 horas;
12. Retirar a membrana do exsicador e pesar na balança;
13. Anotar a massa  $m_f$  (massa final em mg);
14. Com a pinça colocar a membrana entre as lâminas de vidro;
15. Selar as lâminas de vidro com fita-cola e identificar a amostra na lâmina superior.

### 2.3 Análise das Partículas

#### 2.3.1 Análise gravimétrica

A gravimetria é um método analítico quantitativo baseado na medida indireta da massa de um ou mais componentes da amostra [10]. Essa massa é obtida a partir da diferença das massas das membranas antes e depois do ensaio de extração de partículas, segundo a equação 2 [8]:

$$m_c = m_f - m_i \quad (2)$$

Sendo que,

$m_c$  - Massa do contaminante em mg;

$m_f$  - Massa do contaminante final em mg;

$m_i$  - Massa do contaminante inicial em mg;

O procedimento adotado segue a norma ISO 16232-6:2007-*Road vehicles-Cleanliness of componentes of fluid circuits* [8]. Este consistiu em:

1. Colocar a membrana de nitrato de celulose na estufa durante 30min. a 80°C;
2. Seguidamente, arrefecer num exsiccador por 2 horas;
3. Após o arrefecimento, pesar a membrana numa balança digital com 5 casas decimais e efetuar o ensaio de limpeza interna;
4. No fim do ensaio, retirar a membrana com uma pinça e colocar na estufa durante 30min. a 80°C;
5. Arrefecer num exsiccador por 2 horas;
6. Pesar a membrana na balança digital. Através da diferença de massas quantificar as partículas presentes na membrana [8].

Para complementar a análise gravimétrica das partículas libertadas no processo de produção dos tubos foi, também, efetuada análise granulométrica.

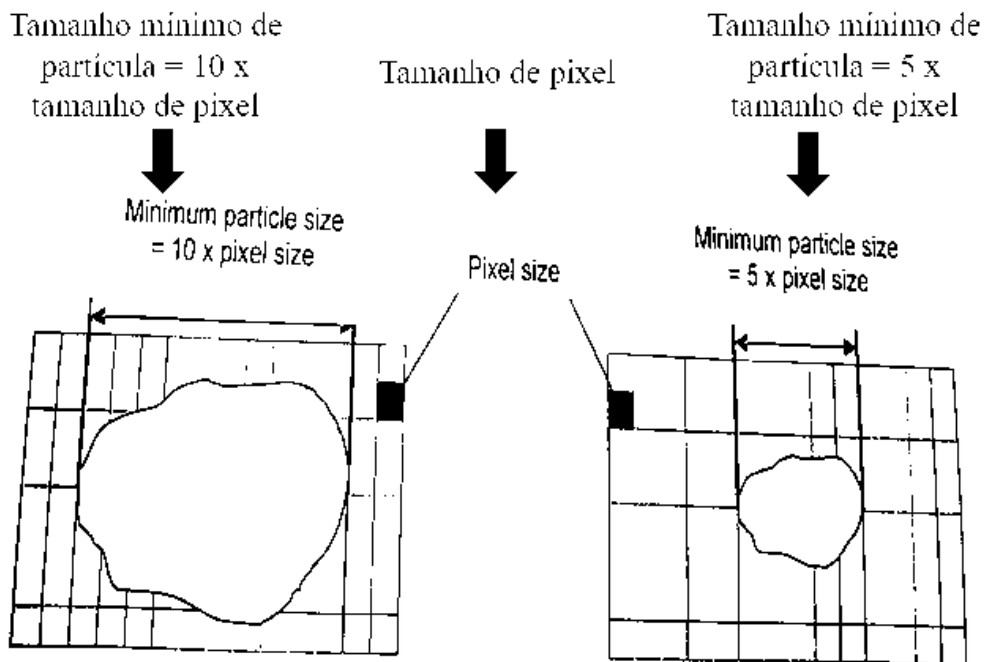
#### 2.3.2 Análise Granulométrica

A determinação da granulometria consistiu na determinação e na classificação da dimensão de partículas retidas nas membranas de nitrato de celulose dos ensaios de limpeza interna.

O equipamento utilizado para aquisição de imagem foi um *scanner* de marca *Epson Perfection* e de modelo *V700 PHOTO*. A escala de medição para as dimensões das partículas utilizada por este equipamento foi o micrómetro.

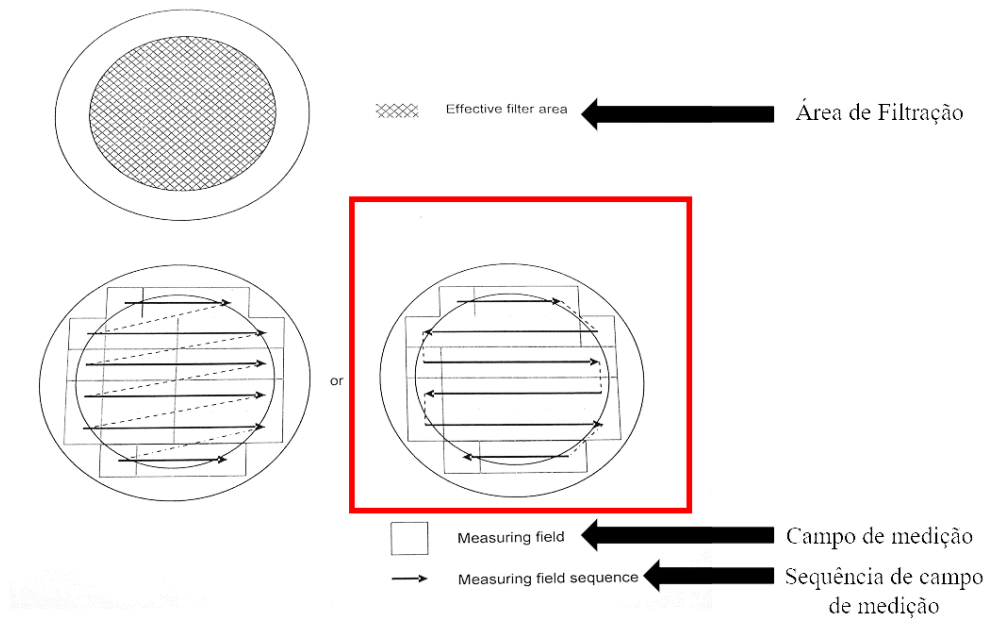
A análise pode ser realizada de forma manual ou automática recorrendo a técnicas de análise de imagem, (AI). O equipamento disponível para contagem das partículas encontra-se conectado a um computador que possui o software *Filtrex* que digitaliza e amplia a imagem. A contagem no laboratório da *Hutchinson* é manual e, portanto, mais propícia a erros aleatórios e sistemáticos.

O método de determinação do tamanho de partículas adotado pelo *Filtrex* baseia-se no contraste criado entre a partícula e a superfície do filtro pela passagem de um feixe de luz que ilumina homogeneamente o campo de visão. Este contraste é obtido pelo ajuste da intensidade de iluminação. A imagem é ampliada opticamente através de um software que possui técnicas de AI que separa as partículas do fundo do filtro criando um contraste entre as partículas e a membrana através de uma escala de valores de cor cinza (256 tons de cinza), variando entre o preto e o branco. Ao determinar o tom de cinza limite, todos os pontos da imagem e os pixels correspondentes abaixo deste limite são classificados como partículas e o ponto acima deste limite como membrana. Após a identificação das partículas foi possível determinar as suas dimensões através do software. Como se verifica na Figura 9, a resolução em pixels ( $\mu\text{m} / \text{pixel}$ ) deve ser  $\leq \frac{1}{10}$  do menor tamanho da partícula a ser medido para partículas de dimensões  $\leq 20 \mu\text{m}$  [11].



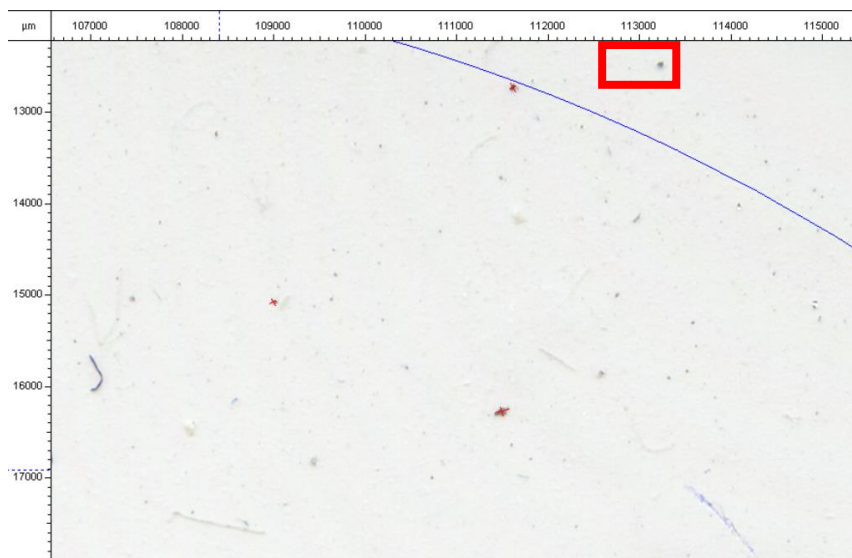
**Figura 9 - Resolução de pixels da análise da imagem [11]**

Na Figura 10, encontra-se o método de digitalização do Filtrex, de modo a combinar os dados obtidos com a gravação de várias imagens ao longo da digitalização, a fim de se realizar uma análise abrangente das partículas da área efetiva da membrana.



**Figura 10 - Método de digitalização do Filtrex.**

O método de digitalização utilizado pelo *Filtrex* é o evidenciado no retângulo vermelho da Figura 10. A contagem das partículas apenas se realiza na área efetiva da membrana. Assim sendo, a ocorrência de erros é mais provável visto que partículas que fiquem retidas nos limites da membrana não serão contabilizadas, como se verifica na Figura 11.



**Figura 11 – Contagem de partículas na área efetiva**

O tamanho da partícula é feito de acordo com a maior dimensão da partícula conforme a Figura 12 [8].

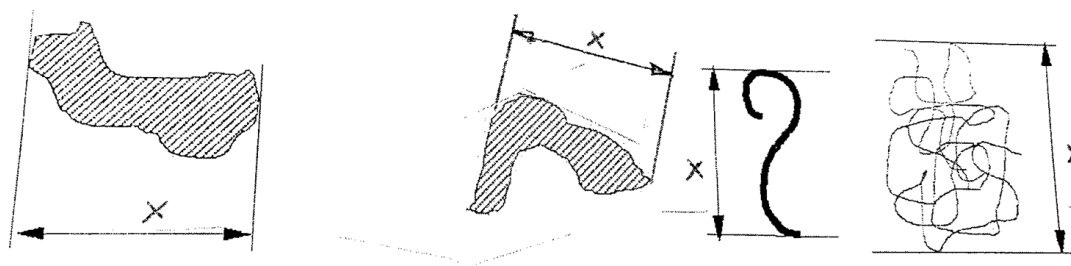


Figura 12 - Exemplos da maior dimensão de uma partícula, X [8].

A distribuição do tamanho das partículas é classificada em classes. Estas são utilizadas para elaboração das distribuições granulométricas são baseadas na Norma ISO 16232-10:2007 às quais estão associadas uma letra conforme a Tabela 1 do Anexo B. [9]

Os cadernos de encargos dos clientes consideram a quantidade das partículas e a sua dimensão. Assim sendo, na Tabela 2 encontram-se as classes a utilizar na análise granulométrica.

Tabela 2 - Classificação das classes de acordo com a dimensão das partículas.

Classe	Dimensão das Partículas ( $\mu\text{m}$ )
B - G	15 - 200
H	200 - 400
I - J	400 - 1000
K	> 1000

Para a realização dos ensaios granulométricos foi necessário o conhecimento de:

- 1) Volume húmido,  $V_c$ , ou área de superfície molhada,  $A_c$ , ou razão  $\frac{V_c}{A_c}$  do componente  $i$ ;
- 2) Número de componentes analisados;
- 3) Massa total de contaminantes extraídos em mg.

A área da superfície molhada corresponde à área superficial interna do tubo. Esta quantifica a quantidade de Desodo 58 a utilizar no ensaio de limpeza que influencia as análises gravimétricas e granulométricas. Sendo as amostras tubos, a área superficial corresponde à área interna de um cilindro de acordo com a equação (1).

Como referido anteriormente, a contagem das partículas foi efetuada de forma manual no programa *Filtrex* utilizado nos ensaios de limpeza. Este programa faz uma extrapolação do número de partículas para uma área de 1000 cm<sup>2</sup> conforme o indicado na norma ISO 16232-

10:2007 *Road vehicles-Cleanliness of componentes of fluid circuits-Part 10: Expression of results* [9]. As partículas contadas são separadas de acordo com os seus tamanhos formando uma classe. A cada classe é associada uma letra como está indicado na Tabela 1 do Anexo B [11]. É ainda, é possível analisar o nível de limpeza recorrendo à Tabela 2 do Anexo B [11].

### *2.3.3 Microscopia eletrónica de varrimento*

A primeira aplicação da microscopia eletrónica de varrimento (SEM) ocorreu no século XX. Foi Von Ardenne, em 1938, que estabeleceu os princípios básicos do SEM, nomeadamente, a formação do feixe de eletrões e a sua deflexão, a posição dos detetores e a forma de amplificar o sinal do fluxo de eletrões. Após 10 anos, Charles Oatley juntamente com os seus alunos, demonstrou a capacidade do SEM em revelar a natureza tridimensional das superfícies das amostras. Em 1965 foi produzido o primeiro SEM comercial [12].

#### 2.3.3.1 Funcionamento

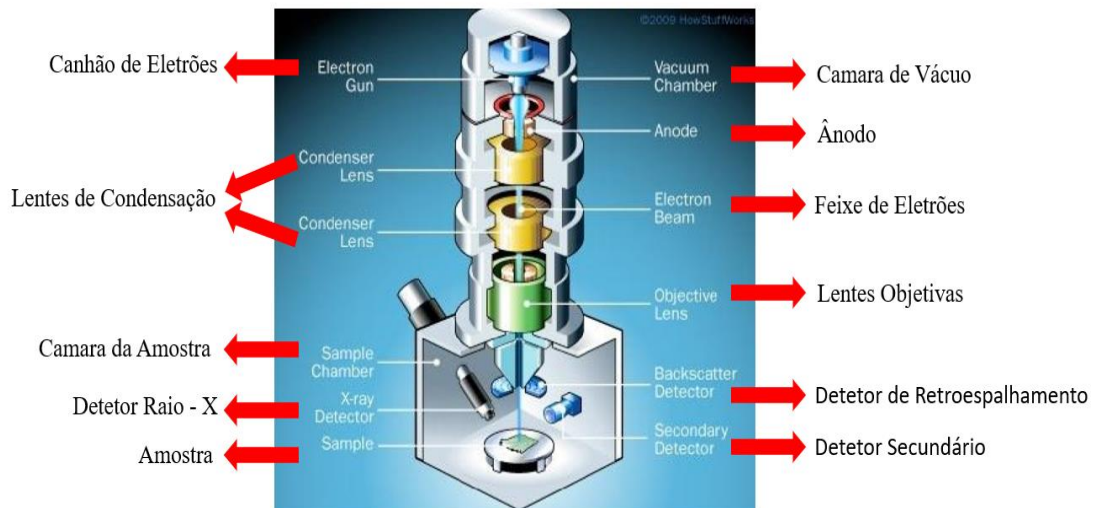
O funcionamento do SEM consiste na passagem de um feixe de eletrões ponto por ponto pela superfície da amostra. Os eletrões secundários ou eletrões retrodifundidos pela amostra são captados pelos detetores de eletrões. O sinal criado pelo detetor cria a imagem pixel por pixel num ecrã [12].

Relativamente à constituição do SEM, existem vários componentes que são fundamentais para seu funcionamento, nomeadamente, canhão de eletrões, lentes, detetores.

A produção de eletrões e a sua aceleração em direção à amostra ocorre no canhão de eletrões. A emissão dos eletrões pode ser classificada em termoemissão, de tungsténio ou hexaboreto de lantânio, e em emissão de campo [12]. É importante garantir vácuo ao longo da coluna, de forma a evitar dispersão.

Relativamente à existência de diferentes lentes no SEM, estas possuem a função de garantir que o feixe de eletrões foque na amostra. Para tal, recorre-se a um campo eletrostático ou eletromagnético [12]. De forma a controlar a dimensão da sonda, as lentes que convergem e direcionam o feixe de eletrões são designadas por lentes condensadoras. As lentes objetivas dirigem o foco de eletrões para o local a analisar na amostra.

Segundo a Figura 13, encontram-se apresentados a constituição de um SEM.



*Figura 13 - Constituição de um SEM (adaptado de [12]).*

O diâmetro do feixe elétrons influencia a resolução da imagem. Assim sendo, a escolha apropriada das lentes resulta na redução do diâmetro do feixe que, por sua vez, melhora a resolução.

A existência de vácuo na coluna e na câmara do SEM deve-se a uma bomba difusora. Para a formação da imagem da amostra, o feixe elétrons faz o varrimento sequencial na superfície da amostra. Este procedimento designa-se por *raster scanning*. As imagens são construídas com base na deteção das radiações em cada ponto.

### 2.3.3.2 Modos de imagem

A formação da imagem depende do sinal produzido pela interação do feixe de luz com a amostra. Para tal, existem os detetores que captam os sinais e permitem a visualização das imagens. A interação que ocorre entre a amostra e o feixe de elétrons dá-se na superfície da amostra. A profundidade da interação depende da composição da amostra, mas também da energia do feixe incidente e do ângulo incidente.

O processo *scattering* pode ser elástico ou inelástico. O processo em que a energia dos elétrons é conservada na totalidade denomina-se por elástico. Neste caso, ocorre a produção de elétrons retrodifundidos quando os elétrons regressam à superfície da amostra e escapam para o vácuo. O processo é inelástico quando estes perdem energia provocando, consequentemente, a excitação da estrutura da amostra. Se estes elétrons escaparem para o vácuo, passam a designar-se por elétrons secundários [12].

### 2.3.3.2.1 Eletrões Secundários

O *scattering* inelástico é responsável pela transferência de energia que pode resultar na emissão de radiação secundária. Os eletrões secundários são definidos através da energia cinética, ou seja, a emissão que ocorre a partir da amostra possui uma energia inferior a 50eV [12]. As interações entre os eletrões energéticos do feixe com os eletrões de fraca ligação da superfície dos metais produzem os eletrões secundários. Se estes eletrões forem suficientemente energéticos para ocorrer a ionização das camadas de valência dos átomos, existe a ejeção de eletrões que serão captados pelo detetor.

Este tipo de eletrões é gerado a baixa profundidade, podendo entrar em repouso após a interação com a amostra. Por outro lado, os eletrões que forem gerados à superfície da amostra podem escapar para o vácuo [12].

A deteção destes eletrões dá-se devido à atração que estes sofrem por um elétrodo de malha de arame carregado positivamente, forçando a passagem por este em direção ao cintilador. O cintilador também carregado positivamente, converte a energia dos eletrões em fotões. Seguidamente, através do fotomultiplicador, os fotões são novamente convertidos em eletrões, sendo projetados num ecrã.

A inclinação da amostra em direção ao detetor de eletrões secundários promove o aparecimento de frações brilhantes que permitem a distinção de características salientes de depressões que estejam presentes na superfície da amostra. Este fenómeno deve-se à maior probabilidade destes eletrões atingirem o detetor. Como resultado, a imagem tem uma aparência tridimensional.

### 2.3.2.2 Eletrões Retrodifundidos

Os eletrões retrodifundidos são projetados por *scattering* elástico da amostra [12].

Estes tipos de eletrões relacionam-se com o número atómico dos elementos da amostra através do coeficiente de retrodifusão. Este coeficiente consiste na fração de eletrões do feixe primário que saem da amostra como eletrões retrodifundidos. Assim sendo, para números atómicos elevados o coeficiente de retrodifusão aumenta e, para números atómicos baixos o coeficiente é praticamente linear. Desta forma, é possível obter a composição atómica da amostra devido ao contraste existente pelos eletrões retrodifundidos. Os elementos de maior número atómico surgem em zonas mais claras na imagem [12].

Em relação à profundidade de interação, a imagem adquirida provém do sinal obtido aproximadamente de metade da profundidade de penetração do feixe primário, superior às imagens por eletrões secundários.

Contrariamente aos elétrons secundários, os detectores utilizados para captar os elétrons retrodifundidos estão carregados negativamente para evitar a atração dos elétrons secundários. Desta forma, apenas os elétrons que se dirigem em caminho reto irão contribuir para a formação da imagem dos elétrons retrodifundidos [12]. Estes são captados se colidirem no colimador. O detector é posicionado entre a objetiva e a amostra, existindo dois tipos de detectores: Robinson e Solid State. O modo de funcionamento do detector Robinson é semelhante ao detector utilizado para captar os elétrons secundários. Por outro lado, o detector *Solid State* é um detector semiconductor. Neste tipo de detector, a energia restante dos elétrons após a passagem pela região de transição do semiconductor provocará a excitação dos elétrons de valência da banda condutora, criando modificações da posição das lacunas.

O sinal dos elétrons retrodifundidos fornece informação química devido às diferenças dos números atômicos que constituem a amostra. Além disso, a orientação dos planos cristalinos relativamente ao feixe incidente, influencia a profundidade do feixe de elétrons na amostra através do efeito de difração [12].

Desta forma, a imagem fornecida pelos elétrons retrodifundidos permite a identificação da existência de partículas na amostra bem como a sua composição química, e a sua localização na amostra.

### 2.3.3 Espectroscopia de dispersão de energia de raios - X

A Espectroscopia de dispersão de energia de raio-X (EDS) É técnica microanalítica qualitativa e semi-quantitativa que fornece informação da composição química de elementos com número atômico superior a três.

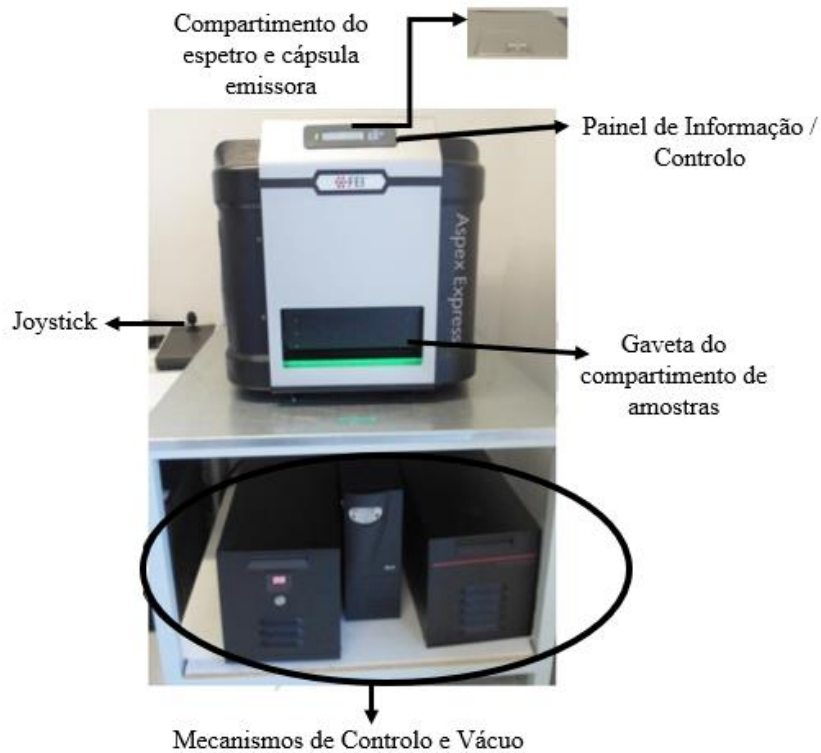
A interação entre os elétrons do feixe primário e os átomos constituintes da amostra cria dois tipos de radiação-X, *bremsstrahlung* de radiação-X e radiação-X característica [12]. Esta interação provoca a deslocação de um elétron da camada interna e, conseqüentemente, um elétron da camada mais exterior dirigir-se-á para a camada interna de forma a repor o equilíbrio de cargas nas orbitais do átomo. Com isto, ocorre o fenómeno de ionização. Assim, a emissão de um fóton de raio-X, o átomo ionizado regressará à posição inicial. Desta forma, através do detector obtém-se um espectro de intensidade *versus* energia de radiação-X, em que os picos identificam a radiação-X característica e o fundo contínuo obtido pela desaceleração de elétrons de elevada energia corresponde ao *bremsstrahlung* de radiação-X [12]. Os picos permitem identificar os constituintes da amostra bem como as suas concentrações. A resolução espacial depende do tamanho do volume de interação com a amostra e é influenciada pela média de números atômicos presentes na amostra [12].

### 2.3.3.3 Tipos de SEM

A escolha do microscópio eletrónico de varrimento depende do tipo de amostras. Assim sendo, é possível classificá-los em [12]:

- ✓ SEM convencional
  - Este tipo de equipamento é utilizado em análises de rotina;
  - É necessário que a amostra seja condutora e esteja seca;
  - A amostra tem de ser capaz de suportar o vácuo para evitar a dispersão dos eletrões.
- ✓ SEM de Emissão de campo
  - Também designado por FESEM, *Field Emission Scanning Eletron Microscope*;
  - A fonte de eletrões utilizada é um canhão de eletrões de emissão de campo;
  - A quantidade necessária de vácuo é superior á do SEM convencional.
- ✓ SEM ambiental
  - Também conhecido como SEM de baixo vácuo;
  - O feixe de eletrões após ser direcionado pela lente objetiva encontra apenas moléculas gasosas. Estas são vapor de água permitindo a aplicação em amostras que não estejam secas na visualização do microscópio.

O SEM utilizado para determinação da composição química foi um SEM de Emissão de Campo de marca *FEI* com aplicação do programa *Perception 2*, versão 1.3.557.6678 A constituição do SEM utilizado para análise química das partículas encontra-se na Figura 14.



*Figura 14 - Constituição do SEM existente da Hutchinson.*

#### 2.3.3.4 Caracterização da Amostra - Tubos de alumínio

As propriedades dos materiais relacionam-se com a natureza das ligações que existem entre os átomos (ligações primárias). Podem ser classificadas como propriedades químicas e propriedades físicas. As propriedades químicas são as que se manifestam quando o material entra em contacto com outros materiais. O comportamento do material em todas as etapas de produção e de utilização é determinado pelas propriedades físicas. Estas podem ser subdivididas em mecânicas, térmicas e elétricas [13].

Nos materiais metálicos, os átomos são dispostos de um modo ordenado. Quando comparados com materiais cerâmicos e poliméricos, os metais, geralmente, são muito densos, mais rígidos, resistentes à tração, muito dúcteis e também tenazes. Além disto, os metais são bons condutores de electricidade e de calor, uma vez que os átomos se encontram ligados por ligações metálicas, ou seja, por uma nuvem de eletrões, livre de se mover [13].

Assim sendo, os materiais metálicos têm sido bastante utilizados na indústria automóvel, sendo que para produção dos sistemas de gestão de fluidos são utilizados alumínio e aço. As ligas de alumínio podem ser trefiladas, laminadas e possuem a capacidade de se moldar em diferentes formas semi-acabadas, o que permite a produção em massa [14]. Desta forma, o alumínio tornou-se um material bastante atrativo para a indústria automóvel, visto que é um metal leve e com

## Capítulo II - 2. Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel

elevada resistência à corrosão. Na Figura 15 observa-se a evolução do consumo de alumínio na produção de carros na Europa [14].

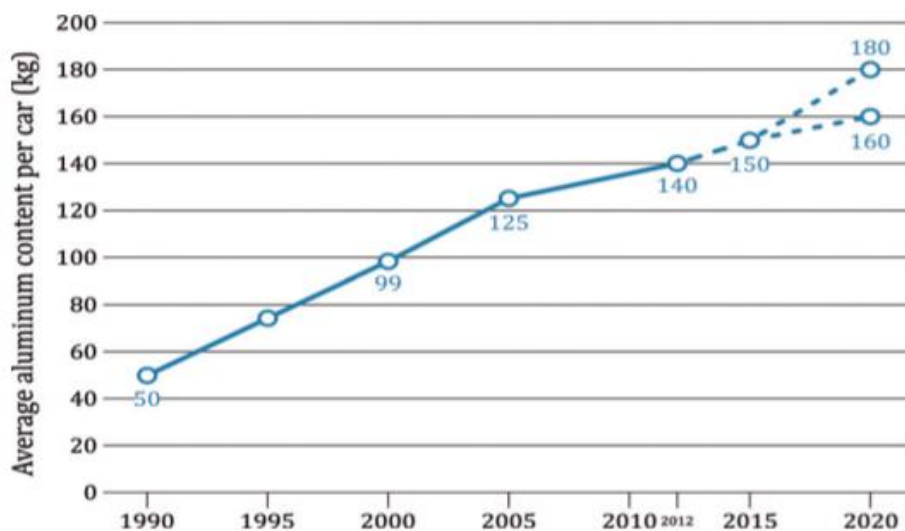


Figura 15 - A evolução do consumo do teor de alumínio por carro produzido na Europa [14].

A evolução que se verifica na Figura 15 deve-se ao aumento da utilização do alumínio em diversas peças automobilísticas. Esta substituição pelo alumínio aumenta a vida útil do motor, uma vez que se reduz a massa do automóvel e, conseqüentemente, ocorre a redução entre 5 e 7% do consumo de combustível [15]. A Tabela 3 ilustra algumas das peças constituídas por alumínio e suas ligas.

Tabela 3 - Utilização do alumínio nas peças dos automóveis (adaptado de [14]).

Fabricante	Composição	Componente
Duralcan, Martin Marietta, Lanxide	Al/ SiCp	Pistões
Duralcan, Lanxide	Al/ SiCp	Rotores de Freios, Pinças, Forros
GKN, Duralcan	Al/ SiCp	Eixo de Hélice
Nissan	Al/SiCw	Biela
Dow Chemical	Al/SiCw	Rodas Dentadas, Polias, Tampas
Toyota	Al/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Anéis de Pistão Al/Boriaw
Dupont, Chrysler	Al/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bielas
Hitachi	Cu/Grafite	Coletores Atuais
Martin Marietta	Al/TiCp	Pistões/Bielas
Honda	Al/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Cf	Blocos do Motor
Lotus Elisse, Volkswagen	Al/SiCp	Rotores de Freio
Chrysler	Al/SiCp	Rotores de Freio

## Capítulo II - 2. Controle de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel

<b>GM</b>	Al/SiCp	Tambor de Freio, Traseiro para EV-1, Eixo de Transmissão, Berço do Motor
<b>MC-21, Dias-Compe,Manitou</b>	Al/SiCp	Suporte de Forquilha de Bicicleta e Rotores de Freio A Disco

A utilização do alumínio deve-se às suas propriedades físicas e químicas que estão enumeradas na Tabela 4 [13][16][17].

*Tabela 4 - Propriedades físicas e químicas do alumínio [13][16][17][18].*

Material	Alumínio		Alumina
<b>Raio Atômico (Pm)</b>	143		-
<b>Ponto de Fusão (°C)</b>	660		2072
<b>Ponto de Ebulição (°C)</b>	2467		2980
<b>Estrutura Cristalina</b>	CFC	a=0,4041 a 20 °C	Octaédrica
<b>Massa Molar, (g/mol)</b>	26,98		101,96
<b>Densidade, <math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,7		-
<b>Coefficiente de Expansão (K)</b>	23,8 × 10 <sup>-6</sup> K (de 20 a 100 °C)		-
	25,4 × 10 <sup>-6</sup> K (de 20 a 300 °C)		-
	28,7 × 10 <sup>-6</sup> K (de 20 a 600 °C)		-
<b>Capacidade Térmica (J/kg.K)</b>	950 a 20 °C		-
<b>Condutividade Térmica (W/m.K)</b>	217,6 a 20 °C		-
<b>Módulo de Young (MPa)</b>	65 000-70 000		-

A densidade do alumínio é cerca de 1/3 da densidade do aço sendo a principal razão pela substituição do aço pelo alumínio na indústria automobilística. Além da densidade e das propriedades não magnéticas, o alumínio possui uma elevada capacidade de resistir à corrosão. Esta resistência provém da reação que ocorre no alumínio quando exposto ao oxigênio, formando uma camada final de óxido de alumínio,  $Al_2O_3$  [18]. Esta camada é também designada por alumina. Na presença desta camada, a soldadura torna - se mais fácil sendo preciso a existência de um gás protetor ou vácuo [13].

Na Tabela 5 relaciona-se a composição com as propriedades apresentando-se aplicações de algumas ligas de alumínio.

Tabela 5 - Composição, propriedades e aplicações de algumas ligas de alumínio (adaptado de [13]).

Série	Composição (% mássica dos elementos de liga)	Estado estrutural	Resistência à tração (MPa)	Resistência à deformação Plástica (MPa)	Ductilidade (extensão após rotura %)	Aplicações
<b>Ligas trabalhadas sem endurecimento estrutural</b>						
<b>1100</b>	0,12 Cu	Recozido (O)	90	35	35-45	Equipamentos para manuseamento e armazenamento de alimentos ou produtos químicos, permutadores de calor, refletores de luz
<b>3003</b>	0,12 Cu, 1,2 Mn, 0,1 Zn	Recozido (O)	110	40	30-40	Utensílios de cozinha, reservatórios de pressão e tubagens
<b>5052</b>	2,5 Mg, 0,25 Cr	Encruado (H32)	230	195	12-18	Tanques de combustível, aparelhos, rebites e arame
<b>Ligas trabalhadas com endurecimento estrutural</b>						
<b>2024</b>	4,4 Cu, 1,5 Mg, 0,6 Mn	Tratado (T4)	470	325	20	Estruturas de aeronaves, rebites, rodas de camião, parafusos
<b>6061</b>	1,0 Mg, 0,6 Si, 0,30 Cu, 0,20 Cr	Tratado (T5)	240	145	22-25	Camiões, canoas, carruagens, móveis, tubagens
<b>7075</b>	5,6 Zn, 2,5 Mg, 1,6 Cu, 0,23 Cr	Tratado (T6)	570	505	11	Peças de aeronaves e outras aplicações estruturais altamente solicitadas
<b>Ligas de fundição com endurecimento estrutural</b>						
<b>2959.0</b>	4,5 Cu, 1,1 Si	Tratado (T4)	221	110	8,5	Caixas de volante e eixo traseiros, rodas de autocarro e aviões, cârteres
<b>353.0</b>	7 Si, 0,3Mg	Tratado (T6)	228	164	3,5	Peças de bombas de aeronaves, caixas de transmissão de automóveis, blocos de cilindro refrigerados a água
<b>Ligas de alumínio-Lítio</b>						
<b>2090</b>	2,7 Cu, 0,25 Mg, 2,25 Li, 0,12 Zr	Tratado e encruado (T83)	455	455	5	Estruturas aeronáuticas e tanques criogénicos em aeronaves
<b>8090</b>	1,3 Cu, 0,95 Mg, 2,0 Li, 0,1 Zr	Tratado e encruado (T651)	465	360	-	Estruturas aeronáuticas muito resistentes ao dano

As ligas de alumínio podem ser classificadas em ligas sem endurecimento estrutural e com endurecimento estrutural. A empresa Hutchinson utiliza na produção de tubos constituintes dos sistemas de gestão de fluidos ligas de alumínio da série 3XXX e 5XXX. Ambas as séries, 3XXX e 5XXX, são exemplos de ligas sem endurecimento estrutural [13]. Define-se uma liga sem endurecimento estrutural se recorrer a fenômenos de encruamento e amaciamento para se obter diferentes níveis de resistência. Alterando-se os parâmetros de têmpera estrutural para atingir diferentes níveis de resistência obtém-se uma liga com endurecimento estrutural [13].

Na Figura 16 está apresentado a comparação entre as ligas de alumínio com e sem endurecimento estrutural.

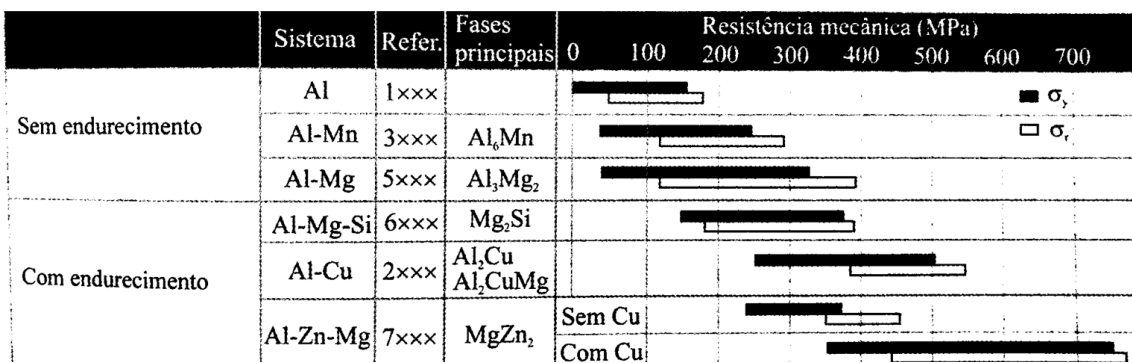


Figura 16 - Ligas de alumínio com e sem endurecimento estrutural [13].

2.3.3.4.1 Liga de Alumínio – Manganês (3XXX)

A presença de manganês na série 3XXX é sob a forma de finos precipitados de  $Al_6Mn$ . A adição de 1 a 1,5% de Mn aumenta a resistência de 50 a 60 MPa.

O processo de recristalização de um metal encontra-se na Figura 17.

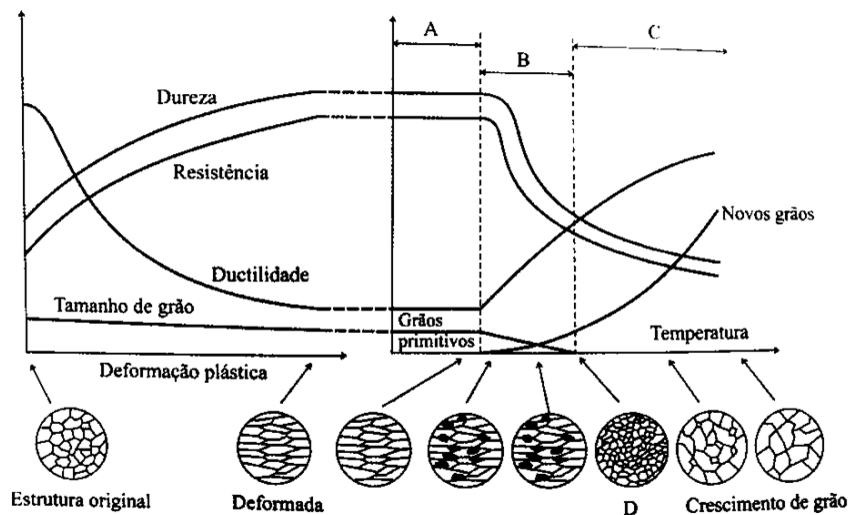


Figura 17 - Recristalização: ciclo de deformação plástica e recozido [13].

Analisando a Figura 17, o encruamento de um metal conduz a um aumento da resistência mecânica e a uma diminuição da ductilidade e da tenacidade. A presença de manganês aumenta a temperatura de recristalização e, conseqüentemente, a resistência mecânica da liga [13].

Na Figura 18 encontra-se o diagrama de equilíbrio de Al-Mn.

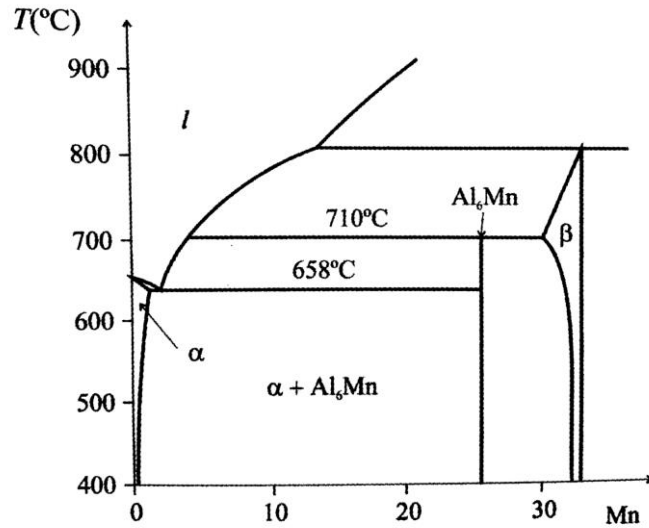


Figura 18 - Diagrama de equilíbrio Al-Mn [13].

2.3.3.4.2 Liga de Alumínio-Magnésio (5XXX)

Na Figura 19 encontra-se o diagrama de equilíbrio da liga Alumínio-Magnésio.

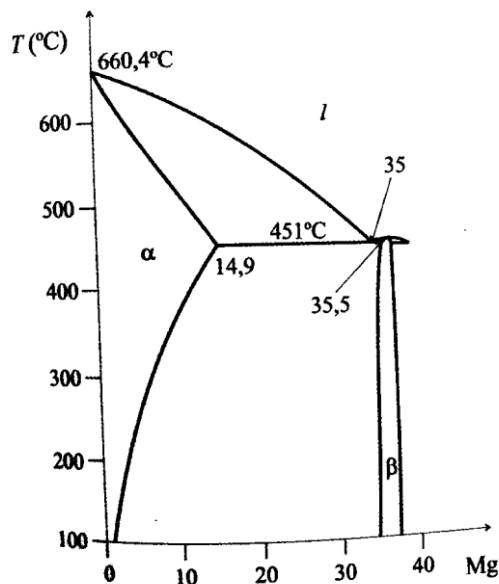


Figura 19 - Diagrama de equilíbrio Al-Mg [13].

Segundo a Figura 19, a solubilidade do magnésio na fase  $\alpha$  é  $\approx 15\%$  a  $450\text{ }^\circ\text{C}$  e baixa para  $2\%$  para a temperatura ambiente. Consta-se que apenas acima de  $5\%$  de magnésio é que ocorre a precipitação da fase  $\beta$  após homogeneização e têmpera, visto que a solução sólida se torna instável a baixas temperaturas. Se a precipitação da fase  $\beta$  ocorrer a nível intergranular, a resistência à corrosão diminui [13].

O endurecimento da série 5XXX ocorre por dissolução sólida, que aumenta com a percentagem de magnésio.

As principais vantagens desta liga binária são:

- ✓ Facilidade de soldar;
- ✓ Boa resistência à corrosão;

### 2.4 Casos de Estudo

#### 2.4.1 Caso de Estudo I

O presente caso de estudo teve como objetivo a avaliação do impacto de operações extra de limpeza interna aos tubos, a escovagem e o sopro, após lavagem automática, com vista a otimizar os resultados do controlo de qualidade da limpeza dos tubos.

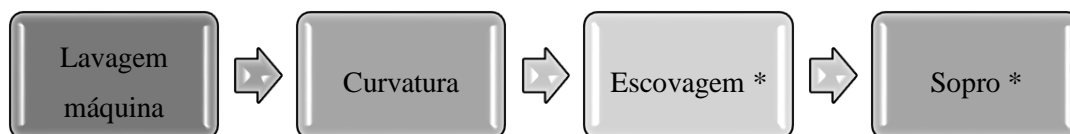
O estudo realizou-se numa máquina de lavagem de tubos automática.

A recolha de amostras foi realizada em diferentes períodos de tempo, de forma a avaliar se o nível de limpeza se altera com o passar do tempo.

Os métodos utilizados para a análise das partículas extraídas no banco de ensaio CTU para cada uma das etapas, foram a gravimetria e a granulometria.

##### 2.4.1.1 Descrição das operações realizadas no processo de lavagem

Na Figura 20 encontra-se esquematizada a sequência das operações:



**Figura 20** - Sequência das operações de Processo.

\* Operações extra

A operação de escovagem foi realizada nas extremidades do tubo com a utilização de uma escova com pentes ásperos semelhante à da Figura 21.









*Figura 21 - Escova utilizada no processo de escovagem dos tubos.*

A operação de sopro foi realizada com uma pistola de ar comprimido que está ligada à rede de ar comprimido da fábrica. A pressão da rede de ar é de 6 bar. O tempo de sopro é de  $\pm 8$  segundos, no entanto, não existe nenhum temporizador, sendo que este tempo está dependente do operador.

2.4.1.2 Recolha de amostras

Na Tabela 6 encontra-se esquematizado o método de recolha de amostras.

*Tabela 6 - Método da recolha de amostras.*

Hora de Recolha / Operações	Curvatura	Escovagem	Sopro
8h30min.			
16h00min.			

- **Etapa A:** após curvatura
- **Etapa B:** após curvatura e escovagem
- **Etapa C:** após curvatura, escovagem e sopro

## Capítulo II - 2. Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel

### 2.4.1.3 Condições do processo

As condições de processo que se tiveram em conta neste caso de estudo foram: o banho de lavagem inalterado, as amostras retiradas num só turno de trabalho e o operador fixo.

### 2.4.1.5 Quantidade de amostras retiradas

Recolheu-se 3 tubos em cada uma das etapas A, B e C.

### 2.4.1.6 Caracterização das amostras retiradas

A peça utilizada como amostra foi um tubo de alumínio no qual foram embutidos uma flange e um casquilho antes da lavagem automática como se verifica na Figura 22.

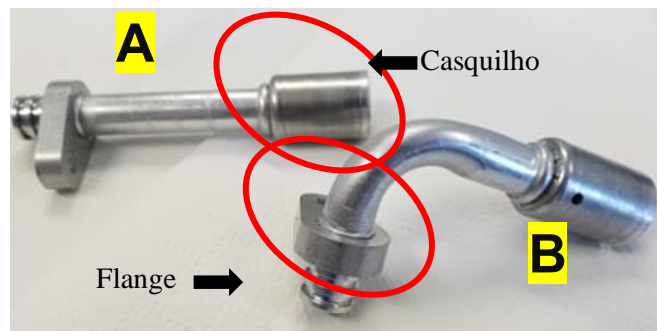


Figura 22 - Peça antes de Curvar (Peça A); Peça depois de curvar (Peça B).

Para o cálculo da área a utilizar no ensaio de limpeza considerou-se as características enumeradas na Tabela 7.

Tabela 7 - Características do tubo usado como amostra.

Tipo de alumínio	3XXX
Diâmetro Externo (mm)	12,7
Espessura da parede (mm)	1,65
Comprimento (mm)	121 ± 1

Os valores destas características encontram-se descritas no Anexo C 1. Segundo a equação 1, a área da superfície molhada para o tubo deste caso de estudo foi  $35,73 \text{ cm}^2$ .

### 2.4.1.7 Resultados

#### 2.4.1.7.1 Análise Gravimétrica

Os valores obtidos na análise gravimétrica encontram-se no Anexo D 1. Na Tabela 9 está apresentado o resumo dos resultados da análise gravimétrica.

*Tabela 8 - Resumo dos resultados da análise gravimétrica.*

Etapas	$\Delta\bar{m}$ (mg)	
	8h30min.	16h00min.
A	$0,36 \pm 0,07$	$0,67 \pm 0,05$
B	$0,55 \pm 0,12$	$0,53 \pm 0,06$
C	$0,56 \pm 0,10$	$0,69 \pm 0,18$

É de salientar que o resultado apresentado na Tabela 9 relativo à etapa A no horário de recolha de amostras às 8h30min é a média do resultado de apenas duas amostras. O resultado da terceira amostra foi perdido devido a uma falha no sistema do *Filtrex*.

Analisando a Tabela 10 verifica-se que:

- Etapa A → o valor de massa da amostra das 16h00min. aumenta relativamente ao valor de massa da amostra das 8h30min.
- Etapa B → o valor de massa da amostra das 16h00min. diminui relativamente ao valor de massa da amostra das 8h30min. Esta perda de massa é evidenciada na Figura 23.
- Etapa C → o valor de massa da amostra das 16h00min. aumenta relativamente ao valor de massa da amostra das 8h30min.



*Figura 23 - Perda de massa devido ao rasgo da membrana.*

Os resultados obtidos encontram-se ilustrados na Figura 24.

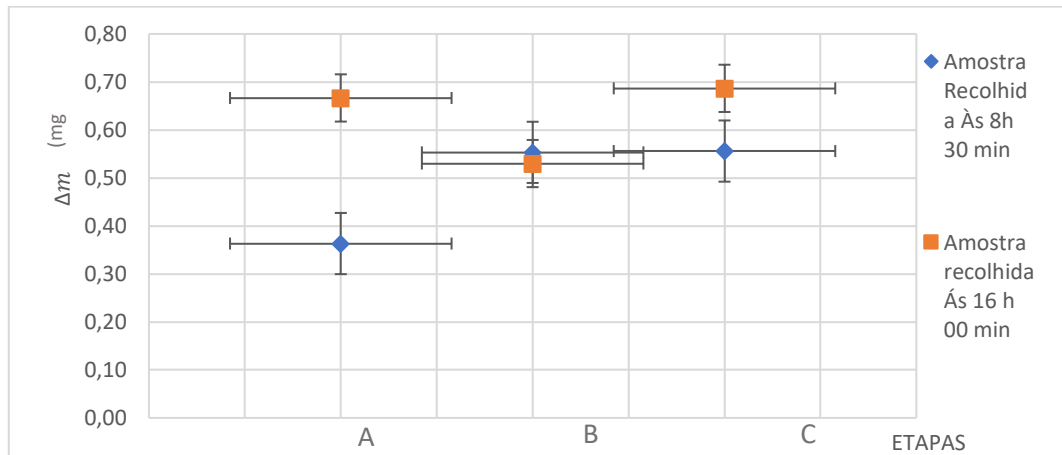


Figura 24 - Comparação da massa das partículas nas diferentes etapas em dois períodos diferentes de amostragem

Observando a Figura 24, no geral, verifica-se:

- Aumento de massa entre as amostras da mesma hora de recolha e Aumento de massa entre horas de recolha do mesmo tipo de amostra:

Isto traduziu-se num aumento da quantidade de partículas livres no interior do tubo ao longo das operações.

- ✓ *Operação de escovagem:* as partículas que foram libertadas pela fricção dos pentes da escova na superfície do tubo, deslocaram-se para o interior do tubo e fixaram-se no seu interior. Esta operação dependeu bastante da experiência do operador.

Variáveis identificadas foram:

- Tempo de Escovagem. Não existe um sistema que garanta o tempo de escovagem.
- Pressão durante a escovagem. Não existe controlo da pressão exercida pelo operador nas extremidades dos tubos. A pressão na escova tem tendência a diminuir com o passar do tempo devido ao cansaço do operador.
- Estado da escova. Se a escova se encontrar danificada ou com os pentes desgastados, a eficiência da escovagem é diminuída. Além do mais, o elevado desgaste dos pentes, pode provocar a sua libertação da escova e, com a operação sopro, este dirigir-se para o interior da tubagem.

- ✓ *Operação de sopro*: esta operação dependeu bastante da experiência do operador.

Variáveis identificadas foram:

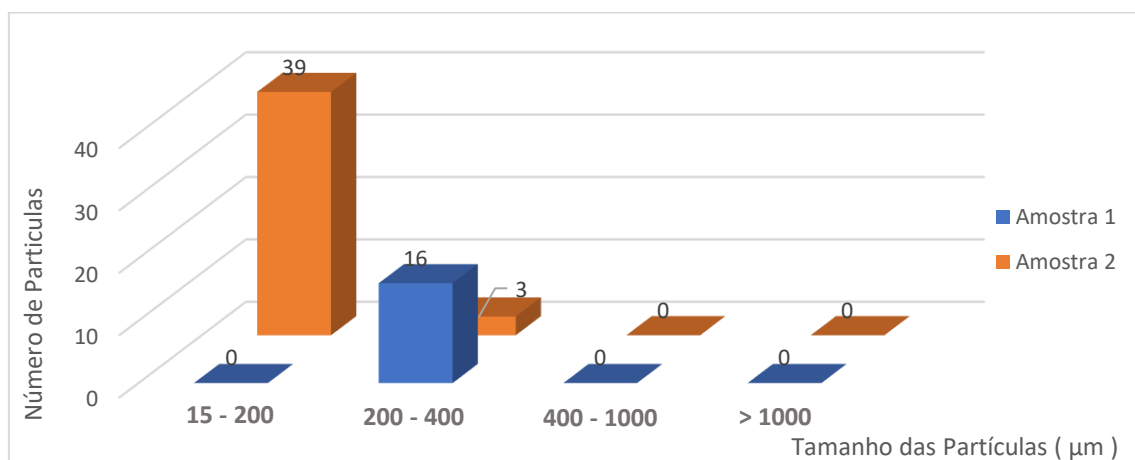
- Tempo de sopro. Não existe um sistema que garanta que o operador sopra todas as peças durante o mesmo tempo, nem que sopro ocorra durante o tempo estipulado.
- Modo como a pistola de ar foi colocada em contacto com a peça. Um alinhamento incorreto da ponteira com a peça, provocou a entrada de menor quantidade de ar no interior dos tubos e com isso, menos partículas foram expulsas.

### 2.4.1.7.2 Análise Granulométrica

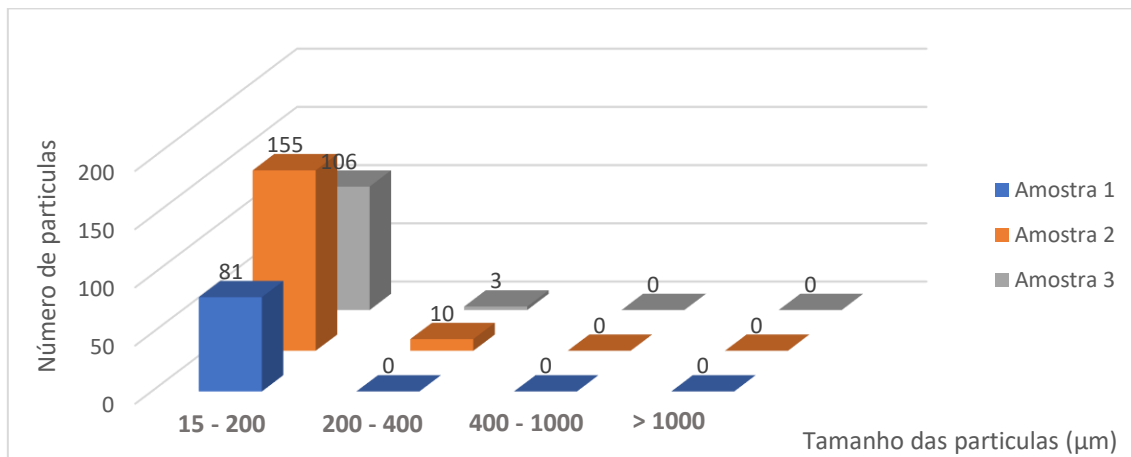
Os valores obtidos na análise granulométrica das duas amostragens encontram-se no Anexo E 1-E 4.

#### 2.4.1.7.2.1 Determinação das dimensões das partículas libertadas pela operação Curvatura

No que se refere á análise granulométrica esta foi baseada na leitura do programa filtrex. O Figura 25 relaciona o tamanho das partículas das amostras após as peças serem curvadas para a primeira amostragem e no Figura 26 para a segunda amostragem com o número de partículas.



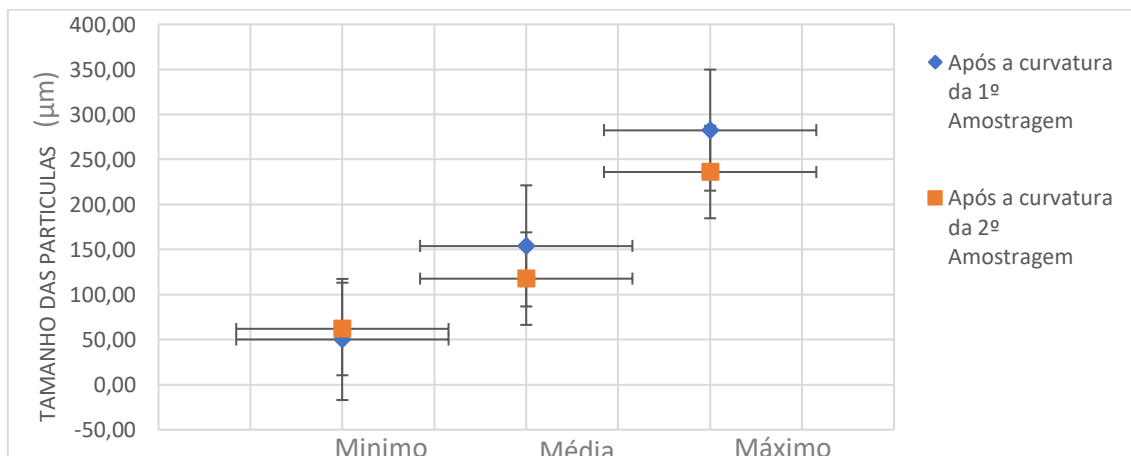
**Figura 25** - Tamanho das partículas da 1ª amostragem para a operação curvatura.



*Figura 26 - Tamanho das partículas da 2ª amostragem para a etapa curvatura.*

Analisando as Figuras 25 e 26 verifica-se que existiu um aumento do número de partículas da classe 15 a 200 μm e 200-400 μm da segunda amostragem relativamente à primeira amostragem. Durante a operação curvatura são criadas tensões na peça que provocaram a libertação de partículas. Sabendo que com o passar do tempo, o detergente utilizado nas lavagens reúne as partículas entre as lavagens, as partículas libertadas durante a curvatura da peça acumulam-se às partículas que ficaram aglomeradas no interior da peça devido à lavagem.

Os valores mínimos, médios e máximos das dimensões das partículas para ambas as amostragens estão indicadas na Figura 27



*Figura 27 - Dimensões mínimas, médias e máximas das partículas após curvatura da peça.*

Embora a primeira amostragem contenha um menor número de partículas libertadas, analisando a Figura 27, percebe-se que a primeira amostragem possui peças com partículas libertadas de maior dimensão relativamente à segunda amostragem. Os valores da Figura 27 encontram-se tabelados no Anexo E 3 e E4.

### 2.4.7.1.2.2 Dimensões das partículas libertadas pela operação Escovagem

A Figura 28 relaciona o tamanho das partículas das amostras após estas serem escovadas nas extremidades para a primeira amostragem, e na Figura 29 para a segunda amostragem, com o número de partículas.

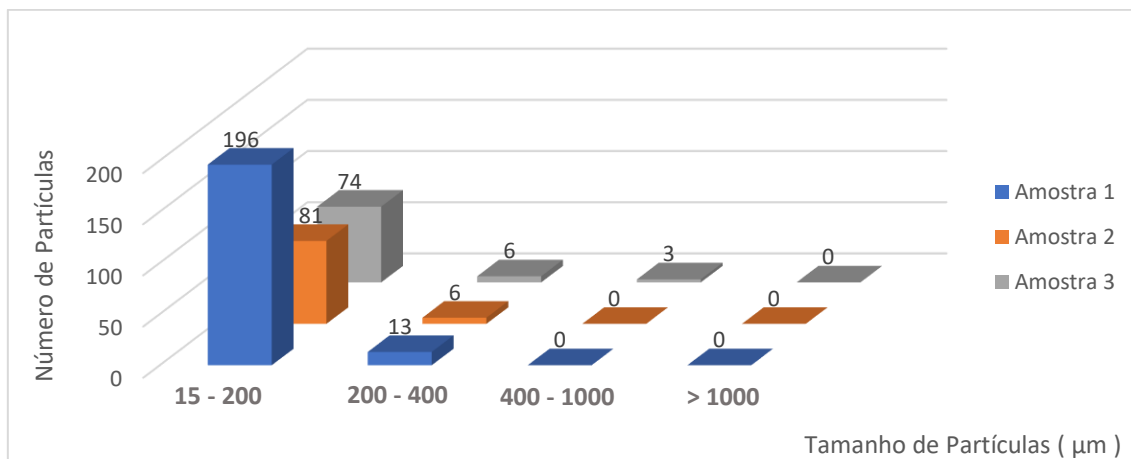


Figura 28 - Tamanho das partículas da 1ª amostragem para a operação de escovagem.

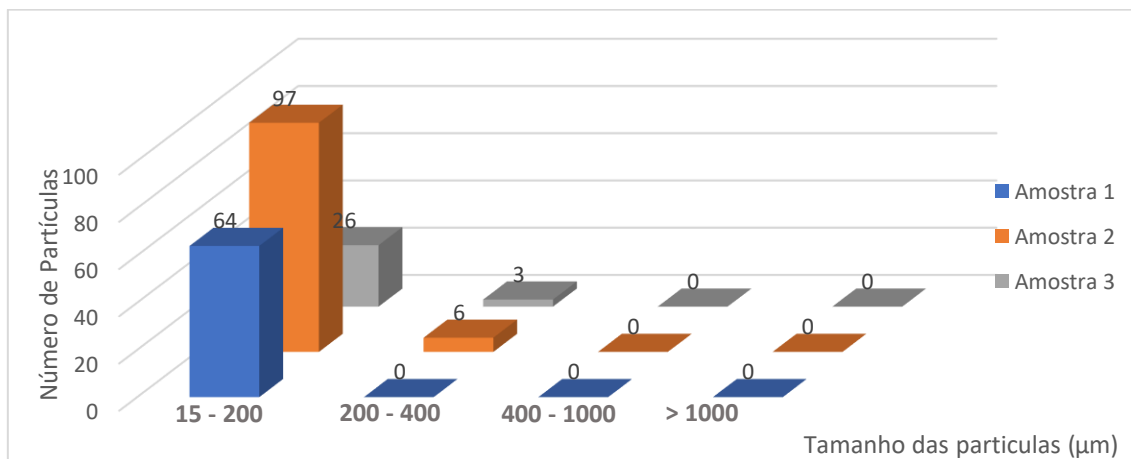
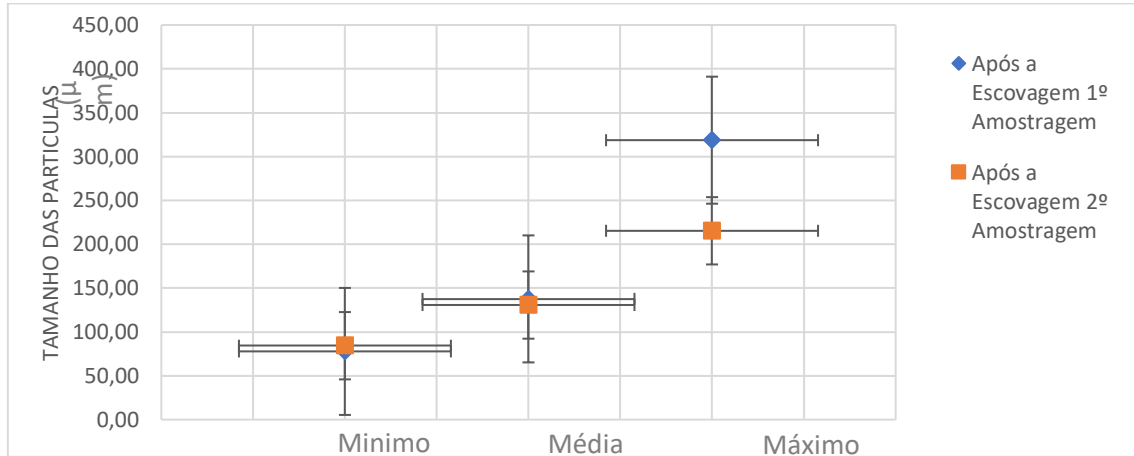


Figura 29 - Tamanho das partículas da 2ª amostragem para a operação de escovagem.

Analisando as Figuras 28 e 29 verifica-se que ocorreu uma diminuição do número de partículas da classe 15-200 μm e um aumento do número de partículas das classe 200-400 μm da segunda amostragem relativamente à primeira amostragem.

Para avaliar melhor estas oscilações analisou-se o valor mínimo e máximo e calculou-se o valor médio. Os valores mínimos, médios e máximos das dimensões das partículas para ambas as amostragem relativamente à escovagem encontram-se na Figura 30.

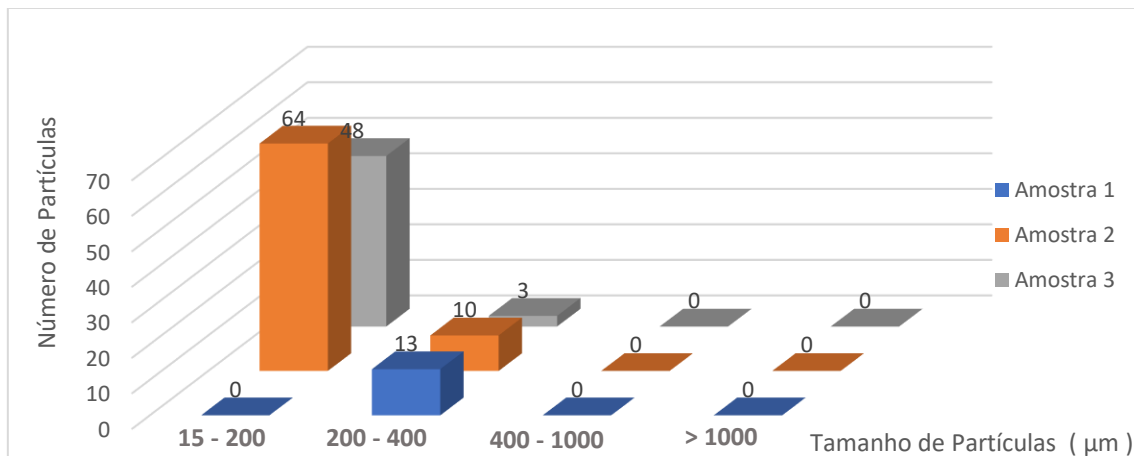


*Figura 30 - Dimensões mínimas, médias e máximas das partículas após escovagem da peça.*

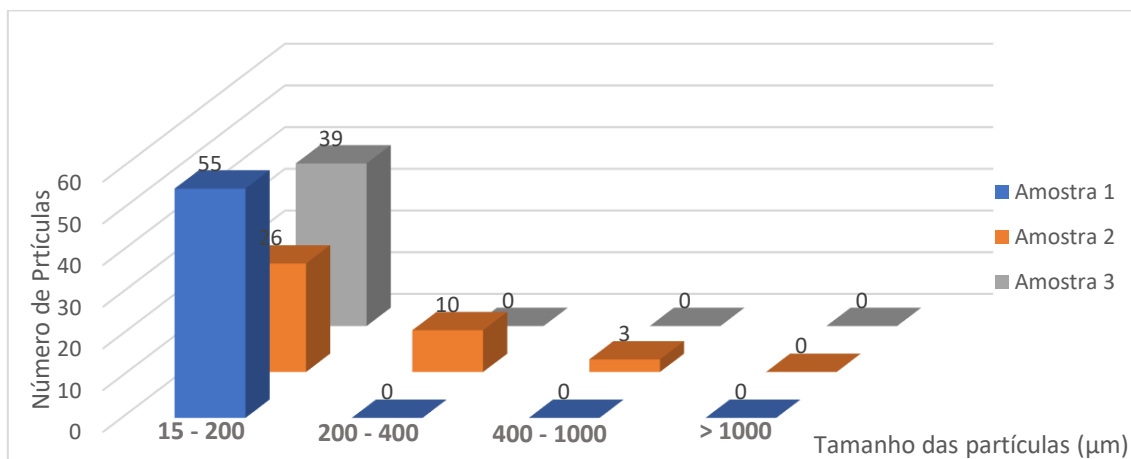
Analisando a Figura 30 verificou-se que para as duas amostragens, o valor máximo foi onde existiu maior dispersão. O valor máximo das partículas poderá estar relacionado com a pressão que o operador exerce na escova nas extremidades do tubo, em que a aplicação de uma maior pressão cria uma maior probabilidade de libertação de partículas de maior dimensão.

#### 2.4.7.1.2.3 Dimensões das partículas libertadas pela operação Sopra

A Figura 31 relaciona o tamanho das partículas das amostras após serem sopradas com ar comprimido nas extremidades para a primeira amostragem, e na Figura 32 para a segunda amostragem, com o número de partículas.



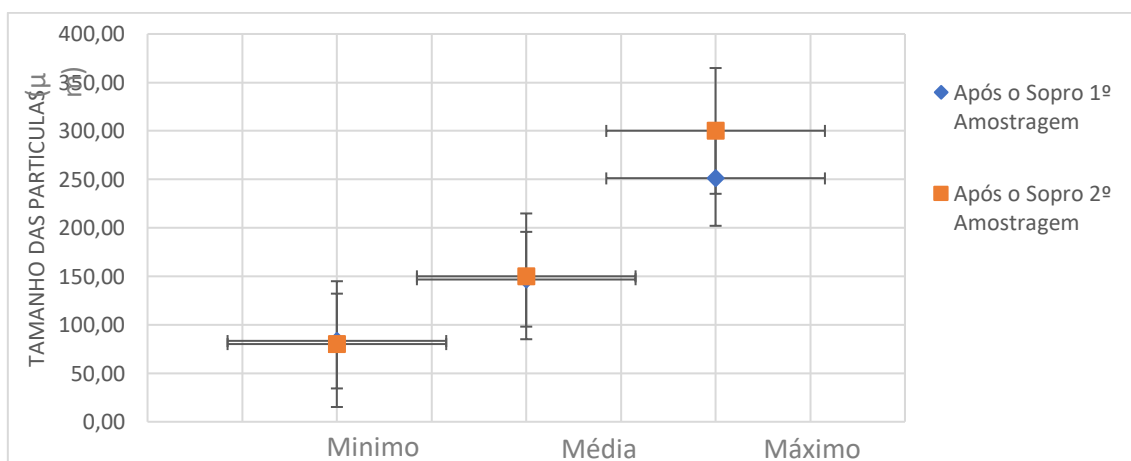
*Figura 31 - Tamanho das partículas da 1ª amostragem para a operação de sopra.*



*Figura 32 - Tamanho das partículas da 2ª amostragem para a operação de sopro.*

Analisando as Figuras 31 e 32 verifica-se que existiu um aumento do número de partículas nas classes 15-200 µm e 400-1000 µm da segunda amostragem relativamente à primeira amostragem e, uma diminuição na classe 200-400 µm.

Os valores mínimos, médios e máximos das dimensões das partículas para ambas as amostragens relativamente ao sopro estão indicados no Figura 33.



*Figura 33 - Dimensões mínimas, médias e máximas das partículas após o sopro da peça.*

Analisando a Figura 33 verifica-se que as dimensões das partículas são semelhantes em ambas as amostragens existindo apenas dispersão na dimensão máxima das partículas.

#### 2.4.7.1.2.4 Nível de limpeza segundo a Norma ISO 16232-10:2007

Após a determinação do número de partículas por 1000 cm<sup>2</sup> foi possível determinar o nível de limpeza segundo a Norma ISO 16232-10:2007 para cada etapa do processo de produção.

Os valores obtidos para a contagem do número de partículas presentes na 1ª e na 2ª amostragem encontram-se no Anexo F 1.

Na Figura 34 está a comparação do nível de limpeza de cada etapa.



*Figura 34 - Nível de limpeza de cada etapa de limpeza.*

Analisando a Figura 34 verificou-se que o nível de limpeza da 2ª amostragem aumentou apenas para a etapa A 2 unidades, mantendo-se constante relativamente às etapas B e C. Segundo ISO 16232-10:2007, o nível de limpeza representa a relação entre o número de partículas e a geometria do material para uma área de  $1000 \text{ cm}^2$ . Logo, um elevado nível de limpeza indica que as peças possuem um elevado número de partículas livres. O aumento verificado da 1ª para 2ª amostragem pode estar relacionado com as variáveis mencionadas para cada uma das operações extra à limpeza interna dos tubos. Estas variáveis são dependentes da experiência do operador. O aumento da 2ª amostragem pode ser consequência do cansaço do operador em que o tempo de sopro pode ter diminuído, não removendo as partículas do interior dos tubos. Verifica-se, também, que a operação sopro reduz sempre um nível de limpeza relativamente à operação escovagem.

### 2.4.1.8 Conclusões

Através da análise dos resultados, este estudo permitiu concluir que:

- ✓ A operação escovagem provocou um aumento do número de partículas relativamente à etapa A;
- ✓ A operação sopro eliminou parte do aumento do número de partículas provocado pela escovagem;
- ✓ Existiu um aumento do nível de limpeza da amostragem das 16h00min relativamente à amostragem das 8h30min;

- ✓ Não existe controlo do tempo de operação da escovagem e do sopro, sendo esta uma variável dependente da experiência do operador;
- ✓ Os resultados obtidos não tiveram em conta os parâmetros da máquina de lavar utilizados durante a lavagem automática dos tubos, nomeadamente, temperatura e tempo; o estado da escova e da curvadora, a pressão exercida pelo operador com a escova nas extremidades dos tubos, o número de extremidades escovadas e sopradas e, o modo de encaixe da ponteira da pistola de ar comprimido nas extremidades do tubo, utilizado no sopro;

### *2.4.2 Caso de Estudo II*

O caso de estudo II foi uma continuidade do caso de estudo I. A necessidade deste estudo, proveio da falta de conhecimento e de definição das variáveis que não entraram em consideração nos resultados do caso de estudo I, nomeadamente, o tempo de sopro, o tempo de escovagem, o estado das escovas, a pressão exercida na escova durante a escovagem e, por último, o modo de encaixe da pistola de ar comprimido na extremidade do tubo. Além destas variáveis, teve-se em conta os parâmetros do ciclo de lavagem das máquinas, nomeadamente, temperatura e tempo, e, o estado da curvadora.

Este caso de estudo foi realizado numa máquina de lavagem automática em tudo semelhante à máquina de lavagem automática do caso de estudo I.

A recolha de amostras foi realizada uma vez por dia durante uma semana para avaliar o nível de lavagem automática.

Os métodos utilizados para a análise das partículas extraídas no banco de ensaio CTU, ou seja, avaliação da limpeza interna para cada uma das etapas, foram gravimetria, granulometria e microscopia eletrónica de varrimento e, para a avaliação da limpeza externa da superfície dos tubos em cada etapa foi o Teste *Pink*.

#### *2.4.2.1 Descrição do funcionamento da máquina de lavagem automática*

A máquina de lavagem automática é constituída por 4 secções: carga/descarga, lavagem, enxaguamento e secagem. Na Figura 35 encontra-se o painel da máquina ilustrando as 4 secções da máquina.

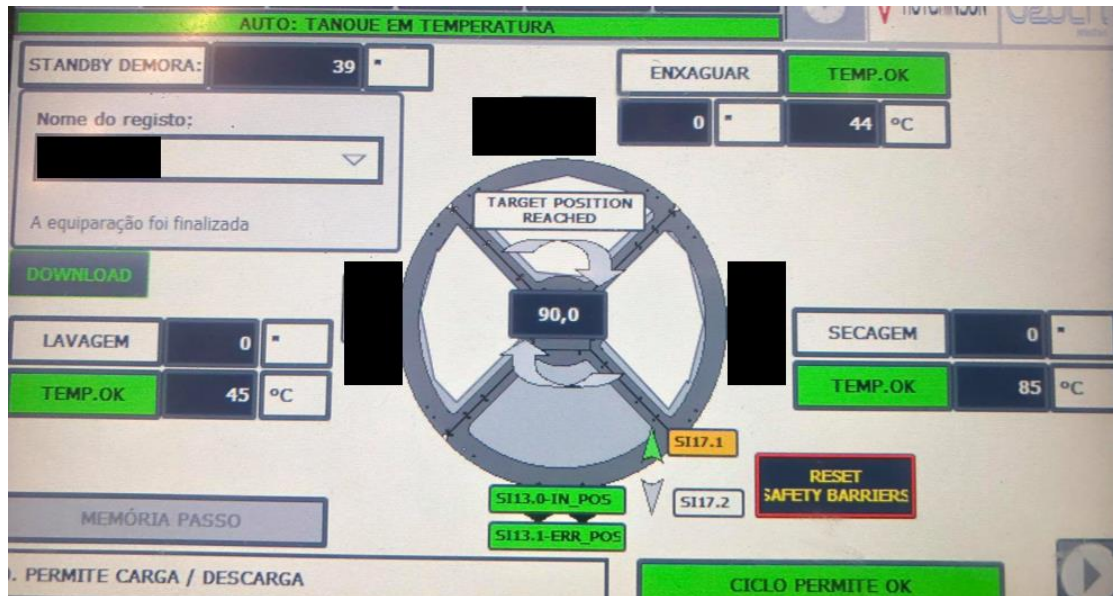


Figura 35 - Secções de funcionamento da máquina.

Os parâmetros a controlar nestas secções é a temperatura e o tempo de execução de cada secção. A soma dos 4 tempos designa-se por ciclo de lavagem. A Figura 36 ilustra a vista lateral e frontal da máquina.

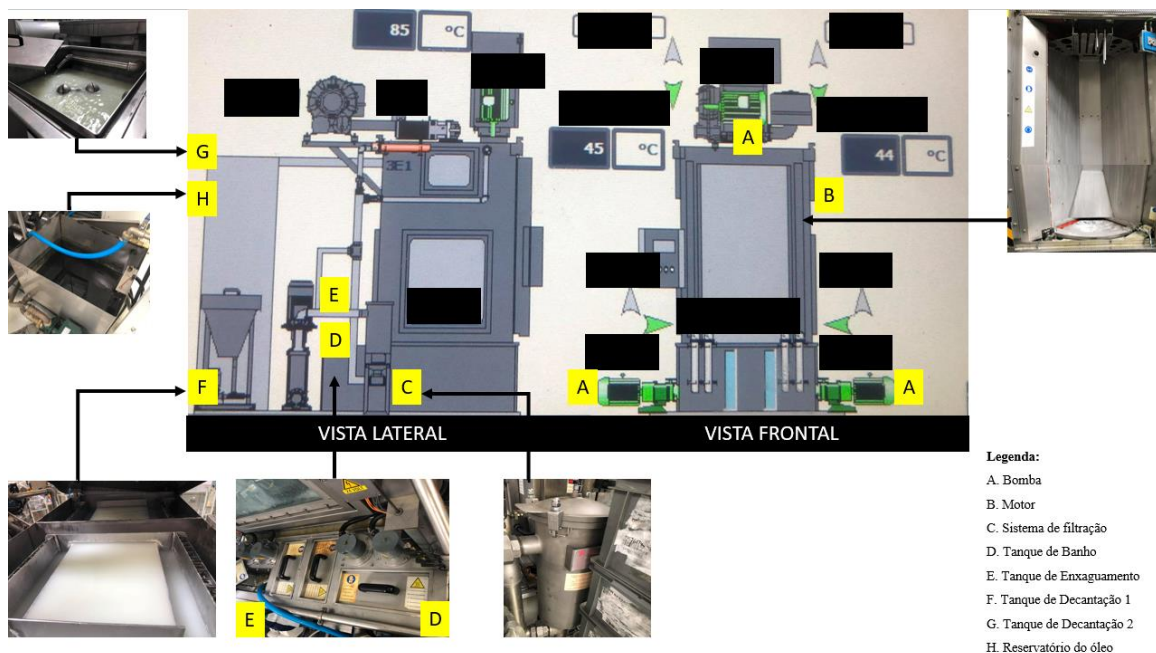
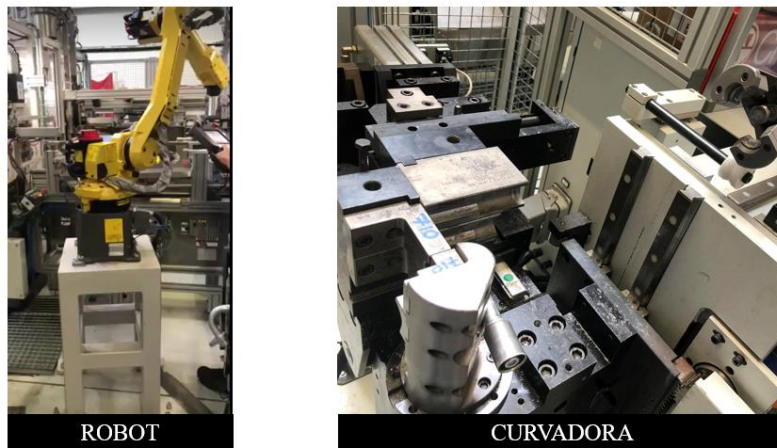


Figura 36 - Vista lateral e frontal da máquina de lavagem automática.

A existência de dois tanques de decantação permite obter uma melhor separação da água do banho relativamente ao óleo que fica retido no interior da máquina proveniente das superfícies

dos tubos. Associado à máquina de lavagem automática, encontra - se um robot que retira as peças lavadas e curva-as. Na Figura 37 encontra-se ilustrado o robot juntamente à curvadora.

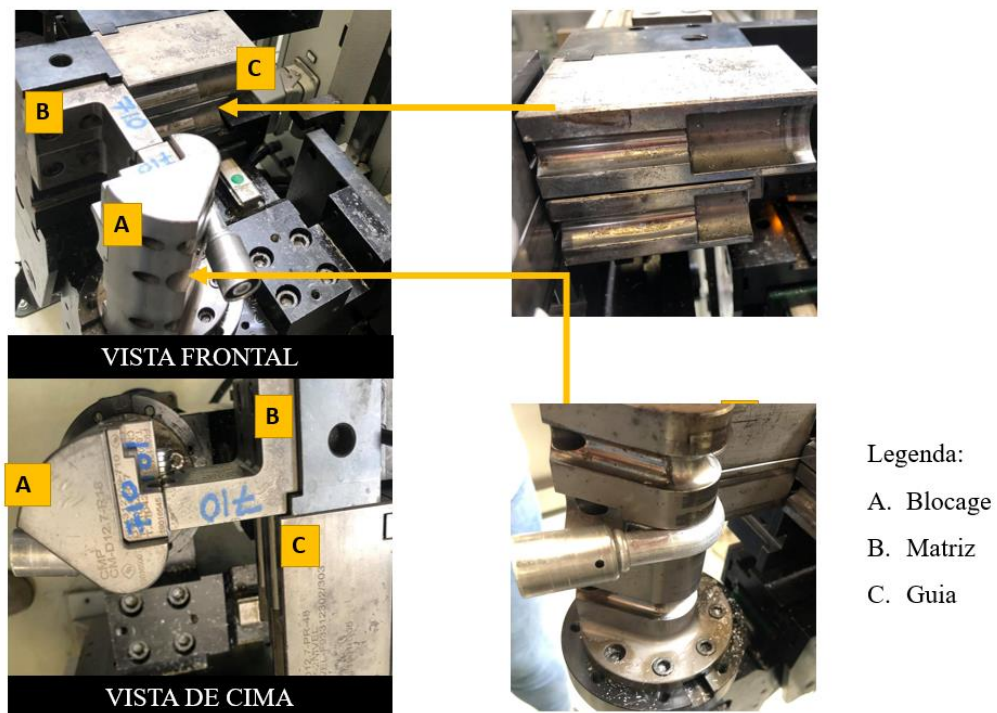


*Figura 37 - Robot associado à curvadora.*

A curvadora é constituída por 3 partes:

- ✓ Blocaje, local de ligação da peça com a matriz - A;
- ✓ Matriz, molda a curvatura a efetuar na peça - B;
- ✓ Guia, direciona a pressão para curvar a peça - C;

A Figura 38 ilustra a constituição da curvadora.



*Figura 38 - Constituição da curvadora.*

## **Capítulo II - 2. Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel**

### 2.4.2.2 Descrição das operações realizadas no processo de produção

A sequência das operações do processo de produção é igual à descrita no caso de estudo I. No entanto, foi estudado também as peças antes de curvar de forma a se poder compreender a influência da curvatura na libertação de partículas.

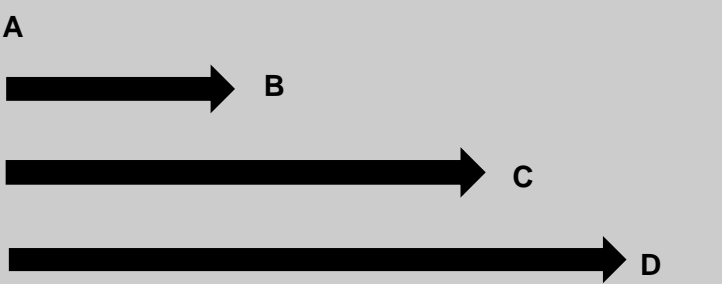
### 2.4.2.3 Operações extra

As operações extra são as mesmas descritas no caso de estudo I.

### 2.4.2.5 Recolha de amostras

Na Tabela 9 encontra-se esquematizado o método de recolha de amostras.

*Tabela 9 - Método da recolha de amostras.*











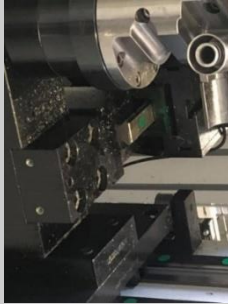

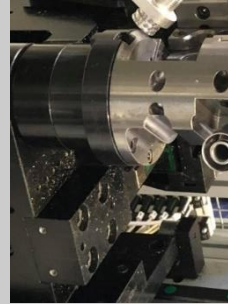


<b>Hora de Recolha / Operação</b>	<b>Curvatura</b>	<b>Escovagem</b>	<b>Sopro</b>
8h30min.	<b>A</b> 	<b>B</b>	<b>C</b> <b>D</b>

- **Etapa A:** antes curvatura
- **Etapa B:** após curvatura
- **Etapa C:** após curvatura e escovagem
- **Etapa D:** após curvatura, escovagem e sopro

## Capítulo II - 2. Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel

### 2.4.2.6 Caracterização de variáveis do processo

**Tabela 10** - Registo dos valores medidos e estados das condições de operação para os dias 25 a 29.

	<b>Pistola de Sopro</b>	Estado da ponteira da pistola					
	<b>Escova</b>	Estado da escova					
	<b>Operadr</b>	Mudança de operador	Não	Não	Não	Não	Não
		Nº d elados escovados	2	2	2	2	2
		Nº de lados soprados	2	2	2	2	2
	<b>Curvadora</b>	Estado da curvadora					
<b>Máquina de lavagem automática</b>	<b>Parâmetros da máquina de lavar</b>	Temperatura de Secagem (°C)	91	85	90	85	89
		Temperatura de Secagem (°C)	58	44	43	46	47
		Temperatura de Enxaguamento (°C)	58	45	45	47	47
		Tempo de Lavagem (min.)	4	4	4	4	4
		Tempo de Enxaguamento (min.)	4	4	4	4	4
		Tempo de Lavagem (min.)	4	4	4	4	4
<b>Banho</b>	Mudança de banho/ dia	Não	Não	Não	Não	Não	
	<b>Variáveis/Dia</b>	1º Dia 25/05/2020	2º Dia 26/05/2020	3º Dia 27/05/2020	4º Dia 28/05/2020	5º Dia 29/05/2020	

### 2.4.2.7 Quantidade de amostras retiradas

Recolheu-se 3 tubos em cada uma das etapas A, B, C e D por dia no mesmo horário.

### 2.4.2.8 Caracterização das amostras retirada

A peça utilizada como amostra para os dias 25, 26, 27 e 28 foi um tubo de alumínio com duas curvas. Antes da lavagem automática foi embutida uma flange como se verifica na Figura 39, e um casquilho do lado oposto.

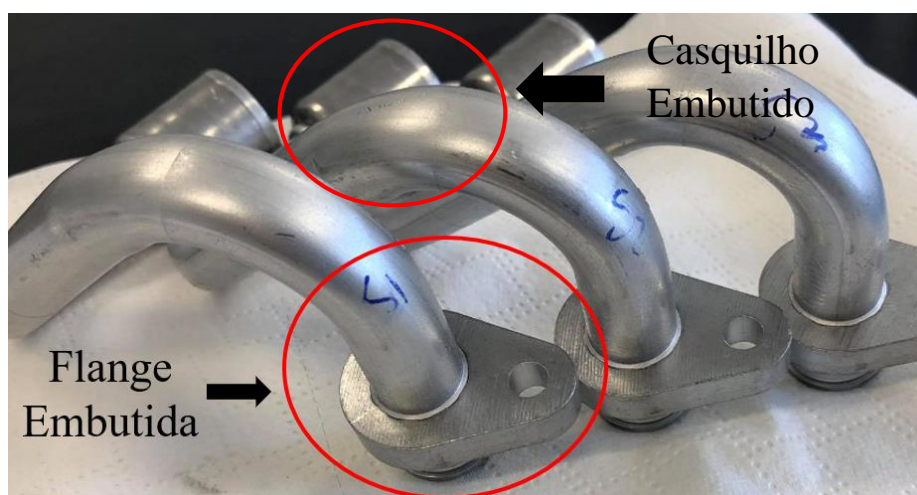


Figura 39 - Flange e casquilhos embutidos no tubo da amostra.

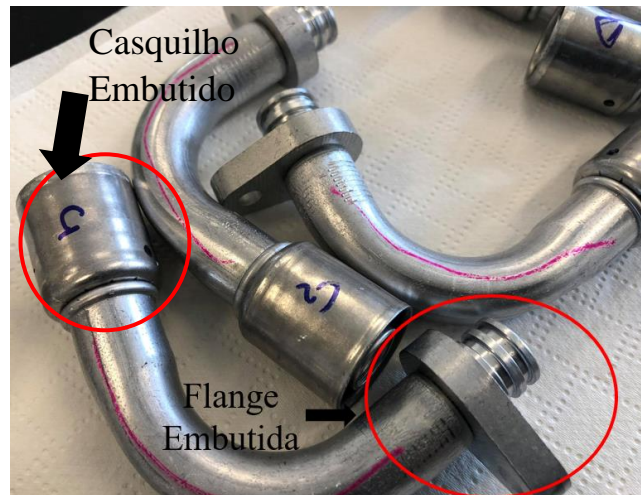
Para o cálculo da área a utilizar no ensaio de limpeza consideraram-se as características enumeradas na Tabela 11.

Tabela 11 - Características do tubo usado como amostra.

Tipo de alumínio	3XXX
Diâmetro Externo (mm)	19,05
Espessura da parede (mm)	1,24
Comprimento (mm)	242,00

Os valores destas características encontram-se descritas no Anexo C 2. Segundo a equação 1, a área da superfície molhada para o tubo deste caso de estudo foi  $125,98 \text{ cm}^2$ .

A peça utilizada como amostra para o dia 29 foi um tubo de alumínio com apenas uma curva que antes da lavagem automática foi lhe embutida uma flange e um casquilho como se verifica na Figura 40.



*Figura 40 - Flange embutida no tubo da amostra.*

Para o cálculo da área a utilizar no ensaio de limpeza considerou-se as características enumeradas na Tabela 12.

*Tabela 12 - Características do tubo usado como amostra.*

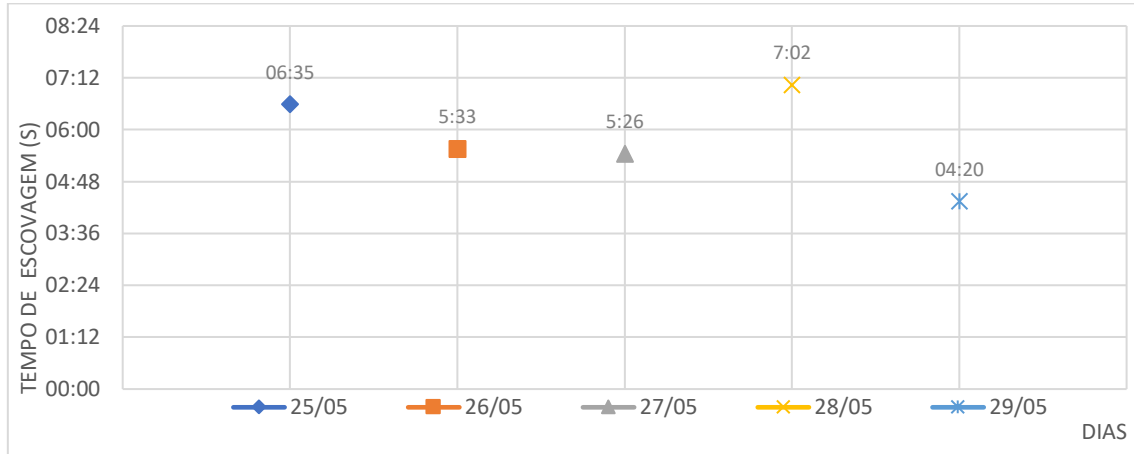
<b>Tipo de alumínio</b>	3XXX
<b>Diâmetro Externo (mm)</b>	15,00
<b>Espessura da parede (mm)</b>	1,65
<b>Comprimento (mm)</b>	151,5

Os valores destas características encontram-se descritas no Anexo C3. Segundo a equação 1, a área da superfície molhada para o tubo deste caso de estudo foi 55,69  $cm^2$ .

#### 2.4.2.9 Resultados

##### 2.4.2.9.1 Análise do tempo da Operação Escovagem

Os resultados dos tempos da operação extra, a escovagem, de limpeza interna dos tubos encontram-se registados no Anexo G. Na Figura 41 segue a análise gráfica dos resultados dos tempos médios para a operação de escovagem.

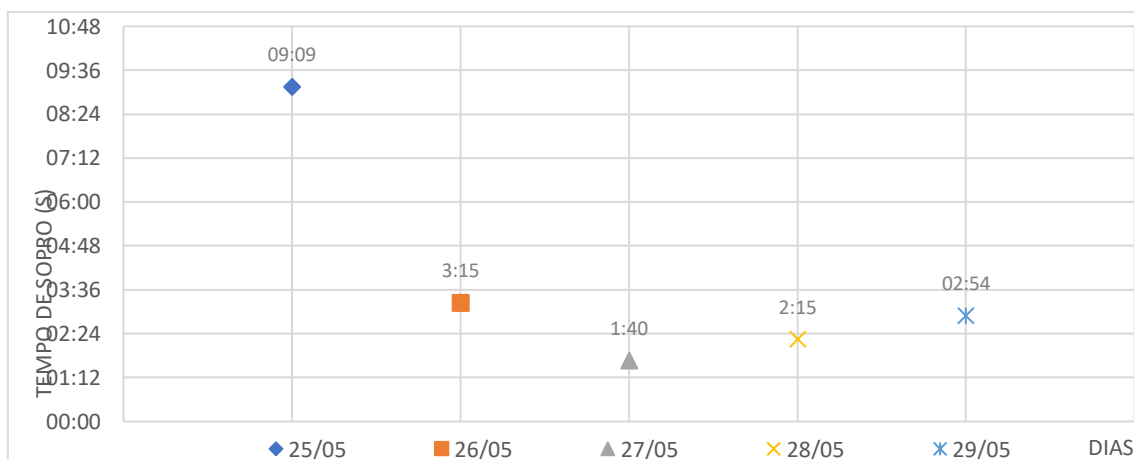


*Figura 41 - Tempos médios da operação escovagem em cada dia.*

Analisando a Figura 41, verificou-se que o tempo de escovagem medido ao longo dos dias varia entre 4:49 e 8:32 segundos. Verificou-se, também, que apenas o resultado do dia 25/05/2020 se distancia da tendência, que ronda os 5 segundos. Sendo a escovagem uma operação manual, esta é de difícil controlo pois, depende da experiência do operador. Depende, também, do cansaço do operador, existindo uma tendência a diminuir com o passar das horas de trabalho.

#### 2.4.2.9.2 Análise do tempo da Operação Sopros

Os resultados dos tempos da operação extra, o sopro, de limpeza interna dos tubos encontram-se registados no Anexo G. Na Figura 42 segue a análise gráfica dos resultados dos tempos médios para a operação de sopro.



*Figura 42 - Tempos médios da operação sopro em cada dia.*

## **Capítulo II - 2. Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel**

Analisando a Figura 42, verificou-se que o tempo de sopro medido ao longo dos dias varia entre 1:40 e 9:09 segundos. Verifica-se, também, que apenas o resultado do dia 25/05/2020 se distancia da tendência, que ronda os 3 segundos.








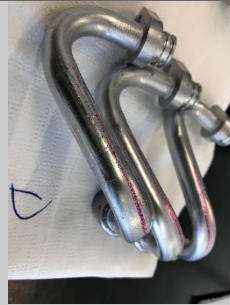












Do mesmo modo que a escovagem, o sopro trata – se de uma operação manual que depende da experiência do operador. Além disto, a inclinação da pistola e o modo de encaixe da pistola na extremidade do tubo são variáveis que influenciam a direção e a intensidade do fluxo de ar comprimido que arrasta as partículas do interior dos tubos. Contudo, não se conseguiu garantir que estas variáveis permanecessem constantes ao longo dos dias.

### 2.4.2.9.3 Avaliação da Limpeza Externa – Teste *Pink*

Nas Tabelas 13 apresentam-se os resultados correspondentes ao teste da caneta *Pink*.

**Capítulo II - 2. Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel**

*Tabela 13 - Registo dos resultados do teste Pink .*

Dia	Etapas			
	A	B	C	D
25/05				
26/05				
27/05				
28/05				
29/05				

Analisando as imagens da Tabela 13 verificou-se que existem tubos com risco desfocado. Isto deveu-se à presença de gordura na superfície do tubo. Contrariamente, noutros tubos existem riscos mais nítidos, ou seja, superfícies com menos teor de óleo. A presença de óleo pode surgir durante o processo de embutição de flanges e casquilhos do tubo.

Este método de ensaio está em desenvolvimento, pelo que os resultados obtidos foram apenas indicativos.

### 2.4.2.9.4 Análise Gravimétrica

Os valores obtidos na análise gravimétrica para todas as amostras do caso de estudo II encontram-se no Anexo D 2.

Na Figura 43 está indicado os valores médios das massas obtidas das partículas extraídas em cada uma das etapas para cada um dos dias.

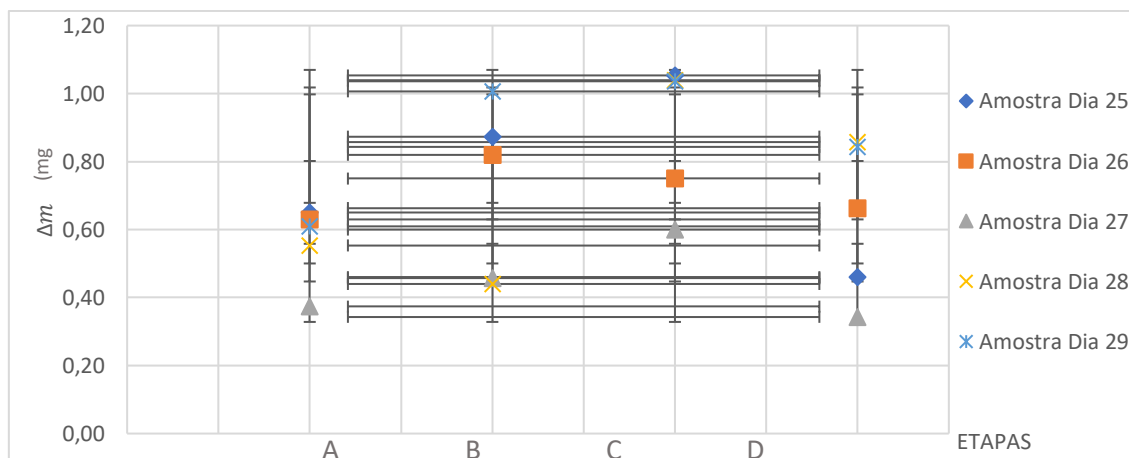


Figura 43 - Resumo dos valores médios obtidos para as massas das partículas em cada etapa.

Fazendo a análise da Figura 43, verificou-se, que no geral, a escovagem (Etapa C) provocou um aumento de partículas relativamente à etapa B. No entanto, parte deste aumento é eliminado pela operação sopro, em todas as amostras.

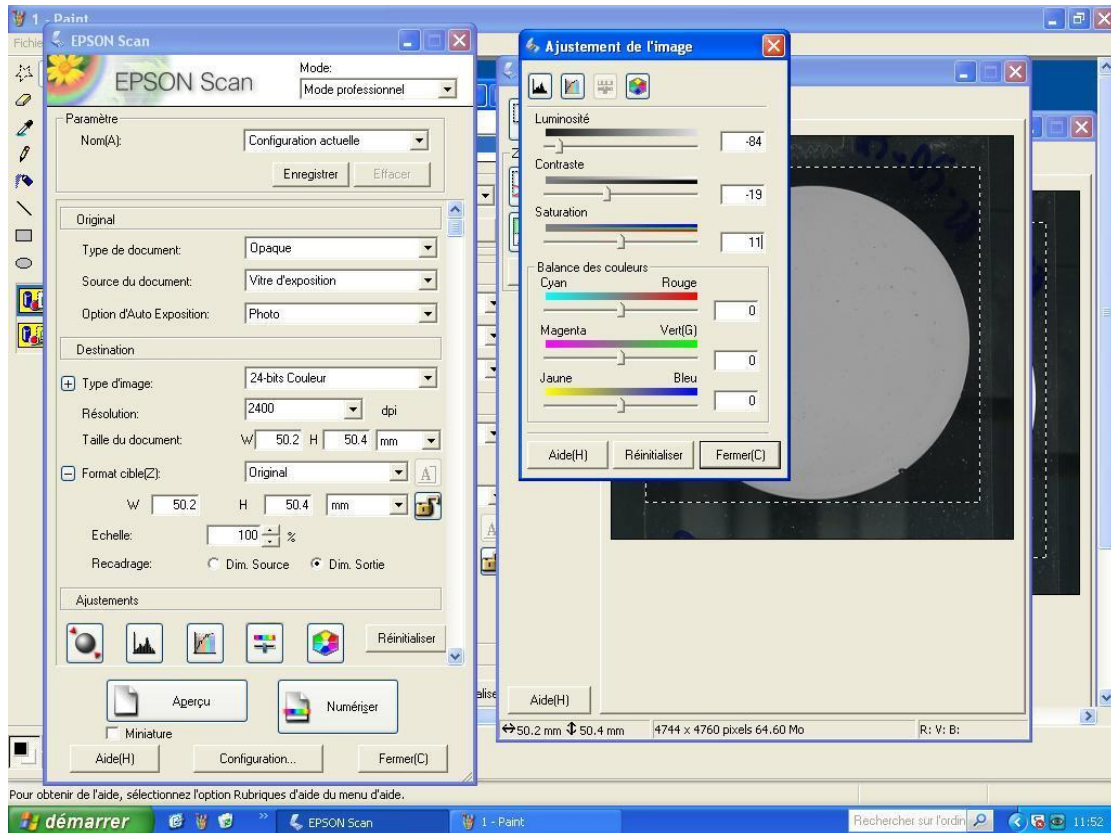
### 2.4.2.9.5 Análise Granulométrica

A análise granulométrica das partículas foi realizada com o auxílio do programa *Filtrex*.

Os valores obtidos na análise granulométrica encontram-se no Anexo E - Resultados da análise granulométrica.

### 2.4.2.9.5.1 Definição dos parâmetros de análise do programa Filtrex

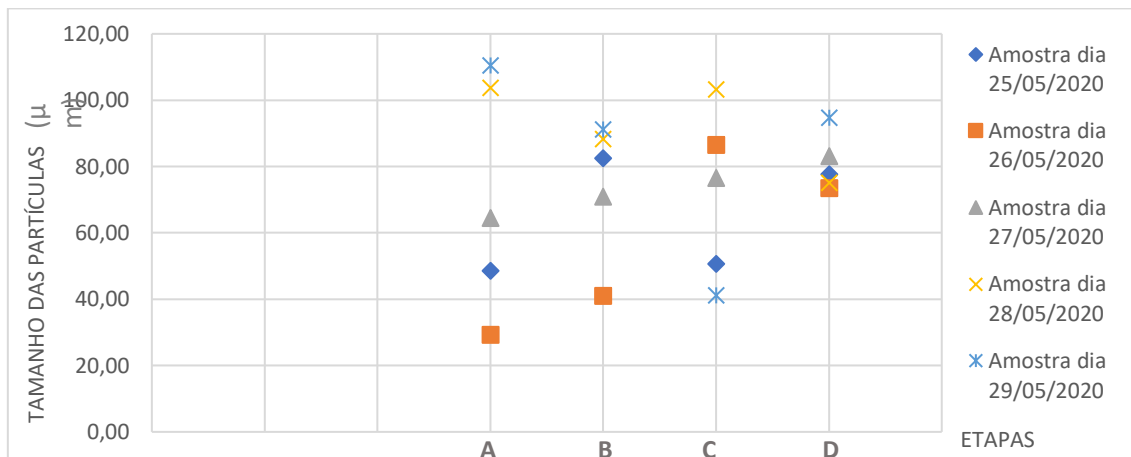
Na Figura 44 encontram-se definidos os parâmetros do programa *Filtrex*, nomeadamente, luminosidade, contraste e saturação da imagem transmitida para análise da granulometria das partículas nas diferentes etapas.



**Figura 44** - Parâmetros a definir no programa *Filtrex*.

### 2.4.2.9.5.2 Comparação da dimensão mínima nas diferentes etapas

A Figura 45 apresenta a comparação gráfica da dimensão mínima nas diferentes etapas das amostras recolhidas nos diferentes dias.

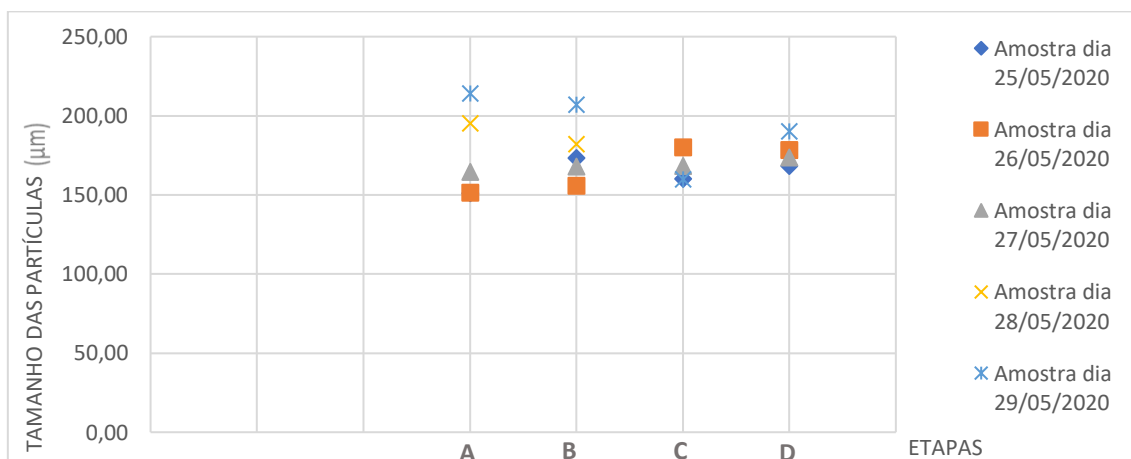


**Figura 45** - Comparação dos valores médios para a dimensão mínima nos diferentes dias para cada etapa.

Através da análise da Figura 45 verificou-se que a dimensão mínima das partículas extraídas varia entre 29 e 110,33 µm. Observa-se, também, que a operação escovagem produz um aumento na dimensão das partículas relativamente às etapas anteriores. No entanto, as partículas com maiores dimensões, no geral, foram eliminadas pela operação sopra.

#### 2.4.2.9.5.3 Comparação da dimensão média nas diferentes etapas

A Figura 46 apresenta a comparação gráfica da dimensão média nas diferentes etapas das amostras recolhidas nos diferentes dias.



**Figura 46** - Comparação dos valores médios para a dimensão média nos diferentes dias para cada etapa.

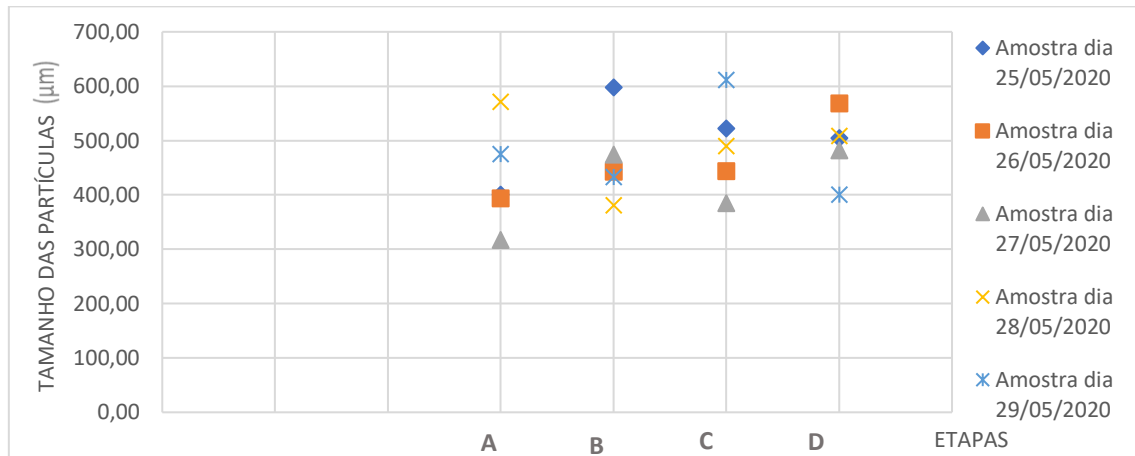
Pela análise da Figura 46, verificou-se uma menor dispersão nos valores obtidos para a dimensão média das partículas nas diferentes etapas ao longo dos dias, variando entre 151 e 214 µm.

## Capítulo II - 2. Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel

Por outro lado, verificou-se que, no geral, as operações extra à limpeza interna dos tubos conseguiram em média obter dimensões menores nas partículas relativamente às etapas A e B.

### 2.4.2.9.5.4 Comparação da dimensão máxima nas diferentes etapas

A Figura 47 apresenta a comparação gráfica da dimensão máxima nas diferentes etapas das amostras recolhidas no diferentes dias.



**Figura 47** - Comparação dos valores médios para a dimensão máxima nos diferentes dias para cada etapa.

A análise da dimensão máxima das partículas é mais crítica, uma vez que, os critérios de aceitação descritos nos cadernos de encargos da maioria dos clientes têm por base o número de partículas e a dimensão máxima admissível das partículas.

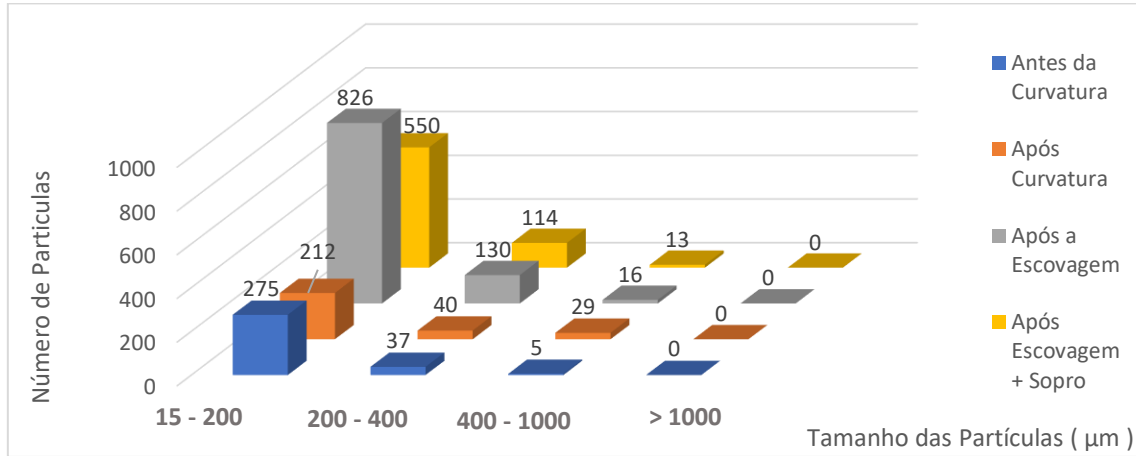
Observa-se na Figura 47 uma grande dispersão nos resultados obtidos, variando entre 317,33 e 611,67 µm.

Do mesmo modo que para a dimensão média, verificou-se que, no geral, as operações extra à limpeza interna dos tubos conseguiram, em média, obter dimensões menores nas partículas relativamente às etapas A e B.

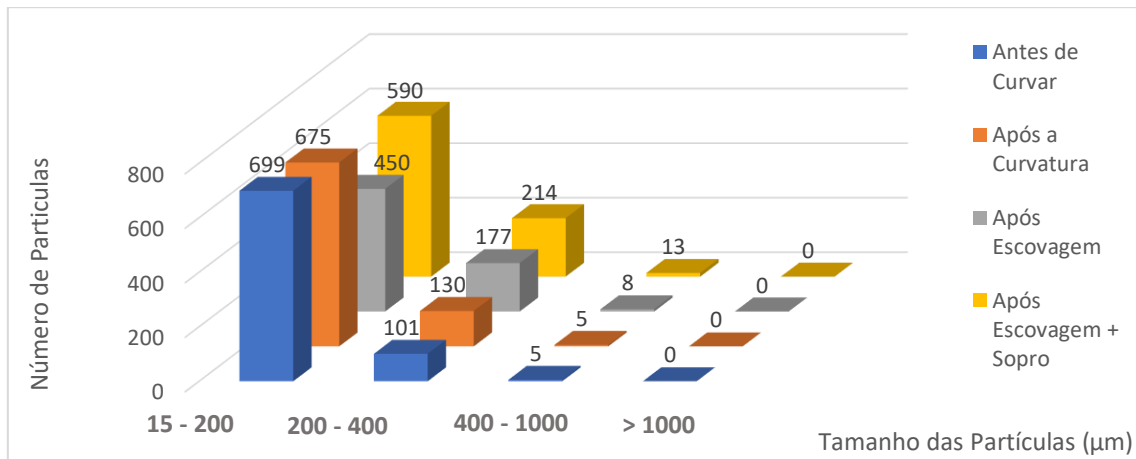
### 2.4.2.9.5.5 Comparação das dimensões das partículas entre os diferentes dias durante as etapas

As Figuras 48 a 52 apresentam graficamente as dimensões das partículas libertadas nas diferentes etapas das amostras recolhidas nos diferentes dias.

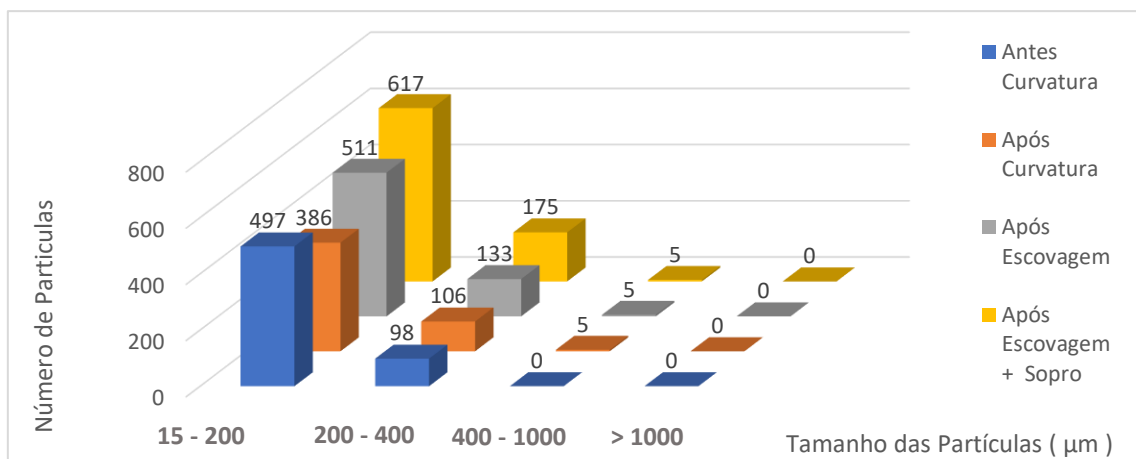
**Capítulo II - 2. Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel**



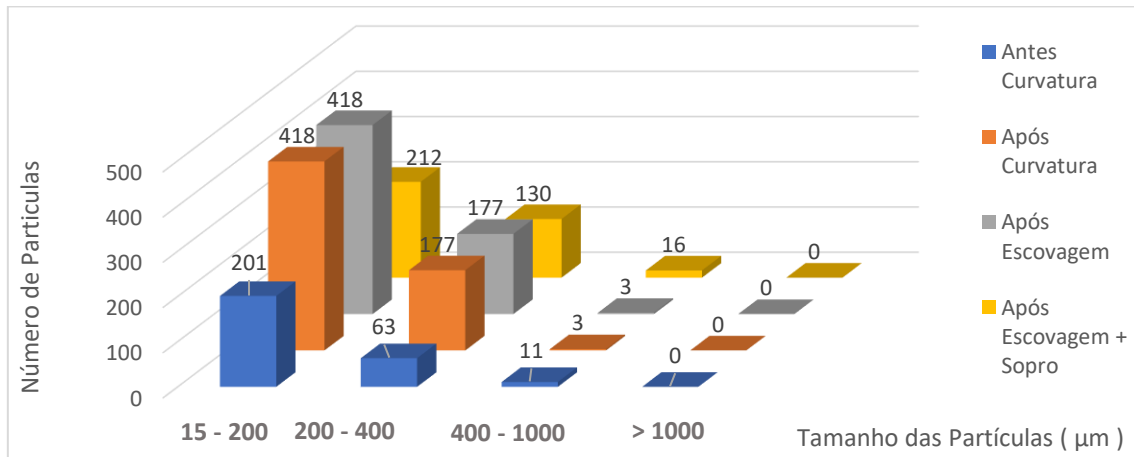
*Figura 48 - Tamanho das partículas nas diferentes etapas no dia 25/05.*



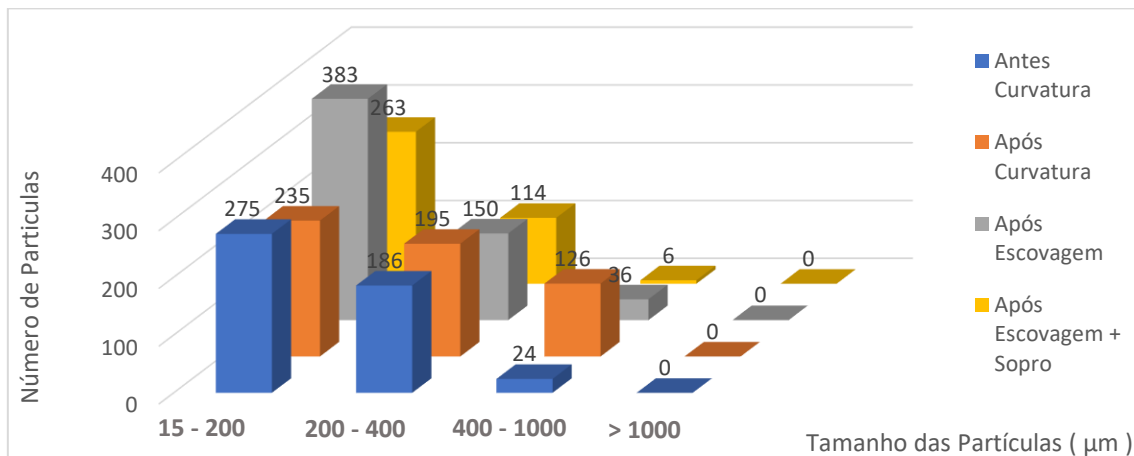
*Figura 49 - Tamanho das partículas nas diferentes etapas no dia 26/05.*



*Figura 50 - Tamanho das partículas nas diferentes etapas no dia 27/05.*



*Figura 51 - Tamanho das partículas nas diferentes etapas no dia 28/05.*



*Figura 52 - Tamanho das partículas nas diferentes etapas no dia 29/05.*

Analisando as Figuras 48 a 52 verificou – se que:

- Na Etapa A,
  - 78,6 % das partículas encontram-se na classe 15 – 200 µm;
  - 19,6 % das partículas encontram-se na classe 200 – 400 µm;
  - 1,8 % das partículas encontram-se na classe 400 - 1000 µm;
  - Não existem partículas com dimensão superior a 1000 µm;
- Na Etapa B,
  - 70,2 % das partículas encontram-se na classe 15 – 200 µm;
  - 23,6 % das partículas encontram-se na classe 200 – 400 µm;
  - 6,2 % das partículas encontram-se na classe 400 - 1000 µm;
  - Não existem partículas com dimensão superior a 1000 µm;
- Na Etapa C,
  - 74,2 % das partículas encontram-se na classe 15 – 200 µm;

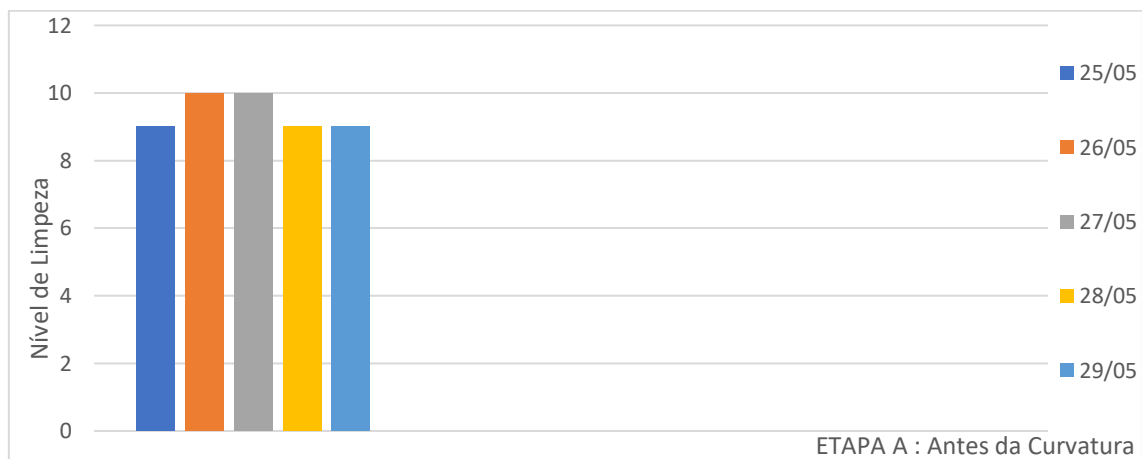
## Capítulo II - 2. Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel

- 23,6 % das partículas encontram-se na classe 200 – 400  $\mu\text{m}$ ;
- 2,2 % das partículas encontram-se na classe 400 - 1000  $\mu\text{m}$ ;
- Não existem partículas com dimensão superior a 1000  $\mu\text{m}$ ;
- Na Etapa D,
  - 73,6 % das partículas encontram-se na classe 15 – 200  $\mu\text{m}$ ;
  - 24,6 % das partículas encontram-se na classe 200 – 400  $\mu\text{m}$ ;
  - 1,8 % das partículas encontram-se na classe 400 - 1000  $\mu\text{m}$ ;
  - Não existem partículas com dimensão superior a 1000  $\mu\text{m}$ ;

Assim sendo, observa-se que a etapa B foi a que produz partículas de maior dimensão, sendo estas reduzidas pelas operações de escovagem e de sopro.

### 2.4.2.9.5.6 Nível de limpeza segundo a Norma ISO 16232-10:2007

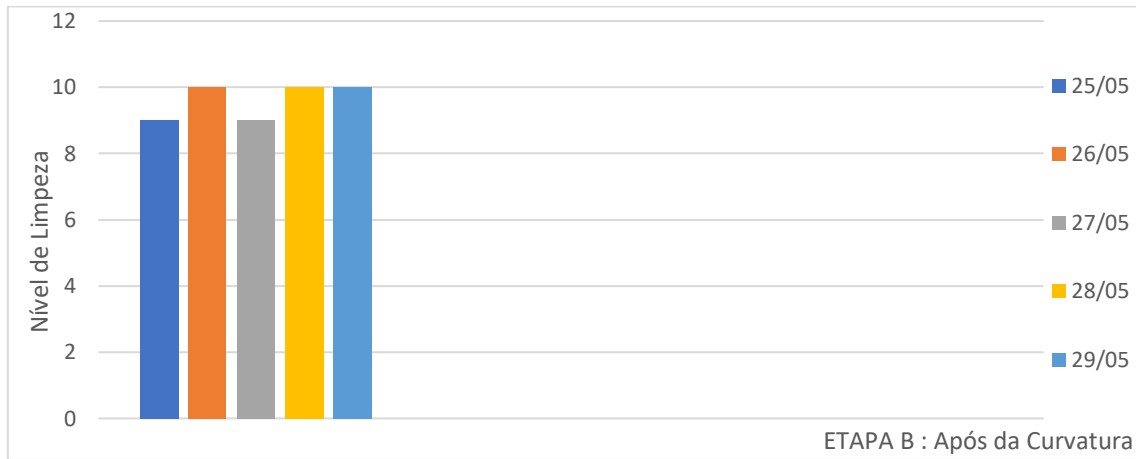
As Figuras 53 á 56 indicam os níveis de limpeza das etapas A, B, C e D, respetivamente. O nível de limpeza baseia-se na quantidade de partículas libertadas.



*Figura 53 - Nível de limpeza na Etapa A.*

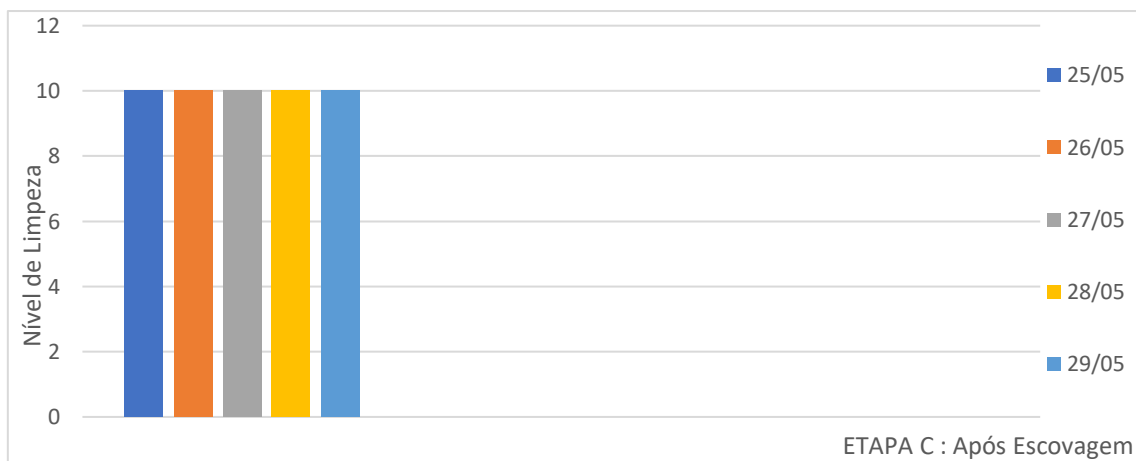
De acordo com a Figura 53, o nível de limpeza relativamente à etapa A oscilou entre nível 9 e 10.

## Capítulo II - 2. Controlo de Qualidade na limpeza dos tubos de ar condicionado automóvel



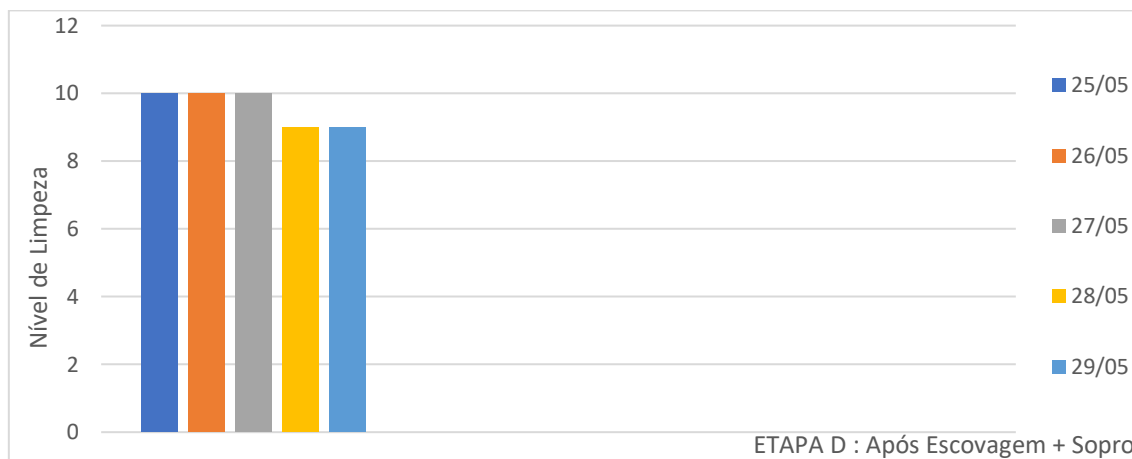
*Figura 54 - Nível de limpeza na Etapa B.*

De acordo com a Figura 54, o nível de limpeza relativamente à etapa B provocou, no geral, o aumento de um nível de limpeza relativamente à etapa A.



*Figura 55 - Nível de limpeza na Etapa C.*

De acordo com a Figura 55, o nível de limpeza relativamente à etapa C foi 10 para todas as amostras.



*Figura 56 - Nível de limpeza na Etapa D.*

A Figura 26 permitiu verificar que a etapa D, correspondente à operação sopros, baixou um nível de limpeza relativamente à etapa C. É de salientar que, para cada nível de limpeza está associado um intervalo de valores (quantidade de partículas) como se observa na Tabela B 2 do Anexo B. O que quer dizer que diferentes amostras com o mesmo nível de limpeza, podem ter quantidades de partículas diferentes.

#### 2.4.2.9.6 Análise química das partículas por microscopia eletrónica de varrimento

A realização dos ensaios de limpeza reteve em membranas de nitrato de celulose as partículas que se encontravam livres no interior do tubo. De forma a caracterizar quimicamente as partículas, recorreu - se microscopia eletrónica de varrimento.

Devido a problemas técnicos, apenas foi possível determinar a composição química de três partículas libertadas nas etapas A, B e C pelos tubos do dia 25/05.

Os resultados encontram - se no Anexo H 1.

Nas Figuras 57 á 59 encontra-se o resumo da composição química das partículas extraídas na etapa A, B e C e, de forma a compreender a existência de alguns elementos químicos na composição das partículas, analisou-se um pente de uma escova utilizada na operação de escovagem.

✓ Etapa A

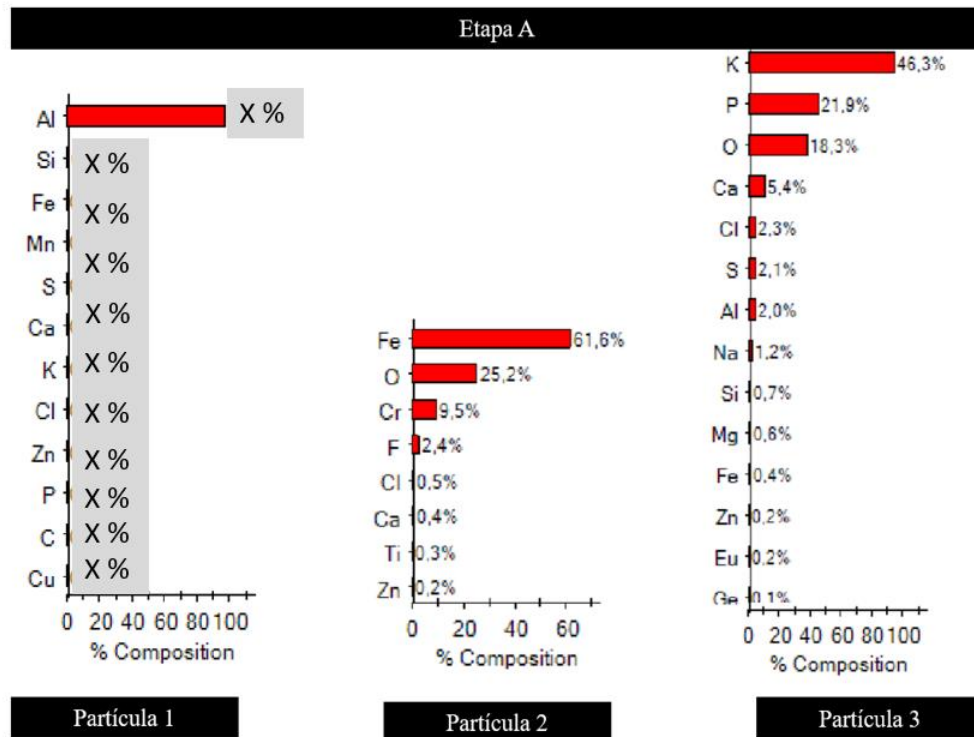


Figura 57 - Composição química das partículas da Etapa A.

A composição química das 3 partículas analisadas foi bastante diferente, sendo que para a partícula 1 o principal componente foi o alumínio - Al, para partícula 2 foi o ferro - Fe e para partícula 3 foi o potássio - K. A partícula 1 serviu de exemplo das partículas que se soltam do tubo utilizado da amostra visto que o principal elemento foi o alumínio.

A presença de ferro e de potássio poderá ser objeto de uma análise mais aprofundada do processo de lavagem para determinar a sua origem.

✓ Etapa B

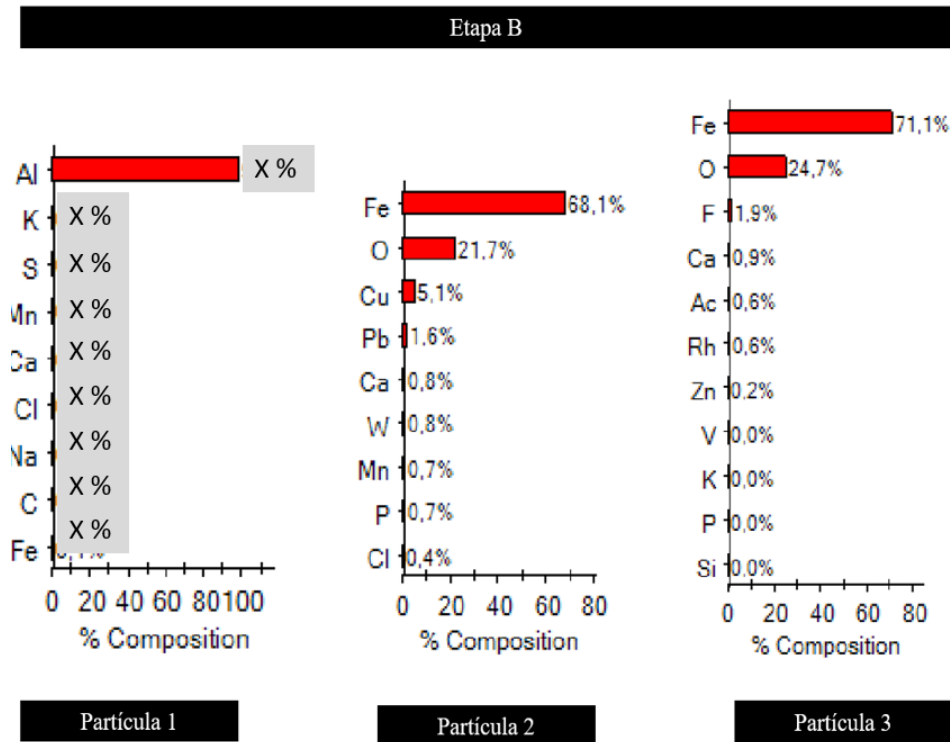


Figura 58 - Composição química das partículas da Etapa B.

O principal componente da partícula 1 foi Alumínio - Al e para partícula 2 e 3 foi o Ferro - Fe. A partícula 1 serviu de exemplo das partículas que se soltam do tubo utilizado como amostra visto que o alumínio foi o componente maioritário. Contudo, a forte presença de ferro na composição química das partículas 2 e 3 poderá ser objeto de uma análise mais aprofundada do processo de lavagem e de curvar para determinar a sua origem.

✓ Etapa C

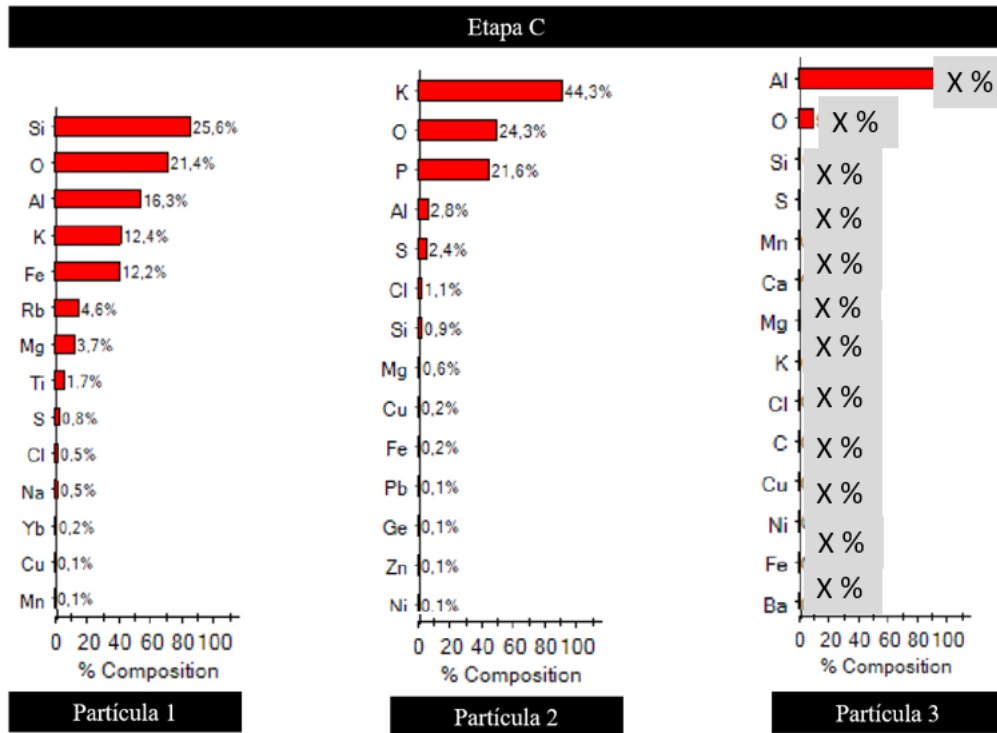
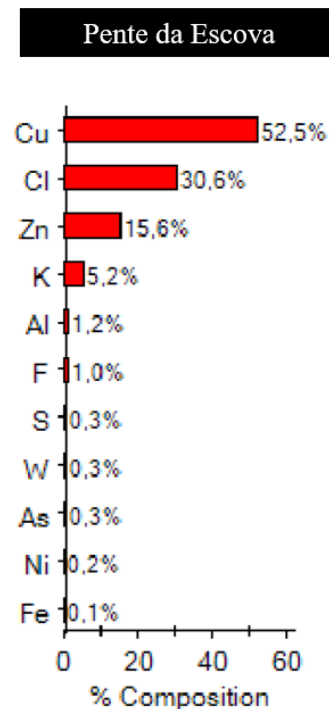


Figura 59 - Composição química das partículas da Etapa C.

O principal componente da partícula 1 foi o Silício - Si, para partícula 2 foi o Potássio - K e 3 foi o Alumínio - Al. A partícula 3 serviu de exemplo das partículas que se soltam do tubo utilizado como amostra visto que, o alumínio foi o principal constituinte.

Tratando-se da etapa C (após a operação escovagem), analisou-se um pente da escova que foi utilizado na operação de escovagem tendo-se obtido a seguinte composição química:



*Figura 60 - Composição química de um pente de uma escova.*

Analisando-se a composição química do pente da escova, verificou-se que as partículas analisadas da etapa C não provêm da escovagem, uma vez que não possuem cobre – Cu nas suas composições químicas.

### 2.4.2.10. Conclusões

Através da análise dos resultados, este estudo permitiu concluir que:

- ✓ Não existe um valor definido para o tempo de operação da escovagem e do sopro, sendo esta uma variável que depende da experiência do operador. No entanto, verificou-se que o tempo gasto na operação de escovagem foi sempre superior ao do sopro;
- ✓ Relativamente à avaliação da limpeza externa dos tubos, constatou-se que permanecem vestígios de óleo na superfície dos tubos mesmo após a lavagem automática, no entanto, estes resultados não interferem na limpeza interior do tubo;
- ✓ A nível de resultados da análise gravimétrica:

- Após operação extra de escovagem verificou-se um aumento da massa das partículas relativamente à etapa B (após curvar);
- Após operação extra de sopro verificou-se uma diminuição da massa de partículas, no entanto, não consegue compensar o aumento verificado na operação de escovagem, assim sendo, o resultado obtido foi superior aos resultados da etapa B;
- ✓ O resultado da análise granulométrica permitiu concluir, que a etapa B (após curvar) foi a que possuiu partículas de maior dimensão. No geral, aproximadamente 70% das partículas analisadas nas diferentes etapas encontram-se na classe de 15-200  $\mu\text{m}$ , não existindo partículas com dimensão superior a 1000  $\mu\text{m}$ . Por outro lado, verificou-se que as operações extra à limpeza interna dos tubos provoca uma redução na quantidade de partículas.
- ✓ Em relação ao nível de limpeza, este permaneceu praticamente constante. Verificou-se uma diminuição do número de partículas com as operações extra, no entanto, a redução não foi suficiente para diminuir o nível de limpeza;
- ✓ Das variáveis identificadas no primeiro caso de estudo, apenas a pressão que o operador exerce com a escova nas extremidades dos tubos é que não foi possível de medir, pelo que não se pode concluir a influência desta variável no estudo efetuado.

## Capítulo III - Metalografia

As matérias-primas metálicas utilizadas pela Hutchinson para a produção de tubos são o aço e o alumínio. Sendo matérias-primas que influenciam bastante a performance do processo produtivo e a qualidade do produto final, é importante conhecer e ter meios de análise da sua constituição.

Tendo estes meios de análise é possível:

- Avaliar se o fornecedor envia o material segundo o acordado;
- Assegurar o cumprimento requisitos cliente;
- Implementar mais rapidamente melhorias nos processos de produção.

Um dos métodos de análise da constituição de um metal é a metalografia.

Os ensaios metalográficos permitem não só relacionar a estrutura íntima dos materiais com as propriedades dos materiais, mas também com o processo de fabrico e a aplicação do produto final [19]. Este tipo de ensaios pode se dividir em macrografia e micrografia.

Antes de proceder à análise é necessário a preparação da amostra. A Figura 61 identifica todas as etapas para a preparação de uma superfície plana e polida [19].

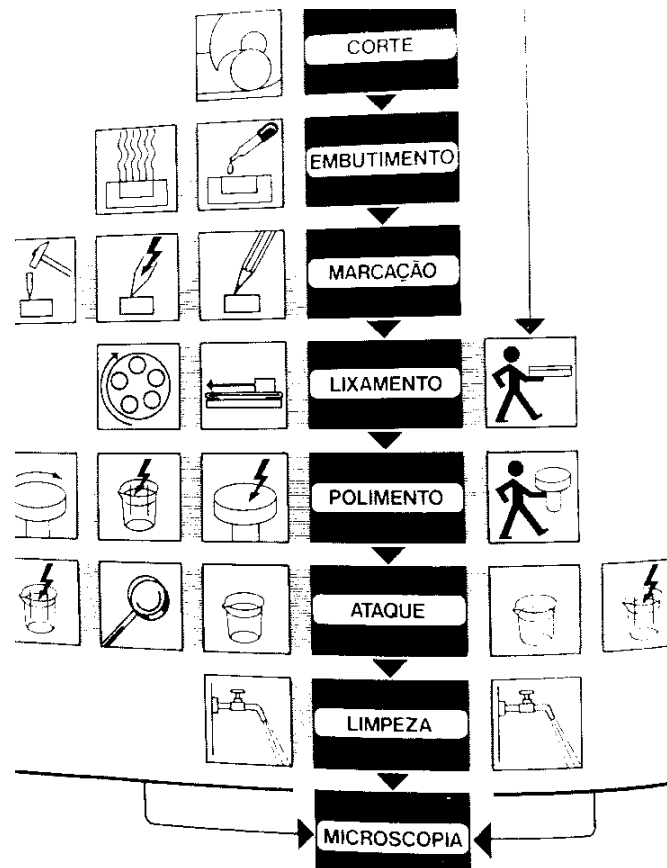


Figura 61 - Esquema da sequência de etapas na preparação de uma amostra metalográfica [19].

3.1 Preparação da Amostra

Para que os resultados destes ensaios sejam mais fidedignos, a preparação da superfície da amostra é uma etapa fundamental. Como se verifica na Figura 61, a preparação da superfície da amostra envolve as seguintes etapas:

**i. Corte**

Existem duas formas de corte, transversal e longitudinal [19]. Na Tabela 15 estão descritas as considerações a ter em conta na forma de corte a seleccionar.

*Tabela 14 - Seleção da forma de corte [19].*

Corte Transversal	Corte Longitudinal
Natureza do material	Verificação se a peça é fundida, forjada ou laminada
Homogeneidade da superfície	Solda de barras
Forma e intensidade da segregação	Extensão de tratamentos superficiais
Forma e dimensões de dendrites	
Existência de restos do vazio	
Profundidade da têmpera	

Por outro lado, os métodos de corte a aplicar podem ser divididos em:

- ✓ Corte mecânico:
  - Abrasão, a seco ou a húmido;
  - Por serrote;
  - Cisalhamento;
- ✓ Corte por maçarico de oxicorte;
- ✓ Corte por eletroerosão;
- ✓ Corte eletroquímico;

O método de corte mais comum nos ensaios metalográficos é o corte mecânico por abrasão a húmido [20]. Este método contém uma cortadora de disco abrasivo na qual o disco é refrigerado pela passagem de água que retarda a deterioração da estrutura do disco. Os discos abrasivos mais usais são óxido de alumínio, carboneto de silício ou diamante com diferentes granulometrias. Por outro lado, a classificação dos discos de corte baseia-se na dureza dos grãos abrasivos. Assim, surge a regra básica para seleção de discos [19]:

Material mole → Disco duro

Material duro → Disco mole.

## ii. Montagem da amostra

Esta etapa tem como objetivo facilitar o manuseio de amostras pequenas e evitar que arestas aguçadas danifiquem a lixa e/ou o pano de polimento. Quando se trata de peças de pequena dimensão, o processo a adotar designa-se por embutição. Este consiste na formação de um suporte com o material adequado, formando um corpo único com a amostra. A embutição pode ocorrer a frio ou a quente. A embutição a frio utiliza resinas de polimerização rápida enquanto que na embutição a quente, a amostra é embutida em materiais termoplásticos por meio de prensas [19]. Neste trabalho apenas se irá focar na embutição a quente.

Na embutição a quente a polimerização da resina ocorre em prensas. Os materiais a utilizar para embutir são selecionados de acordo com as características da Tabela 15.

*Tabela 15 - Características dos diferentes tipos de resina a utilizar na embutição [19].*

Características	Tipo de Resina		
	Acrílico, termoplástico	Poliéster, termo-fixo	Epóxi, termo-fixo
Tipo de plástico	Acrílico, termoplástico	Poliéster, termo-fixo	Epóxi, termo-fixo
Fornecido em	Pó / Líquido	Líquido / Líquido	Líquido / Líquido
Aparência	Transluzente	Transparente	Transparente
Pressão	Alta	Alta	Baixa
Contração (Vol. %)	3	5	0,5
Aspetto Económico	Alto	Baixo	Médio

As propriedades que se destacam para a seleção do material de embutição são,

1. Baixa contração e boa adesão à amostra;
2. Ausência de bolhas;
3. Viscosidade adequada;
4. Resistência ao lixamento e ao polimento;
5. Boa condutividade elétrica;
6. Ausência de reação química com a amostra e o molde;
7. Baixo custo.

## iii. Marcação e Identificação

A marcação e identificação da amostra é realizada quando se preparam inúmeras amostras.

#### iv. Lixamento

Esta etapa tem como objetivo tornar a superfície da amostra uniforme. Na Figura 62 é ilustrado o processo que ocorre enquanto se lixa a superfície da amostra.

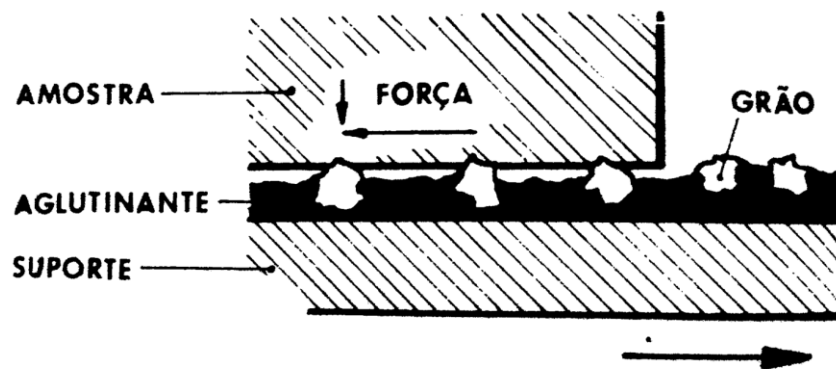


Figura 62 - Processo Lixamento [19].

Como se verifica na Figura 62, os grãos abrasivos são retidos por um material aglutinante permitindo que estes atuem como pequenas ferramentas de corte [19]. Estes devem ser aguçados e duros. A técnica de lixamento consiste em lixar a amostra com granulometrias decrescentes, mudando-se a direção em 90° em cada lixa até desaparecer os traços da lixa anterior. Os processos de lixamento variam de acordo com o equipamento utilizado [19]:

- Seco  
A amostra é invertida e lixada diretamente sobre a superfície lisa.
- Húmido  
A utilização de água evita a formação de poeira e o aquecimento da amostra.
- Manual ou Automático

#### v. Limpeza e secagem da amostra

A superfície da amostra deve estar isenta de traços de abrasivos e solventes, assim como, de encruamentos, deformações, poeiras ou partículas. Caso contrário, as análises microscópicas serão influenciadas. Assim sendo, a limpeza da superfície da amostra é crítica. A operação de limpeza deve ser efetuada por líquidos de baixo ponto de ebulição, tais como álcool e éter, e posteriormente, secados através de um jato de ar quente.

### vi. Polimento

Esta etapa consiste na obtenção de uma superfície isenta de riscos de modo a se obter uma imagem clara ao microscópio. Os diferentes materiais a utilizar para polir são óxido de crómio,  $Cr_2O_3$ ; óxido de magnésio,  $MgO$ ; óxido de alumínio ou alumina,  $Al_2O_3$ ; diamante natural ou sintético [19]. O diamante é o material mais utilizado para fins metalográficos como uma mistura de pó de diamante num meio orgânico [19]. Este pode ser fornecido em forma de pasta ou aerossol. Por outro lado, de acordo com a granulometria da pasta de diamante seleciona-se o pano de polimento. No anexo H encontra-se a tabela prática para seleção dos panos de polimento.

### vii. Ataque Químico

O ataque químico tem como objetivo realçar os elementos estruturais da amostra através da diferenciação da cor, relevo e falhas estruturais como fissuras e poros [19]. Assim sendo, o ataque químico cria contraste entre os elementos estruturais a serem analisados no microscópio de forma a facilitar a visualização de detalhes como contornos dos grãos e fenómenos de precipitação. O contraste criado provém das inúmeras transformações eletroquímicas que ocorrem na superfície da amostra baseada em reações de oxidação-redução devido às diferenças de potencial eletroquímico. Assim sendo, componentes menos nobres atuam como ânodos enquanto que os componentes mais nobres reagem como cátodos, formando células locais conforme ilustra a Figura 63.

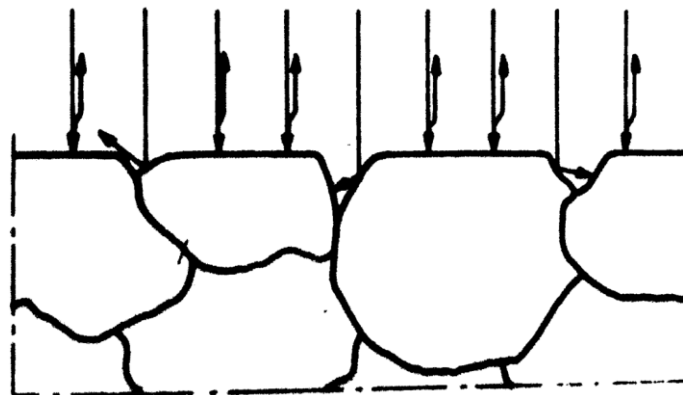


Figura 63 - Formação de células locais durante o ataque químico [19].

O ataque químico pode ser dividido em macro ataque ou micro ataque. A principal diferença que separa estes dois tipos de ataque é o nível de visualização da amostra, ou seja, a nível macro evidencia-se a macroestrutura enquanto que a nível micro, evidencia-se a estrutura cristalina do

material para a qual se recorre a um microscópio metalográfico. Os agentes reativos diferem de acordo com o material da amostra. Existem algumas variáveis a controlar durante o ataque, nomeadamente, o tempo de ataque e o tempo de paragem do ataque, que influenciam a qualidade da visualização do microscópio metalográfico.

**viii. Análise em Microscópio Metalográfico**

O microscópio metalográfico visa facilitar e tornar mais nítida a observação da microestrutura da amostra. O microscópio metalográfico é constituído por elementos mecânicos, óticos e iluminadores sendo os elementos mecânicos, um conjunto de peças mecânicas precisas responsáveis pelo posicionamento, deslocamento e focalização da amostra. Na Figura 64 encontram - se descrita os elementos constituintes do microscópio metalográfico.

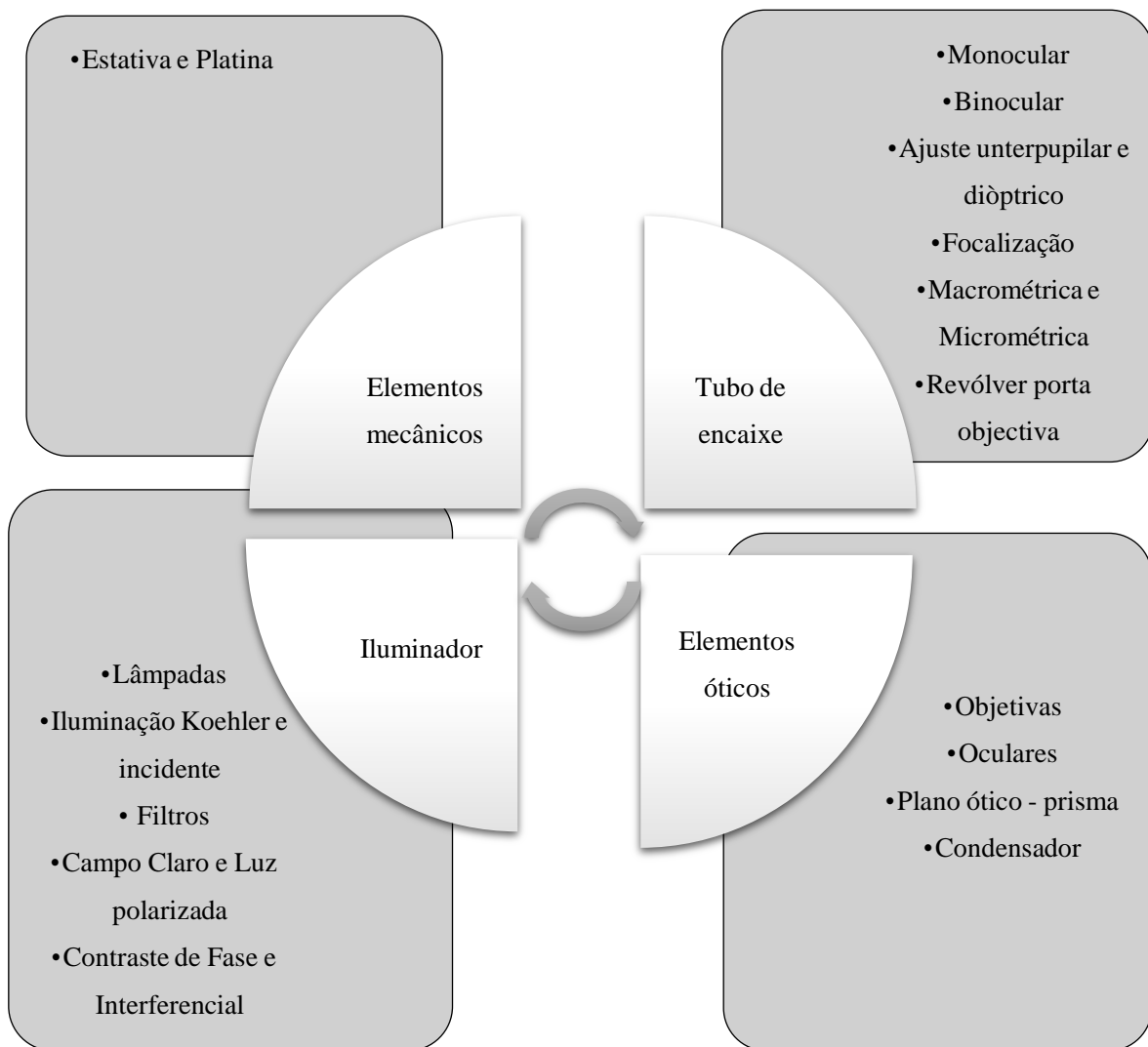


Figura 64 - Constituição do microscópio metalográfico [19].

De forma a complementar a análise metalográfica pode-se efetuar uma análise química através do microscópio eletrônico de varrimento, SEM.

### 3.1.1 Equipamentos, Consumíveis e Reagentes Químicos

#### 3.1.1.1 Equipamentos

Os equipamentos necessários para a realização dos ensaios metalográficos são a cortadora, a prensa, a polidora e o microscópio metalográfico.

#### 3.1.1.2 Consumíveis

##### 3.1.1.2.1 Discos Abrasivos

Os discos abrasivos possuem minerais e produtos sintéticos que são considerados como ferramentas de corte. Durante a operação de corte, o disco tem de ser constantemente arrefecido para evitar arraste de partículas e alterações estruturais na amostra devido ao calor produzido [21]. Os materiais mais conhecidos que constituem este tipo de discos são carboneto de silício, alumina, diamante e nitreto de boro cúbico [22]. Atualmente, o disco de carboneto de silício é o mais utilizado devido às suas características: [23]

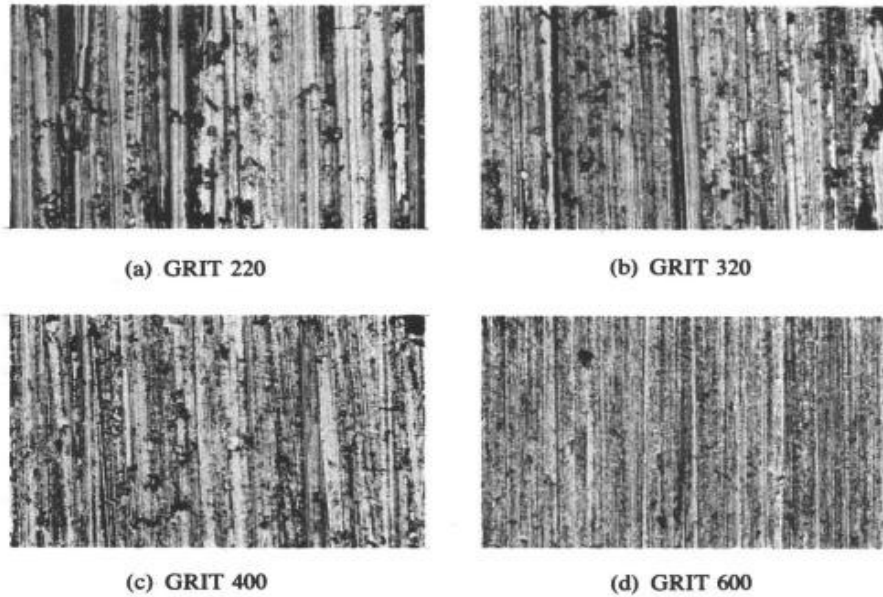
- Cerâmica com alta dureza e estabilidade mecânica a altas temperaturas;
- Excelente condutividade térmica;
- Baixo coeficiente de expansão térmica;
- Alta resistência à corrosão e oxidação.

##### 3.1.1.2.2 Resinas

Os materiais mais utilizadas nas operações metalográficas para prensar são plásticos termoendurecíveis, como fenol - formaldeído também conhecido por baquelite, resina de dialilftalato e resinas epóxi [21].

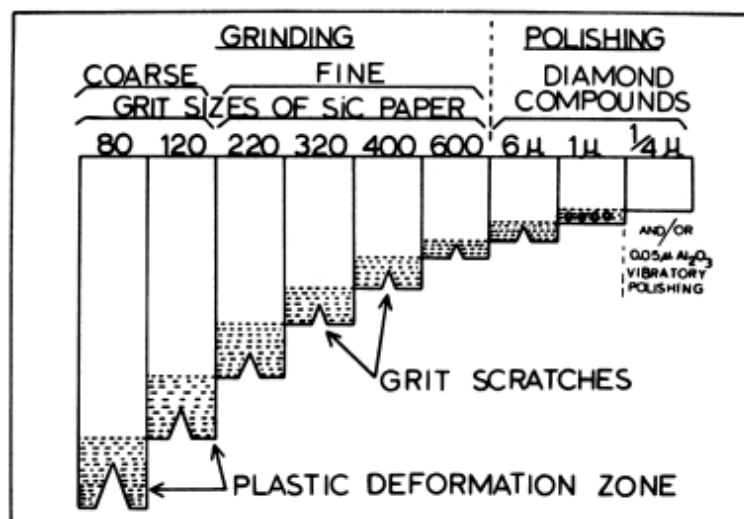
##### 3.1.1.2.3 Lixas

Após o corte e embutição, a amostra é lixada por lixas com granulometrias crescentes, provocando riscos com diferentes profundidades como se observa na Figura 65.



**Figura 65** - Riscos na superfície de uma amostra de ouro de 24 quilates, introduzida durante a operação de retificação fina em discos de carboneto de silício. Ampliação 100x [21].

A retificação dos riscos é unidirecional e as lixas a usar seguem a sequência da Figura 66. Esta faz-se acompanhar pelo auxílio do líquido de arrefecimento para garantir a remoção de grãos soltos. Os arranhões resultantes de uma determinada lixa são removidos pela granulação sucessiva e, de maneira semelhante, o metal deformado plasticamente resultante é removido pela lixa de uma granulação superior [21].



**Figura 66** - Efeito da retificação da deformação plástica [21].

3.1.1.2.4 Panos de *Nylon*Polimento Áspero

Inicialmente ocorre o polimento áspero. Para este polimento recorre-se a um pano de *nylon* onde se satura com água e seguidamente, adiciona-se pasta de diamante de 6  $\mu\text{m}$ , extensor de diamante ou óleos com baixa viscosidade.

Polimento Fino

Mudar para o pano de polimento fino. Neste adiciona-se pasta de diamante de 1  $\mu\text{m}$  [21].

Cuidados a ter:

Garantir que o pano se encontra sempre lubrificado [21].

## 3.1.1.3 Reagentes químicos

- ✓ *Reagentes para o ataque químico;*

Relativamente ao ataque químico, o reagente utilizado depende do material do tubo. No caso do alumínio, o reagente utilizado mais comum é o reagente *Keller*.

Na Tabela 16 estão apresentadas as formas de preparação do reagente *Keller* mas também de outros agentes químicos que podem ser utilizados para o aço e para o alumínio.[23].

*Tabela 16 - Procedimento para preparação dos diferentes agentes químicos [23].*

Aplicação	Designação	Composição	Objetivo
Aço e suas ligas	Água Régia	8 ml Ácido Nítrico Concentrado 12 ml Ácido Clorídrico Concentrado 1000 ml Etanol	Reativo para micrografias de aços inoxidáveis.
	<i>Oberhoffer</i>	0,5 g Cloreto de Estanho 1 g Cloreto de Cobre 30 g Cloreto de Ferro 42 ml Ácido Clorídrico Concentrado 500 ml Água Destilada 500 ml Etanol	Reativo para macrografias, segregações e estruturas primárias.
	Nital	2 ml Ácido Nítrico 98 ml Etanol	Permite bons contrastes entre perlite, ferrite e cementite.
	<i>Marchall's</i>	100 ml $H_2O$ 8 g Ácido Oxálico 5 ml Ácido Sulfúrico	Reativo para aço com baixo teor de carbono.

Alumínio e suas ligas	Reagente <i>Keller</i>	2 ml HF (48%) 3 ml Ácido Clorídrico Concentrado 5 ml Ácido Nítrico Concentrado 190 ml $H_2O$	Ligas da Série 2 XXX e distinção de diferentes tratamentos térmicos.
	Reativo metalográfico para alumínio e suas ligas	10 ml Ácido Clorídrico Concentrado 10 ml Ácido Nítrico Concentrado 10 ml Ácido Fluorídrico 2,5 ml $H_2O$	Cordões de solda e macroestrutura; Determinação microscópica do tamanho do grão.
	Reativo HF	1 ml HF (48%) 200 ml $H_2O$	Micrografia de todas as ligas trabalhadas e fundidas; Análise geral do tamanho dos constituintes e sua distribuição.

## Capítulo IV – Gestão de Calibrações e Verificações

---

Todos os equipamentos possuem um tempo de vida útil que depende tanto da frequência como do modo de utilização. A necessidade de certificar o desempenho dos equipamentos é fundamental para a confiabilidade dos resultados de medição e, conseqüentemente, para a obtenção e garantia da qualidade dos produtos. Geralmente, o desempenho degrada-se com a utilização aumentando o erro associado à medição. Fatores como condições ambientais, padrões, método de medição e até o próprio equipamento influenciam o erro de medição [24].

A Hutchinson Porto é uma empresa certificada pela norma ISO TS 16949 desde 2017. Para dar cumprimento ao requisito normativo 7.1.5-*Monitoring and measuring resources*, a Hutchinson tem implementada uma política de gestão de calibrações internas e externas e de verificações internas para garantir a qualidade do produto final.

Entende-se por calibração um procedimento experimental que pode ser definido como um “conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um equipamento de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões” [24]. Sendo assim, efetuar a calibração de um equipamento consiste num processo de comparação entre dois equipamentos com a determinação de erro e incerteza. Contrariamente, a verificação é a comparação de um equipamento com um outro de qualidade superior, de forma a perceber se existe variação significativa nas medições do mesmo [25].

Os resultados obtidos das calibrações e verificações como a rastreabilidade metrológica, são documentados devido às exigências normativas.

A definição de períodos de verificação e calibração é fundamental para garantir um controlo de qualidade eficaz. A aplicação de um período incorreto de verificação ou calibração suscita decisões erradas na tentativa de melhoria de processos e produtos. Assim sendo, a calibração é a forma mais usual de caracterizar e avaliar o desempenho de um equipamento [24].

#### 4.1 Calibrações Externas

A Hutchinson possui uma base de dados para a gestão das calibrações e verificações internas e externas dos equipamentos. Estas são realizadas segundo um planeamento anual.

Para as calibrações que não são possíveis de realizar internamente, como é o caso dos blocos padrão que são utilizados para as calibrações internas dos paquímetros, recorre a entidades externas certificadas pela ISO 17025.

Na receção dos equipamentos calibrados externamente, é feita uma análise ao certificado de calibração. Neste analisa-se a incerteza e o erro associado a cada medição efetuada. O equipamento é aceite se o valor obtido for menor ou igual que o critério de aceitação definido para o equipamento.

#### 4.2 Calibrações e Verificações Internas

A verificação e a calibração têm como objetivo aferir que determinado equipamento ou ferramenta está apto, durante o período definido, para ser utilizado no controlo de qualidade do produto ou processo ao longo das etapas de produção.

Os equipamentos que são sujeitos a verificações e/ou calibrações internas são: os paquímetros digitais, manómetros, réguas metálicas, fitas métricas, chaves dinamométricas e chaves aparafusadoras, galgas, sondas e calibres [26].

##### 4.2.1 *Procedimento para Verificações e Calibrações Internas*

Os procedimentos aplicados para verificações e calibrações seguem as instruções do departamento de qualidade [26][27][28]:

- ✓ *Verificação interna de recursos de medição e monitorização.*
- ✓ *Atribuição de períodos de verificação/ calibração;*
- ✓ *Calibração / Verificação de paquímetros;*

##### 4.2.1.1 Paquímetro - Digital

Na calibração ou verificação deste tipo de equipamentos é fundamental garantir que o local de calibração esteja limpo de forma a evitar que partículas de sujidade possam interferir no resultado. Pelo mesmo motivo, os blocos padrão e o equipamento a verificar ou calibrar, devem

ser limpos principalmente, na zona onde se procede a medição. A limpeza efetua-se através da passagem de papel absorvente e álcool. No fim da calibração deve-se lubrificar novamente os blocos padrão para que estes não oxidem.

Por outro lado, é efetuado um ensaio de exatidão não só às maxilas exteriores e interiores, mas também á haste de profundidade de forma a determinar os erros máximos admissíveis aplicados para cada valor nominal. Além disto, realiza-se um ensaio de planeza às maxilas com auxílio da régua de Bisel. Este ensaio consiste na verificação da passagem da luz entre uma das maxilas e a régua de Bisel avaliando assim a planeza das maxilas do paquímetro.

#### 4.2.1.2 Manómetros, Réguas Metálicas

Relativamente a manómetros e réguas metálicas são efetuadas quatro leituras a 20, 40, 60, e 80% da totalidade da escala após a limpeza de gorduras e poeiras. De seguida, compara-se os resultados obtidos com os padrões para tomar a decisão de validação. A validação depende do desvio permitido associado a cada equipamento.

#### 4.2.1.3 Fitas Métricas

A calibração das fitas métricas consiste em verificar a legibilidade das marcas da escala da fita métrica, ou seja, se está bem cravada, perpendicular à mesma e se não possui folga excessiva. Após a limpeza de poeiras e gorduras, realizam-se ensaios em tração e em compressão com auxílio de uma mesa plana e de um paralelepípedo. A diferença entre estes é o modo como se assenta a régua sendo que para o primeiro caso assenta-se a régua fazendo com que o zero esteja um pouco fora do seu bordo e, no segundo caso assenta-se a régua contra o paralelepípedo. Estes ensaios consistem na observação dos seguintes pontos ao longo da escala da fita métrica: 100, 500 e 1 000 mm da escala e compara-se com os padrões para tomar a decisão de validação. A validação depende do desvio permitido associado à fita métrica.

#### 4.2.1.4 Chaves Dinamométricas

Na calibração das chaves dinamométricas utilizam-se chaves pneumáticas como padrão de referência. Após as medições, compara-se com os valores obtidos dos padrões para tomar a decisão de validação. A validação depende do desvio permitido associado a cada equipamento.

#### 4.2.1.5 Chaves Aparafusadoras

Na calibração das chaves aparafusadoras utiliza-se torque aparafusadora como padrão de referência. Após a realização de três medições, compara-se com os valores obtidos dos padrões para tomar a decisão de validação. A validação depende do desvio permitido associado a cada equipamento.

#### 4.2.1.6 Galgas, Sondas e Calibres

Na calibração destes equipamentos utiliza-se micrómetro ou paquímetro digital como padrão de referência. Após a realização das medições das cotas definidas, compara-se com os valores obtidos dos padrões para tomar a decisão de validação. A validação depende do desvio permitido associado a cada equipamento.

#### 4.2.1.7 Chaves de Óbus e Punções

A verificação destes tipos de equipamentos consiste na confirmação de valores das cotas descritas em fichas técnicas dadas pelos fornecedores. Este controlo ocorre na receção. Após a análise dos resultados de medição e tendo em conta o erro associado a cada cota, sucede a validação para a utilização destes na linha de produção.

#### 4.2.2 *Período de Verificação e Calibração Interno*

O período de verificação e de calibração dos equipamentos de medição e das ferramentas de produção, pode variar conforme a solicitação e a aplicação. Contudo, encontra - se documentada a periodicidade genérica de cada equipamento na Tabela 17 [27].

Tabela 17 - Periodicidade genérica de cada equipamento [27].

Equipamento de medição	Calibração / Verificação	Periodicidade (dias)
Paquímetro (0 – 150) mm	Calibração	365
Paquímetro (0 – 1000) mm	Calibração	365
Fita métrica	Verificação	180
Régua Padrão	Calibração	1095
Régua Metálica	Calibração	180
Manómetro Padrão	Calibração	365
Manómetro	Verificação	180
Blocos Padrão	Calibração	365
Máquina tração Instron	Calibração	730
Medidor TESA	Calibração	730
Microscópio SEM	Calibração	365
Termo-Higrómetro	Calibração	730

A gestão de calibrações internas dos equipamentos na Hutchinson baseia - se em diversas normas:

- ✓ Norma X07-015: *Métrologie – Raccordement des résultats de mesure au Système International d’unités* (SI). Esta norma francesa é aplicada quando se pretende a medição em fases de estudo, industrialização ou controlo e, quando se deve atender a requisitos de rastreabilidade estabelecidos em diferentes padrões.
- ✓ DIN 862-*Caliper Accuracy Specifications and Calibration Information*.
- ✓ EA-4/02-Avaliação da Incerteza de medição em Calibrações.

A gestão efetuada com um programa auxiliar que permite ter acesso a toda a informação dos equipamentos que se encontram ou não, a operar. Após análise dos resultados, a tomada de decisão relativamente à validação do equipamento é registada no programa.

#### 4.3 Aplicação prática: Verificação de ferramentas de produção e Calibração de equipamento de medição

A gestão de verificação e calibrações de recursos de medição e monitorização foi realizada com recurso à informação disponibilizada por um software que indica os equipamentos a serem calibrados ou verificados.

Esta aplicação prática abordou apenas a verificação e a calibração interna dos equipamentos e ferramentas de produção.

Os objetivos deste caso de estudo:

- ✓ Verificação de cotas críticas de ferramentas de produção: punções e chave de óbus;
- ✓ Calibração interna de um equipamento de medição: paquímetro digital;

#### 4.3.1 Descrição das ferramentas de produção a verificar: Punção e Chave de óbus

##### 4.3.1.1 Punção

O objetivo das punções é perfurar os tubos de alumínio, que integram as tubagens de ar condicionado, para cravação de válvulas de enchimento de gás. Posteriormente, estas válvulas serão soldadas.

Cada punção possui uma ficha técnica com os valores das cotas associados a um erro como se verifica na Figura 67.

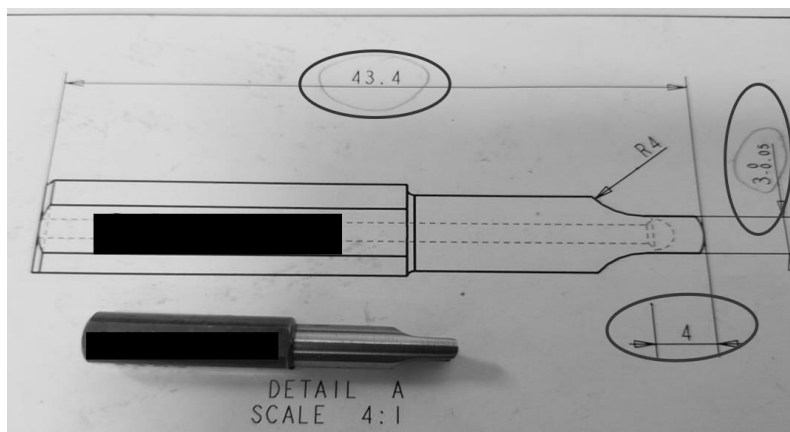


Figura 67 - Exemplo de uma ficha técnica de um punção.

A medição das cotas críticas, presentes na ficha técnica, teve de ser rigorosa uma vez que, os punções são meios de perfuração. Esta medição foi realizada através de dois micrómetro, um interno e um externo, e, posteriormente, documentada. Os punções que possuíam valores de cotas que não respeitaram a tolerância estabelecida foram rejeitados.

##### 4.3.1.2 Chaves de Óbus

As chaves de óbus semelhantes à da Figura 68 são utilizadas em máquinas aparafusadoras para aperto do óbus no interior das válvulas presentes nas tubagens. Esta é uma ferramenta com um desgaste bastante elevado, pelo que a sua verificação e substituição é bastante frequente.



*Figura 68 - Exemplo de uma chave de óbus.*

#### 4.3.2 Descrição do equipamento a calibrar: Paquímetro - Digital

O paquímetro digital calibrado internamente é semelhante ao da Figura 69. Este equipamento é utilizado quer no controlo de produto ao longo do processo, como no controlo de diferentes componentes que fazem parte integrante de uma tubagem de ar condicionado.



*Figura 69 - Exemplar de um paquímetro digital.*

#### 4.3.3 Resultados

##### 4.3.3.1 Punções

Os resultados obtidos da verificação das cotas dos punções analisados são referentes à ficha técnica da Figura 70.

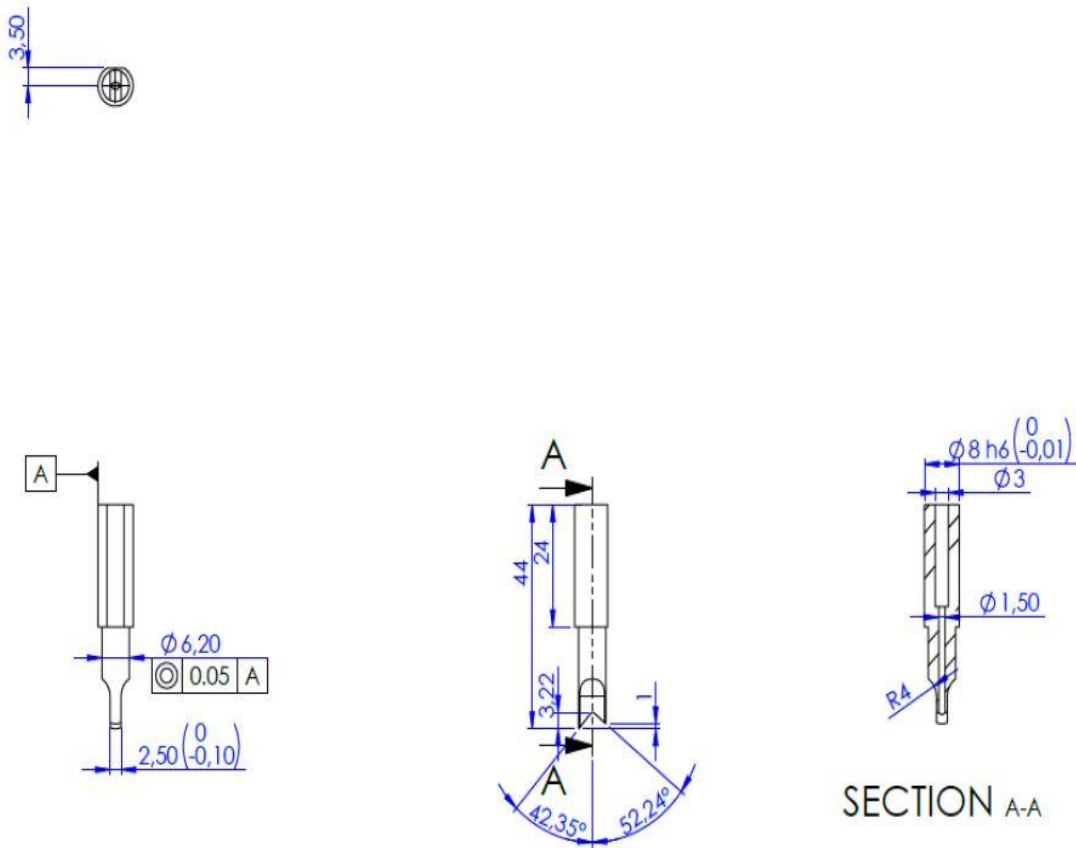


Figura 70 - Ficha técnica dos punções analisados.

As cotas que foram medidas com os micrómetro foram as cotas críticas:

$6,20 \pm 0,10$  mm

$2,50 - 0,10$  mm

$3,00 \pm 0,10$  mm

$8,00 - 0,01$  mm

$44,00 \pm 0,10$  mm

$24,00 \pm 0,10$  mm

A amostra soma um total de 42 punções. Os resultados das medições das cotas críticas dos punções analisados encontram – se no Anexo I 1.

#### 4.3.3.2 Chaves de Óbus

Os resultados da verificação das cotas das chaves de óbus analisadas são referentes à ficha técnica da Figura 71.

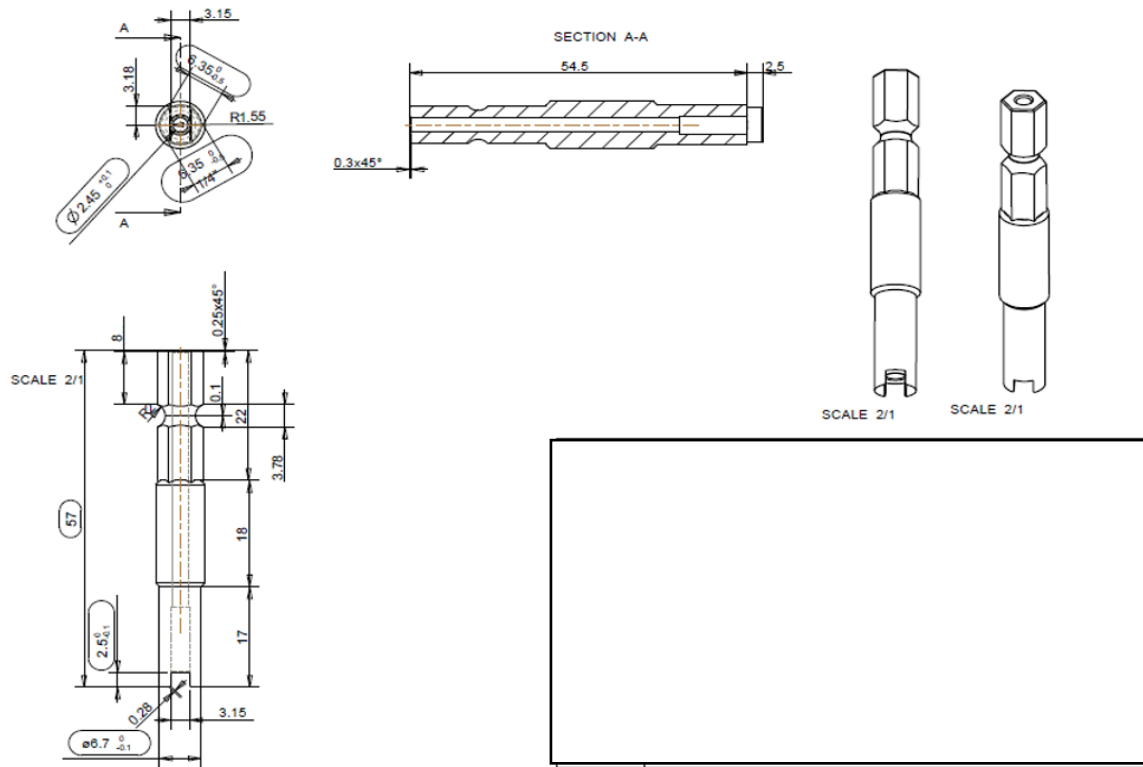


Figura 71 - Ficha técnica da chave de Óbus.

As cotas críticas foram medidas com recurso aos micrómetros. Estas foram:

- 57,0 ± 0,1 mm
- 17,0 ± 0,1 mm
- 6,7 – 0,1 mm
- 3,15 ± 0,10 mm
- 8,0 – 0,1 mm
- 2,5 – 0,1 mm
- 2,45 + 0,10 mm
- 6,35 ± 0,10 mm

A amostra soma um total de 30 chaves de óbus. Os resultados das medições das cotas críticas das chaves de óbus encontram – se no Anexo I 1.

#### 4.3.3.3 Paquímetros

A calibração do paquímetro envolve:

- ✓ O ensaio de exatidão às maxilas exteriores e interiores:
- ✓ O ensaio de exatidão às hastes de profundidade;
- ✓ O ensaio de planeza.

Na Figura 72 está apresentado o paquímetro a calibrar.



*Figura 72 - Paquímetro a calibrar.*

O paquímetro digital calibrado foi da Marca *Mitutoyo* e do Modelo *CD – 15 APX* com uma resolução de 0,01 mm.

As condições ambientais em que a calibração foi realizada foi 20,2 °C e 45,4% de humidade.

#### 4.3.3.3.1 Ensaios de Exatidão

Os blocos padrão utilizados para calibração do paquímetro encontram-se na Figura 73.



*Figura 73 - Blocos padrão utilizados na calibração do paquímetro.*

Para o ensaio de exatidão das maxilas exteriores foram utilizados os padrões 5, 10, 20, 30 e 60 mm, enquanto que para as maxilas interiores foi apenas utilizado o padrão 16 mm e para as hastes de profundidade os blocos padrão de 5 e 10 mm. Os blocos padrão são calibrados por entidades externas.

Os resultados destas medições encontram-se nas Tabelas I 3 do Anexo I.

#### 4.3.4 Conclusões

##### *Punções*

Analisando os resultados das Tabelas 29 e 30, verificou-se que os punções nº 6, 16, 21, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 e 40 não cumprem com a especificação de uma das cotas críticas definidas. Registou-se uma rejeição de 31% dos punções analisados.

##### *Chaves de Óbus*

Analisando os resultados das Tabelas 31 e 32, verificou-se que as chaves de óbus nº 6, 7 e 30 não cumprem com a especificação de uma das cotas críticas definidas. Registou-se uma rejeição de 10% das chaves de óbus analisadas.

##### *Paquímetros*

Um paquímetro é validado quando a soma do erro e da incerteza das medições das maxilas e hastes é menor ou igual ao critério de aceitação.

Comparando os valores obtidos com o critério de aceitação, verificou-se que todos são inferiores ao critério de aceitação. Logo, o paquímetro pode ser utilizado.

*Página intencionalmente em branco*

## Capítulo V – Conclusões e Trabalho Futuro

---

### 5.1 Conclusões

O período de estágio curricular, embora interrompido pelo vírus Covid-19, revelou-se uma experiência enriquecedora quer a nível profissional quer a nível pessoal.

Relativamente aos casos de estudo I e II, a avaliação da eficácia da aplicação de operações extra à limpeza interna dos tubos, permitiu concluir que, após aplicação da operação extra de escovagem (Etapa C), os resultados de limpeza pioraram face aos resultados obtidos após curvar (Etapa B) e que após a aplicação da operação extra de sopro (Etapa D), os valores de limpeza melhoraram face a Etapa C. No entanto, não atingiram os valores obtidos após a Etapa B. Por outro lado, verificou-se que não existiam partículas de dimensão superior a 1000  $\mu\text{m}$  e que, 70% das partículas analisadas possuem dimensões entre 15 e 200  $\mu\text{m}$ , após a aplicação das operações extra.

A implementação dos ensaios metalográficos foi conseguida, tendo-se realizado as instruções de utilização para cada equipamento e análise de amostras.

Por último, a gestão de calibrações permitiu compreender o método de gestão dos equipamentos e das ferramentas de produção a calibrar e verificar bem como a importância do seu contributo na garantia de resultados fidedignos para um controlo de qualidade eficaz.

O objetivo deste estágio foi atingido, pois foi possível abordar toda a parte teórica com a aplicação prática, proposta no início deste trabalho. Foi ainda possível aplicar muitos dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso, permitindo adquirir novas capacidades e melhorar aptidões necessárias a um bom desempenho profissional.

## 5.2 Trabalho Futuro

Durante o estudo da eficiência das operações extra à limpeza interna dos tubos, algumas variáveis não foram analisadas e outras necessitavam de serem aprofundadas, pelo que são apresentados, em seguida, os tópicos que se consideram importantes rever e/ ou alterar:

- ✓ Uma vez que não existe nenhum valor estabelecido para a operação escovagem, deveria - se padronizar o tempo para a realização da operação;
- ✓ Do mesmo modo, não existe nenhum valor estabelecido para a operação sopro. Logo, deveria-se *padronizar* o tempo ideal para a realização da operação;
- ✓ Estudar um modo de controlar a pressão exercida pelo operador durante a escovagem;
- ✓ Executar o estudo com diferentes escovas e com diferentes pressões de sopro;
- ✓ Estudar o impacto das operações extra em várias etapas do processo de produção e avaliar as melhorias provocadas na qualidade de limpeza do produto final;
- ✓ Analisar de uma forma mais precisa a origem dos diferentes elementos químicos encontrados na composição das partículas analisadas.

## Referências

---

- [1] Hutchinson..Grupo, <https://www.hutchinson.com/en/our-group> (Consultado em 7 dezembro de 2019)
- [2] Hutchinson–História, <https://www.hutchinson.com/en/our-history> (Consultado em 7 dezembro de 2019)
- [3] Hutchinson-Linha de líquidos termoplásticos para ar condicionado, <https://www.hutchinson.com/en/products/thermoplastic-air-conditioning-liquid-line> (Consultado em 2 janeiro de 2020)
- [4] Hutchinson, Manual de Utilização HYDAC 2200, edição Hutchinson em 03/08/2017.
- [5] Infomet. “Metais & Ligas. Alumínio. Informações Técnicas. <https://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=53> (Consultado em 28 de março 2019)
- [6] Ferreira, F. (2007). *Processamento por Fricção Linear. Caracterização e análise de ligas de alumínio processadas AA5083-O e AA7022-T6*. Teses de Mestrado em Engenharia dos Materiais, Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- [7] ISO 16232-5:2007 – Road vehicles- Cleanliness of componentes of fluid circuits Part 5: Methodo of extration of contaminants on functional test bench.
- [8] ISO 16232-6:2007 – Road vehicles- Cleanliness of componentes of fluid circuits – Part 6: Determination of particle mass by gravimetric analysis
- [9] ISO 16232-10:2007 – Road vehicles- Cleanliness of componentes of fluid circuits – Part 10: Expression of results
- [10] Análise Gravimétrica. <https://www.infoescola.com/quimica/analise-gravimetrica/> (Consultado em 20 de março 2019)
- [11] ISO 16262-7:2007 – Road vehicles – Cleanliness of componentes of fluid circuits – Part 7. Particle sizing and counting by microscopic analysis.
- [12] Ferreira, H. (2016). *Importância do estudo em Microscopia Eletrónica de Varrimento de amostras incluídas em parafina para fins de diagnóstico*. Tese de Mestrado em Tecnologias Biomédicas. Instituto Técnico de Lisboa
- [13] Silva L., Alves F., Marques A. (2013). *Materiais de construção*. Porto: Publindústria.
- [14] Ensaios mecânicos dos materiais. *Estrutura e Propriedades dos materiais*. <https://jorgeteofilos.files.wordpress.com/2010/08/epm-apostila-capitulo09-ensaios-mod1.pdf> (versão PDF do documento descarregada em 8 de abril de 2020).

## Referências

---

- [15] Srivivas P., Charoo M. (2019). *Application of Hybrid Aluminum Matrix Composite in Automotive Industry*. ScienceDirect. Proceedings 18 (2019) 3189–3200
- [16] Wikipédia. “Alumínio”. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Alum%C3%ADnio> (Consultado a 8 de abril de 2020)
- [17] Alunos Online, UOL. “Alumínio”. <https://alunosonline.uol.com.br/quimica/aluminio.html> (Consultado a 8 de abril de 2020)
- [18] Wikipédia. “Óxido de Alumínio”. [https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido\\_de\\_alum%C3%ADnio](https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido_de_alum%C3%ADnio) (Consultado a 8 de abril de 2020)
- [19] Carlos Alberto T.V. Fazano, 1980. *A prática Metalográfica*. (Brasil).
- [20] Ensaio metalográfico. Fernandes, Paulo. “Ensaio metalográfico”. <https://profpaulofj.webs.com/oqueeparaqueserve.htm> (versão PDF do documento descarregada em 21 de abril de 2020)
- [21] Marinescu I., Rowe W., Dimitrov B., Insaki I. (2004). *Tribology of abrasive machining processes*. William Andrew Inc. ISBN: 978-0-8155-1490-9
- [22] Piotrowski T., Accinno D. (1997). *Metallography of the precious metais*. New York: Materials characterization 39:299 – 344 Elsevier Science.
- [23] Machado, Paulo 2014. Ataque Químico na metalografia. Universidade Federal do Pará. <https://www.passeidireto.com/arquivo/6088004/ataque-quimico-na-metalografia> (versão PDF do documento descarregada em 21 de abril de 2020)
- [24] “Soluções em Instrumentação, Qualidade e Metrologia.” A.C.C. Engenharia de Medição. <https://accmetrologia.com.br/o-que-e-calibracao-e-sua-importancia-no-processo-e-na-qualidade/> (Consultado a 6 de abril de 2020)
- [25] “Qual a diferença entre calibração e verificação de instrumentos? For Logic My Logical”. Julho 18, 2018. <https://softwaredecalibracao.com.br/blog/qual-a-diferenca-entre-calibracao-e-verificacao-de-instrumentos/> (Consultado a 6 de abril de 2020)
- [26] Instrução do departamento de qualidade. *Verificação interna de recursos de medição e monitorização*. S. Canelhas e M. Costa. 24/10/2018
- [27] Instrução do departamento de qualidade. *Atribuição de períodos de verificação/calibração*. S. Canelhas e M. Costa. 23/01/2018
- [28] Instrução do departamento de qualidade. *Calibração / Verificação de paquímetros*. S. Canelhas e M. Costa. 21/08/2017

## **Anexos**

---

# Anexo A - Ficha de Segurança do Desodo 58

## DESODO 58

### Ficha de dados de segurança

em conformidade com o Regulamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH) alterado pelo Regulamento (UE) 2015/830

Data da redacção: 13/03/2018 Substitui a ficha: 28/02/2018 Versão: 7.1

#### SECÇÃO 1: Identificação da substância/mistura e da sociedade/empresa

##### 1.1. Identificador do produto

Forma do produto : Substância  
Nome da substância : **DESODO 58**  
Código do produto : AXE105BS

##### 1.2. Utilizações identificadas relevantes da substância ou mistura e utilizações desaconselhadas

###### 1.2.1. Utilizações identificadas relevantes

Categoria de uso principal : Utilização industrial  
Especificação do uso profissional/Industrial : Solvente.

###### 1.2.2. Usos desaconselhados

Não existe informação adicional disponível

##### 1.3. Identificação do fornecedor da ficha de dados de segurança

AXE DIFFUSION  
ZA LES CLOTTEES  
72210 VOIVRES LES LE MANS - FRANCE

##### 1.4. Número de telefone de emergência

Não existe informação adicional disponível

#### SECÇÃO 2: Identificação dos perigos

##### 2.1. Classificação da substância ou mistura

Classificação de acordo com o regulamento (CE) n.º 1272/2008 [CLP] Misturas/Substâncias: SDS EU 2015: Segundo o Regulamento (UE) 2015/830 (Anexo II do REACH)

Líquidos inflamáveis, categoria 3 H226  
Perigo de aspiração, categoria 1 H304  
Perigoso para o ambiente aquático - toxicidade crónica, categoria 4 H413

Texto completo das advertências H: consultar a Secção 16

##### Efeitos adversos decorrentes das propriedades físico-químicas assim como os efeitos adversos para a saúde humana e para o ambiente

Não existe informação adicional disponível

##### 2.2. Elementos do rótulo

###### Rotulagem de acordo com o Regulamento (CE) n.º 1272/2008 [CLP]

Pictogramas de perigo (CLP) :



Palavra-sinal (CLP) :

Perigo

Advertências de perigo (CLP) :

H226 - Líquido e vapor inflamáveis.  
H304 - Pode ser mortal por ingestão e penetração nas vias respiratórias.  
H413 - Pode provocar efeitos nocivos duradouros nos organismos aquáticos.

Recomendações de prudência (CLP) :

P210 - Manter afastado do calor, superfícies quentes, faísca, chama aberta e outras fontes de ignição. Não fumar.  
P240 - Ligação à terra/equipotencial do recipiente e do equipamento receptor.  
P273 - Evitar a libertação para o ambiente.  
P280 - Usar luvas de protecção, protecção facial, vestuário de protecção.  
P301+P310 - EM CASO DE INGESTÃO: contacte imediatamente um médico, um CENTRO DE INFORMAÇÃO ANTIVENENOS.  
P331 - NÃO provocar o vômito.  
P501 - Eliminar o conteúdo e recipiente em uma instalação de recolha dos resíduos

04/12/2018

PT (português)

1/8

**DESODO 58**

**Ficha de dados de segurança**

em conformidade com o Regulamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH) alterado pelo Regulamento (UE) 2015/830

perigosos ou especiais.  
Frases EUH : EUH066 - Pode provocar pele seca ou gretada, por exposição repetida.

**2.3. Outros perigos**

Outros riscos que não contribuem para a classificação : Vapor misturado prontamente com ar. Pode formar uma mistura explosiva. Evitar acumulação de cargas electrostáticas.

**SECÇÃO 3: Composição/informação sobre os componentes**

**3.1. Substâncias**

Nome : DESODO 58

Nome	Identificador do produto	%
Hydrocarbons, C11-C12, isoalkanes, <2% aromatics	(nº CE) 918-167-1 (Nº REACH) 01-2119472146-39	100

Textos das frases H: consultar a secção 16.

**3.2. Misturas**

Não aplicável

**SECÇÃO 4: Medidas de primeiros socorros**

**4.1. Descrição das medidas de primeiros socorros**

Primeiros socorros geral : EM CASO DE PERTURBAÇÕES GRAVES OU PERSISTENTES, CONTACTAR UM MÉDICO OU UM SERVIÇO DE URGÊNCIA MÉDICA.  
Primeiros socorros em caso de inalação : No caso de inalação de elevadas concentrações de vapor, fumo ou aerossóis transportar a vítima para fora da área contaminada, mantendo-a quente e em repouso.  
Primeiros socorros em caso de contacto com a pele : Dispa imediatamente a roupa contaminada e lave a pele com água e sabão suave, mesmo que o contacto seja pouco importante. Lavar a roupa contaminada antes de a voltar a usar. Recorra a um médico se se desenvolver irritação ou efeito anormal.  
Primeiros socorros em caso de contacto com os olhos : Em caso de contacto com os olhos lave imediatamente com água limpa durante 10-15 minutos. Lavar bem os olhos afastando as pálpebras com os dedos. Recorra a um médico se se desenvolver irritação ou efeito anormal.  
Primeiros socorros em caso de ingestão : Em caso de ingestão, consultar imediatamente um médico e mostrar-lhe a embalagem ou o rótulo. Pode envolver inspiração do mesmo para os pulmões. Transportar a um centro hospitalar.

**4.2. Sintomas e efeitos mais importantes, tanto agudos como retardados**

Sintomas/efeitos em caso de inalação : Pode provocar uma irritação nas mucosas e vias respiratórias.  
Sintomas/efeitos em caso de contacto com a pele : Pode provocar pele seca ou gretada, por exposição repetida.  
Sintomas/efeitos em caso de contacto com os olhos : Pode causar irritações nos olhos.  
Sintomas/efeitos em caso de ingestão : Em caso de ingestão acidental, o produto pode entrar nos pulmões, devido à sua baixa viscosidade e levar ao rápido desenvolvimento das lesões pulmonares muito graves (pesquisa médica durante 48 horas). Ingestão pode causar enjoo, vômito e diarreia. Abdominal dor.

**4.3. Indicações sobre cuidados médicos urgentes e tratamentos especiais necessários**

Trate de acordo com os sintomas.

**SECÇÃO 5: Medidas de combate a incêndios**

**5.1. Meios de extinção**

Agentes extintores adequados : Espuma. Pó seco. Dióxido de carbono. Água pulverizada.  
Agentes extintores inadequados : Não use um jacto forte de água.

**5.2. Perigos especiais decorrentes da substância ou mistura**

Produtos de decomposição perigosos em caso de incêndio : Térmico decomposição gera : Dióxido de carbono. Monóxido de carbono. Hidrocarboneto. Aldeídos. fuligem.

**5.3. Recomendações para o pessoal de combate a incêndios**

Medidas preventivas contra incêndios : Colocar máscara de respiração.  
Instruções para extinção de incêndio : Pulverize água para arrefecer contentores expostos. Sejam cuidadosos aquando do combate de qualquer incêndio de produtos químicos. Evite (rejeitando-a) que a água usada para apagar um incêndio volte ao ambiente.

**Ficha de dados de segurança**

em conformidade com o Regulamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH) alterado pelo Regulamento (UE) 2015/830

Protecção durante o combate a incêndios : Não entre na área em chamas sem equipamento protector adequado, incluindo protecção respiratória.

**SECÇÃO 6: Medidas a tomar em caso de fugas acidentais**

**6.1. Precauções individuais, equipamento de protecção e procedimentos de emergência**

Procedimentos gerais : Use o equipamento de protecção pessoal recomendado. Evacue o pessoal redundante. Assegurar ventilação adequada, sobretudo em locais fechados. Remova as fontes de inflamação.

**6.1.1. Para o pessoal não envolvido na resposta à emergência**

Planos de emergência : Evacue o pessoal redundante.

**6.1.2. Para o pessoal responsável pela resposta à emergência**

Equipamento de protecção : Forneça à equipa de limpeza protecção adequada.  
Planos de emergência : Ventile a área.

**6.2. Precauções a nível ambiental**

Evite a entrada em esgotos e cursos de água. Evitar a libertação para o ambiente. Avise as autoridades se o líquido penetrar nos esgotos ou cursos de água.

**6.3. Métodos e materiais de confinamento e limpeza**

Procedimentos de limpeza : Pequenas quantidades de extravazamento de líquido: recolha em material absorvente não combustível e deite ao lixo em recipiente. Absorva derrames com sólidos inertes, tais como barro ou terra diatomácea o mais depressa possível. Use apenas ferramentas que não provoquem faíscas. Este material e o seu recipiente devem ser eliminados de forma segura, de acordo com a legislação local. Após a recuperação do produto, lavar a área com água.

**6.4. Remissão para outras secções**

Consulte a Secção 8.

**SECÇÃO 7: Manuseamento e armazenagem**

**7.1. Precauções para um manuseamento seguro**

Precauções para um manuseamento seguro : Usar o equipamento de protecção individual exigido. Utilizar somente em locais bem ventilados. Não pode entrar em contacto com os olhos, a pele ou a roupa. A manipulação do produto pode causar acumulação de carga electrostática. Use procedimentos de aterramento adequados. Não use ar comprimido para agitar ou transferir o conteúdo dos tanques de armazenagem ou de tambores de transporte contendo este produto. Não respirar os gases/vapores/fumos/aerossóis.  
Medidas de higiene : Não comer, beber ou fumar durante a utilização deste produto. Lavar a roupa contaminada antes de a voltar a usar. Lave as mãos e outras áreas expostas com água e sabão suave antes de comer, beber, fumar e quando sair do trabalho.

**7.2. Condições de armazenagem segura, incluindo eventuais incompatibilidades**

Medidas técnicas : Impedir contaminação do solo e da água. Instalar uma cuba de retenção. Ligação à terra/equipotencial do recipiente e do equipamento receptor. Relativamente a este produto, deve proceder-se a ligações à terra, de modo a evitar-se a electricidade estática. Use equipamento elétrico à prova de explosão.  
Condições de armazenagem : Armazene em área seca, fresca e bem ventilada. Mantenha o contentor fechado quando não está em utilização. Armazene em contentores ventilados, bem fechados e afastados do calor, faíscas, chama viva. Conservar a temperatura ambiente.  
Produtos incompatíveis : Agentes oxidantes fortes.  
Materiais de embalagem : Conservar unicamente no recipiente de origem. Aço inoxidável.

**7.3. Utilização(ões) final(is) específica(s)**

Não existe informação adicional disponível

**SECÇÃO 8: Controlo da exposição/Protecção individual**

**8.1. Parâmetros de controlo**

Não existe informação adicional disponível

**8.2. Controlo da exposição**

**Equipamento de protecção individual:**

Contornar todos desnecessário risco.

**Ficha de dados de segurança**

em conformidade com o Regulamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH) alterado pelo Regulamento (UE) 2015/830

<b>Protecção das mãos:</b>					
tipo	Material	Permeation	Espessura (mm)	Penetration	Norma
Disposable gloves, Reusable gloves	borracha nitrílica (NBR)	6 (> 480 minutos)			EN 374
Disposable gloves, Reusable gloves	Viton® II	6 (> 480 minutos)			EN 374

**Protecção ocular:**

Use óculos de protecção quando houver o perigo de contacto com os olhos devido a salpicos.

**Protecção do corpo e da pele:**

Usar vestuário de protecção adequado. sapatos de segurança

**Protecção respiratória:**

Quando confrontados com concentrações superiores aos limites de exposição, os trabalhadores devem usar máscaras apropriadas e aprovadas. Colocar máscara de respiração.

**Limite e controlo da exposição no ambiente:**

Evitar a contaminação das águas subterrâneas.

**SECÇÃO 9: Propriedades físico-químicas**

**9.1. Informações sobre propriedades físicas e químicas de base**

Forma	: Líquida
Cor	: Incolor.
Cheiro	: fraco.
Limiar olfactivo	: Não existem dados disponíveis
pH	: Não existem dados disponíveis
Velocidade de evaporação (acetato de butilo=1)	: Não existem dados disponíveis
Ponto de fusão	: Não existem dados disponíveis
Ponto de solidificação	: Não existem dados disponíveis
Ponto de ebulição	: 180 - 191 °C
Ponto de inflamação	: > 55 °C
Temperatura de combustão espontânea	: > 200 °C
Temperatura de decomposição	: Não existem dados disponíveis
Inflamabilidade (sólido, gás)	: Não existem dados disponíveis
Pressão de vapor	: 0,07 kPa (20°C)
Densidade relativa de vapor a 20 °C	: Não existem dados disponíveis
Densidade relativa	: Não existem dados disponíveis
Densidade	: 760 kg/m <sup>3</sup> (20°C)
Solubilidade	: Não existem dados disponíveis
Log Pow	: Não existem dados disponíveis
Viscosidade, cinemática/a	: 1,8 mm <sup>2</sup> /s (20°C)
Viscosidade, dinâmica/a	: Não existem dados disponíveis
Propriedades explosivas	: Não existem dados disponíveis
Propriedades comburentes	: Não existem dados disponíveis
Limite inferior de explosividade (LIE)	: 0,5 vol. %
Limite superior de explosividade (LSE)	: 6 vol. %

**9.2. Outras informações**

Teor de COV	: 100 %
-------------	---------

**SECÇÃO 10: Estabilidade e reatividade**

**10.1. Reatividade**

Nenhum em condições normais.

**10.2. Estabilidade química**

Estável em condições normais.

**Ficha de dados de segurança**

em conformidade com o Regulamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH) alterado pelo Regulamento (UE) 2015/830

**10.3. Possibilidade de reações perigosas**

Nenhuma, em condições normais de uso.

**10.4. Condições a evitar**

Calor. Chama viva. Faíscas. Evitar acumulação de cargas electrostáticas.

**10.5. Materiais incompatíveis**

Agentes oxidantes fortes.

**10.6. Produtos de decomposição perigosos**

Nenhum em condições normais.

**SECÇÃO 11: Informação toxicológica**

**11.1. Informações sobre os efeitos toxicológicos**

Toxicidade aguda (oral) : Não classificado  
 Toxicidade aguda (via cutânea) : Não classificado  
 Toxicidade aguda (inalação) : Não classificado

Hydrocarbons, C11-C12, isoalkanes, <2% aromatics	
DL50 oral rato	> 5000 mg/kg (OCDE 401)
DL50 cutânea coelho	> 5000 mg/kg (OCDE 402)
CL50 inalação rato (mg/l)	> 5000 mg/m <sup>3</sup> /8h (OCDE 403)

Corrosão/Irritação cutânea : Não classificado  
 Lesões oculares graves/irritação ocular : Não classificado  
 Sensibilização respiratória ou cutânea : Não classificado  
 Mutagenicidade em células germinativas : Não classificado  
 Carcinogenicidade : Não classificado  
 Toxicidade reprodutiva : Não classificado  
 Toxicidade para órgãos-alvo específicos (STOT) - exposição única : Não classificado  
 Toxicidade para órgãos-alvo específicos (STOT) - exposição repetida : Não classificado  
 Perigo de aspiração : Pode ser mortal por ingestão e penetração nas vias respiratórias.

DESODO 58	
Viscosidade, cinemática/a	1,8 mm <sup>2</sup> /s (20°C)

**SECÇÃO 12: Informação ecológica**

**12.1. Toxicidade**

Ecologia - água : Hydrocarbons, C11-C12, isoalkanes, <2% aromatics  
 Acute toxicity :  
 LE0 (48h) = 1000 mg/l (Daphnia magna)  
 LE0 (72h) = 1000 mg/l (Pseudokirchneriella subcapitata)  
 DSEO-R (NOELR) = 1000mg/l (Pseudokirchneriella subcapitata)  
 LLO (96h) = 1000 mg/l (Oncorhynchus mykiss)

Hydrocarbons, C11-C12, isoalkanes, <2% aromatics  
 Chronic toxicity :  
 DSEO-R (NOELR) (21d) >= 1 mg/l (Daphnia magna)

Toxicidade aquática aguda : Não classificado  
 Toxicidade aquática crónica : Pode provocar efeitos nocivos duradouros nos organismos aquáticos.

**12.2. Persistência e degradabilidade**

Hydrocarbons, C11-C12, isoalkanes, <2% aromatics	
Biodegradação	31,3 % (28d)

**12.3. Potencial de bioacumulação**

Não existe informação adicional disponível

**Ficha de dados de segurança**

em conformidade com o Regulamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH) alterado pelo Regulamento (UE) 2015/830

**12.4. Mobilidade no solo**

Não existe informação adicional disponível

**12.5. Resultados da avaliação PBT e mPMB**

Componente	
{}	Esta substância/mistura não preenche os critérios PBT do regulamento REACH, Anexo XIII. Esta substância/mistura não preenche os critérios mPMB do regulamento REACH, Anexo XIII.

**12.6. Outros efeitos adversos**

Outros efeitos adversos : Pode provocar efeitos nocivos duradouros nos organismos aquáticos. Evitar a libertação para o ambiente. Evite a entrada em esgotos e cursos de água.






**SECÇÃO 13: Considerações relativas à eliminação**

**13.1. Métodos de tratamento de resíduos**

Recomendações de eliminação do Produto/Embalagem : A embalagem permanece perigosa quando vazia. Continua a seguir todas as instruções de segurança. Destrua de forma segura e de acordo com os regulamentos locais e nacionais.

**SECÇÃO 14: Informações relativas ao transporte**

De acordo com as exigências de ADR / RID / IMDG / IATA / ADN

ADR	IMDG	IATA	ADN	RID
<b>14.1. Número ONU</b> 1993	1993	1993	1993	1993
<b>14.2. Designação oficial de transporte da ONU</b> LÍQUIDO INFLAMÁVEL, N.S.A.	FLAMMABLE LIQUID, N.O.S.	Flammable liquid, n.o.s.	FLAMMABLE LIQUID, N.O.S.	FLAMMABLE LIQUID, N.O.S.
<b>Descrição do original do transporte</b> UN 1993 LÍQUIDO INFLAMÁVEL, N.S.A., 3, III, (D/E)	UN 1993 FLAMMABLE LIQUID, N.O.S., 3, III	UN 1993 Flammable liquid, n.o.s., 3, III	UN 1993 FLAMMABLE LIQUID, N.O.S., 3, III	UN 1993 FLAMMABLE LIQUID, N.O.S., 3, III
<b>14.3. Classes de perigo para efeitos de transporte</b> 3	3	3	3	3
				
<b>14.4. Grupo de embalagem</b> III	III	III	III	III
<b>14.5. Perigos para o ambiente</b> Perigoso para o ambiente : Não	Perigoso para o ambiente : Não Poluente marinho : Não	Perigoso para o ambiente : Não	Perigoso para o ambiente : Não	Perigoso para o ambiente : Não
Não existe informação complementar disponível				


**14.6. Precauções especiais para o utilizador**

**- Transporte por via terrestre**

Código de classificação (ADR) : F1  
 Disposição especial (ADR) : 274, 601  
 Quantidades limitadas (ADR) : S1  
 Quantidades exceptuadas (ADR) : E1  
 Instruções de embalagem (ADR) : P001, IBC03, LPO1, R001  
 Disposições particulares relativas à embalagem em comum (ADR) : MP19  
 Instruções para cisternas móveis e contentores de granéis (ADR) : T4  
 Disposições especiais para cisternas móveis e contentores de granéis (ADR) : TP1, TP29

**Ficha de dados de segurança**

em conformidade com o Regulamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH) alterado pelo Regulamento (UE) 2015/830

Código-cisterna (ADR)	: LGBF
Veículo para transporte em cisterna	: FL
Categoria de transporte (ADR)	: 3
Disposições especiais de transporte - Embrulhos (ADR)	: V12
Disposições especiais de transporte - Exploração (ADR)	: S2
Número de perigo	: 30
Painéis cor de laranja	: 
Código de restrição de túneis (ADR)	: D/E
<b>- transporte marítimo</b>	
Disposição especial (IMDG)	: 223, 274, 955
Instruções de embalagem (IMDG)	: P001, LP01
Instruções de acondicionamento para GRG (IMDG)	: IBC03
Instruções para cisternas (IMDG)	: T4
Disposições especiais para cisternas (IMDG)	: TP1, TP29
N.º de FS (Fogo)	: F-E
N.º FS (Derramamento)	: S-E
Categoria de carregamento (IMDG)	: A
<b>- Transporte aéreo</b>	
Quantidades exceptuadas PCA (IATA)	: E1
Quantidades limitadas PCA (IATA)	: Y344
Quantidade máx. líquida por quantidade limitada PCA (IATA)	: 10L
Instruções de embalagem PCA (IATA)	: 355
Quantidade máxima líquida PCA (IATA)	: 60L
Instruções de embalagem CAO (IATA)	: 366
Quantidade máx. líquida CAO (IATA)	: 220L
Disposição especial (IATA)	: A3
Código ERG (IATA)	: 3L
<b>- Transporte por via fluvial</b>	
Código de classificação (ADN)	: F1
Disposição especial (ADN)	: 274, 601
Quantidades limitadas (ADN)	: 5 L
Quantidades exceptuadas (ADN)	: E1
Transporte permitido (ADN)	: T
Equipamento exigido (ADN)	: PP, EX, A
Ventilação (ADN)	: VE01
Número de cones/luzes azuis (ADN)	: 0
<b>- Transporte ferroviário</b>	
Código de classificação (RID)	: F1
Disposição especial (RID)	: 274, 601
Quantidades exceptuadas (RID)	: E1
Instruções de embalagem (RID)	: P001, IBC03, LP01, R001
Disposições particulares relativas à embalagem em comum (RID)	: MP19
Instruções para cisternas móveis e contentores de granel (RID)	: T4
Disposições especiais para cisternas móveis e contentores de granel (RID)	: TP1, TP29

**Ficha de dados de segurança**

em conformidade com o Regulamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH) alterado pelo Regulamento (UE) 2015/830

Códigos-cisterna para as cisternas RID (RID) : LGBF  
 Categoria de transporte (RID) : 3  
 Disposições especiais de transporte - Embrulhos (RID) : W12  
 Encomendas expresso (RID) : CE4  
 N.º de identificação do perigo (RID) : 30

**14.7. Transporte a granel em conformidade com o anexo II da Convenção MARPOL e o Código IBC**  
 Não aplicável

**SECÇÃO 15: Informação sobre regulamentação**

**15.1. Regulamentação/legislação específica para a substância ou mistura em matéria de saúde, segurança e ambiente**

**15.1.1. Regulamentações da UE**

Sem restrições segundo o anexo XVII de REACH  
 DESODO 58 não integra a lista candidata do REACH  
 DESODO 58 não é referido no Anexo XIV do REACH

Teor de COV : 100 %

**15.1.2. Regulamentos Nacionais**

Não existe informação adicional disponível

**15.2. Avaliação da segurança química**

Foi efectuada uma avaliação da segurança química desta substância

**SECÇÃO 16: Outras informações**

Indicações de mudanças:

Secção	Item alterado	Modificação	Observações
2.1	Classificação de acordo com o regulamento (CE) nº 1272/2008 (CLP)	Modificado	
2.2	Recomendações de prudência (CLP)	Modificado	
9.1	Viscosidade, cinemática/a	Modificado	
9.1	Limite superior de explosividade (LSE)	Modificado	
9.1	Limite inferior de explosividade (LIE)	Modificado	
9.1	Ponto de ebulição	Modificado	
12.6	Outros efeitos adversos	Adicionado	
15.1	Installations classées	Modificado	

Texto integral das frases H e EUH:

Aquatic Chronic 4	Perigoso para o ambiente aquático - toxicidade crónica, categoria 4
Asp. Tox. 1	Perigo de aspiração, categoria 1
Flam. Liq. 3	Líquidos inflamáveis, categoria 3
H226	Líquido e vapor inflamáveis.
H304	Pode ser mortal por ingestão e penetração nas vias respiratórias.
H413	Pode provocar efeitos nocivos duradouros nos organismos aquáticos.
EUH066	Pode provocar pele seca ou gretada, por exposição repetida.

FDS UE (Anexo II REACH)

*Esta informação é baseada em dados conhecidos atuais e pretende descrever o produto para as finalidades de saúde, de segurança e de exigências ambientais normais. Não se deve automaticamente interpretar esta garantia nenhuma propriedade específica do produto*

**Anexo B** – Excerto do Capítulo 10 da Norma ISO 16232 - 2007: Classes do Tamanho das Partículas

*Tabela B 1 - Classe de tamanho para contagem de partículas (adaptado da ISO 16232 – 10: 2007 [9]).*

Classe	Tamanho do $x$ ( $\mu\text{m}$ )
<b>B</b>	$5 \leq x < 15$
<b>C</b>	$15 \leq x < 25$
<b>D</b>	$25 \leq x < 50$
<b>E</b>	$50 \leq x < 100$
<b>F</b>	$100 \leq x < 150$
<b>G</b>	$150 \leq x < 200$
<b>H</b>	$200 \leq x < 400$
<b>I</b>	$400 \leq x < 600$
<b>J</b>	$600 \leq x < 1000$
<b>K</b>	$1000 \leq x$

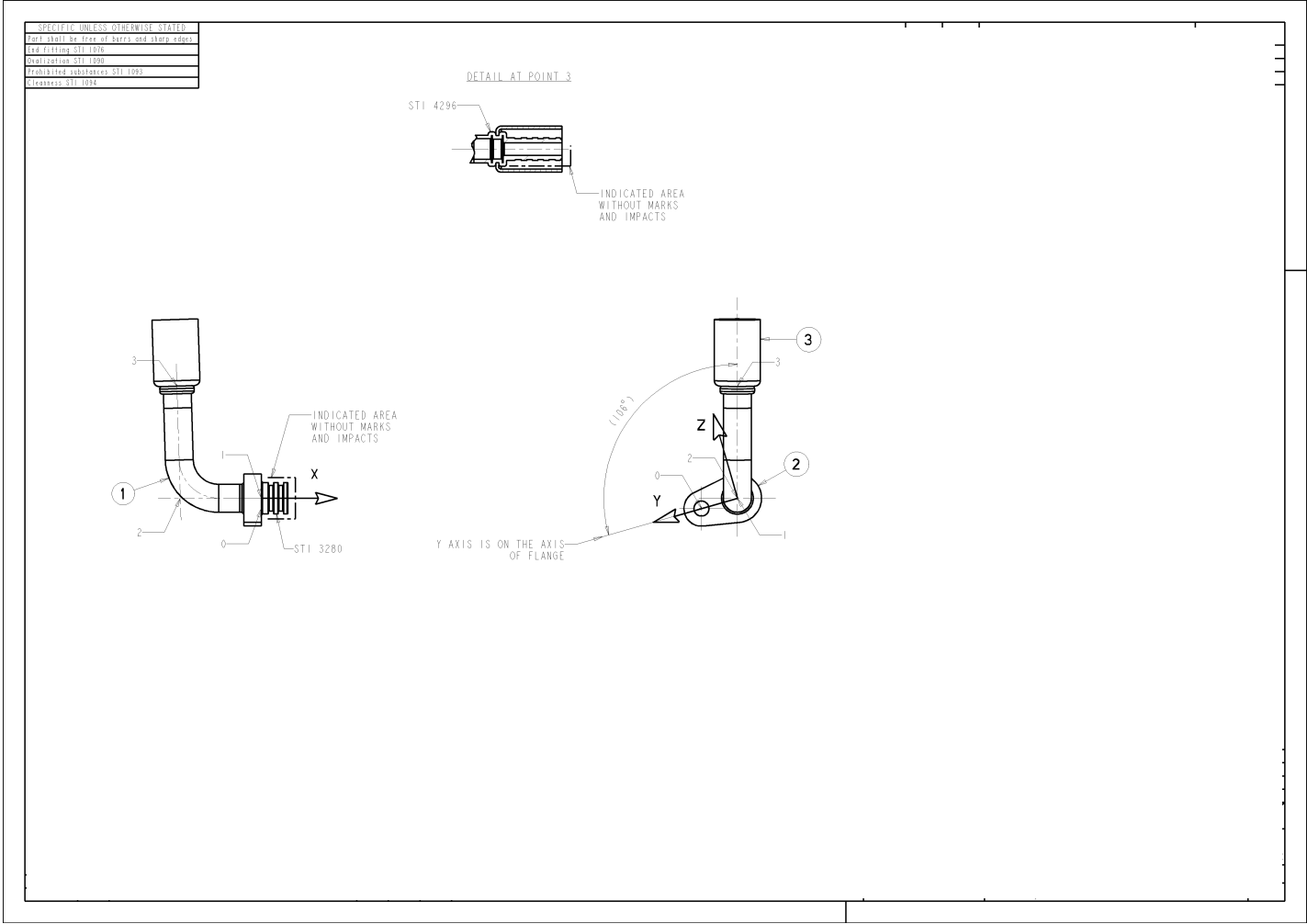
*Tabela B 2 - Definição do Nível de limpeza de um componente (adaptado na ISO 16232 - 10: 2007 [9]).*

Número de Partículas por 100 cm <sup>3</sup> ou por 1000 cm <sup>2</sup>		Nível de Limpeza
Mais do que	Até e Incluindo	
<b>0</b>	0	00
<b>0</b>	1	0
<b>1</b>	2	1
<b>2</b>	4	2
<b>4</b>	8	3
<b>8</b>	16	4
<b>16</b>	32	5
<b>32</b>	64	6
<b>64</b>	130	7
<b>130</b>	250	8
<b>250</b>	500	9
<b>500</b>	$1 \times 10^3$	10
<b><math>1 \times 10^3</math></b>	$2 \times 10^3$	11
<b><math>2 \times 10^3</math></b>	$4 \times 10^3$	12
<b><math>4 \times 10^3</math></b>	$8 \times 10^3$	13
<b><math>8 \times 10^3</math></b>	$16 \times 10^3$	14
<b><math>16 \times 10^3</math></b>	$32 \times 10^3$	15
<b><math>32 \times 10^3</math></b>	$64 \times 10^3$	16
<b><math>64 \times 10^3</math></b>	$130 \times 10^3$	17
<b><math>130 \times 10^3</math></b>	$250 \times 10^3$	18
<b><math>250 \times 10^3</math></b>	$500 \times 10^3$	19
<b><math>500 \times 10^3</math></b>	$1 \times 10^6$	20

<b>1 x 10<sup>6</sup></b>	2 x 10 <sup>6</sup>	21
<b>2 x 10<sup>6</sup></b>	4 x 10 <sup>6</sup>	22
<b>4 x 10<sup>6</sup></b>	8 x 10 <sup>6</sup>	23
<b>8 x 10<sup>6</sup></b>	16 x 10 <sup>6</sup>	24

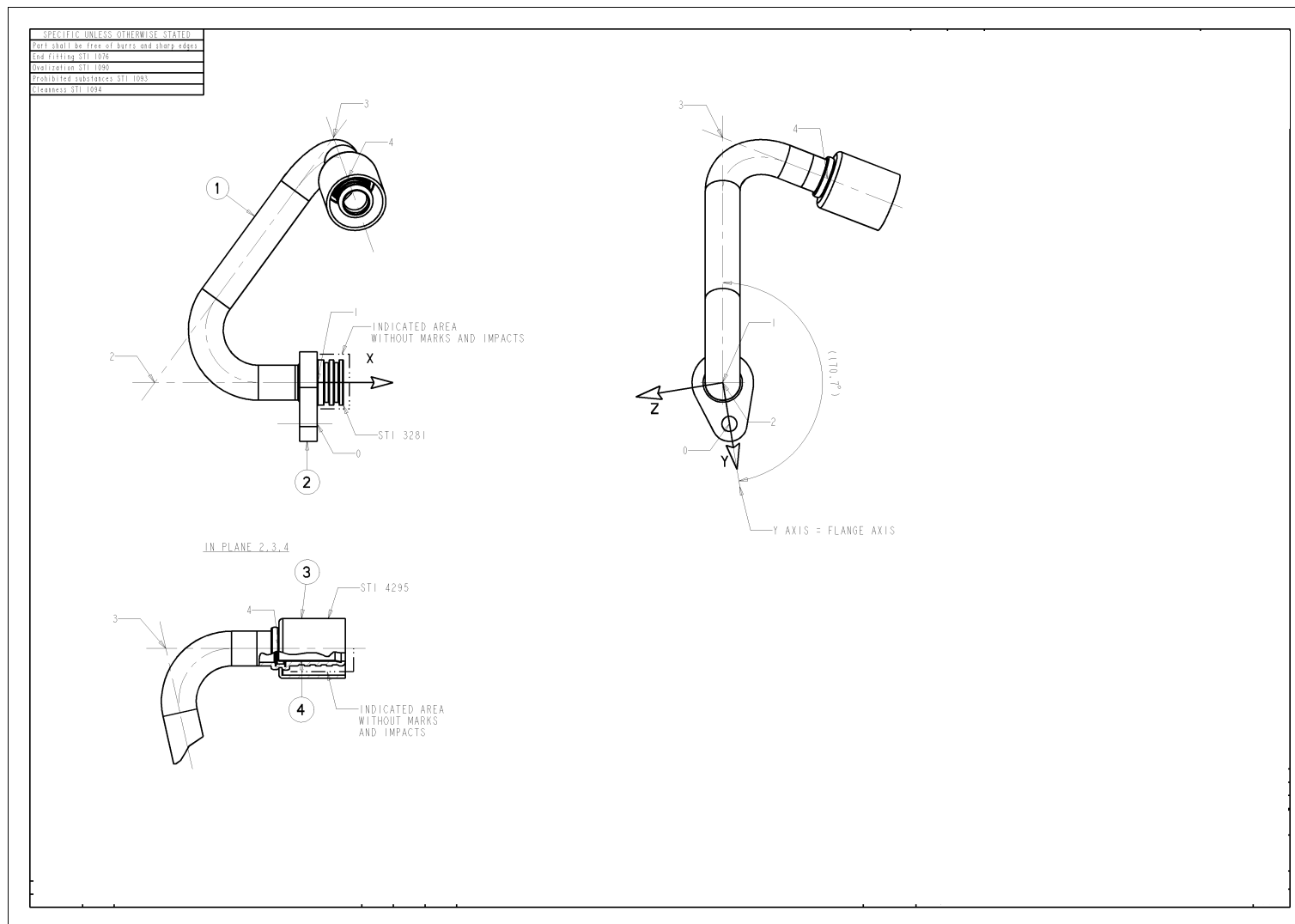
**Anexo C - Ficha Técnica e cálculo da área dos Tubos para Ar Condicionado**

**Anexo C 1 - Ficha técnica da Amostra utilizada no Caso de Estudo I**



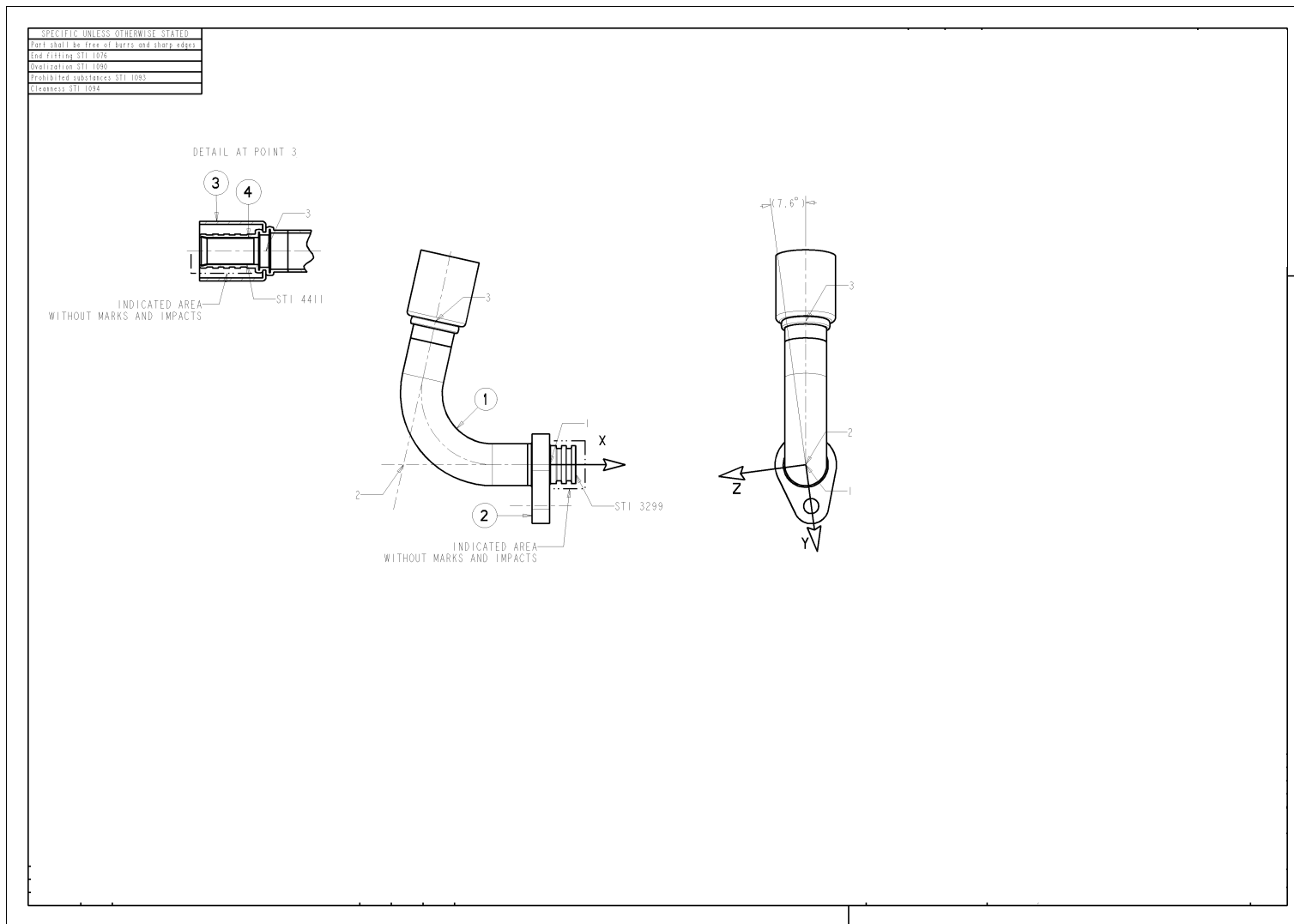
Anexo C - Ficha Técnica e Desenho técnico dos Tubos para Ar Condicionado

Anexo C 2 - Ficha técnica da amostra do Caso de Estudo II para os dias 25, 26, 27 e 28.



Anexo C - Ficha Técnica e Desenho técnico dos Tubos para Ar Condicionado

Anexo C 3 - Ficha técnico da amostra utilizada no Caso de Estudo II no dia 29



**Anexo C 4** – Cálculo da área da superfície molhada dos tubos

A área da superfície molhada do tubo utilizado no caso de estudo I foi determinada a partir da equação (1) tendo por base valores das características descritas no Anexo C 1.

$$\begin{aligned} \text{Área} &= l \times \pi \times D_{\text{interno}} \\ \text{Área} &= 12,1 \times \pi \times (1,27 - 2 \times 0,165) \\ \text{Área} &= 35,73 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

A área da superfície molhada do tubo utilizado no caso de estudo II para os dias 25, 26, 27 e 28 de maio foi determinada a partir da equação (1) tendo por base valores das características descritas no Anexo C 2.

$$\begin{aligned} \text{Área} &= l \times \pi \times D_{\text{interno}} \\ \text{Área} &= 24,2 \times \pi \times (19,05 \times 10^{-1} - 2 \times 1,24 \times 10^{-1}) \\ \text{Área} &= 125,98 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

A área da superfície molhada do tubo utilizado no caso de estudo II para o dia 29 de maio foi determinada a partir da equação (1) tendo por base valores das características descritas no Anexo C 3.

$$\begin{aligned} \text{Área} &= l \times \pi \times D_{\text{interno}} \\ \text{Área} &= 15,15 \times \pi \times (15,00 \times 10^{-1} - 2 \times 1,65 \times 10^{-1}) \\ \text{Área} &= 55,69 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

## Anexo D - Resultados da Análise Gravimétrica

### Anexo D 1 - Resultados da análise gravimétrica do Caso de Estudo I

*Tabela D 1. 1 - Registo de massa das partículas da primeira amostragem.*

Horário	Etapa		$m_1$ (g)	$m_1$ (mg)	$m_2$ (g)	$m_2$ (mg)
<b>8h30min.</b>	A	1	0,07104	71,04	0,07146	71,46
		2	0,06461	64,61	0,06488	64,88
		3	0,06419	64,19	0,06459	64,59
	B	1	0,07023	70,23	0,07095	70,95
		2	0,07043	70,43	0,07094	70,94
		3	0,07081	70,81	0,07124	71,24
	C	1	0,07053	70,53	0,07104	71,04
		2	0,07062	70,62	0,07086	70,86
		3	0,07076	70,76	0,07122	71,22

*Tabela D 1. 2 - Registo de massas das partículas da segunda amostragem.*

Horário	Etapa		$m_1$ (g)	$m_1$ (mg)	$m_2$ (g)	$m_2$ (mg)
<b>16h00min.</b>	A	1	0,06965	69,65	0,07024	70,24
		2	0,06995	69,95	0,07065	70,65
		3	0,06999	69,99	0,07070	70,70
	B	1	0,07116	71,16	0,07162	71,62
		2	0,07010	70,10	0,07062	70,62
		3	0,06992	69,92	0,07053	70,53
	C	1	0,07007	70,07	0,07098	70,98
		2	0,07115	71,15	0,07163	71,63
		3	0,07350	73,50	0,07417	74,17

## Anexo D - Resultados da Análise Gravimétrica

### Anexo D 1 - Resultados da análise gravimétrica do Caso de Estudo I

*Tabela D 1. 3 - Registo dos valores médios e desvio padrão da primeira amostragem.*

<b>Etapas</b>	<b><math>\Delta m</math> (mg)</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>A</b>	0,42	0,36	0,07
	0,27		
	0,40		
<b>B</b>	0,72	0,55	0,12
	0,51		
	0,43		
<b>C</b>	0,51	0,56	0,10
	0,70		
	0,46		

*Tabela D 1. 4 - Registo dos valores médios e desvio padrão da segunda amostragem.*

<b>Etapas</b>	<b><math>\Delta m</math> (mg)</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>A</b>	0,59	0,67	0,05
	0,70		
	0,71		
<b>B</b>	0,46	0,53	0,06
	0,52		
	0,61		
<b>C</b>	0,91	0,69	0,18
	0,48		
	0,67		

**Anexo D** - Resultados da Análise Gravimétrica

**Anexo D 2** - Resultados da análise gravimétrica do Caso de Estudo II

*Tabela D 2. 1 - Registo de massas das partículas do 1º Dia (25/05/2020).*

Horário	Etapa		$m_1$ (g)	$m_1$ (mg)	$m_2$ (g)	$m_2$ (mg)
<b>8h30min.</b>	A	1	0,06608	66,08	0,06681	66,81
		2	0,06651	66,51	0,06698	66,98
		3	0,06705	67,05	0,06780	67,80
	B	1	0,06558	65,58	0,06643	66,43
		2	0,06522	65,22	0,06613	66,13
		3	0,06583	65,83	0,06669	66,69
	C	1	0,06742	67,42	0,06898	68,98
		2	0,06747	67,47	0,06828	68,28
		3	0,06746	67,46	0,06825	68,25
	D	1º	0,06721	67,21	0,06777	67,77
		2º	0,06808	68,08	0,06836	68,36
		3º	0,06724	67,24	0,06778	67,78

*Tabela D 2. 2 - Registo da média e desvio padrão das massas das partículas do 1º Dia (25/05/2020).*

Étapas	$\Delta m$ (mg)	Média	Desvio Padrão
A	0,73	0,65	0,13
	0,47		
	0,75		
B	0,85	0,87	0,03
	0,91		
	0,86		
C	1,56	1,05	0,36
	0,81		
	0,79		
D	0,56	0,46	0,13
	0,28		
	0,54		

**Anexo D - Resultados da Análise Gravimétrica**

**Anexo D 2 - Resultados da análise gravimétrica do Caso de Estudo II**

*Tabela D 2. 3 - Registo de massas das partículas do 2º Dia (26/05/2020).*

Horário	Etapa		$m_1$ (g)	$m_1$ (mg)	$m_2$ (g)	$m_2$ (mg)
<b>8h30min.</b>	A	1	0,06760	67,60	0,06818	68,18
		2	0,06929	69,29	0,06995	69,95
		3	0,06979	69,79	0,07044	70,44
	B	1	0,06924	69,24	0,06981	69,81
		2	0,07359	73,59	0,07438	74,38
		3	0,06951	69,51	0,07061	70,61
	C	1	0,06928	69,28	0,07003	70,03
		2	0,06873	68,73	0,06956	69,56
		3	0,06911	69,11	0,06978	69,78
	D	1º	0,06916	69,16	0,06984	69,84
		2º	0,06869	68,69	0,06930	69,30
		3º	0,06878	68,78	0,06948	69,48

*Tabela D 2. 4 - Registo da média e desvio padrão das massas das partículas do 2º Dia (26/05/2020).*

Etapas	$\Delta m$ (mg)	Média	Desvio Padrão
<b>A</b>	0,58	0,63	0,04
	0,66		
	0,65		
<b>B</b>	0,57	0,82	0,22
	0,79		
	1,10		
<b>C</b>	0,75	0,75	0,07
	0,83		
	0,67		
<b>D</b>	0,68	0,66	0,04
	0,61		
	0,70		

**Anexo D - Resultados da Análise Gravimétrica**

**Anexo D 2 - Resultados da análise gravimétrica do Caso de Estudo II**

*Tabela D 2. 5 - Registo de massas das partículas do 3º Dia (27/05/2020).*

Horário	Etapa		$m_1$ (g)	$m_1$ (mg)	$m_2$ (g)	$m_2$ (mg)
<b>8h30min.</b>	A	1	0,06408	64,08	0,06418	64,18
		2	0,06714	67,14	0,06757	67,57
		3	0,06700	67,00	0,06759	67,59
	B	1	0,06915	69,15	0,06967	69,67
		2	0,06646	66,46	0,06688	66,88
		3	0,06695	66,95	0,06738	67,38
	C	1	0,06926	69,26	0,06981	69,81
		2	0,06764	67,64	0,06804	68,04
		3	0,06743	67,43	0,06828	68,28
	D	1º	0,06808	68,08	0,06827	68,27
		2º	0,06803	68,03	0,06839	68,39
		3º	0,06706	67,06	0,06754	67,54

*Tabela D 2. 6 - Registo da média e desvio padrão das massas das partículas do 3º Dia (27/05/2020).*

Etapas	$\Delta m$ (mg)	Média	Desvio Padrão
<b>A</b>	0,10	0,37	0,20
	0,43		
	0,59		
<b>B</b>	0,52	0,46	0,04
	0,42		
	0,43		
<b>C</b>	0,55	0,60	0,19
	0,40		
	0,85		
<b>D</b>	0,19	0,34	0,12
	0,36		
	0,48		

**Anexo D - Resultados da Análise Gravimétrica**

**Anexo D 2 - Resultados da análise gravimétrica do Caso de Estudo II**

*Tabela D 2. 7 - Registo de massas das partículas do 4º Dia (28/05/2020).*

Horário	Etapa		$m_1$ (g)	$m_1$ (mg)	$m_2$ (g)	$m_2$ (mg)
8 h 30 min.	A	1	0,06353	63,53	0,06425	64,25
		2	0,06397	63,97	0,06432	64,32
		3	0,06400	64,00	0,06459	64,59
	B	1	0,06461	64,61	0,06521	65,21
		2	0,06396	63,96	0,06408	64,08
		3	0,06439	64,39	0,06499	64,99
	C	1	0,06449	64,49	0,06529	65,29
		2	0,06444	64,44	0,06536	65,36
		3	0,06644	66,44	0,06784	67,84
	D	1º	0,06718	67,18	0,06827	68,27
		2º	0,07125	71,25	0,07227	72,27
		3º	0,06695	66,95	0,06741	67,41

*Tabela D 2. 8 - Registo da média e desvio padrão das massas das partículas do 4º Dia (28/05/2020).*

Etapas	$\Delta m$ (mg)	Média	Desvio Padrão
A	0,72	0,55	0,15
	0,35		
	0,59		
B	0,60	0,44	0,23
	0,12		
	0,60		
C	0,80	1,04	0,26
	0,92		
	1,40		
D	1,09	0,86	0,28
	1,02		
	0,46		

**Anexo D - Resultados da Análise Gravimétrica**

**Anexo D 2 - Resultados da análise gravimétrica do Caso de Estudo II**

*Tabela D 2. 9 - Registo de massas das partículas do 5º Dia (29/05/2020).*

Horário	Etapa		$m_1$ (g)	$m_1$ (mg)	$m_2$ (g)	$m_2$ (mg)
<b>8h30min.</b>	A	1	0,06415	64,15	0,06457	64,57
		2	0,07025	70,25	0,07095	70,95
		3	0,07050	70,50	0,07121	71,21
	B	1	0,07062	70,62	0,07115	71,15
		2	0,06964	69,64	0,07053	70,53
		3	0,07014	70,14	0,07174	71,74
	C	1	0,07000	70,00	0,07105	71,05
		2	0,07002	70,02	0,07117	71,17
		3	0,07010	70,10	0,07101	71,01
	D	1º	0,07006	70,06	0,07086	70,86
		2º	0,06974	69,74	0,07055	70,55
		3º	0,07000	70,00	0,07092	70,92

*Tabela D 2. 10 - Registo da média e desvio padrão das massas das partículas do 5º Dia (29/05/2020).*

Etapas	$\Delta m$ (mg)	Média	Desvio Padrão
A	0,42	0,61	0,13
	0,70		
	0,71		
B	0,53	1,01	0,44
	0,89		
	1,60		
C	1,05	1,04	0,10
	1,15		
	0,91		
D	0,80	0,84	0,05
	0,81		
	0,92		

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

**Anexo E 1** - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 1ª amostragem. Para Caso de Estudo I

### Etapa A - Curvatura

#### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : De acordo com o caderno de encargos  
Opérateur : [REDACTED]  
Notes : [REDACTED]  
Prélevé le : 10.03.2020 10:29  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : [REDACTED]  
Surface d'une pièce : [REDACTED]  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

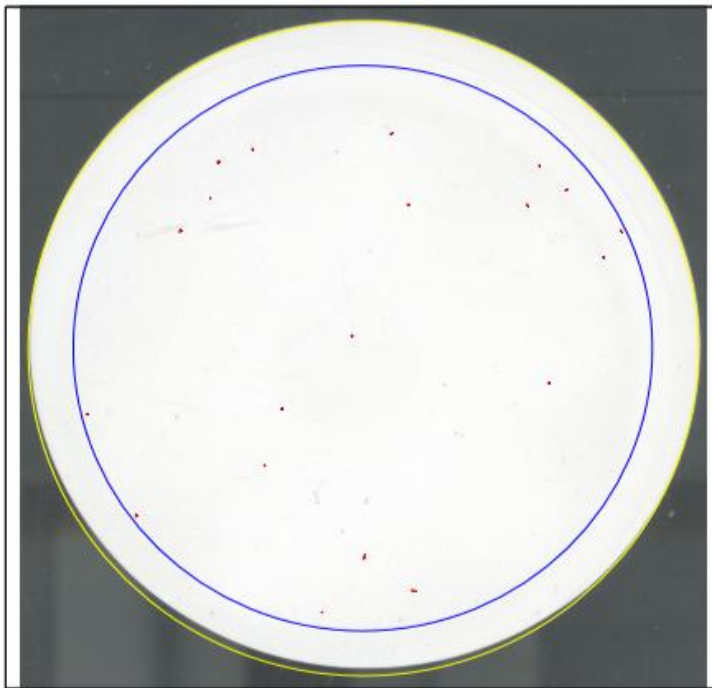
#### Informations complémentaires

gravimetry : mg/ 1000 cm2

#### Conditions expérimentales

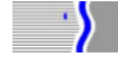
Facteur d'étalement : 10,58 µm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

#### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 1ª amostragem para o Caso de Estudo I



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
> 200 µm	5	16

#### Statistiques

	Particules
Nombre	20
Moyenne	175 µm
Ecart type	67,5 µm
Minimum	87,3 µm
Maximum	347 µm
Moyenne quadratique	187 µm



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	12	39
200 µm - 400 µm	1	3
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	14
Moyenne	133 µm
Ecart type	46,1 µm
Minimum	12,9 µm
Maximum	218 µm
Moyenne quadratique	141 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 1º amostragem para o Caso de Estudo I

#### Etapa C – Escovagem

##### Caractéristiques de l'étude

Référence :  
Type de contrôle :  
Opérateur :  
Notes :  
Prélevé le :  
Fichier de l'étude :  
Date de l'étude :  
Surface d'une pièce :  
Diamètre de l'exploration :



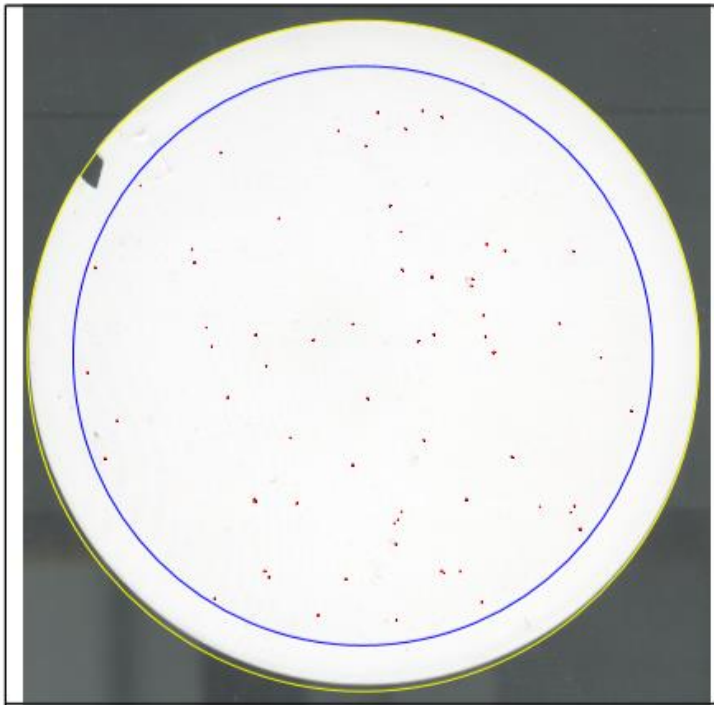
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg/ 1000 cm2

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 10,58 µm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 1ª amostragem para o Caso de Estudo I



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	61	198
200 µm - 400 µm	4	13
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	65
Moyenne	133 µm
Ecart type	51,7 µm
Minimum	67,8 µm
Maximum	338 µm
Moyenne quadratique	142 µm



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	25	81
200 µm - 400 µm	2	6
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	27
Moyenne	137 µm
Ecart type	33,8 µm
Minimum	87,3 µm
Maximum	204 µm
Moyenne quadratique	141 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 1º amostragem para o Caso de Estudo I



### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	23	74
200 µm - 400 µm	2	6
400 µm - 1000 µm	1	3
> 1000 µm	0	0

### Statistiques

	Particules
Nombre	26
Moyenne	143 µm
Ecart type	65,8 µm
Minimum	78,2 µm
Maximum	416 µm
Moyenne quadratique	157 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 1ª amostragem para o Caso de Estudo I

#### Etapa C - Sopro

##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : vanessa coelho  
Notes : [REDACTED]  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : [REDACTED]  
Surface d'une pièce : [REDACTED]  
Diamètre de l'exploration : [REDACTED]

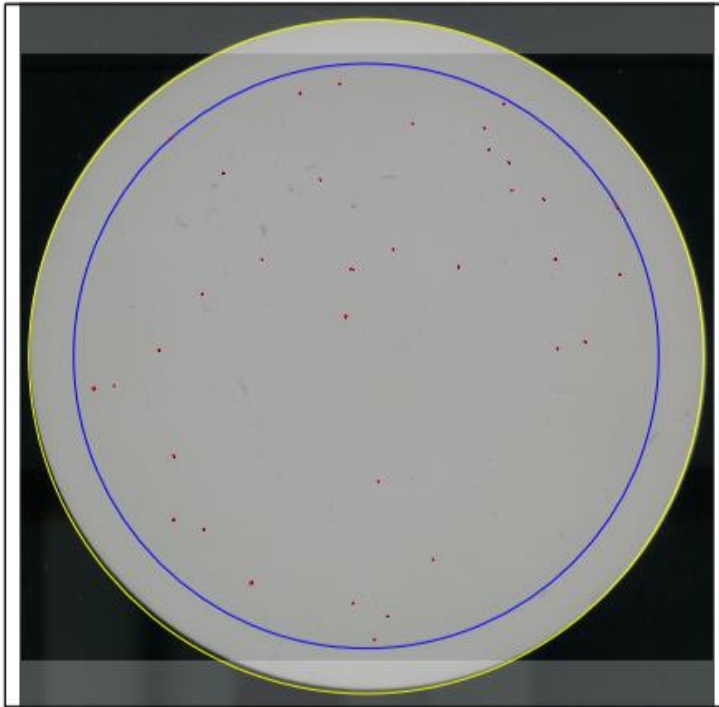
##### Informations complémentaires

gravimetry :

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 10,58 µm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 1º amostragem. para o Caso de Estudo I

### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
> 200 µm	4	13

### Statistiques

	Particules
Nombre	36
Moyenne	139 µm
Ecart type	46,8 µm
Minimum	74,8 µm
Maximum	278 µm
Moyenne quadratique	146 µm

### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	20	64
200 µm - 400 µm	3	10
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

### Statistiques

	Particules
Nombre	23
Moyenne	161 µm
Ecart type	39,6 µm
Minimum	96,1 µm
Maximum	271 µm
Moyenne quadratique	166 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 1º amostragem para o Caso de Estudo I



### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	15	48
200 µm - 400 µm	1	3
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

### Statistiques

	Particules
Nombre	16
Moyenne	141 µm
Ecart type	33,0 µm
Minimum	78,9 µm
Maximum	204 µm
Moyenne quadratique	145 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 2ª amostragem para Caso De Estudo I

#### Etapa A - Curvatura

##### Caractéristiques de l'étude

Référence :

Type de contrôle :

Opérateur :

Notes :

Prélevé le :

Fichier de l'étude :

Date de l'étude :

Surface d'une pièce :

Diamètre de l'exploration :

vanessa coelho

##### Informations complémentaires

gravimetry : mg/1000 cm2

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 10,58 µm/pixel

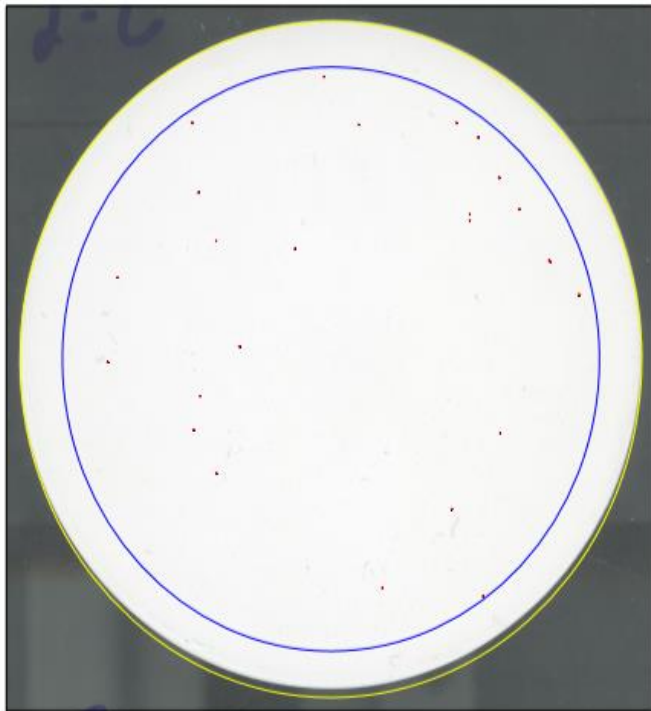
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction

Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63

Canal n° 1 - Filtrage : Aucun

Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 2º amostragem para o Caso de Estudo I

### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	25	81
200 µm - 400 µm	0	0
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

### Statistiques

	Particules
Nombre	25
Moyenne	121 µm
Ecart type	31,1 µm
Minimum	64,8 µm
Maximum	191 µm
Moyenne quadratique	125 µm

### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	48	155
200 µm - 400 µm	3	10
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

### Statistiques

	Particules
Nombre	51
Moyenne	116 µm
Ecart type	37,9 µm
Minimum	57,0 µm
Maximum	234 µm
Moyenne quadratique	122 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 2º amostragem para o Caso de Estudo I



### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	33	106
200 µm - 400 µm	1	3
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

### Statistiques

	Particules
Nombre	34
Moyenne	116 µm
Ecart type	44,9 µm
Minimum	63,5 µm
Maximum	280 µm
Moyenne quadratique	124 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 2º amostragem para o Caso de Estudo I

#### Etapa B – Escovagem

##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : vanessa coelho  
Notes : [REDACTED]  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : [REDACTED]  
Surface d'une pièce : [REDACTED]  
Diamètre de l'exploration : [REDACTED]

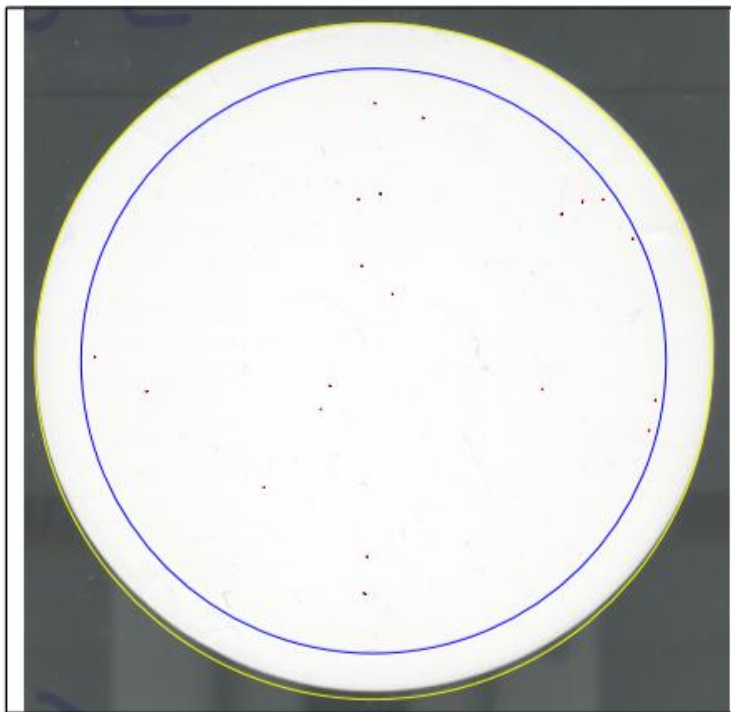
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg/ 1000 cm2

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 10,58 µm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 2º amostragem para o Caso de Estudo I



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	20	64
200 µm - 400 µm	0	0
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	20
Moyenne	122 µm
Ecart type	27,0 µm
Minimum	76,0 µm
Maximum	188 µm
Moyenne quadratique	125 µm



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	30	97
200 µm - 400 µm	2	6
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	32
Moyenne	131 µm
Ecart type	39,6 µm
Minimum	72,8 µm
Maximum	244 µm
Moyenne quadratique	137 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 2ª amostragem para o Caso de Estudo I



### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	8	26
200 µm - 400 µm	1	3
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

### Statistiques

	Particules
Nombre	9
Moyenne	139 µm
Ecart type	31,3 µm
Minimum	104 µm
Maximum	214 µm
Moyenne quadratique	142 µm



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 2º amostragem para o Caso de Estudo I

#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	17	55
200 µm - 400 µm	0	0
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	17
Moyenne	133 µm
Ecart type	30,8 µm
Minimum	89,8 µm
Maximum	200 µm
Moyenne quadratique	137 µm

#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	8	26
200 µm - 400 µm	3	10
400 µm - 1000 µm	1	3
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	12
Moyenne	195 µm
Ecart type	122 µm
Minimum	82,7 µm
Maximum	529 µm
Moyenne quadratique	230 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex da 2º amostragem para o Caso de Estudo I



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	12	39
200 µm - 400 µm	0	0
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	12
Moyenne	122 µm
Ecart type	28,9 µm
Minimum	67,8 µm
Maximum	171 µm
Moyenne quadratique	125 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 3 - Cálculo do tamanho mínimo, médio e máximo das partículas 1<sup>a</sup> Amostragem Para Caso de Estudo I

*Tabela E 3. 1 - Tamanho mínimo, médio e máximo das partículas após a curvatura das peças.*

Tamanho da Partícula ( $\mu\text{m}$ )	Ensaio			Média
	1	2	3	
15 - 200	0	39	/	20
200 - 400	16	3	/	10
400 - 1000	0	0	/	0
> 1000	0	0	/	0
<b>Mínimo</b>	87,3	12,9	/	50,10
<b>Médio</b>	175	133	/	154,00
<b>Máximo</b>	347	218	/	282,50

*Tabela E 3. 2 - Tamanho mínimo, médio e máximo das partículas após a escovagem das peças.*

Tamanho da Partícula ( $\mu\text{m}$ )	Ensaio			Média
	1	2	3	
15 - 200	196	81	74	117
200 - 400	13	6	6	8
400 - 1000	0	0	3	1
> 1000	0	0	0	0
<b>Mínimo</b>	67,8	87,3	78,2	77,77
<b>Médio</b>	133	137	143	137,67
<b>Máximo</b>	336	204	416	318,67

**Anexo E** - Resultados da Análise Granulométrica

**Anexo E 3** - Cálculo do tamanho mínimo, médio e máximo das partículas 1ª Amostragem para o Caso de Estudo I

*Tabela E 3. 3 - Tamanho mínimo, médio e máximo das partículas após o sopro das peças.*

Tamanho da Partícula ( $\mu\text{m}$ )	Ensaio			Média
	1	2	3	
15 - 200	0	64	48	37
200 - 400	13	10	3	9
400 - 1000	0	0	0	0
> 1000	0	0	0	0
<b>Mínimo</b>	74,8	96,1	78,9	83,27
<b>Médio</b>	139	161	141	147,00
<b>Máximo</b>	278	271	204	251,00

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 4 - Cálculo do tamanho mínimo, médio e máximo das partículas 2<sup>a</sup> Amostragem Para Caso de Estudo I

*Tabela E 4. 1 - Tamanho mínimo, médio e máximo das partículas após a curvatura das peças.*

Tamanho da Partícula ( $\mu\text{m}$ )	Ensaio			Média
	1	2	3	
15 - 200	81	155	106	114
200 - 400	0	10	3	4
400 - 1000	0	0	0	0
> 1000	0	0	0	0
<b>Mínimo</b>	64,8	57	63,5	61,77
<b>Médio</b>	121	116	116	117,67
<b>Máximo</b>	191	237	280	236,00

*Tabela E 4. 2 - Tamanho mínimo, médio e máximo das partículas após a escovagem das peças.*

Tamanho da Partícula ( $\mu\text{m}$ )	Ensaio			Média
	1	2	3	
15 - 200	64	97	26	62
200 - 400	0	6	3	3
400 - 1000	0	0	0	0
> 1000	0	0	0	0
<b>Mínimo</b>	76	72,8	104	84,27
<b>Médio</b>	122	131	139	130,67
<b>Máximo</b>	188	244	214	215,33

**Anexo E** - Resultados da Análise Granulométrica

**Anexo E 4** - Cálculo do tamanho mínimo, médio e máximo das partículas 2 ° Amostragem para o Caso de Estudo I

*Tabela E 4. 3 - Tamanho mínimo, médio e máximo das partículas após o sopro das peças.*

Tamanho da Partícula ( $\mu\text{m}$ )	Ensaio			Média
	1	2	3	
15 - 200	55	26	39	40
200 - 400	0	10	0	3
400 - 1000	0	3	0	1
> 1000	0	0	0	0
<b>Mínimo</b>	89,8	82,7	67,8	80,10
<b>Médio</b>	133	195	122	150,00
<b>Máximo</b>	200	529	171	300,00

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 5 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para o Caso De Estudo II

#### Anexo E 5.1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 25/05/2020

#### Etapa A

### Filtrex™ : Etapa A Nº2 25-05-2020



#### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : 26-05-2020  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

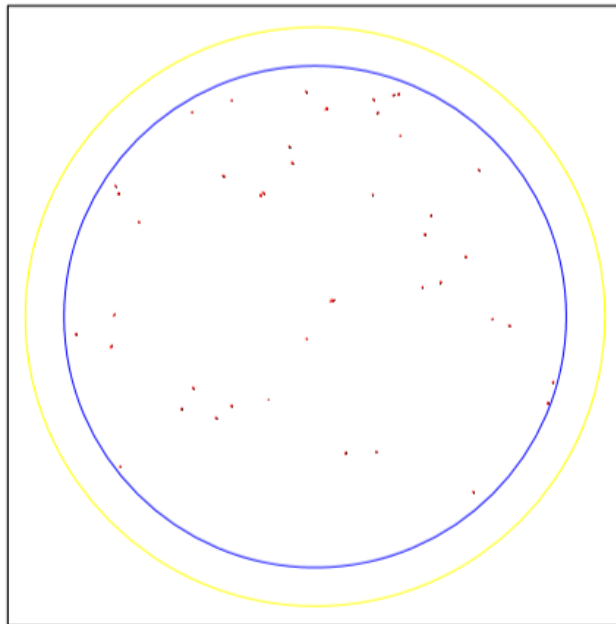
#### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

#### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuilage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

#### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 5.1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de

25/05/2020

#### Filtrex™ : Etapa A N°2 25-05-2020



##### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	34	270
200 µm - 400 µm	8	64
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

##### Statistiques

	Particules
Nombre	42
Moyenne	158 µm
Ecart type	59,2 µm
Minimum	74,8 µm
Maximum	393 µm
Moyenne quadratique	169 µm

#### Filtrex™ : Etapa A N°3 25-05-2020



##### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	35	278
200 µm - 400 µm	3	24
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

##### Statistiques

	Particules
Nombre	39
Moyenne	144 µm
Ecart type	58,6 µm
Minimum	22,3 µm
Maximum	408 µm
Moyenne quadratique	155 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 25/05/2020

### Etapa B

#### Filtrex™ : Etapa B N°1 25-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : De acordo com o caderno de encargos  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le : 26-05-2020 12:58  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : [REDACTED]  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

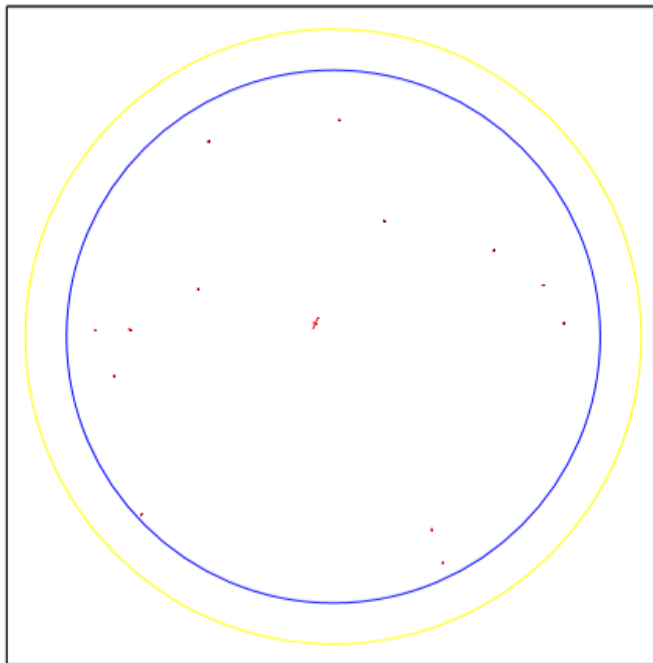
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalement : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 25/05/2020

### Filtrex™ : Etapa B Nº1 25-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	13	103
200 µm - 400 µm	0	0
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	14
Moyenne	193 µm
Ecart type	195 µm
Minimum	100 µm
Maximum	891 µm
Moyenne quadratique	274 µm

### Filtrex™ : Etapa B Nº2 25-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	29	230
200 µm - 400 µm	10	79
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	39
Moyenne	168 µm
Ecart type	51,7 µm
Minimum	79,4 µm
Maximum	328 µm
Moyenne quadratique	176 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 25/05/2020

### Filtrex™ : Etapa B N°3 25-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	38	302
200 µm - 400 µm	5	40
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	44
Moyenne	159 µm
Ecart type	79,6 µm
Minimum	67,8 µm
Maximum	575 µm
Moyenne quadratique	177 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 25/05/2020

### Etapa C

#### Filtrex™ : Etapa C N°1 25-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le : 28-05-2020 9:36  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : [REDACTED]  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

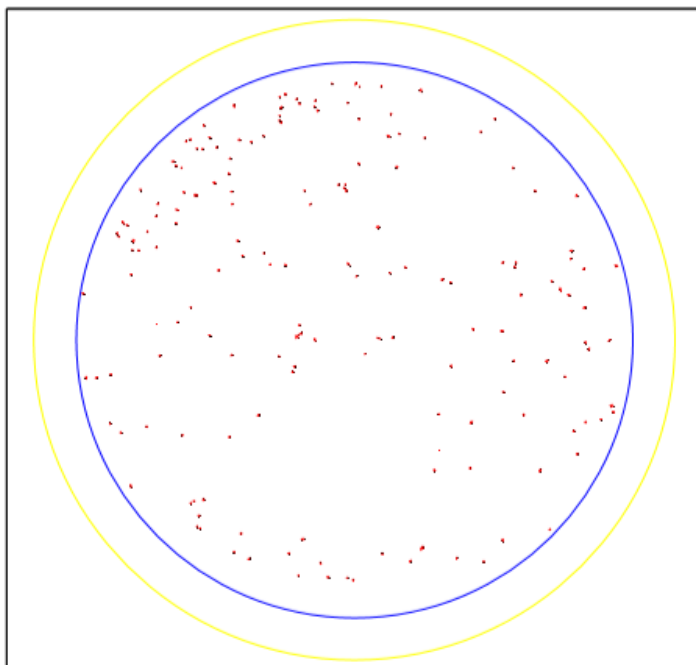
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 25/05/2020

### Filtrex™ : Etapa C N°1 25-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	142	1127
200 µm - 400 µm	29	230
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	172
Moyenne	149 µm
Ecart type	52,3 µm
Minimum	12,9 µm
Maximum	376 µm
Moyenne quadratique	158 µm

### Filtrex™ : Etapa C N°2 25-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	139	1103
200 µm - 400 µm	22	175
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

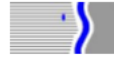
#### Statistiques

	Particules
Nombre	164
Moyenne	152 µm
Ecart type	56,0 µm
Minimum	12,9 µm
Maximum	470 µm
Moyenne quadratique	162 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 25/05/2020

### Filtrex™ : Etapa C N°3 25-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	11	87
200 µm - 400 µm	0	0
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	12
Moyenne	155 µm
Ecart type	107 µm
Minimum	67,9 µm
Maximum	501 µm
Moyenne quadratique	188 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 25/05/2020

### Etapa D

#### Filtrex™ : Etapa D N°1 25-05-2020

##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude :  
Date de l'étude : 28-05-2020  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

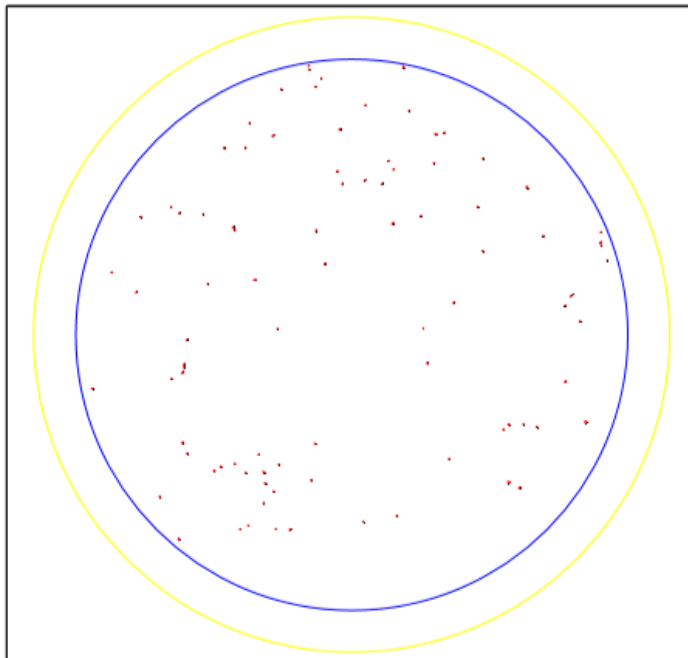
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalement : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 25/05/2020

### Filtrex™ : Etapa D N°1 25-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	77	611
200 µm - 400 µm	12	95
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	89
Moyenne	148 µm
Ecart type	54,1 µm
Minimum	76,3 µm
Maximum	357 µm
Moyenne quadratique	158 µm

### Filtrex™ : Etapa D N°2 25-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	78	619
200 µm - 400 µm	13	103
400 µm - 1000 µm	2	16
> 1000 µm	0	0

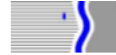
#### Statistiques

	Particules
Nombre	93
Moyenne	173 µm
Ecart type	71,1 µm
Minimum	71,0 µm
Maximum	594 µm
Moyenne quadratique	187 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.1 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 25/05/2020

### Filtrex™ : Etapa D N°3 25-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	53	421
200 µm - 400 µm	18	143
400 µm - 1000 µm	3	24
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	74
Moyenne	184 µm
Ecart type	75,8 µm
Minimum	85,3 µm
Maximum	562 µm
Moyenne quadratique	199 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 5.2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020

#### Etapa A

#### Filtrex™ : Etapa A N°1 26-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence :  
Type de contrôle :  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le :  
Fichier de l'étude :  
Date de l'étude : 28-05-2020  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

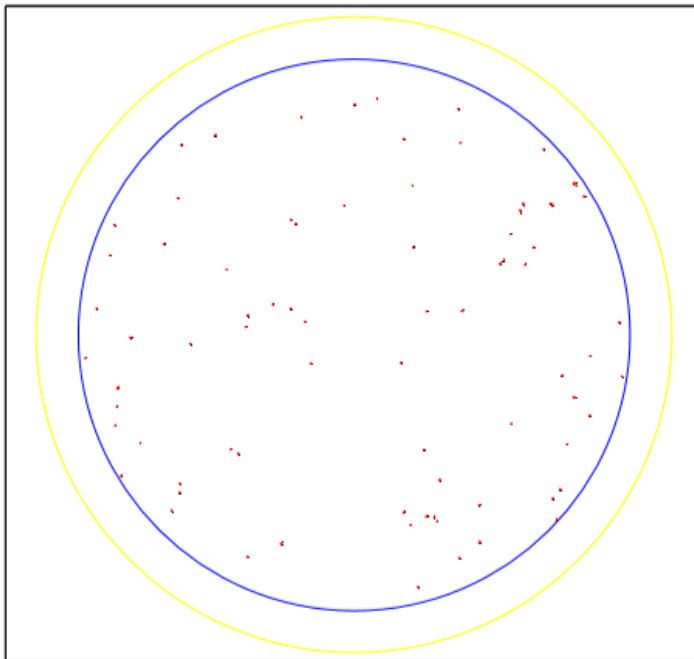
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020

### Filtrex™ : Etapa A N°1 26-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	72	572
200 µm - 400 µm	7	56
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	79
Moyenne	146 µm
Ecart type	44,0 µm
Minimum	61,7 µm
Maximum	300 µm
Moyenne quadratique	152 µm

### Filtrex™ : Etapa A N°2 26-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	155	1230
200 µm - 400 µm	25	198
400 µm - 1000 µm	2	16
> 1000 µm	0	0

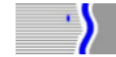
#### Statistiques

	Particules
Nombre	183
Moyenne	154 µm
Ecart type	60,6 µm
Minimum	12,9 µm
Maximum	522 µm
Moyenne quadratique	165 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020

### Filtrex™ : Etapa A N°3 26-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	37	294
200 µm - 400 µm	6	48
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	44
Moyenne	154 µm
Ecart type	61,7 µm
Minimum	12,9 µm
Maximum	359 µm
Moyenne quadratique	166 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020

### Etapa B

#### Filtrex™ : Etapa B N°1 26-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes : [REDACTED]  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : 28-05-2020  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

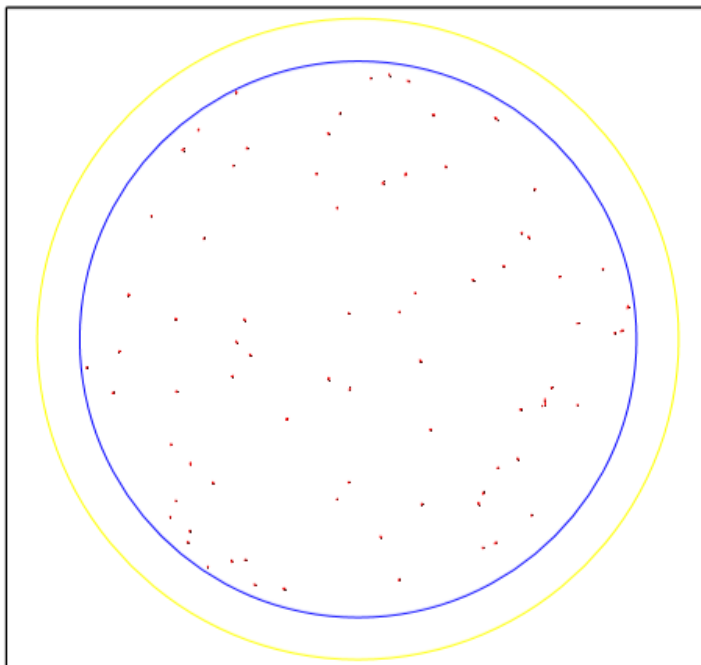
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalement : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020

### Filtrex™ : Etapa B N°1 26-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	63	500
200 µm - 400 µm	13	103
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	77
Moyenne	155 µm
Ecart type	58,9 µm
Minimum	57,0 µm
Maximum	477 µm
Moyenne quadratique	166 µm

### Filtrex™ : Etapa B N°2 26-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	122	968
200 µm - 400 µm	16	127
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	139
Moyenne	146 µm
Ecart type	50,2 µm
Minimum	12,9 µm
Maximum	331 µm
Moyenne quadratique	155 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020

### Filtrex™ : Etapa B N°3 26-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	70	556
200 µm - 400 µm	20	159
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	91
Moyenne	166 µm
Ecart type	63,8 µm
Minimum	52,9 µm
Maximum	521 µm
Moyenne quadratique	178 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020

### Etapa C

#### Filtrex™ : Etapa C N°1 26-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le : 28-05-2020 15:02  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : [REDACTED]  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

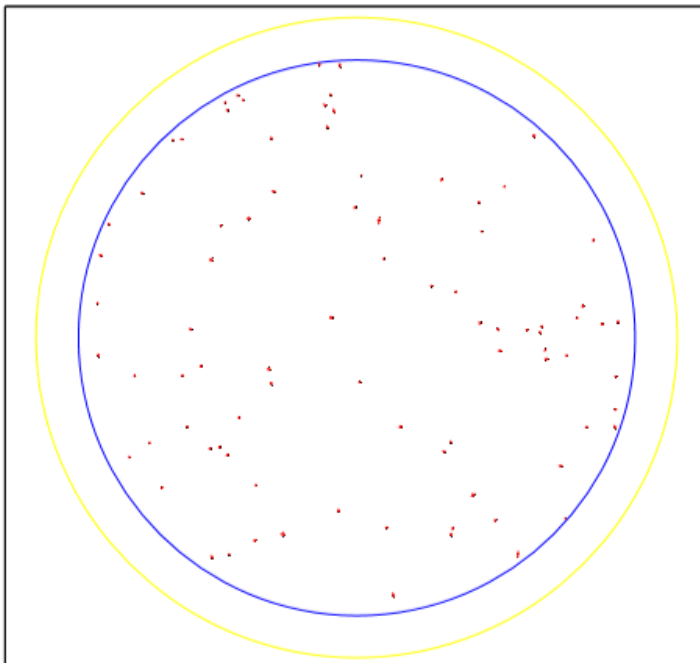
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalement : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020

### Filtrex™ : Etapa C N°1 26-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	53	421
200 µm - 400 µm	30	238
400 µm - 1000 µm	2	16
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	85
Moyenne	192 µm
Ecart type	68,4 µm
Minimum	97,6 µm
Maximum	525 µm
Moyenne quadratique	204 µm

### Filtrex™ : Etapa C N°2 26-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	63	500
200 µm - 400 µm	15	119
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	78
Moyenne	163 µm
Ecart type	53,1 µm
Minimum	76,3 µm
Maximum	367 µm
Moyenne quadratique	171 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020

### Filtrex™ : Etapa C N°3 26-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	54	429
200 µm - 400 µm	22	175
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	77
Moyenne	185 µm
Ecart type	70,1 µm
Minimum	85,3 µm
Maximum	440 µm
Moyenne quadratique	197 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E.5.2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020

### Etapa D

#### Filtrex™ : Etapa D N°1 26-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le : 28-05-2020 15:42  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : [REDACTED]  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

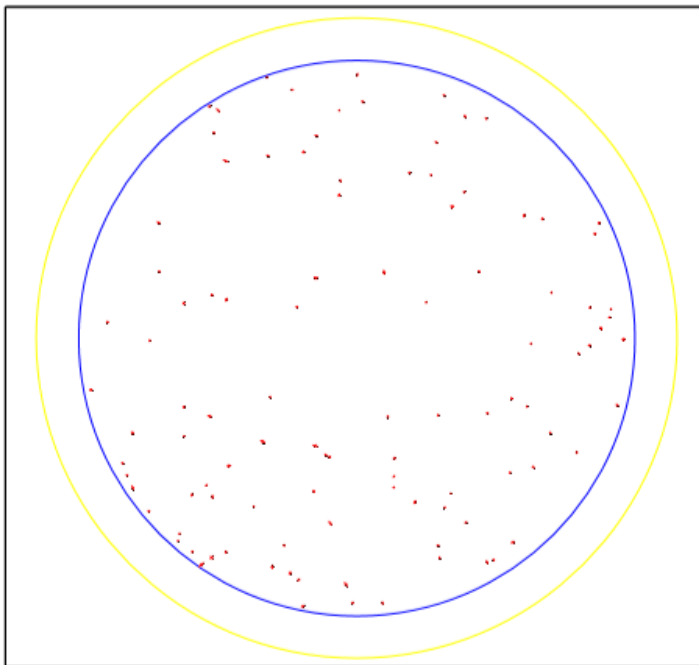
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalement : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020

### Filtrex™ : Etapa D N°1 26-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	76	603
200 µm - 400 µm	27	214
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	104
Moyenne	176 µm
Ecart type	66,4 µm
Minimum	76,3 µm
Maximum	445 µm
Moyenne quadratique	188 µm

### Filtrex™ : Etapa D N°2 26-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	80	635
200 µm - 400 µm	16	127
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	97
Moyenne	163 µm
Ecart type	55,0 µm
Minimum	67,8 µm
Maximum	531 µm
Moyenne quadratique	172 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.2 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 26/05/2020

### Filtrex™ : Etapa D N°3 26-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	67	532
200 µm - 400 µm	38	302
400 µm - 1000 µm	3	24
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	108
Moyenne	196 µm
Ecart type	93,2 µm
Minimum	76,3 µm
Maximum	728 µm
Moyenne quadratique	217 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 5.3 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020

#### Etapa A

## Filtrex™ : Etapa A N°1 27-05-2020



### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes : [REDACTED]  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : 29-05-2020  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

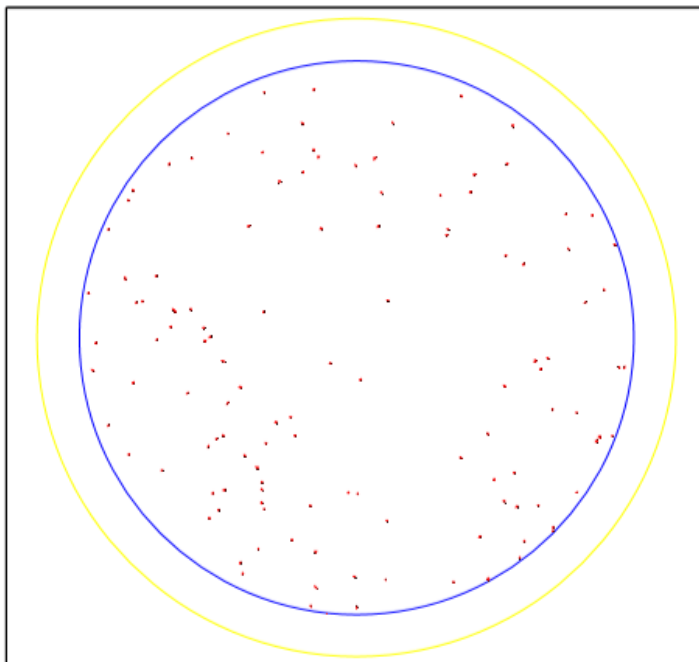
### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.3 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020

### Filtrex™ : Etapa A N°1 27-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	102	810
200 µm - 400 µm	19	151
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	122
Moyenne	165 µm
Ecart type	42,2 µm
Minimum	12,9 µm
Maximum	288 µm
Moyenne quadratique	170 µm

### Filtrex™ : Etapa A N°2 27-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	57	452
200 µm - 400 µm	7	56
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	64
Moyenne	154 µm
Ecart type	49,4 µm
Minimum	80,6 µm
Maximum	389 µm
Moyenne quadratique	162 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.3 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020

### Filtrex™ : Etapa A N°3 27-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	29	230
200 µm - 400 µm	11	87
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	40
Moyenne	174 µm
Ecart type	46,7 µm
Minimum	99,8 µm
Maximum	275 µm
Moyenne quadratique	180 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.3 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020

### Etapa B

#### Filtrex™ : Etapa B N°1 27-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes : [REDACTED]  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : 29-05-2020  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

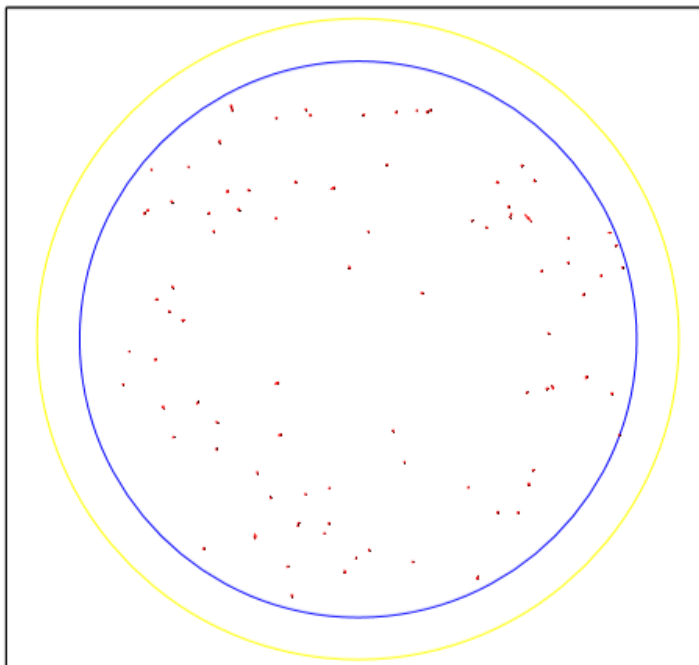
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalement : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

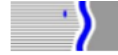
##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.3 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020

### Filtrex™ : Etapa B Nº1 27-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	74	587
200 µm - 400 µm	15	119
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	90
Moyenne	169 µm
Ecart type	76,8 µm
Minimum	74,8 µm
Maximum	689 µm
Moyenne quadratique	186 µm

### Filtrex™ : Etapa B Nº2 27-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	64	508
200 µm - 400 µm	22	175
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	87
Moyenne	170 µm
Ecart type	59,6 µm
Minimum	61,7 µm
Maximum	461 µm
Moyenne quadratique	180 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.3 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020

### Filtrex™ : Etapa B N°3 27-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	8	64
200 µm - 400 µm	3	24
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	11
Moyenne	165 µm
Ecart type	60,4 µm
Minimum	76,0 µm
Maximum	272 µm
Moyenne quadratique	176 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.3 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020

### Etapa C

#### Filtrex™ : Etapa C N°1 27-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le : 29-05-2020 10:52  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : [REDACTED]  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

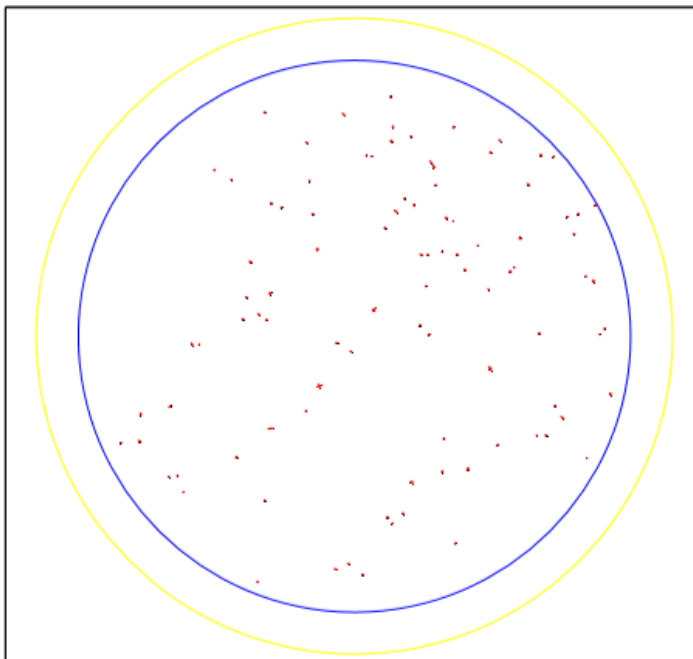
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg/ 1000 cm2

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalement : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.3 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020

### Filtrex™ : Etapa C N°1 27-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	72	572
200 µm - 400 µm	22	175
400 µm - 1000 µm	2	16
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	96
Moyenne	178 µm
Ecart type	78,8 µm
Minimum	67,6 µm
Maximum	476 µm
Moyenne quadratique	195 µm

### Filtrex™ : Etapa C N°2 27-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	52	413
200 µm - 400 µm	8	64
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	60
Moyenne	158 µm
Ecart type	56,8 µm
Minimum	76,3 µm
Maximum	365 µm
Moyenne quadratique	168 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.3 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020

### Filtrex™ : Etapa C N°3 27-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	69	548
200 µm - 400 µm	20	159
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	89
Moyenne	169 µm
Ecart type	48,1 µm
Minimum	85,4 µm
Maximum	313 µm
Moyenne quadratique	176 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.3 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020

### Etapa D

#### Filtrex™ : Etapa D N°1 27-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : 29-05-2020  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

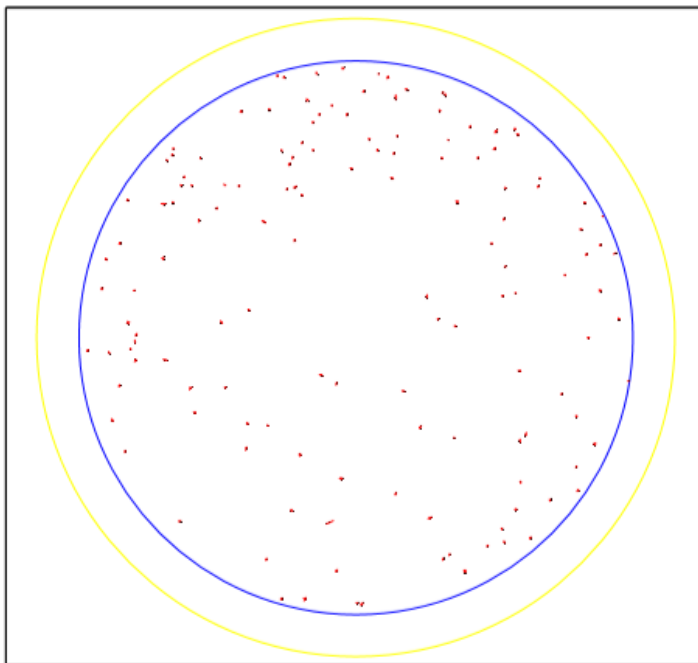
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalement : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.3 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020

### Filtrex™ : Etapa D N°1 27-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	104	826
200 µm - 400 µm	35	278
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	140
Moyenne	177 µm
Ecart type	63,5 µm
Minimum	74,8 µm
Maximum	568 µm
Moyenne quadratique	188 µm

### Filtrex™ : Etapa D N°2 27-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	84	667
200 µm - 400 µm	15	119
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	100
Moyenne	158 µm
Ecart type	60,1 µm
Minimum	83,9 µm
Maximum	498 µm
Moyenne quadratique	169 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.3 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 27/05/2020

### Filtrex™ : Etapa D N°3 27-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	45	357
200 µm - 400 µm	16	127
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	61
Moyenne	186 µm
Ecart type	57,5 µm
Minimum	90,4 µm
Maximum	380 µm
Moyenne quadratique	195 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 5.4 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020

#### Etapa A

#### Filtrex™ : Etapa A N°1 28-05-2020

##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : 29-05-2020  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

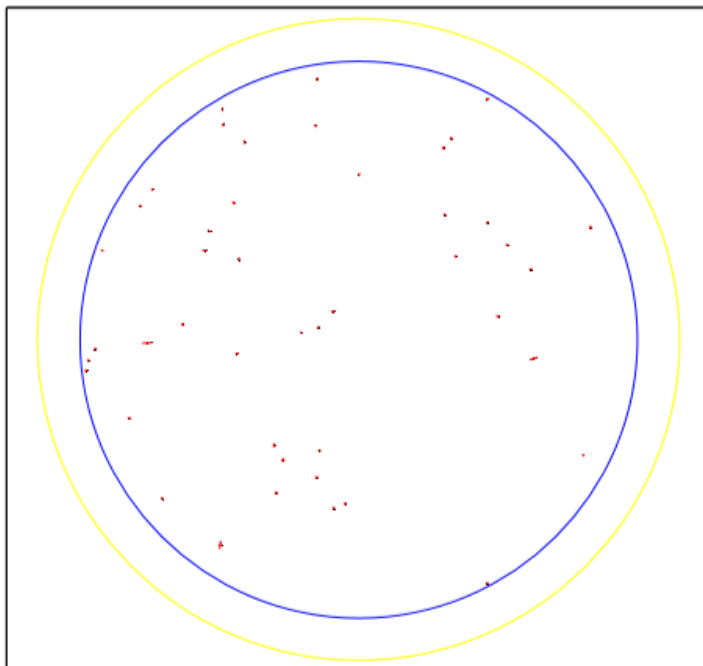
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg /1000 cm2

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalement : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.4 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020

### Filtrex™ : Etapa A N°1 28-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	33	262
200 µm - 400 µm	9	71
400 µm - 1000 µm	3	24
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	45
Moyenne	198 µm
Ecart type	110 µm
Minimum	114 µm
Maximum	668 µm
Moyenne quadratique	226 µm

### Filtrex™ : Etapa A N°2 28-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	16	127
200 µm - 400 µm	6	48
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	23
Moyenne	211 µm
Ecart type	127 µm
Minimum	106 µm
Maximum	746 µm
Moyenne quadratique	246 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.4 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020

### Filtrex™ : Etapa A N°3 28-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	27	214
200 µm - 400 µm	9	71
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	36
Moyenne	176 µm
Ecart type	45,2 µm
Minimum	91,0 µm
Maximum	299 µm
Moyenne quadratique	182 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.4 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020

### Etapa B

#### Filtrex™ : Etapa B N°1 28-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : Etapa B N°1 28-05-2020  
Type de contrôle :   
Opérateur :   
Notes :   
Prélevé le : 29-05-2020 14:15  
Fichier de l'étude : E:\Vanessa\FILTREX 28-05\B1 28-05-2020.ftx  
Date de l'étude : 29-05-2020  
Surface d'une pièce :   
Diamètre de l'exploration :

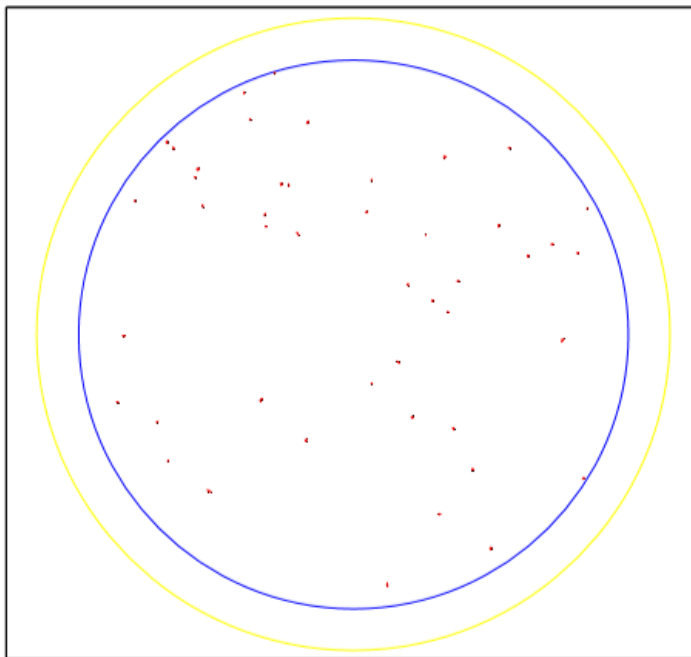
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm2

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.4 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020

### Filtrex™ : Etapa B N°1 28-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	31	246
200 µm - 400 µm	16	127
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	47
Moyenne	181 µm
Ecart type	61,0 µm
Minimum	69,1 µm
Maximum	351 µm
Moyenne quadratique	191 µm

### Filtrex™ : Etapa B N°2 28-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	105	833
200 µm - 400 µm	40	318
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	146
Moyenne	175 µm
Ecart type	52,9 µm
Minimum	85,3 µm
Maximum	432 µm
Moyenne quadratique	183 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.4 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020

### Filtrex™ : Etapa B N°3 28-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	22	175
200 µm - 400 µm	11	87
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	33
Moyenne	190 µm
Ecart type	62,5 µm
Minimum	110 µm
Maximum	358 µm
Moyenne quadratique	200 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

**Anexo E 5.4** - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020

### Etapa C

#### Filtrex™ : Etapa C N°1 28-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes : [REDACTED]  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : 29-05-2020  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

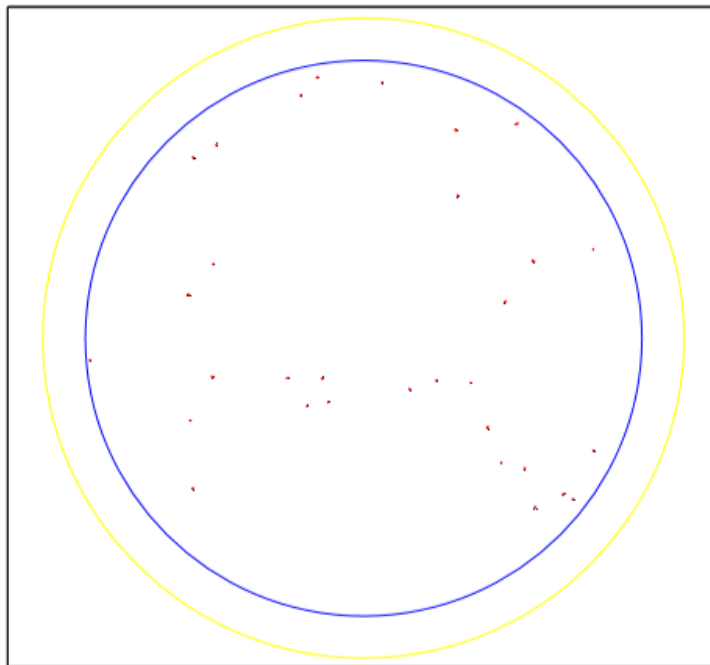
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.4 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020

### Filtrex™ : Etapa C N°1 28-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	24	191
200 µm - 400 µm	7	56
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	31
Moyenne	170 µm
Ecart type	44,2 µm
Minimum	104 µm
Maximum	286 µm
Moyenne quadratique	176 µm

### Filtrex™ : Etapa C N°2 28-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	64	508
200 µm - 400 µm	38	302
400 µm - 1000 µm	1	8
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	103
Moyenne	191 µm
Ecart type	64,1 µm
Minimum	85,3 µm
Maximum	572 µm
Moyenne quadratique	202 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.4 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020

### Filtrex™ : Etapa C N°3 28-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	59	468
200 µm - 400 µm	40	318
400 µm - 1000 µm	3	24
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	102
Moyenne	208 µm
Ecart type	85,8 µm
Minimum	120 µm
Maximum	612 µm
Moyenne quadratique	225 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

**Anexo E 5.4** - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020

### Etapa D

#### Filtrex™ : Etapa D N°1 28-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le : 28-05-2020 15:00  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : 29-05-2020  
Surface d'une pièce : 125,98 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

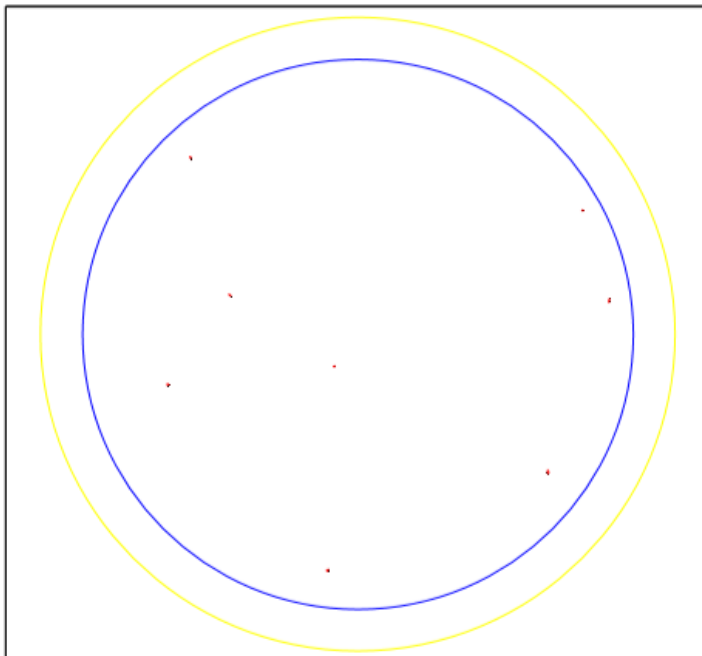
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.4 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020

### Filtrex™ : Etapa D N°1 28-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	4	32
200 µm - 400 µm	4	32
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	8
Moyenne	205 µm
Ecart type	73,9 µm
Minimum	107 µm
Maximum	321 µm
Moyenne quadratique	218 µm

### Filtrex™ : Etapa D N°2 28-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	39	310
200 µm - 400 µm	25	198
400 µm - 1000 µm	2	16
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	66
Moyenne	203 µm
Ecart type	66,5 µm
Minimum	105 µm
Maximum	498 µm
Moyenne quadratique	213 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.4 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 28/05/2020

### Filtrex™ : Etapa D N°3 28-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	37	294
200 µm - 400 µm	20	159
400 µm - 1000 µm	4	32
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	64
Moyenne	199 µm
Ecart type	124 µm
Minimum	12,9 µm
Maximum	706 µm
Moyenne quadratique	235 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

### Anexo E 5.5 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020

#### Etapa A

### Filtrex™ : Etapa A N°1 29-05-2020



#### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : 29-05-2020  
Surface d'une pièce : 55,69 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

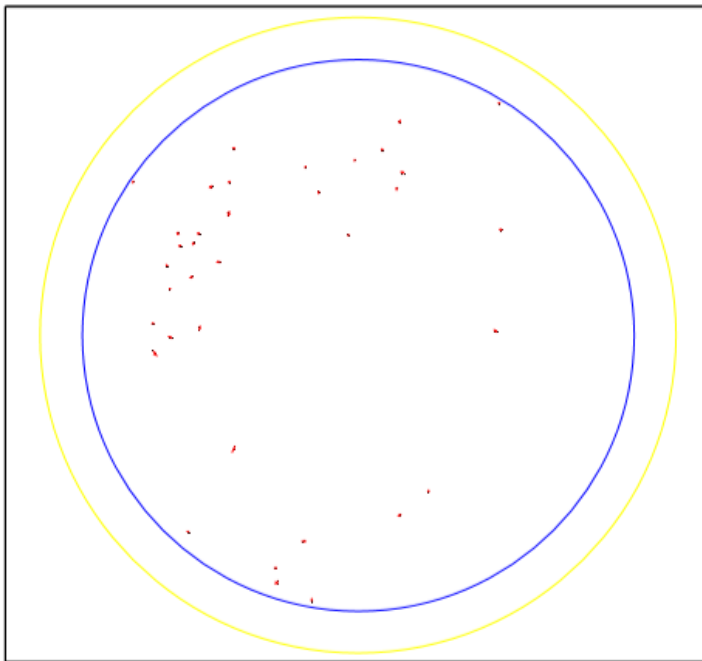
#### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

#### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

#### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.5 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020

### Filtrex™ : Etapa A N°1 29-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	19	341
200 µm - 400 µm	15	269
400 µm - 1000 µm	2	36
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	36
Moyenne	215 µm
Ecart type	90,5 µm
Minimum	96,0 µm
Maximum	493 µm
Moyenne quadratique	234 µm

### Filtrex™ : Etapa A N°2 29-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	12	215
200 µm - 400 µm	8	144
400 µm - 1000 µm	1	18
> 1000 µm	0	0

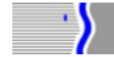
#### Statistiques

	Particules
Nombre	21
Moyenne	218 µm
Ecart type	75,0 µm
Minimum	118 µm
Maximum	414 µm
Moyenne quadratique	231 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.5 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020

### Filtrex™ : Etapa A N°3 29-05-2020



#### Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	15	269
200 µm - 400 µm	8	144
400 µm - 1000 µm	1	18
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	24
Moyenne	209 µm
Ecart type	84,6 µm
Minimum	117 µm
Maximum	518 µm
Moyenne quadratique	226 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.5 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020

### Etapa B

#### Filtrex™ : Etapa B N°1 29-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence :  
Type de contrôle :  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes :  
Prélevé le :  
Fichier de l'étude :  
Date de l'étude : 29-05-2020  
Surface d'une pièce : 55,69 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

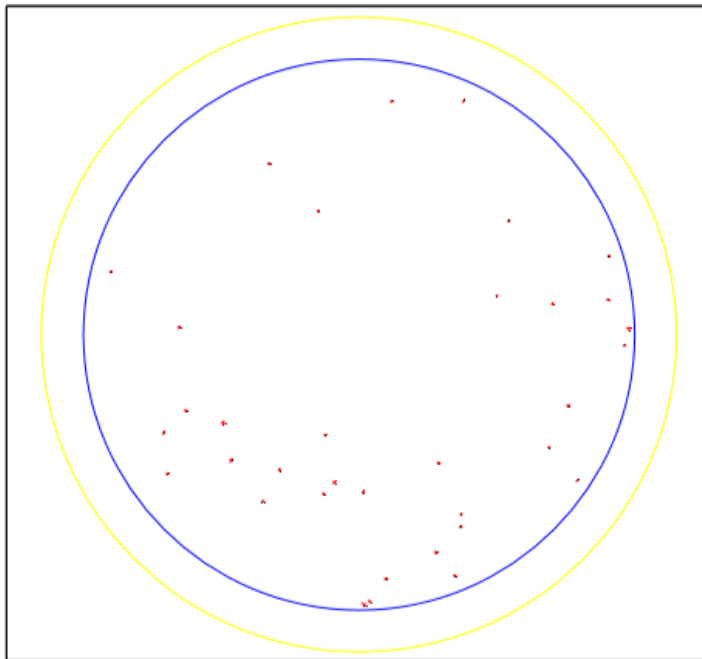
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalement : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.5 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020

### Filtrex™ : Etapa B N°1 29-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	15	269
200 µm - 400 µm	19	341
400 µm - 1000 µm	1	18
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	35
Moyenne	228 µm
Ecart type	65,5 µm
Minimum	129 µm
Maximum	413 µm
Moyenne quadratique	237 µm

### Filtrex™ : Etapa B N°2 29-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	19	341
200 µm - 400 µm	10	180
400 µm - 1000 µm	2	36
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	31
Moyenne	204 µm
Ecart type	89,8 µm
Minimum	82,7 µm
Maximum	557 µm
Moyenne quadratique	223 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.5 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020

### Filtrex™ : Etapa B N°3 29-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	12	95
200 µm - 400 µm	8	64
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	20
Moyenne	189 µm
Ecart type	53,7 µm
Minimum	61,7 µm
Maximum	329 µm
Moyenne quadratique	197 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.5 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020

### Etapa C

#### Filtrex™ : Etapa C N°1 29-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes : [REDACTED]  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : 29-05-2020  
Surface d'une pièce : 55,69 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

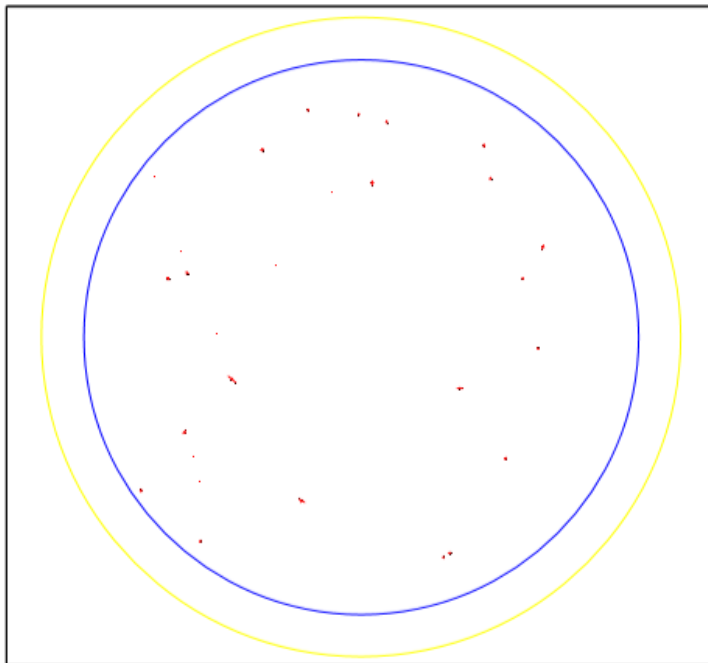
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm2

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.5 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020

Filtrex™ : Etapa C N°1 29-05-2020



34-07-024 /E		
Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	23	413
200 µm - 400 µm	7	126
400 µm - 1000 µm	3	54
> 1000 µm	0	0

Statistiques

	Particules
Nombre	40
Moyenne	145 µm
Ecart type	154 µm
Minimum	12,9 µm
Maximum	738 µm
Moyenne quadratique	211 µm

Filtrex™ : Etapa C N°2 29-05-2020



Table des particules



Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	23	413
200 µm - 400 µm	7	126
400 µm - 1000 µm	3	54
> 1000 µm	0	0

Statistiques

	Particules
Nombre	40
Moyenne	145 µm
Ecart type	154 µm
Minimum	12,9 µm
Maximum	738 µm
Moyenne quadratique	211 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.5 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020

### Filtrex™ : Etapa C N°3 29-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	18	323
200 µm - 400 µm	11	198
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	29
Moyenne	189 µm
Ecart type	55,4 µm
Minimum	97,6 µm
Maximum	359 µm
Moyenne quadratique	197 µm

## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.5 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020

### Etapa D

#### Filtrex™ : Etapa D N°1 29-05-2020



##### Caractéristiques de l'étude

Référence : [REDACTED]  
Type de contrôle : [REDACTED]  
Opérateur : Vanessa Coelho  
Notes : [REDACTED]  
Prélevé le : [REDACTED]  
Fichier de l'étude : [REDACTED]  
Date de l'étude : 29-05-2020  
Surface d'une pièce : 55,69 cm<sup>2</sup> (1 pièces rapportées à 1000 cm<sup>2</sup>)  
Diamètre de l'exploration : 41,0 mm

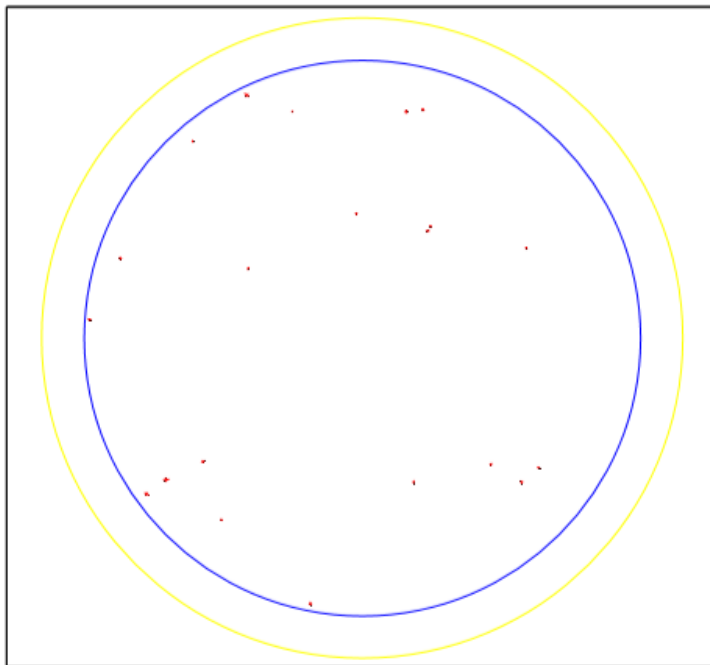
##### Informations complémentaires

gravimetry : mg / 1000 cm<sup>2</sup>

##### Conditions expérimentales

Facteur d'étalonnage : 0,008000 mm/pixel  
Objets sur plusieurs champs : Reconstruction  
Canal n° 1 - Seuillage : Fixe  
- de 0 à 63  
Canal n° 1 - Filtrage : Aucun  
Canal n° 1 - Critères : Aucun

##### Vue d'ensemble



## Anexo E - Resultados da Análise Granulométrica

Anexo E 5.5 - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020

### Filtrex™ : Etapa D N°1 29-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	13	233
200 µm - 400 µm	8	144
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

	Particules
Nombre	21
Moyenne	198 µm
Ecart type	72,6 µm
Minimum	95,8 µm
Maximum	375 µm
Moyenne quadratique	211 µm

### Filtrex™ : Etapa D N°2 29-05-2020



#### Table des particules

Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	12	215
200 µm - 400 µm	4	72
400 µm - 1000 µm	1	18
> 1000 µm	0	0

#### Statistiques

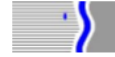
	Particules
Nombre	17
Moyenne	194 µm
Ecart type	77,2 µm
Minimum	97,6 µm
Maximum	452 µm
Moyenne quadratique	209 µm

**Anexo E** - Resultados da Análise Granulométrica

**Anexo E 5.5** - Resultados da leitura da membrana pelo programa Filtrex para as amostras de 29/05/2020

..

**Filtrex™ : Etapa D N°3 29-05-2020**



34-07-024 /E		
Classe	Comptage brut	Comptage pondéré
15 µm - 200 µm	19	341
200 µm - 400 µm	7	126
400 µm - 1000 µm	0	0
> 1000 µm	0	0

**Statistiques**

	Particules
Nombre	26
Moyenne	178 µm
Ecart type	63,8 µm
Minimum	90,4 µm
Maximum	374 µm
Moyenne quadratique	189 µm

## Anexo F - Resultados para determinação do nível de limpeza

### Anexo F 1 - Resultados para determinação do nível de limpeza da amostragem para o Caso de Estudo I

**Tabela F 1. 1** - Resultados do nível de limpeza para cada etapa de limpeza.

Amostragem	Tamanho das Partículas (µm)	Etapa	Amostras	n° de Partículas	Média	Nível de Limpeza
1°	15 - 1000	A	1	16	29	5
			2	42		
			3			
		B	1	209	126	7
			2	87		
			3	83		
		C	1	13	46	6
			2	74		
			3	51		
2°	15 - 1000	A	1	81	118	7
			2	165		
			3	109		
		B	1	64	65	7
			2	103		
			3	29		
		C	1	55	44	6
			2	39		
			3	39		

**Anexo F** - Resultados para determinação do nível de limpeza

**Anexo F 2** - Resultados para determinação do nível de limpeza da amostragem para o  
Caso de Estudo II

*Tabela F 2. 1 - Resultados do nível de limpeza para cada etapa de limpeza para as amostras do caso de estudo II.*

Amostragem	Tamanho das Partículas ( $\mu\text{m}$ )	Etapa	Amostras	n° de Partículas	Média	Nível de Limpeza
25/mai	15-1000	A	1	310	318	9
			2	334		
			3	310		
		B	1	183	281	9
			2	350		
			3	309		
		C	1	95	972	10
			2	1535		
			3	1286		
		D	1	706	677	10
			2	738		
			3	588		
26/mai	15-1000	A	1	628	805	10
			2	1444		
			3	342		
		B	1	611	810	10
			2	1095		
			3	723		
		C	1	675	635	10
			2	619		
			3	612		
		D	1	825	818	10
			2	770		
			3	858		

**Anexo F** - Resultados para determinação do nível de limpeza

*Tabela F 2. 2 - Resultados do nível de limpeza para cada etapa de limpeza para as amostras do caso de estudo II  
(Continuação).*

<b>Amostragem</b>	<b>Tamanho das Partículas (µm)</b>	<b>Etapa</b>	<b>Amostras</b>	<b>n° de Partículas</b>	<b>Média</b>	<b>Nível de Limpeza</b>
<b>27/mai</b>	15-1000	<b>A</b>	1	961	595	10
			2	508		
			3	317		
		<b>B</b>	1	714	498	9
			2	691		
			3	88		
		<b>C</b>	1	763	649	10
			2	477		
			3	707		
		<b>D</b>	1	1112	797	10
			2	794		
			3	484		
<b>28/mai</b>	15-1000	<b>A</b>	1	357	275	9
			2	183		
			3	285		
		<b>B</b>	1	373	598	10
			2	1159		
			3	262		
		<b>C</b>	1	247	625	10
			2	818		
			3	810		
		<b>D</b>	1	64	358	9
			2	524		
			3	485		

**Anexo F** - Resultados para determinação do nível de limpeza

*Tabela F 2. 3 - Resultados do nível de limpeza para cada etapa de limpeza para as amostras do caso de estudo II  
(Continuação).*

<b>Amostragem</b>	<b>Tamanho das Partículas (µm)</b>	<b>Etapa</b>	<b>Amostras</b>	<b>n° de Partículas</b>	<b>Média</b>	<b>Nível de Limpeza</b>
<b>29/mai</b>	15-1000	A	1	646	485	9
			2	377		
			3	431		
		B	1	628	569	10
			2	881		
			3	159		
		C	1	593	569	10
			2	593		
			3	521		
		D	1	377	383	9
			2	305		
			3	467		

**Anexo G** - Registo dos tempos das operações extra à limpeza interna dos tubos

**Anexo G 1** - Registo dos tempos de Escovagem e de Sopro para o dia 25/05/2020

*Tabela G 1. 1 - Registo dos tempos das operações Escovagem e Sopro para o dia 25/05/2020.*

	<b>Repetição</b>	<b>Tempo (s)</b>		<b>Média (s)</b>	
		<b>Escovagem</b>		<b>Escovagem</b>	
<b>C - Curvar</b> +	C1	5:55		5.88	
	C2	6:31			
	C3	5:77			
<b>Escovagem</b>		<b>Escovagem</b>	<b>Sopro</b>	<b>Escovagem</b>	<b>Sopro</b>
<b>D - Curvar</b> +	D1	5:65	3:67	4:93      3.15	
	D2	4:65	3:43		
	D3	4:48	2:35		
<b>Escovagem</b> + <b>Sopro</b>					

**Anexo G** - Registo dos tempos das operações extra à limpeza interna dos tubos

**Anexo G 2** - Registo dos tempos de Escovagem e de Sopro para o dia 26/05/2020

*Tabela G 2. 1 - Registo dos tempos das operações Escovagem e Sopro para o dia 26/05/2020.*

	<b>Repetição</b>	<b>Tempo (s)</b>		<b>Média (s)</b>	
		<b>Escovagem</b>		<b>Escovagem</b>	
<b>C - Curvar + Escovagem</b>	C1	5:55		5.88	
	C2	6:31			
	C3	5:77			
		<b>Escovagem</b>	<b>Sopro</b>	<b>Escovagem</b>	<b>Sopro</b>
<b>D - Curvar + Escovagem + Sopro</b>	D1	5:65	3:67	4:93	3.15
	D2	4:65	3:43		
	D3	4:48	2:35		

**Anexo G** – Registo dos tempos das operações extra à limpeza interna dos tubos

**Anexo G 3** - Registo dos tempos de Escovagem e de Sopro para o dia 27/05/2020

*Tabela G 3. 1 - Registo dos tempos das operações Escovagem e Sopro para o dia 27/05/2020.*

	<b>Repetição</b>	<b>Tempo (s)</b>		<b>Média (s)</b>	
		<b>Escovagem</b>		<b>Escovagem</b>	
<b>C - Curvar + Escovagem</b>	C1	4:02		4:74	
	C2	5:30			
	C3	4:90			
		<b>Escovagem</b>	<b>Sopro</b>	<b>Escovagem</b>	<b>Sopro</b>
<b>D - Curvar + Escovagem + Sopro</b>	D1	4:72	5:53	4:86	5:07
	D2	5:38	5:42		
	D3	4:47	4:25		

**Anexo G** – Registo dos tempos das operações extra à limpeza interna dos tubos

**Anexo G 4** - Registo dos tempos de Escovagem e de Sopro para o dia 28/05/2020

*Tabela G 4. 1 - Registo dos tempos das operações Escovagem e Sopro para o dia 28/05/2020.*

	<b>Repetição</b>	<b>Tempo (s)</b>		<b>Média (s)</b>	
		<b>Escovagem</b>		<b>Escovagem</b>	
<b>C - Curvar + Escovagem</b>	C1	4:83		5:39	
	C2	5:64			
	C3	5:70			
		<b>Escovagem</b>	<b>Sopro</b>	<b>Escovagem</b>	<b>Sopro</b>
<b>D - Curvar + Escovagem + Sopro</b>	D1	5:58	3:43	6:62	2:90
	D2	6:30	2:08		
	D3	4:97	3:20		

**Anexo G** – Registo dos tempos das operações extra à limpeza interna dos tubos

**Anexo G 5** - Registo dos tempos de Escovagem e de Sopro para o dia 29/05/2020

*Tabela G 5. 1 - Registo dos tempos das operações Escovagem e Sopro para o dia 29/05/2020.*

	<b>Repetição</b>	<b>Tempo (s)</b>		<b>Média (s)</b>	
		<b>Escovagem</b>		<b>Escovagem</b>	
<b>C - Curvar + Escovagem</b>	C1	3:60		4:49	
	C2	5:68			
	C3	4:18			
		<b>Escovagem</b>	<b>Sopro</b>	<b>Escovagem</b>	<b>Sopro</b>
<b>D - Curvar + Escovagem + Sopro</b>	D1	4:81	2:60	4:20	2:54
	D2	3:61	2:28		
	D3	4:18	2:75		

## Anexo H - Resultados das análises do SEM

### Anexo H 1 - Caracterização química das partículas das etapas do dia 25/05 – Caso de Estudo II

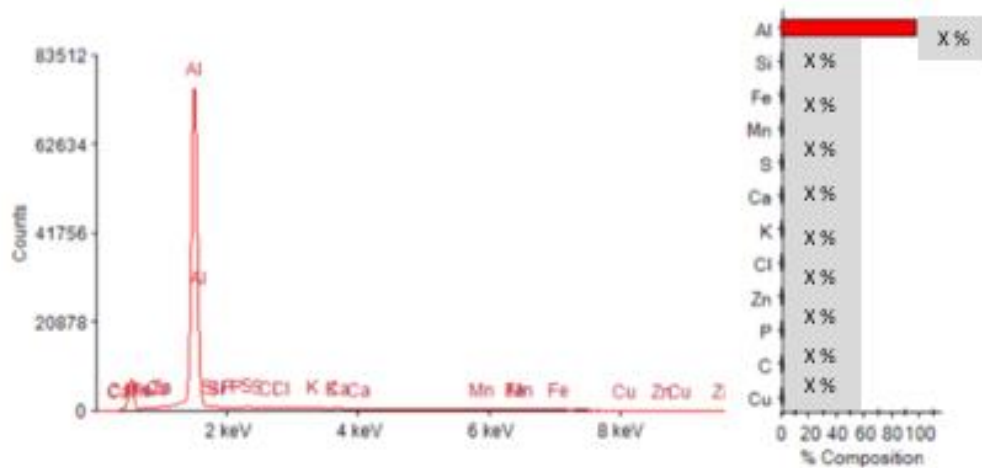
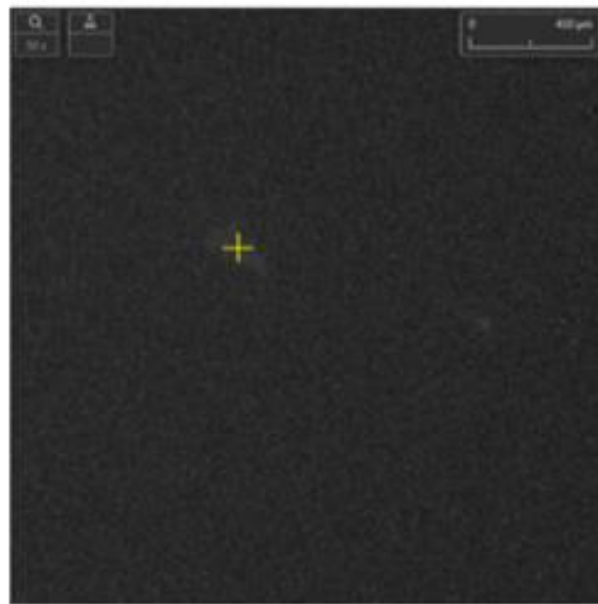
#### Etapa A – Antes da curvatura

##### Partícula 1



### Perception 2 - QuickPrint Report

Magnification: 50,29 x  
Detector: BSED  
Interlock pressure: 1,6E-4 torr  
Sample pressure: 2E+0 torr  
Accelerating voltage: 20,0 keV  
Spot size: 59,1%  
Working distance: 23,6 mm  
Analysis date: 25-05-2020



**Anexo H** - Resultados das análises do SEM

**Anexo H 1** - Caracterização química das partículas das etapas do dia 25/05 – Caso De Estudo II

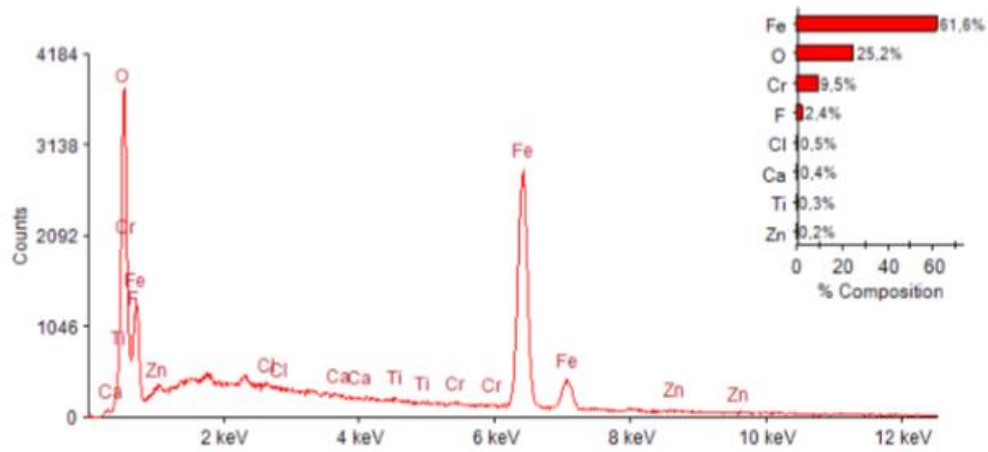
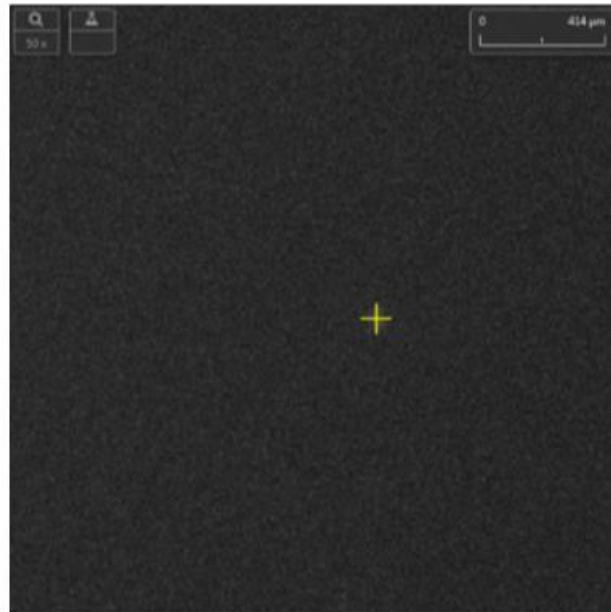
**Etapa A**

**Partícula 2**



**Perception 2 - QuickPrint Report**

Magnification: 49,79 x  
Detector: BSED  
Interlock pressure: 1,5E-4 torr  
Sample pressure: 2E+0 torr  
Accelerating voltage: 20,0 keV  
Spot size: 59,1%  
Working distance: 23,6 mm  
Analysis date: 25-05-2020



**Anexo H** - Resultados das análises do SEM

**Anexo H 1** - Caracterização química das partículas das etapas do dia 25/05 – Caso De Estudo II

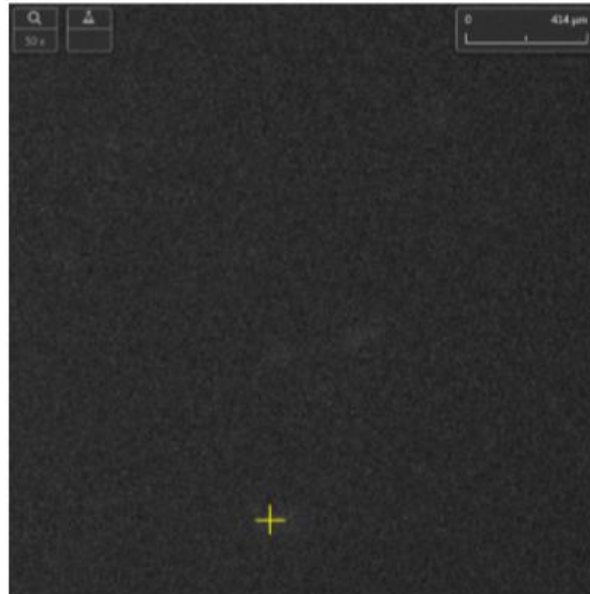
**Etapa A**

Partícula 3



**Perception 2 - QuickPrint Report**

Magnification: 49,79 x  
Detector: BSED  
Interlock pressure: 1,5E-4 torr  
Sample pressure: 2E+0 torr  
Accelerating voltage: 20,0 keV  
Spot size: 59,1%  
Working distance: 23,6 mm  
Analysis date: 25-05-2020



**Anexo H** - Resultados das análises do SEM

**Anexo H 1** - Caracterização química das partículas das etapas do dia 25/05 – Caso de Estudo II

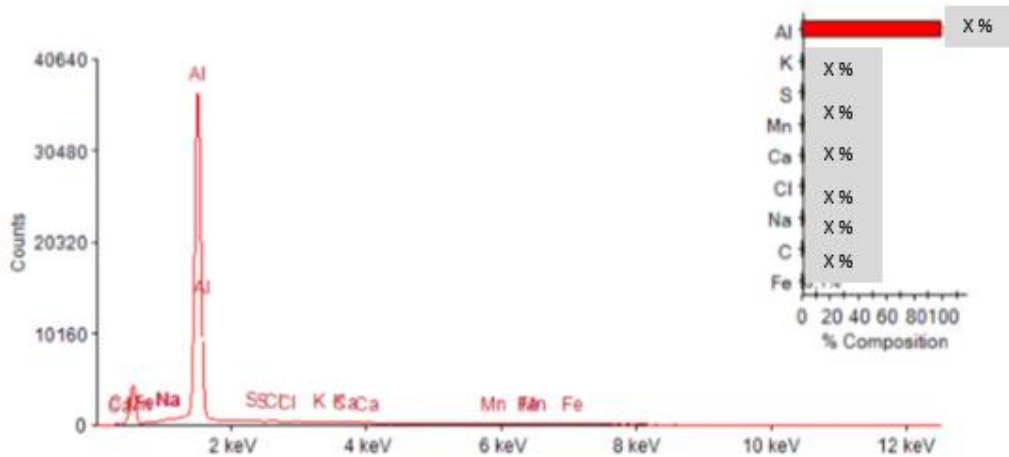
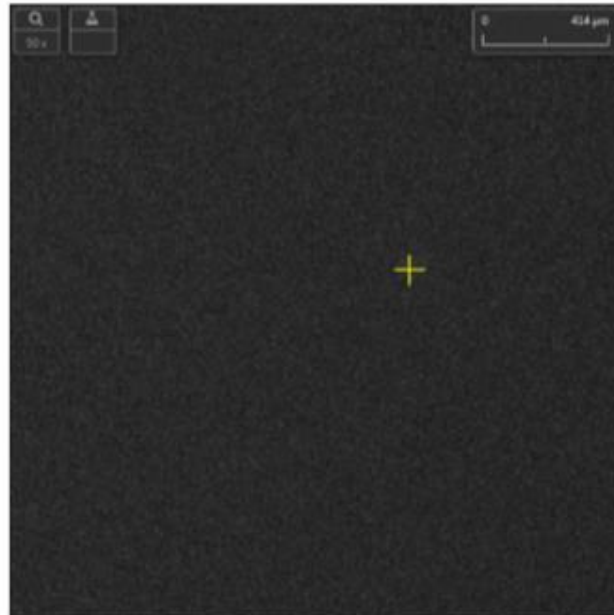
**Etapa B**

**Partícula 1**



**Perception 2 - QuickPrint Report**

Magnification: 49,79 x  
Detector: BSED  
Interlock pressure: 1,6E-4 torr  
Sample pressure: 2E+0 torr  
Accelerating voltage: 20,0 keV  
Spot size: 53,5%  
Working distance: 23,6 mm  
Analysis date: 25-05-2020



**Anexo H** - Resultados das análises do SEM

**Anexo H 1** - Caracterização química das partículas das etapas do dia 25/05 – Caso de Estudo II

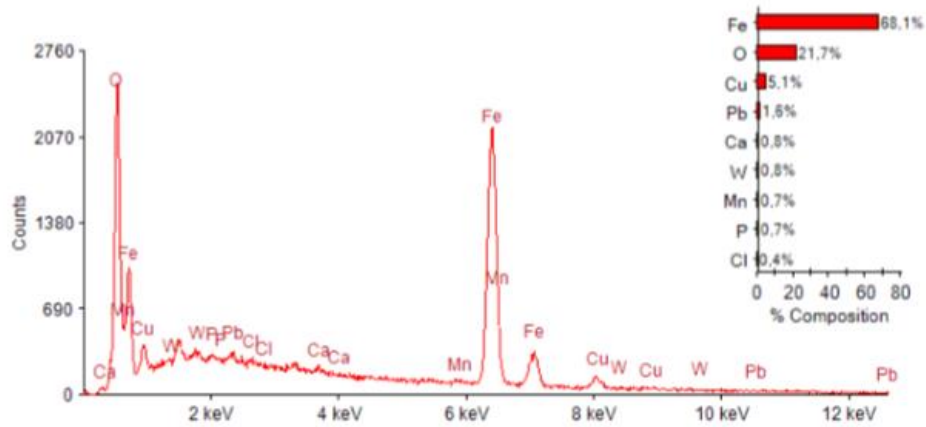
**Etapa B**

**Partícula 2**



**Perception 2 - QuickPrint Report**

Magnification: 49,79 x  
Detector: BSED  
Interlock pressure: 1,5E-4 torr  
Sample pressure: 2E+0 torr  
Accelerating voltage: 20,0 keV  
Spot size: 53,5%  
Working distance: 23,6 mm  
Analysis date: 25-05-2020



Anexo H - Resultados das análises do SEM

Anexo H 1 - Caracterização química das partículas das etapas do dia 25/05 – Caso de Estudo II

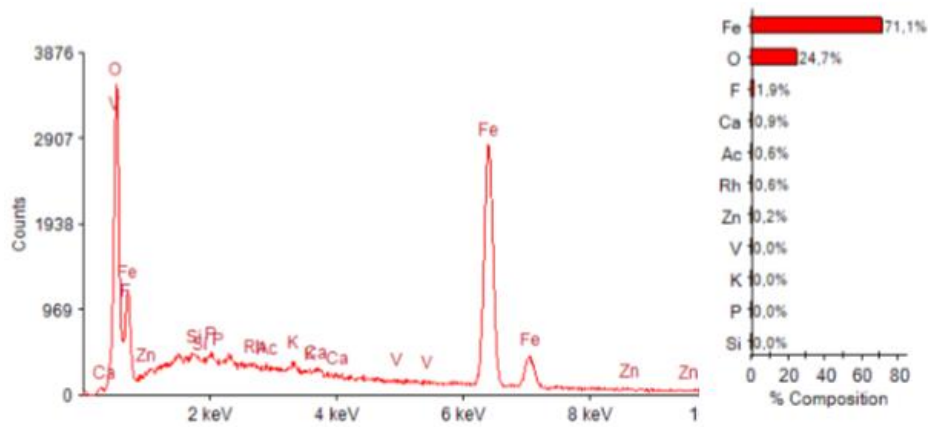
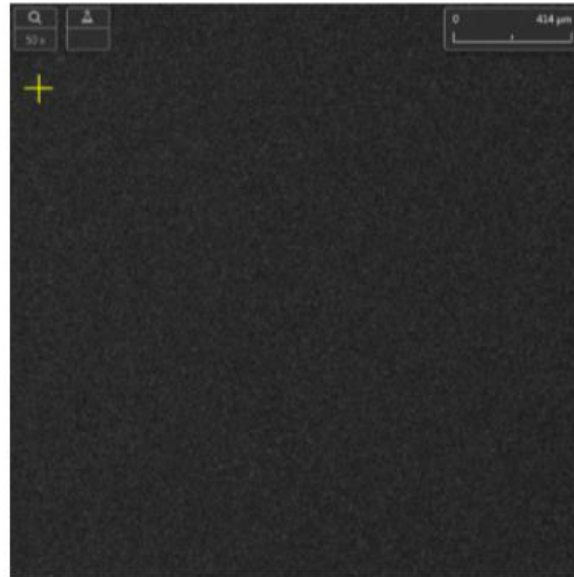
Etapa B

Partícula 3



Perception 2 - QuickPrint Report

Magnification: 49,79 x  
Detector: BSED  
Interlock pressure: 1,6E-4 torr  
Sample pressure: 2E+0 torr  
Accelerating voltage: 20,0 keV  
Spot size: 53,5%  
Working distance: 23,6 mm  
Analysis date: 25-05-2020



**Anexo H** - Resultados das análises do SEM

**Anexo H 1** - Caracterização química das partículas das etapas do dia 25/05 – Caso de Estudo II

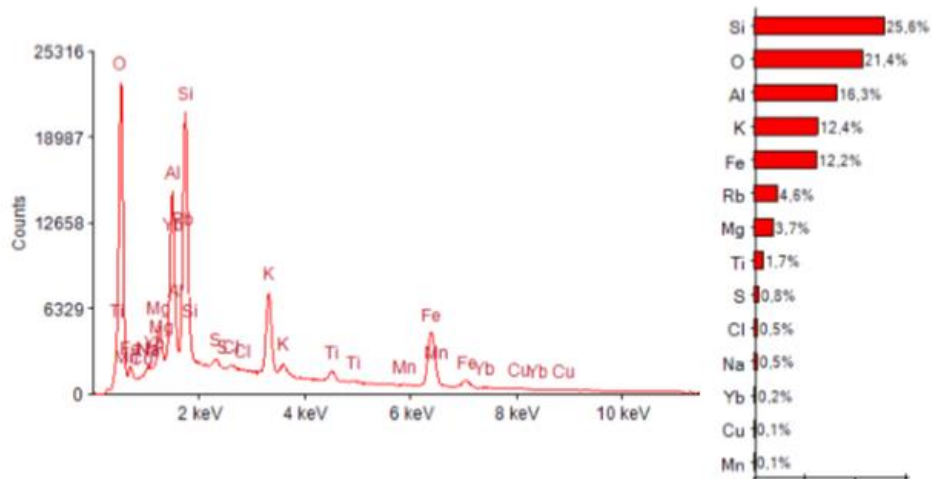
**Etapa C**

**Partícula 1**



**Perception 2 - QuickPrint Report**

Magnification: 25 x  
Detector: BSED  
Interlock pressure: 1,5E-4 torr  
Sample pressure: 2,1E+0 torr  
Accelerating voltage: 20,0 keV  
Spot size: 92,0%  
Working distance: 51,3 mm  
Analysis date: 26-05-2020



**Anexo H** - Resultados das análises do SEM

**Anexo H 1** - Caracterização química das partículas das etapas do dia 25/05 – Caso de Estudo II

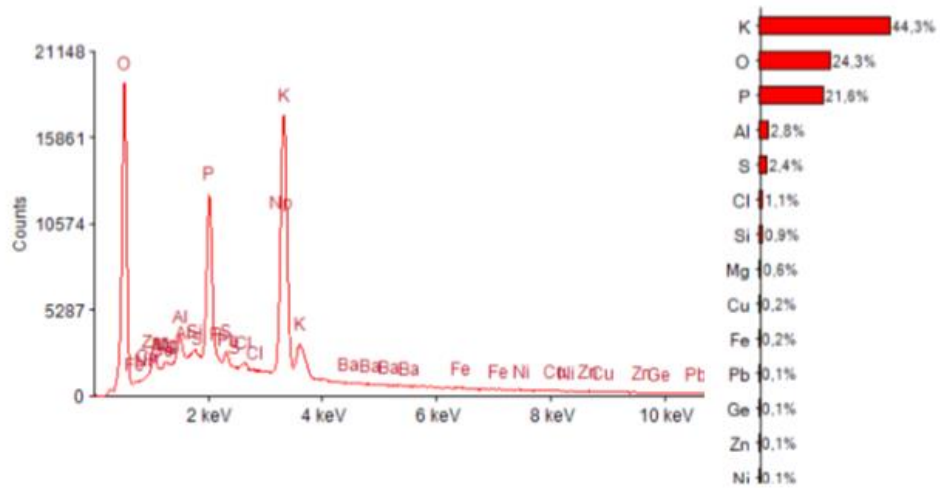
*Etapa C*

*Partícula 2*



**Perception 2 - QuickPrint Report**

Magnification: 25 x  
Detector: BSED  
Interlock pressure: 1,5E-4 torr  
Sample pressure: 2,1E+0 torr  
Accelerating voltage: 20,0 keV  
Spot size: 92,0%  
Working distance: 51,3 mm  
Analysis date: 26-05-2020



Anexo H - Resultados das análises do SEM

Anexo H 1 - Caracterização química das partículas das etapas do dia 25/05 – Caso de Estudo II

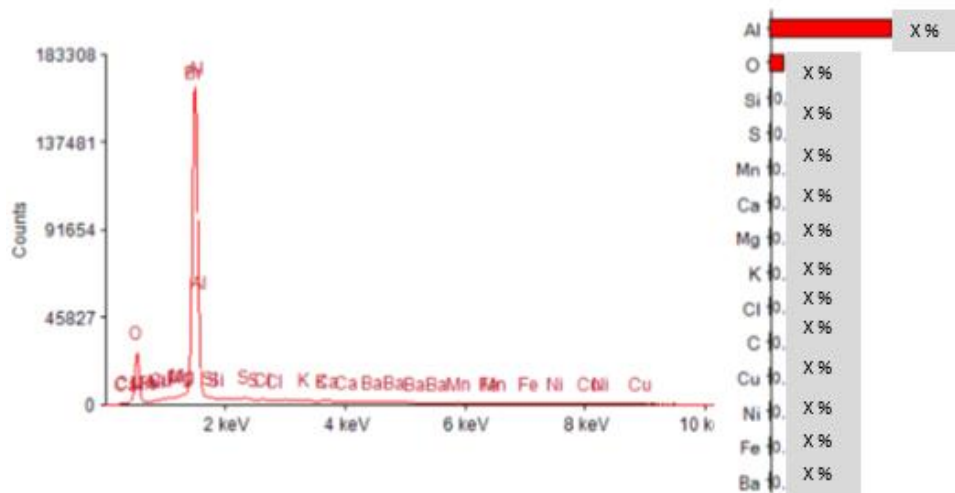
Etapa C

Partícula 3



Perception 2 - QuickPrint Report

Magnification: 25 x  
Detector: BSED  
Interlock pressure: 1,5E-4 torr  
Sample pressure: 2,1E+0 torr  
Accelerating voltage: 20,0 keV  
Spot size: 92,0%  
Working distance: 51,3 mm  
Analysis date: 26-05-2020



Anexo H - Resultados das análises do SEM

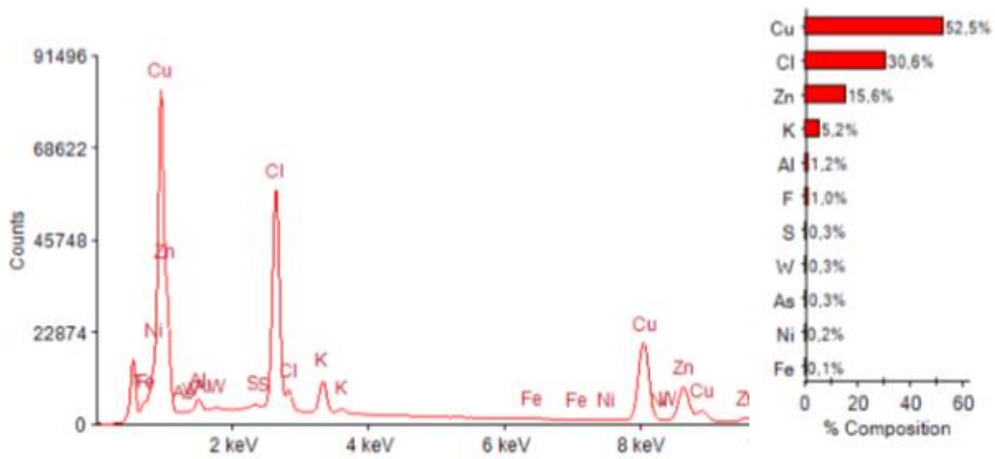
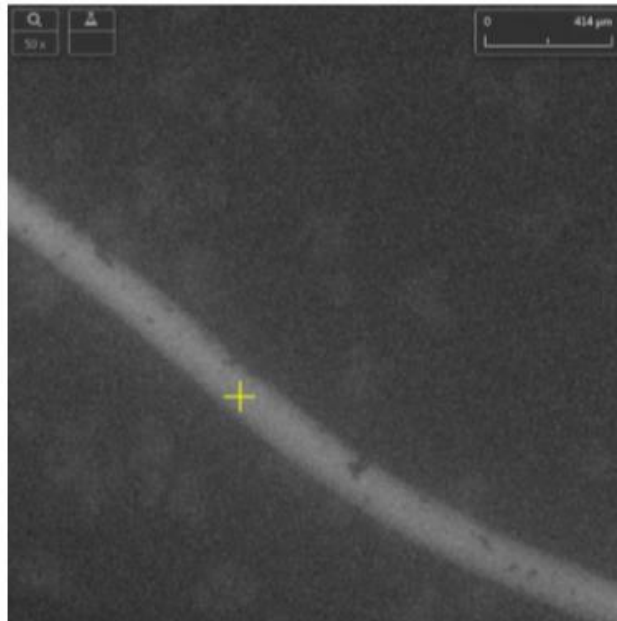
Anexo H 1 - Caracterização química das partículas das etapas do dia 25/05 – Caso de Estudo II

Caraterização química de um pente de uma escova



Perception 2 - QuickPrint Report

Magnification: 49,79 x  
Detector: BSED  
Interlock pressure: 1,5E-4 torr  
Sample pressure: 2E+0 torr  
Accelerating voltage: 20,0 keV  
Spot size: 53,5%  
Working distance: 23,6 mm  
Analysis date: 25-05-2020



## Anexo I - Resultados das calibrações e verificações dos equipamentos de medição e de ferramentas de produção

### Verificação das cotas críticas dos Punções

*Tabela I - 1 Resultados das medições das cotas críticas dos punções analisados.*

Nº / Cotas Críticas	6,20 ± 0,10 (mm)	2,50 - 0,10 (mm)	3,00 ± 0,10 (mm)	8,00 - 0,01 (mm)	44,00 ± 0,10 (mm)	24,00 ± 0,10 (mm)
1	6,202	2,501	3,001	8,000	44,000	24,022
2	6,103	2,452	3,072	8,000	43,979	24,082
3	6,201	2,493	3,102	7,999	43,969	24,071
4	6,202	2,465	3,102	7,999	44,040	24,082
5	6,200	2,456	3,083	7,999	44,098	24,081
6	6,191	2,441	3,101	7,999	44,056	24,092
7	6,215	2,441	2,890	7,999	44,100	24,051
8	6,196	2,452	3,082	7,998	44,071	24,102
9	6,204	2,442	3,102	7,999	44,051	24,080
10	6,192	2,463	3,101	7,999	44,091	24,060
11	6,193	2,450	3,081	7,999	44,091	24,090
12	6,205	2,464	3,101	7,998	44,081	24,098
13	6,185	2,502	3,081	7,998	44,091	24,042
14	6,216	2,444	3,100	7,994	44,081	24,061
15	6,185	2,454	3,101	7,999	43,962	24,082
16	6,185	2,454	3,101	7,999	44,091	24,082
17	6,196	2,454	3,100	7,989	44,050	24,091
18	6,194	2,454	3,091	7,999	43,991	24,090
19	6,210	2,455	3,100	7,999	44,082	24,091
20	6,192	2,454	3,091	7,998	44,091	24,081
21	6,201	2,465	3,102	7,999	44,080	24,090
22	6,206	2,500	3,002	8,000	44,001	24,000
23	6,202	2,492	3,102	7,989	44,090	24,081
24	6,218	2,466	3,102	7,999	44,018	24,090
25	6,206	2,456	3,103	7,999	44,090	24,091
26	6,200	2,449	3,100	7,999	44,055	24,049
27	6,202	2,451	3,100	7,999	43,985	24,099
28	6,202	2,438	3,101	7,999	44,099	24,099
29	6,210	2,488	3,101	7,999	44,099	24,099
30	6,231	2,500	3,089	7,998	43,959	24,099
31	6,202	2,479	3,099	7,998	44,056	24,089
32	6,199	2,429	3,101	7,999	44,079	24,101
33	6,169	2,476	3,068	7,978	44,039	24,062
34	6,145	2,455	3,078	7,969	43,999	23,955
35	6,169	2,455	3,001	7,958	44,025	24,079
36	6,145	2,438	3,040	7,969	44,009	24,079
37	6,178	2,428	3,055	7,969	44,061	24,063
38	6,165	2,445	3,089	7,969	44,010	24,079
39	6,141	2,469	3,045	7,969	44,010	24,010
40	6,178	2,455	3,069	7,958	44,039	24,055
41	6,129	2,465	3,055	7,955	44,028	24,078
42	6,129	2,448	3,055	7,969	44,100	24,078

**Anexo I** - Resultados das calibrações e verificações dos equipamentos de medição e de ferramentas de produção

*Verificação das cotas críticas das Chaves de Óbus*

**Tabela I - 2** Resultados das medições das cotas críticas da chave de óbus.

Nº / Cotas Críticas	57,00 +/- 0,10 (mm)	17,00 +/- 0,10 (mm)	6,70 - 0,10 (mm)	3,15 +/- 0,10 (mm)	8,00 - 0,10 (mm)	2,50 - 0,10 (mm)	2,45 + 0,10 (mm)	6,35 +/- 0,10 (mm)	6,35 +/- 0,10 (mm)
1	56,999	16,979	6,600	3,199	7,971	2,499	2,540	6,250	6,259
2	57,070	16,958	6,620	3,189	7,978	2,498	2,551	6,270	6,309
3	57,028	16,968	6,630	3,184	7,979	2,479	2,51	6,325	6,309
4	56,950	16,988	6,630	3,189	7,979	2,489	2,540	6,265	6,274
5	57,029	16,946	6,631	3,165	7,969	2,498	2,521	6,289	6,265
6	57,039	16,970	6,610	3,165	8,020	2,478	2,510	6,350	6,300
7	57,000	16,999	6,610	3,199	7,968	2,477	2,545	6,242	6,255
8	57,078	16,955	6,632	3,165	7,972	2,489	2,545	6,281	6,295
9	57,100	16,943	6,621	3,169	7,979	2,469	2,455	6,310	6,300
10	57,027	16,982	6,620	3,198	7,971	2,489	2,545	6,299	6,310
11	56,970	16,961	6,620	3,190	7,969	2,469	2,529	6,289	6,299
12	57,089	16,979	6,620	3,167	7,979	2,469	2,540	6,300	6,300
13	57,100	16,962	6,640	3,175	7,978	2,488	2,550	6,315	6,299
14	56,972	16,992	6,621	3,175	7,979	2,479	2,451	6,300	6,310
15	57,061	16,967	6,620	3,189	7,979	2,459	2,470	6,335	6,335
16	57,091	16,955	6,610	3,201	7,979	2,460	2,550	6,266	6,261
17	56,955	16,960	6,630	3,190	7,978	2,481	2,500	6,250	6,251
18	57,080	16,978	6,620	3,190	7,969	2,491	2,479	6,251	6,269
19	57,100	16,968	6,639	3,191	7,969	2,489	2,510	6,340	6,345
20	56,969	16,999	6,620	3,152	7,969	2,485	2,555	6,285	6,285
21	56,978	16,988	6,639	3,190	7,969	2,489	2,529	6,265	6,269
22	57,000	16,988	6,639	3,161	7,978	2,455	2,545	6,259	6,269
23	57,055	16,955	6,629	3,180	7,969	2,479	2,476	6,269	6,278
24	57,051	16,999	6,600	3,152	7,959	2,479	2,500	6,320	6,310
25	56,989	16,999	6,611	3,180	7,989	2,465	2,455	6,258	6,269
26	57,100	16,989	6,600	3,181	7,978	2,476	2,550	6,275	6,299
27	56,988	16,960	6,645	3,190	7,965	2,466	2,550	6,269	6,289
28	56,978	16,949	6,620	3,130	7,969	2,466	2,465	6,299	6,300
29	56,988	16,969	6,620	3,180	7,979	2,475	2,559	6,269	6,279
30	57,020	16,967	6,605	3,155	7,979	2,475	2,550	6,259	6,249

**Anexo I** - Resultados das calibrações e verificações dos equipamentos de medição e de ferramentas de produção

*Calibração do Paquímetro digital*

*Tabela I - 3 Resultados das medições das maxilas exteriores.*

Valor nominal Bloco Padrão	Bloco Padrão Correção	Leitura no Equipamento		Incerteza	C.A. < Erro + Incerteza
<b>[mm]</b>					
5	5,0001		5,00	± 0,0100	0,0100
			5,01		0,0200
		Média	5,01		0,0100
10	10,0001		10,00	± 0,0100	0,0100
			10,01		0,0200
		Média	10,01		0,0100
20	19,9999		20,00	± 0,0173	0,0200
			20,02		0,0400
		Média	20,01		0,0300
30	30,0000		30,00	± 0,0173	0,0200
			30,02		0,0400
		Média	30,01		0,0300
60	60,0001		59,98	± 0,0174	0,0000
			60,00		0,0200
		Média	59,99		0,0100

*Tabela I - 4 Resultados das medições das maxilas interiores.*

Valor nominal Bloco Padrão	Bloco Padrão Correção	Leitura no Equipamento		Incerteza	C.A. < Erro + Incerteza
<b>[mm]</b>					
16,001	16,0012		15,98	± 0,0129	-0,0100
			16,00		0,0100
			15,99		0,0000
		Média	15,99		0,0000

**Anexo I** - Resultados das calibrações e verificações dos equipamentos de medição e de ferramentas de produção

*Tabela I - 5 Resultados das medições das hastes de profundidade.*

Valor nominal Bloco Padrão	Bloco Padrão Correção	Leitura no Equipamento	Incerteza	C.A. < Erro + Incerteza
<b>[mm]</b>				
5	5,0001		± 0,0088	0,0100
				0,0100
				0,0200
		Média		0,0100
10	10,0001		± 0,0088	0,0000
				0,0100
				0,0100
		Média		0,0100

Relativamente ao ensaio de planeza verificou-se a inexistência de passagem de luz.