



JOÃO GONÇALO CUNHA SANTOS

Melhoria do Programa de Controlo Estatístico
de um Processo de Injeção de Plásticos

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

JOÃO GONÇALO CUNHA SANTOS

Melhoria do Programa de Controlo Estatístico
de um Processo de Injeção de Plásticos

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Industrial
Ramo de Qualidade, Segurança e Manutenção

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Paulo Alexandre Costa Araújo Sampaio

dezembro de 2014

DECLARAÇÃO

Nome: João Gonçalo Cunha Santos

Endereço eletrónico: goncalocunhasantos@gmail.com

Telefone: 913612861

Número do bilhete de identidade: 13759501

Título da dissertação: Melhoria do Programa de Controlo Estatístico de um Processo de Injeção de Plásticos

Orientador(es): Paulo Alexandre Costa Araújo Sampaio

Ano de conclusão: 2014

Designação do Mestrado: Mestrado em Engenharia Industrial, ramo de Qualidade, Segurança e Manutenção

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

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

A realização deste projeto apenas se tornou possível através da colaboração de um conjunto de pessoas, às quais gostaria de agradecer.

À empresa Delphi pela oportunidade de me permitir realizar este projeto, e muito em particular à Engenheira Lígia Silva, pelo apoio, pela disponibilidade e pela transmissão de conhecimentos. Sem esquecer os restantes membros da equipa da Qualidade.

Ao meu orientador, o professor Paulo Sampaio, pela orientação, pela disponibilidade e pela motivação que sempre demonstrou para comigo.

Por fim, aos meus familiares e amigos, pelas palavras de incentivo, pelo apoio e pela compreensão das minhas ausências nestes últimos meses.

Muito obrigado a todos. Sem eles nada disto teria acontecido.

RESUMO

A implementação de programas que permitem a melhoria da qualidade para os processos industriais deve ser uma constante presente nas indústrias para reduzir a variabilidade dos seus processos e assim caminhar na obtenção de zero defeitos. Através da implementação deste tipo de programas é possível analisar e melhorar a estabilidade dos processos e, conseqüentemente, reduzir os custos com retrabalho de peças defeituosas.

A indústria de moldagem de plásticos, como qualquer outro tipo de indústria existente, tem de produzir produtos que satisfaçam os requisitos dos seus clientes. É função da qualidade não só garantir a existência de conformidade de produtos com as suas especificações, mas também trabalhar na melhoria contínua de todos os processos de uma organização.

Esta dissertação foi desenvolvida na empresa Delphi Automative Systems. O objetivo estabelecido para esta dissertação consistia na melhoria do programa de Controlo Estatístico do Processo de Injeção, através da análise dos defeitos que ocorrem com mais frequências, das suas possíveis causas, da melhoria do Controlo Estatístico por atributos e da análise ao sistema de medição.

De acordo com o objetivo estabelecido para a presente dissertação recorreu-se às ferramentas da qualidade, nomeadamente o diagrama de Pareto, diagrama de Ishikama, gráficos de controlo e uma análise ao sistema de medição. Assim, este projeto iniciou-se com uma análise de Pareto para os produtos selecionados com o objetivo de priorizar os defeitos que ocorrem com mais frequência. Seguidamente foram realizadas sessões de *brainstorming*, para estudar as causas dos defeitos que ocorrem com maior frequência, e consecutivamente medidas para eliminar/controlar as causas.

Os resultados obtidos indicaram que para o primeiro produto, o defeito que ocorria com maior frequência eram as limalhas, sendo este um defeito específico deste produto, e como tal envolve o estudo de algumas medidas específicas. Para o segundo produto o defeito que ocorreu com maior frequência foram as manchas brancas. Da análise de causa-efeito para o primeiro produto conclui-se que a causa mais crítica era o método, enquanto para o segundo produto era a máquina/molde. Com o recurso aos gráficos de controlo por amostras de tamanho variável e amostragem por tamanho fixo observou-se que os defeitos mais críticos eram os que contribuíam para introduzir instabilidade aos processos. O projeto terminou com a Análise ao Sistema de Medição, quer por variáveis quer por atributos, que de acordo com os resultados obtidos considerou-se o sistema de medição aceitável, mas com possibilidade de melhorias.

Palavras-chave: Ferramentas da qualidade; Controlo Estatístico de Processo; Análise ao Sistema de Medição

ABSTRACT

The implementation of programs for the improvement of quality for industrial processes should be a constant in this industry to reduce the variability of their processes and thus achieve zero defects. Through the implementing this type of program you can analyze and improve process stability and hence reduce the cost of reworking defective parts.

The plastic molding industry, like any other type of existing industry, has to produce products that meet the requirements of its customers. It is a function of quality not only ensure the existence of product the product in accordance with its specifications, but also work on the continuous improvement of all processes of an organization.

This thesis was developed in Delphi Automative Systems. The stated goal for this thesis was to improve the injection of Statistical Process Control program, by analyzing the defects that occur more frequency, their possible causes, the improvement of Statistical Control by attributes and analysis to the measurement system.

According to the goal set for this thesis we used the tools of quality, namely the Pareto diagram, diagram Ishikama, control charts and the Measurement System Analysis. This project began with a Pareto analysis for the selected products in order to prioritize the defects that occur more often. Then the brainstorming sessions were conducted to study the causes of defects that occur more frequently, and consecutively measures to eliminate / control the causes.

The results indicated that for the first product, the defect occurred most frequently were the “limalhas”, which is a specific defect of this product, and as such involves the study of particular measures. For the second defect product that occurs most frequently were the “manchas brancas”. The analysis of cause-effect for the first product it can be concluded that the most critical because the method was as for the second product to the machine/tool. With the use of graphics for control samples of variable length and fixed length sampling was observed that the most critical defects that were contributing to the processes introduce instability. The project ended with the analysis of the measurement system, either by varying either by attributes, which according to the results considered acceptable if the measurement system, but with possible improvements.

Keywords: Quality Tools; Statistical Process Control; Analysis of the Measurement System

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vii
LISTA DE SIGLAS	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	1
1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	3
1.3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO.....	4
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. FERRAMENTAS DA QUALIDADE	7
2.2. CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO	12
2.2.1. Cartas ou gráficos de controlo	15
2.2.2. Implementação do CEP	22
2.3. MSA – ANÁLISE AO SISTEMA DE MEDIÇÃO	24
2.3.1. Propriedades estatísticas de um sistema de medição.....	25
2.3.2. Análise do Sistema de Medição por variáveis	32
2.3.3. Estudo do sistema de medição por atributos.....	37
2.4. O PROCESSO DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS.....	40
2.4.1. A Indústria dos plásticos – breve caracterização.....	40
2.4.2. O processo de moldação de plásticos	41
2.4.3. O processo de moldação por injeção	42
3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO.....	57
3.1. O MÉTODO “ESTUDO DE CASO”.....	57
3.2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	58
4. EMPRESA: A DELPHI AUTOMOTIVE SYSTEMS.....	61

4.1.	BREVE APRESENTAÇÃO	61
4.2.	PRODUÇÃO: PRINCIPAIS CLIENTES E VOLUME DE PRODUÇÃO.....	62
4.3.	O ESPAÇO FABRIL E O PROCESSO PRODUTIVO	63
5.	ESTUDO DE CASO: MELHORIA DO PROGRAMA DE CONTROLO ESTATÍSTICO DE UM PROCESSO DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS.....	69
5.1.	PRODUTOS EM ESTUDO	69
5.2.	CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROCESSO DE INJEÇÃO	72
5.3.	ANÁLISE DE PARETO	75
5.3.1.	Análise de Pareto ao produto A.....	75
5.3.2.	Análise de Pareto ao produto B.....	80
5.4.	ANÁLISE DAS CAUSAS DOS DEFEITOS.....	82
5.4.1.	Análise das causas de defeitos do Produto A	82
5.4.2.	Análise das causas de defeitos do Produto B	84
5.5.	AÇÕES DE MELHORIA PARA AS CAUSAS CRÍTICAS IDENTIFICADAS	86
5.5.1.	Medidas para eliminar/controlar o defeito crítico do produto A: Limalhas.....	86
5.5.2.	Medidas para eliminar/controlar o defeito crítico do produto B: Manchas brancas.....	101
5.6.	CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO	103
5.6.1.	Plano de Controlo	103
5.6.2.	Análise dos dados recolhidos: Gráficos de amostras de tamanho variável.....	105
5.6.3.	Análise dos dados recolhidos: Gráficos da fração de não conformes	110
5.7.	ANÁLISE AO SISTEMA DE MEDIÇÃO – MSA.....	114
5.7.1.	Análise por variáveis.....	114
5.7.2.	Análise por atributos.....	122
6.	CONCLUSÃO	135

6.1. Limitações	137
6.2. Trabalho Futuro.....	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
ANEXO I – DIAGRAMAS DE CAUSA-EFEITO: PRODUTO A.....	143
ANEXO II – DIAGRAMAS DE CAUSA-EFEITO: PRODUTO B.....	147
ANEXO III – DADOS DO CONTROLO ESTATÍSTICO DE PROCESSO.....	148
ANEXO IV – DEFEITOS CONSIDERADOS NO MSA POR ATRIBUTOS	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de Causa-efeito(Fonte: (Montgomery, 2008)).....	8
Figura 2 - Diagrama de Pareto(Fonte:(Montgomery, 2008))	9
Figura 3 - Histograma (Fonte: (Montgomery, 2008))	10
Figura 4 - Folha de verificação (Fonte: (Montgomery, 2008))	10
Figura 5 - Gráfico de dispersão (Fonte: (Montgomery, 2008))	11
Figura 6 - Gráfico de Controlo (Fonte: (Montgomery, 2008))	12
Figura 7 - Curvas características para um gráfico das médias (Fonte: (Montgomery, 2008)).....	14
Figura 8 - Gráfico de controlo das médias (Fonte: (Montgomery, 2008)).....	16
Figura 9 - Diagrama de Causa-efeito da variabilidade do sistema de medição (Fonte: (<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010)).....	27
Figura 10 - Impacto do número de categorias distintas (Fonte: (<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010)).....	29
Figura 11 - Análise da tendência (Fonte: (<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010)).....	30
Figura 12 - Análise da estabilidade (Fonte: ((<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010)).....	30
Figura 13 - Análise da linearidade (Fonte: (<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010)).....	31
Figura 14 - Análise da repetibilidade (Fonte: (<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010))	31

Figura 15 - Análise da reprodutibilidade (Fonte: (<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010)).....	32
Figura 16 - Análise da discriminação do equipamento (Fonte: (<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010)).....	33
Figura 17 - Análise da repetibilidade (Fonte: (<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010)).....	34
Figura 18 - Análise da repetibilidade do operador(Fonte: (<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010)).....	34
Figura 19 - Análise da reprodutibilidade (Fonte: (<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010)).....	35
Figura 20 - Análise da interação entre operador e amostras (Fonte: (<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010)).....	35
Figura 21 - Análise da estabilidade (Fonte: (<i>Measurement Systems Analysis</i> , 2010)).....	36
Figura 22 - Unidades funcionais da injetora (Fonte: (Fonte: (Eiras, 1999)).....	42
Figura 23 - Constituição do molde (Fonte: (Eiras, 1999)).....	45
Figura 24 - Ciclo de moldação (Fonte: (Eiras, 1999)).....	48
Figura 25 - Visão sistemática do processo de moldação por injeção (Fonte:(Greener & Wimberger-Friedl, 2006)).....	49
Figura 26 - Raiados (Fonte: (http://www.tudosobreplasticos.com/processo/solucoes_injecao.asp)).....	51
Figura 27 - Chupados (Fonte: (Eiras, 1999)).....	51
Figura 28 - Falta de material (Fonte: (Eiras, 1999)).....	52
Figura 29 - Rebarbas (Fonte: (Eiras, 1999)).....	52
Figura 30 - Linhas de fecho (Fonte: (Eiras, 1999)).....	53
Figura 31 - Bolhas ou vazio (Fonte: (Eiras, 1999)).....	53
Figura 32 - Machas ou pintas (Fonte: (Eiras, 1999)).....	54
Figura 33 - Marca de extratores (Fonte: (Eiras, 1999)).....	54
Figura 34 - Fio de injeção (Fonte: (Eiras, 1999)).....	55
Figura 35 - Empeno (Fonte: (Eiras, 1999)).....	55
Figura 36 - Espaço fabril da Delphi Braga.....	64
Figura 37 - Fluxograma produtivo do Edifício 2.....	64
Figura 38 - Processos do edifício 2.....	65
Figura 39 - Interação entre os processos do edifício 2.....	67

Figura 40 - Espaço fabril do edifício 2	67
Figura 41 - Produto A	70
Figura 42 - Produto B	71
Figura 43 - <i>Lay-Out</i> do processo de injeção.....	72
Figura 44 - Ordem de produção	73
Figura 45 - Fluxograma do processo de injeção	73
Figura 46 - Ordem de produção com carimbo de Qualidade	74
Figura 47 - Diagrama de Causa-efeito Limalhas.....	83
Figura 48 - Diagrama de Causa-efeito Manchas Brancas.....	84
Figura 49- Limalhas na mesa de pré-formação.....	88
Figura 50 – Mesa de pré-formação	88
Figura 51 - Molde	88
Figura 52 - <i>Lay-out</i> produto final	89
Figura 53 - Experiência malha de redes: peça nº1.....	97
Figura 54 - Experiência malha de redes: peça nº2.....	97
Figura 55 - Experiência malha de redes: peça nº3.....	98
Figura 56 - Experiência malha de redes: peça nº4.....	98
Figura 57 - Experiência malha de redes: peça nº5.....	99
Figura 58 - Experiência malha de redes: peça nº6.....	99
Figura 59 - Experiência malha de redes: peça nº7.....	100
Figura 60 - Ponto de medição do Produto A	115
Figura 61 - Resultados obtidos no MSA por variáveis.....	116
Figura 62 - Resultados gráficos do MSA por variáveis.....	117
Figura 63 - Resultados numéricos do MSA por variáveis.....	120
Figura 64 - Resultados gráficos do MSA por atributos	128
Figura 65 - Resultados numéricos do MSA por atributos: Within Appraisers .	130
Figura 66 - Resultados numéricos do MSA por atributos: Each Appraiser vs Standard.....	131
Figura 67 - Resultados numéricos do MSA por atributos: Between Appraisers	132
Figura 68 - Resultados numéricos do MSA por atributos: All Appraisers vs Standard.....	132
Figura 69- Diagrama de Causa-efeito Malha partida.....	143
Figura 70 - Diagrama de Causa-efeito Excesso de material	143

Figura 71 - Diagrama de Causa-efeito: Falta de material.....	144
Figura 72 - Diagrama de Causa-efeito Malha descentrada.....	144
Figura 73 - Diagrama de Causa-efeito Cartão na patilha	145
Figura 74 - Diagrama de Causa-efeito Pino partido	145
Figura 75 - Diagrama de Causa-efeito Sujidade	146
Figura 76 - Diagrama de Causa-efeito Pontos negros	147
Figura 77 - Diagrama de Causa-efeito Bolhas	147
Figura 78- Amostra nº2	156
Figura 79 - Amostra nº 3	156
Figura 80 - Amostra nº 5	157
Figura 81- Amostra nº 7	157
Figura 82 - Amostra nº 8	157
Figura 83 - Amostra nº 9	158
Figura 84 - Amostra nº10	158
Figura 85 - Amostra nº13	158
Figura 86 - Amostra nº14	159
Figura 87 - Amostra nº15	159
Figura 88 - Amostra nº17	159
Figura 89 - Amostra nº19	160

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Fórmulas dos gráficos de controlo por variáveis (Fonte: (Montgomery, 2008)).....	17
Tabela 2 - Defeitos mês de Abril	75
Tabela 3 - Defeitos mês de Maio.....	77
Tabela 4 - Defeitos mês de Junho.....	78
Tabela 5- Defeitos mês de Junho.....	80
Tabela 6 - Defeitos mês de Julho.....	81
Tabela 7 - Medidas para eliminar/controlar as limalhas	87
Tabela 8 - Medidas para eliminar/controlar as manchas brancas	101
Tabela 9- Tabela referência padrão dos defeitos das amostras em estudo...	123
Tabela 10 - Quantidade de OK/NOK por operador/peça.....	124
Tabela 11 - Resultados obtidos no MSA por atributos: Operador 1	125
Tabela 12 - Resultados obtidos no MSA por atributos: Operador 2	126

Tabela 13 - Resultados obtidos no MSA por atributos: Operador 3	127
Tabela 14 – Dados CEP para amostragem de tamanho variável Produto A: Mês de Abril	148
Tabela 15 - Dados CEP para amostragem de tamanho variável Produto A: Mês de Maio	149
Tabela 16 - Dados CEP para amostragem de tamanho variável Produto A: Mês de junho	150
Tabela 17 - Dados CEP para amostragem de tamanho variável Produto B: Mês de Junho	151
Tabela 18 - Dados CEP para amostragem de tamanho variável Produto B: Mês de Julho.....	152
Tabela 19 – Dados CEP para o gráfico p: Produto A	153
Tabela 20 - Dados CEP para o gráfico p: Produto B.....	154

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Principais clientes e distribuição de receitas por cliente	62
Gráfico 2 - Volume de Produção ao longo dos últimos anos.....	63
Gráfico 3 - Diagrama de Pareto do mês de Abril.....	76
Gráfico 4 - Diagrama de Pareto do mês de Maio	78
Gráfico 5 - Diagrama de Pareto do mês de Junho	79
Gráfico 6 - Diagrama de Pareto do mês de Junho	80
Gráfico 7 - Diagrama de Pareto do mês de Julho	81
Gráfico 8 - Quantidade de limalhas/dia	90
Gráfico 9 - Quantidade de defeitos por hora: dia 1.....	90
Gráfico 10 - Quantidade de defeitos por zona: dia 1	90
Gráfico 11 - Quantidade de defeitos por hora: dia 2.....	91
Gráfico 12 - Quantidade de defeitos por zona: dia 2	92
Gráfico 13 - Quantidade de defeitos por hora: dia 3.....	92
Gráfico 14 - Quantidade de defeitos por zona: dia 3	93
Gráfico 15 - Quantidade de defeitos por hora: dia 4.....	93
Gráfico 16 - Quantidade de defeitos por zona: dia 4	94
Gráfico 17 - Quantidade de defeitos por hora: dia 5.....	94
Gráfico 18 - Quantidade de defeitos por zona: dia 5	95

Gráfico 19 - Gráfico de amostras de tamanho variável para o Produto A: mês de Abril	105
Gráfico 20 - Gráfico de amostras de tamanho variável para o Produto A: mês de Maio	106
Gráfico 21 - Gráfico de amostras de tamanho variável para o Produto A: mês de Junho	107
Gráfico 22 - Gráfico de amostras de tamanho variável para o Produto B: mês de Junho	108
Gráfico 23 - Gráfico de amostras de tamanho variável para o Produto B: mês de Julho.....	109
Gráfico 24 - Gráfico da fração de não conformes para o Produto A.....	111
Gráfico 25 - Gráfico da fração de não conformes para o Produto B.....	113

LISTA DE SIGLAS

CEP – Controlo Estatístico de Processo

GRR – Estudo da Repetibilidade e da Reprodutibilidade

H – Horas

LC – Limite de Controlo

LE – Limite de Especificação

LIC – Limite Inferior de Controlo

LIE – Limite Inferior de Especificação

LSC – Limite Superior de Controlo

LSE – Limite Superior de Especificação

MSA – Measurement Systems Analysis – (Análise ao Sistema de Medição)

SPC – Statistical Process Control

1. INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo da presente dissertação será feito um enquadramento teórico, serão apresentados os objetivos, a metodologia de investigação aplicada e a estrutura da dissertação.

1.1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O conceito da qualidade foi variando no tempo, não existindo um conceito consensual. De acordo com Sila & Ebrahimpour (2003), citando alguns gurus da Qualidade, para Feigenbaum (1951) e Abbott (1955) a qualidade significava “valor”, Levitt (1972) definiu a qualidade como a conformidade com as especificações, Juran (1974) dizia que a qualidade era “adequação ao uso”, Crosby (1979) afirmava que a qualidade era “conformidade com os requisitos”, Taguchi (1981) descrevia a qualidade como “a perda gerada pelo produto na sociedade”, e Gronroos (1983) e Parasuraman et al. (1985) como “grau de satisfação e/ou de excedência das expectativas do cliente”. Contudo, uma das grandes evoluções foi sem dúvida a mudança do foco para o cliente e a constante procura da satisfação do cliente, tal filosofia que ainda hoje se perpétua. Assim torna-se necessário uma cultura de melhoria contínua nas empresas, para que estas possam apresentar processos mais eficientes.

De acordo Motorcu & Gullu (2006), as empresas devem ponderar a aposta no desenvolvimento de processos mais eficientes como meio de sobrevivência no mercado competitivo e exigente em que estão inseridas

Com base nos autores Bubbey e Dale (1997), citados em Pacheco, Sampaio, & Rodrigues (2011), pode-se afirmar que o sucesso da melhoria de um processo deve-se em muito ao uso das ferramentas e técnicas da qualidade. Assim é demonstrado a vantagem das empresas aplicaram as ferramentas da qualidade. Convém referir que apesar de existir uma enorme variedade de ferramentas da qualidade, aquelas que são as mais populares são as sete ferramentas básicas da qualidade.

De acordo com Tari & Sabater (2004), citando Ishikawa (1985) e McConnell (1989), afirmam que foram identificadas sete ferramentas básicas da qualidade:

fluxogramas, diagrama de causa e efeito, análise de Pareto, histogramas, folhas de verificação, gráficos de controlo e gráficos de dispersão.

As ferramentas da qualidade são extremamente importantes uma vez que permitem tomar decisões baseadas em dados concretos, pois sem confiança e informação completa, é praticamente impossível adotar medidas eficazes para melhorar os processos (Starzynska & Hamrol, 2013). Através das ferramentas da qualidade é possível recolher dados sobre incidentes dos processos e sobre o seu estado atual e, em seguida, transformá-los em informações necessárias para manter e/ou aumentar a capacidade operacional para satisfazer os requisitos de qualidade.

O Controlo Estatístico de Processo é uma abordagem amplamente utilizada nas indústrias. O CEP tem sido muito utilizado desde que foi introduzido por W. Shewhart na forma de um gráfico de controlo. O principal objetivo dos gráficos de controlo é identificar causas especiais. A presença de uma causa especial pode ser detetável, por exemplo, quando um dos pontos do gráfico de controlo é superior aos limites (Duffuaa, Khursheed, & Noman, 2004).

Os projetos de melhoria da qualidade são muitas vezes caracterizados pelo objetivo de reduzir a variabilidade e atingir uma produção de zero defeitos. Se um produto não estiver em conformidade com estes requisitos, a tendência geralmente é culpar o processo e, em seguida, agir para melhorar a capacidade do processo. Em alguns casos, a capacidade do processo pode ser reduzida. Contudo, o erro de medição, quando em comparação com a variabilidade do processo, continua a ser aceitável. Assim, antes de uma equipa tentar melhorar um processo deve investigar tanto a variabilidade do processo de medição, bem como a variabilidade do processo de fabrico. Para identificar as variações dos componentes de precisão e avaliações da precisão dos equipamentos/instrumentos de medição, os analistas muitas vezes dependem da Análise do Sistema de Medição (MSA).

Os objetivos do MSA são os seguintes: determinar a extensão da variabilidade observada que   causada pelo equipamento de medi o, identificar as fontes de variabilidade no sistema de medi o e avaliar a capacidade do equipamento mais rápido (Burdick, Borrer, & D., 2005).

O MSA é um elemento importante da ferramenta “Seis Sigma”, bem como da norma ISO / TS 16949 (Peruchi, Paiva, Balestrassi, Ferreira, & Sawhney, 2014).

O trabalho proposto para esta dissertação realiza-se na Delphi Automotive Systems, no edifício responsável pela parte plástica. Durante este projeto recorreu-se, como referido, a algumas ferramentas da qualidade e a uma Análise ao Sistema de Medição.

1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

A importância da realização de melhoria num programa da qualidade reside na relevância presente da qualidade na indústria. Um programa da qualidade auxilia as organizações para uma posição mais competitiva nos mercados tornando-as mais eficientes. Este projeto foi desenvolvido numa multinacional, como tal é uma indústria inserida num mercado exigente em que o compromisso com a qualidade, o controlo dos seus processos e os custos de produção fazem parte do dia-a-dia numa cultura de excelência, em que o objetivo é produzir com o máximo de qualidade, com o menor custo possível.

O processo de Injeção de Plásticos é um processo que revela alguma complexidade, tal como muitos processos devido à dependência de um conjunto de fatores. Esses fatores podem dar origem a possíveis problemas e afetar o desempenho do processo. Assim torna-se importante trabalhar na melhoria contínua e desenvolver projetos que procurem a implementação de ações de melhoria, tal como este estudo de caso apresentado nesta dissertação.

Com base na análise do Programa de Controlo Estatístico já implementado definiu-se como objetivo:

- Definir quais são os tipos de defeitos que acontecem com maior frequência;
- Analisar as causas dos defeitos e estudar possíveis ações de melhoria;
- Melhoria do programa de Controlo Estatístico por atributos;
- Análise do sistema de medição por atributos e variáveis.

Para que os objetivos fossem atingidos foi relevante a aplicação de algumas ferramentas da qualidade, nomeadamente, o diagrama de Pareto, o diagrama de Causa-Efeito e os gráficos de controlo e ainda uma Análise ao Sistema de Medição.

1.3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

Para esta dissertação a metodologia de investigação escolhida foi o estudo de caso. Esta metodologia assenta no estudo intenso de um fenómeno, em que o investigador tem pouco controlo sobre os acontecimentos. O estudo de caso é assim útil para permitir uma análise em profundidade dos fenómenos novos ou pouco claros, mas que mantém as características holísticas e significativas dos eventos da vida real. Esta metodologia tornou-se reconhecida como mais do que apenas um método de pesquisa, mas como um projeto em si mesmo (Phelan, 2011).

A metodologia estudo de caso pode ser formada por um estudo de um caso único ou por vários casos, em que são utilizados diferentes tipos de recolha de dados, tais como análise de arquivos, entrevistas, questionários e observações. As análises podem ser do tipo qualitativo ou quantitativo ou uma combinação das duas (Ravenswood (2011), citando Eisenhardt 1989).

Este estudo tem como foco a melhoria do programa de controlo estatístico de um processo de injeção de plásticos. Para o desenvolvimento de este estudo recorreu-se a diversas fontes de informação, como, documentos da empresa, observação direta, recolha de dados e posterior análise destes.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos. No capítulo 1 é feita uma introdução, onde se apresenta um enquadramento teórico, os objetivos para esta dissertação, a metodologia de investigação aplicada neste projeto e por fim a estrutura da dissertação.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica efetuada.

No capítulo 3 é desenvolvida a metodologia de estudo aplicada nesta dissertação.

No capítulo 4 é dada a conhecer a empresa onde se desenvolveu este projeto.

O capítulo 5 apresenta-se o estudo de caso desenvolvido. É apresentado o processo e os produtos selecionados para este estudo, é apresentada uma análise de Pareto, uma análise às causas dos defeitos detetados na análise anterior, são descritas ações de eliminação/controlo das causas críticas identificadas, é apresentado um estudo de Controlo Estatístico de Processo por atributos e uma Análise ao Sistema de Medição.

Por fim, no último capítulo são feitas conclusões gerais relativas ao trabalho desenvolvido, bem como sugestões para trabalho futuro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao longo deste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica efetuada no âmbito desta dissertação.

2.1. FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Aos longos dos tempos, vários autores tem identificado uma variedade considerável de ferramentas e técnicas para a melhoria dos programas da qualidade das indústrias (Tari & Sabater, 2004).

Um dos princípios do processo de melhoria contínua da qualidade baseia-se no pressuposto de que todas as decisões, em especial aquelas que são tomadas pela equipa da qualidade e pela direção da organização, devem ser baseadas no uso das ferramentas básicas da qualidade (G. Paliska, Pavletic, & Sokovic, 2007; G. P. Paliska, D. Sokovic, M., 2007).

De acordo com Tari & Sabater (2004), citando IshiKawa (1985) e McConnell (1989), foram identificadas sete ferramentas da qualidade: fluxogramas, diagrama de causa-efeito, análise de pareto, histogramas, folhas de verificação, gráficos de controlo e gráficos de dispersão.

- Fluxogramas

O fluxograma consiste numa esquematização que apresenta todas as fases de um processo ou procedimento. Um fluxograma deve ter por objetivo identificar o fluxo do processo, bem como a interação entre as fases do processo. Uma das grandes vantagens das empresas recorrerem a fluxogramas para representar o seu processo reside no facto de este poder ajudar na identificação de potenciais pontos de controlo e melhoria do processo (Montgomery, 2008).

- Diagrama de causa-efeito

Sempre que uma empresa identifica um defeito, um erro, ou um problema deve realizar um estudo para analisar quais são as potenciais causas desse mesmo

defeito, e quais os efeitos que advêm desse mesmo defeito. Nas situações em que as causas não são claras, a utilização de um diagrama de causa-efeito é uma ferramenta que pode facilitar na compreensão da interligação das causas potenciais de um determinado efeito. Esta ferramenta deve ser construída por uma equipa de melhoria da qualidade com o objetivo de identificar principais áreas problemáticas no processo da empresa.

Os passos para construir um diagrama de causa-efeito são:

1. Definir o problema ou o efeito que vai ser analisado;
2. Formar uma equipa para analisar o problema ou efeito (equipa da melhoria da qualidade), essa equipa deve ser multidisciplinar e deve analisar esse problema ou efeito recorrendo a um brainstorming;
3. Construir a linha central do diagrama;
4. Especificar os principais problemas por categorias de causa e ligar com a linha central;
5. Identificar as principais causas e classificá-las em categorias. Pode-se caso necessário acrescentar mais categorias;
6. Ordenar as causas identificadas segundo uma ordem das que parecem ter maior impacto no problema ou defeito;
7. Tomar ações corretivas.

Na análise do problema ou defeito, deve-se classificar as causas segundo as máquinas, o material, o método, a medição e o pessoal, como se pode observar na figura 1 (Montgomery, 2008).

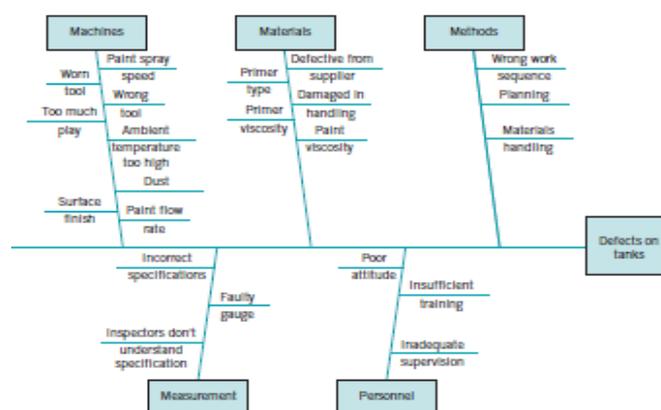


Figura 1 - Diagrama de Causa-efeito(Fonte: (Montgomery, 2008))

- Análise de Pareto

Um diagrama de Pareto consiste numa distribuição de frequências de atributos agrupados por categorias (figura 2). Através desta ferramenta pode-se visualizar, de uma forma rápida e simples, qual ou quais os defeitos que ocorrem com mais frequência. O diagrama de Pareto é uma das sete ferramentas da qualidade mais utilizada (Montgomery, 2008).

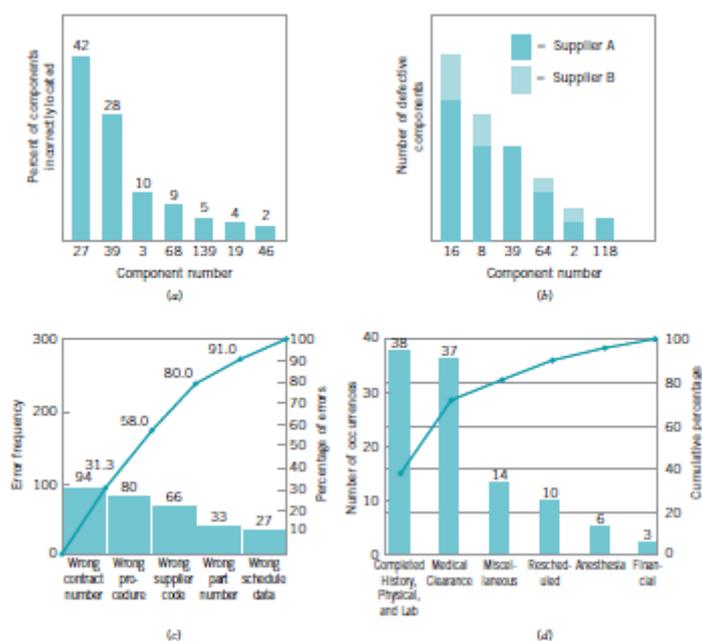


Figura 2 - Diagrama de Pareto(Fonte:(Montgomery, 2008))

- Histogramas

Um histograma é um gráfico idêntico a um gráfico de barras, muito utilizado na representação de distribuições de frequência (figura 3). A distribuição de frequências representa a frequência com que cada valor diferente de um conjunto de dados ocorre. As barras, neste tipo de gráfico, apresentam os dados agrupados, com o intuito de evidenciar a relação existente entre características. Um histograma, é uma das ferramentas que permite, quando os dados em estudo são numéricos, verificar a forma de distribuição de dados, especialmente quando se pretende determinar se as saídas de um processo apresentam alguma distribuição normal e em que se pretende determinar se um processo pode atender aos requisitos do cliente. O histograma é útil

quando se deseja comunicar a distribuição de dados de forma rápida e fácil (Montgomery, 2008).

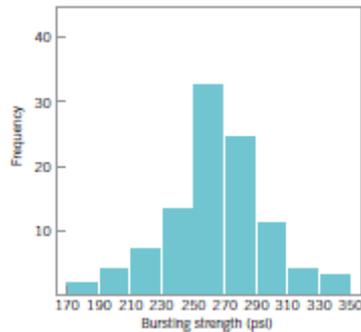


Figura 3 - Histograma (Fonte: (Montgomery, 2008))

- Folhas de verificação ou check-list

Para a melhoria de um processo muitas vezes é necessário recolher dados históricos, operacionais e atuais relacionados com o processo que está a ser estudado. A folha de verificação é muito utilizada para auxiliar a melhoria de um processo, na medida em que permite recolher os dados necessários para o estudo e melhoria do processo (figura 4). Sempre que se está a desenvolver uma folha de verificação é importante incluir informação como o tipo de dados que vão ser recolhidos para análise, a data, o analisador e a identificação do processo (Montgomery, 2008).

CHECK SHEET DEFECT DATA FOR 2002-2003 YTD																		
Part No.:	TAX-41																	
Location:	Bellevue																	
Study Date:	6/5/03																	
Analyst:	TCB																	
Defect	2002												2003					Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
Parts damaged	1		3	1	2		1		10	3			2	2	7	2	34	
Machining problems			3	3				1	8		3		8	3			29	
Supplied parts rusted			1	1		2	9										13	
Masking insufficient			3	6	4	3	1										17	
Misaligned weld	2																2	
Processing out of order	2													2			4	
Wrong part issued		1						2									3	
Unfinished fairing			3														3	
Adhesive failure				1							1		2		1	1	6	
Powdery alodine					1												1	
Paint out of limits						1								1			2	
Paint damaged by etching			1														1	
Film on parts					3		1	1									5	
Primer cans damaged							1										1	
Vooids in casting								1	1								2	
Delaminated composite									2								2	
Incorrect dimensions										13	7		13	1	1	1	36	
Improper test procedure									1								1	
Salt-spray failure													4		2		4	
TOTAL	4	5	14	12	5	9	9	6	10	14	20	7	29	7	7	6	2	166

Figura 4 - Folha de verificação (Fonte: (Montgomery, 2008))

- Gráficos de dispersão

Um gráfico de dispersão é utilizado para identificar potenciais relações entre duas variáveis. Se houver dados que estejam correlacionados, então os pontos irão sobrepor-se sob a forma de uma linha ou curva (figura 5). Deve-se optar por utilizar diagramas de dispersão quando se pretende emparelhar dados; quando uma variável dependente pode ter vários valores para cada valor de uma variável independente; quando se pretende identificar a existência de variáveis relacionadas como possíveis causas de problemas ou efeitos comuns (Montgomery, 2008).

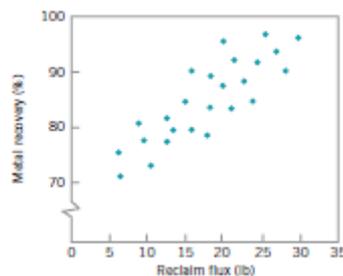


Figura 5 - Gráfico de dispersão (Fonte: (Montgomery, 2008))

- Gráficos de controlo

Os gráficos de controlo são utilizados com o intuito de estudar como um processo varia ao longo do tempo. Um gráfico de controlo apresenta uma linha ou limite central ou de controlo para a média, uma linha superior para o limite superior de controlo (LSC) e uma linha inferior para o limite de inferior de controlo (LIC), sendo estes limites determinados a partir de dados históricos (figura 6). Ao comparar os dados atuais com os limites de controlo pode-se retirar conclusões sobre a variação do processo, isto é, se existe algum ponto fora dos limites de controlo evidenciando que o processo não está controlado ou se pelo contrário o processo está controlado com todos os pontos dentro dos limites (Montgomery, 2008).

Esta ferramenta será desenvolvida a seguir, em virtude dos objetivos traçados para esta dissertação.

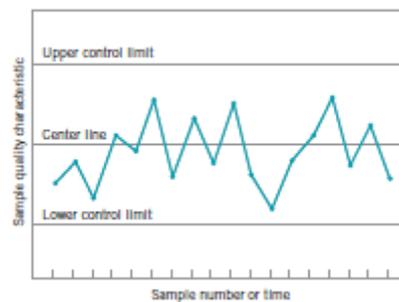


Figura 6 - Gráfico de Controle (Fonte: (Montgomery, 2008))

2.2. CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO

- Contextualização

O Controlo Estatístico de Processo foi popularizado por Deming em 1950 no Japão, mas esta abordagem foi explorada e desenvolvida por Shewart em 1920 aquando da sua proposta dos gráficos de controlo como primeira ferramenta para monitorização da variabilidade de um processo (Lim, Antony, & Albliwi, 2014).

Historicamente, quase todos os objetos feitos pelo Homem eram peças personalizadas, feitas por artesãos. Com o desenvolvimento da tecnologia, a montagem de objetos complexos a partir de vários componentes tornou-se uma prática comum. Para que esta nova estratégia possa ter sucesso é fundamental que determinados critérios, como questões dimensionais e visuais, sejam determinados para que estes possam funcionar como pretendido. Estes critérios foram o ponto de partida para se passar a estabelecer limites aceitáveis ou tolerâncias para a fabricação de componentes. Isto significa que deixa de ser necessário esperar até que o produto final esteja montado para verificar se existe algum componente defeituoso, permitindo assim um nível de qualidade mais elevado (Bramwell, 2013).

A popularidade do Controlo Estatístico de Processo como uma abordagem da gestão da qualidade tem sido promovida, devido a uma considerável variedade de publicações sobre os custos da qualidade e os benefícios resultantes da implementação de programas de Controlo Estatístico de Processo (Rungtusanatham, 1999).

O Controlo Estatístico do Processo surgiu como uma abordagem destinada à avaliação e ao acompanhamento, com o objetivo de reduzir a variabilidade nos processos de produção industrial e desempenha, atualmente, um papel importante para assegurar que o processo está sob controlo estatístico (Kaya & Kahraman, 2011). Quer isto dizer que é uma estratégia de otimização da produção e do processo, utilizando um conjunto de ferramentas e técnicas que estabelecem um quadro para apoiar os requisitos do cliente (Bramwell, 2013).

No CEP o principal objetivo é detetar uma ocorrência que leve a que o processo fique fora de controlo, através dos gráficos de controlo. É por isso que os gráficos de controlo são considerados uma das ferramentas da qualidade mais eficazes e amplamente utilizadas na monitorização do processo (Montgomery 2013, citado por Haridy, Wu, Lee, & Rahim, 2014).

- Variabilidade do processo

A variabilidade de um processo pode ser explicada pelo facto de dois produtos ou duas características nunca serem exatamente iguais, porque todos os processos contêm fontes de variação (*Statistical Process Control*, 1995).

As causas de variabilidade de um processo fabril podem ser de dois tipos: causas comuns ou causas assinaláveis (Mast, Schippers, Does, & Heuvel, 2000). As causas comuns, também conhecidas por causas aleatórias ou naturais, são as que dão origem a variações naturais associadas ao processo em causa. A eliminação deste tipo de causas implica normalmente investimentos na melhoria de equipamentos, matérias-primas ou formação dos colaboradores. Desde que mantidas em níveis aceitáveis, as causas comuns não afetam qualidade dos itens produzidos.

As causas assinaláveis ou especiais são aquelas que não estão associadas ao processo e que se devem a uma razão específica e são intermitentes e imprevisíveis. Exemplos de causas especiais podem ser a falta de calibração de uma máquina, a contaminação da matéria-prima, entre outros. O efeito de uma causa assinalável pode ter implicações na qualidade do produto e para que o processo seja considerado estável, devem ser tomadas medidas corretivas para a sua eliminação.

- Amostragem – tamanho e frequência

No CEP existem dois critérios que devem ser respeitados obrigatoriamente: a amostragem e a frequência dos dados recolhidos para posterior análise. Para se analisar a variabilidade do processo é necessário proceder-se à recolha, tratamento e análise de dados. Esta recolha de dados é normalmente feita por amostragem, obedecendo a uma frequência de recolha (Keats & Montgomery, 1991).

A amostragem consiste na recolha de parte de elementos pertencentes a uma população. Da análise desses elementos pretende-se retirar conclusões da população.

De acordo com Montgomery (2008), quando se utiliza uma amostra de tamanho maior é mais fácil para detetar pequenas alterações que ocorram no processo, tal como se pode observar na figura 7.

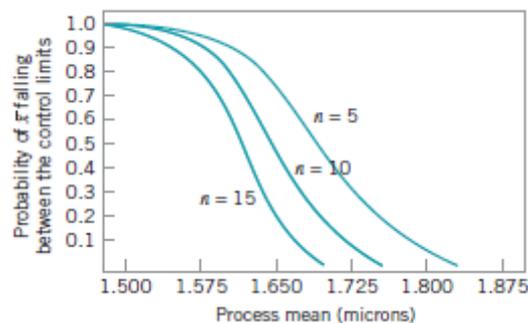


Figura 7 - Curvas características para um gráfico das médias (Fonte: (Montgomery, 2008))

De acordo com figura 7 pode-se observar que a probabilidade de detetar uma mudança de 1.500 microns até 1.650 microns aumenta, à medida que o tamanho da amostra (n) aumenta. Sempre que se escolhe o tamanho da amostra, é preciso considerar o tamanho da mudança que se pretende detetar. Se o desvio do processo é relativamente grande, então, deve-se optar por tamanhos de amostra mais pequenos e vice-versa.

Quanto à frequência de recolhas de amostras, a situação mais favorável para detetar mudanças ou desvios nos processos passa por recolher amostras de maior dimensão mais frequentemente. Esta situação implica investimentos consideráveis, sendo por isso uma solução economicamente não viável.

2.2.1. Cartas ou gráficos de controlo

Os gráficos ou cartas de controlo mais utilizados para monitorizar a variação existente num processo são os gráficos de controlo desenvolvidos por Shewhart. Os métodos de controlo estatístico da qualidade são bastante diferentes dos métodos tradicionais. Estes métodos estatísticos trouxeram uma grande contribuição para melhorias em indústrias que lidam com a produção em massa (Motorcu & Gullu, 2006). Nos métodos tradicionais, o produto é fabricado em primeiro lugar e, em seguida, é verificado para determinar se está de acordo com os requisitos. No Controlo Estatístico de Processo o princípio é diferente dos métodos tradicionais, sendo considerado parte vital da produção. Em vez de verificar o produto após este estar acabado, é aplicado em todas as fases de produção.

Estes tipos de gráficos têm sido largamente utilizados por diferentes tipos de indústrias. Tais gráficos oferecem um bom desempenho no controlo da qualidade do produto, detetando, de forma eficiente, grandes mudanças no processo. Contudo, é importante ter conhecimento que estes gráficos podem levar mais tempo para detetar pequenas mudanças (Castagliola, Achouri, Taleb, Celano, & Psarakis, 2013).

Nos gráficos de controlo pode-se encontrar diferentes tipos de gráficos: gráficos de controlo por variáveis e gráficos de controlo por atributos.

- Gráficos de controlo por variáveis

Os gráficos de controlo por variáveis são usados quando o resultado da inspeção é expresso por um valor numérico como resultado de uma medida, pressupondo-se que os valores medidos são estatisticamente independentes e provenientes de uma população com distribuição normal. Na sua versão básica, o controlo do processo é efetuado por intermédio de dois gráficos: um gráfico das médias das amostras (gráfico dos \bar{X}), para controlo do nível médio do processo, e um gráfico das amplitudes das amostras ou dos desvios padrão das amostras.

O gráfico de controlo das médias tem uma linha de central e dois limites de controlo (figura 8). A linha central representa o valor médio do processo quando

está sob controlo estatístico. O limite superior de controlo e limite inferior de controlo são usados para determinar se houve uma mudança na média do processo, ou seja, quando um ponto se encontra fora destes limites é sinal de presença de causas de variação especiais e conseqüentemente indica que o processo está fora de controlo (Zimmer, Montgomery, & Runger, 2010).

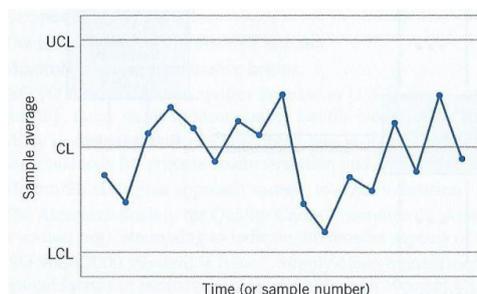


Figura 8 - Gráfico de controlo das médias (Fonte: (Montgomery, 2008))

Para a implementação das cartas de controlo por variáveis, distinguem-se duas fases distintas (Montgomery, 2008). Na fase I, depois ser estabelecido o plano de controlo com a dimensão da amostra, frequência de recolha da amostra, o equipamento e método de medição, os dados são recolhidos e analisados todos de uma só vez. Assim os limites de controlo dos gráficos são calculados e verifica-se se o processo esteve sob controlo estatístico durante o tempo de recolha dos dados. Se for detetada a presença de causas assinaláveis, estas devem ser investigadas e tomadas medidas corretivas. Posteriormente, após deteção da causa de variação e implementação da ação corretiva, os pontos fora de controlo são eliminados e os limites de controlo são recalculados. Após esta fase é efetuada uma nova recolha de dados e estes são analisados segundo os limites de controlo revistos anteriormente. Estes passos são repetidos até o objetivo da fase I ser atingido, ou seja, o processo ser considerado razoavelmente estável e, assim, inicia-se a fase II. Nesta fase, a ênfase está na monitorização do processo e, normalmente, as causas assinaláveis detetadas nesta fase devem-se a modificações na média do processo.

Na fase II, os parâmetros do processo (μ e σ^2), os limites de controlo, bem como a linha central são os calculados na fase piloto, exceto quando se altera a dimensão da amostra.

Tabela 1- Fórmulas dos gráficos de controlo por variáveis (Fonte: (Montgomery, 2008))

		Parâmetros desconhecidos	Parâmetros conhecidos [μ , σ]
Médias	Linha Central	$L.C._{\bar{x}} = (\sum_{i=1}^k \bar{x}_i) / k = \bar{\bar{x}}$	$L.C._{\bar{x}} = E(\bar{x}) = \mu_{\bar{x}} = \mu$
	Limites de controlo	$\bar{\bar{x}} \pm A_2 \bar{R}$ $\bar{\bar{x}} \pm A_3 \bar{s}$	$\mu \pm A \sigma_x \quad A = 3/\sqrt{n}$
Amplitudes	Linha Central	$L.C. = (\sum_{i=1}^k R_i) / k = \bar{R}$	$L.C. = d_2 \sigma_x$
	Limites de controlo	$LIC = D_3 \bar{R}$ $LSC = D_4 \bar{R}$	$LIC = D_1 \sigma_x$ $LSC = D_2 \sigma_x$
Desvios padrão	Linha Central	$L.C. = (\sum_{i=1}^k s_i) / k = \bar{s}$	$L.C. = c_4 \sigma_x$
	Limites de controlo	$LIC = B_3 \bar{s}$ $LSC = B_4 \bar{s}$	$LIC = B_5 \sigma_x$ $LSC = B_6 \sigma_x$

- Gráficos de controlo por atributos

Os gráficos de controlo por atributos são usados quando o resultado da inspeção das unidades da amostra é expresso em termos de uma contagem (seja do número de unidades defeituosas na amostra, seja do número de defeitos nas unidades da amostra).

No controlo por atributos existem 4 tipos de gráficos: p, np, c e u (Laney, 2007). Os gráficos p e np são gráficos por defeituosas, os gráficos c e u são gráficos por defeitos.

O primeiro gráfico refere-se à fração de produtos não conformes ou defeituosos produzidos por um processo, e é conhecido como gráfico de controlo para a fração não conforme, ou gráfico p. Existe também um outro gráfico denominado por np, que consiste num gráfico do número de defeituosas na amostra. Em

algumas aplicações dos gráficos por defeituosas pode-se optar por trabalhar com amostras de tamanho variável. Os motivos que podem obrigar a ter que trabalhar com amostras de tamanho variável podem ser muitos e variados, mas o mais frequente é indubitavelmente a circunstância da amostra ser constituída pela produção de um dia, de um turno, etc., sobre a qual se fez a triagem das defeituosas. Como a produção nesse período varia, o tamanho da amostra em que se contam as defeituosas também varia.

Em alguns casos, é mais favorável trabalhar com número de defeitos ou não conformidades, em vez de trabalhar com frações de não conformidades. O gráfico indicado para estas situações é o gráfico *c* ou das não conformidades.

Por fim, o gráfico *u* ou o gráfico de defeitos por unidade é útil para situações em que o número médio de não conformidades por unidade é uma base mais conveniente para controlar o processo.

A. Gráfico da fração de não conformes (p)

A fração de produtos não conforme é definida como a razão entre o número de produtos não conforme numa população e o número total de produtos nessa população.

Os produtos podem ter várias características atributivas de qualidade e serem examinados simultaneamente pelo inspetor. Se esse produto não está em conformidade com o padrão de uma ou mais dessas características é considerado não conforme.

Os princípios estatísticos pelo qual se rege o gráfico de controlo para a fração de não conformes são baseados na distribuição binomial. Por exemplo, o processo de produção está a funcionar de uma forma estável, de tal modo que a probabilidade de qualquer unidade não estar em conformidade com as especificações é *p*, e as unidades sucessivas produzidas são independentes.

Os limites de controlo para a situação em que os valores da fração de não conformes são conhecidos são calculados pelas seguintes fórmulas:

$$LIC = p - 3\sqrt{p(1-p)/ni} \quad (\text{Equação 1})$$

$$LC = p \quad (\text{Equação 2})$$

$$LSC = p + 3\sqrt{p(1-p)/ni} \quad (\text{Equação 3})$$

Um dos fundamentos dos gráficos de controlo de Shewhart é o uso de limites de controlo fixados a uma distância de três desvios-padrão de cada lado da linha central (LC). Os limites de três-sigma proporcionam uma sensibilidade necessária, sem causar um número inaceitável de falsos alarmes. Estes foram escolhidos por Shewhart, porque fornecem um equilíbrio económico entre as consequências dos dois erros que se pode fazer ao interpretar os dados. Esses erros são os de concluir que existe presença de causas assinaláveis quando de facto o ponto fora dos limites de controlo ocorreu apenas por mero acaso – erro de tipo I, a consequência é a de se embarcar num processo de procura de identificação de uma causa assinalável inexistente; não se detetar a presença da causa assinalável realmente existente porque se obteve um ponto dentro dos limites de controlo – erro de tipo II, a consequência mais imediata é a de se perder uma oportunidade de corrigir o processo (Wheeler, 1995).

Dependendo de alguns valores de n e de p , o LIC pode ser inferior a 0, nesses casos considera-se que LIC=0, e deve-se assumir que o gráfico de controlo só possui um limite de controlo, o LSC (Montgomery, 2008).

Para os casos em que a fração de não conformes não é conhecida, esta é obtida por n ensaios (onde n é o tamanho da amostra), em que as proporções de amostras designadas, por \hat{p} são definidas como $\hat{p} = X/n$, em que X é uma variável aleatória discreta que representa o número de tentativas que resultam em um resultado de interesse. Neste caso, X segue uma distribuição binomial com parâmetros n e p , onde p é a proporção não conformes do processo. Ou seja, quando a fração não-conformes do processo não é conhecida, então esta deve ser estimada a partir de dados observados. O procedimento usual é a de seleccionar amostras preliminares m , cada uma de tamanho n . Como regra geral, o m deve ser pelo menos 20 ou 25 amostras de tamanho n . Então, se há unidades D_i não conformes no exemplo i , deve-se calcular a fração não conforme na amostra pela fórmula:

$$\hat{p} = \frac{D_i}{n}, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (\text{Equação 4})$$

Após calcular a fração média de não conformes, pode-se passar para o cálculo dos limites. Os limites da linha central e dos limites de controlo para a fração de não conformes são calculados da seguinte forma:

$$LIC = \bar{p} - 3 \sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})}/n \quad (\text{Equação 5})$$

$$LC = \bar{p} \quad (\text{Equação 6})$$

$$LSC = \bar{p} + 3 \sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})}/n \quad (\text{Equação 7})$$

Quando um dos pontos estiver fora dos limites de controlo, deve ser investigada a causa desta situação. Se as causas atributivas para este ponto são encontradas, este ponto deve ser eliminado e devem-se calcular novos limites de controlo (Wu, Luo, & Zhang, 2006).

B. Gráfico do número de defeituosas na amostra - np

O gráfico de controlo np tem sido amplamente utilizado na indústria para controlar o número de unidades não conformes encontradas numa amostra.

A aplicação generalizada do gráfico np e outros gráficos de atributos pode ser atribuída a vários fatores, como a relativa simplicidade de trabalhar com características de qualidade atributivas, a capacidade de verificar os múltiplos requisitos de qualidade, a facilidade de comunicação entre pessoas em diferentes níveis, entre outras razões (Wu, Luo, & Zhang, 2006).

Na realidade, muitas características da qualidade não podem ser expressas numa escala numérica ou até mesmo numa escala quantitativa. O gráfico np é equivalente ao gráfico p quando o tamanho da amostra é constante.

Os limites para o gráfico np são calculados pelas seguintes formulas:

$$LIC = np - 3 \sqrt{np(1 - p)}/n \quad (\text{Equação 8})$$

$$LC = \bar{p} \quad (\text{Equação 9})$$

$$LSC = np + 3 \sqrt{np(1 - p)}/n \quad (\text{Equação 10})$$

C. Amostras de tamanho variável

Tal como referido anteriormente, os motivos que estão relacionados com o uso de amostras de tamanho variável podem ser muitos e variados, mas o mais frequente é o facto de a amostra ser constituída pela produção de um dia, sobre a qual se fez a triagem das defeituosas. Como a produção nesse período varia, o tamanho da amostra em que se contam as defeituosas também varia. Em algumas aplicações dos gráficos de controlo para a fração de não-conformes, a amostra é uma inspeção de 100% da produção. Isto influencia, assim, uma amostra de tamanho variável.

Há três abordagens para a construção e operação com um gráfico de controlo com uma amostra de tamanho variável. A primeira é trabalhar com limites de controlo variáveis. A primeira é talvez a abordagem mais simples. Esta abordagem consiste em determinar limites de controlo para cada amostra individual, que são baseados no tamanho específico da amostra. Isto é, se a amostra é de tamanho n_i , em seguida, os limites de controlo superior e inferior são:

$$LIC = \bar{p} - 3 \sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})/n} \quad (\text{Equação 11})$$

$$LC = \bar{p} \quad (\text{Equação 12})$$

$$LSC = \bar{p} + 3 \sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})/n} \quad (\text{Equação 13})$$

A segunda abordagem é baseada na média do tamanho da amostra. Esta abordagem resulta numa aproximação aos limites de controlo. Isso pressupõe que os tamanhos das amostras futuras não diferem muito daqueles observados anteriormente. Se esta abordagem for utilizada, os limites de controlo serão constantes, e o gráfico de controlo resultante não será de tão fácil interpretação para os operadores como o gráfico de controlo com limites variáveis.

A terceira abordagem é denominada por gráficos de controlo padronizado. Esta abordagem é caracterizada por utilizar um gráfico de controlo padronizado, em que os pontos são representados em unidades de desvio padrão. Nesta abordagem o gráfico de controlo possui uma linha central com o valor 0, e os limites superior e inferior a +3 e -3 desvios padrão, respetivamente, e a variável é utilizada no gráfico e dada pela fórmula:

$$Zi = \frac{\hat{p}_i - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n_i}}} \quad (\text{Equação 14})$$

Onde p (ou \bar{p} se nenhum padrão é dado) é a fração de não conformes no processo quando está sob controlo estatístico. O gráfico de controlo padronizado não é mais difícil de construir do que qualquer outro gráfico de controlo, a desvantagem reside na dificuldade de compreensão, principalmente por operadores.

2.2.2. Implementação do CEP

De acordo com Antony & Taner (2003), o sucesso da implementação de um programa de CEP não se limita apenas à aplicação de gráficos de controlo para análise da variabilidade do processo. Os gráficos de controlo, apesar de fornecerem informação se o processo está ou não sob controlo estatístico, não indicam as causas de instabilidade do processo.

Na sequência da análise efetuada por Antony & Taner (2003) às metodologias sugeridas por Oakland (1999), Watson (1998), Kumar e Motawani's (1996) e Does, Schippers, & Trip (1997), estes defendem que antes de traçar ou definir uma metodologia, deve-se determinar os principais fatores que influenciam o sucesso da implementação de um programa de CEP.

De acordo com Does, Schippers, & Trip (1997), através da consulta da bibliografia sobre implementação do CEP, pode-se observar que as razões mais apontadas para a falha deste tipo de abordagem estão relacionados com fatores sociais e organizacionais. Problemas como a falta de envolvimento por parte da gestão de topo, operadores pouco motivados por falta de informação e formação, duração da implementação do CEP e investimento monetário, delegação de responsabilidades e tarefas, a falta de um especialista com conhecimentos na área do CEP para conduzir o processo e a falta de equipas constituídas com o objetivo de monitorizar este processo, futuramente, são os problemas que mais contribuem para criar barreiras à implementação desta abordagem e conseqüentemente contribuir para o seu fracasso.

Estes problemas podem ser evitados com a adoção de uma metodologia que privilegie o planeamento cuidadoso e uma organização de recursos e tempo.

Das quatro metodologias analisadas por Antony & Taner (2003), a metodologia sugerida por Does, Schippers, & Trip (1997) é referida como a mais abrangente.

O modelo propõe a divisão do processo de implementação sob duas perspetivas, organizacional e metodológica. Na perspetiva organizacional são abordadas as questões relacionadas com o apoio da gestão, a constituição da equipa responsável pelo projeto, entre outros aspetos.

Quanto à parte metodológica, esta é constituída por dez passos:

1. Descrição do Processo: o foco desta etapa é descrever o processo no seu estado atual, detalhando passo a passo cada etapa do mesmo. Para auxiliar esta tarefa, pode-se utilizar fluxogramas para permitir uma fácil visualização e correspondente interpretação.
2. Análise de Causa-Efeito: nesta etapa pretende-se investigar as principais causas dos defeitos e os seus efeitos nas várias fases do processo. É aconselhável a utilização de diagramas de causa-efeito para expor as potenciais causas dos defeitos, bem como a utilização da análise de Pareto para estabelecer prioridades de análise.
3. Análise do Risco: tem como objetivo determinar o nível do risco das relações entre a causa e o efeito, através da utilização do FMEA ou técnicas semelhantes. Este nível do risco é calculado com base na frequência de ocorrência da causa, na severidade do efeito da causa e com base no grau de facilidade na deteção da causa e reparação do efeito.
4. Implementação de Melhorias: com a implementação de melhorias pretende-se estimular a criação de sugestão de melhoria para minimizar o risco das relações causa-efeito com mais impacto estabelecidas na análise do risco.
5. Definição das características a medir: nesta fase procede-se à seleção dos parâmetros de controlo do processo que devem ser analisados, bem como a definição dos planos de controlo.

6. Estudos de Repetibilidade e Reprodutibilidade: estes estudos permitem analisar se o sistema de medição selecionado para monitorizar as características do produto ou processo é adequado/capaz.
7. Gráficos de Controlo: esta etapa consiste na implementação dos gráficos de controlo e, conseqüentemente, retirar conclusões acerca da estabilidade do processo.
8. Plano de ações para situações que estão fora de controlo: como complemento aos gráficos de controlo, deve ser estabelecido um plano de ações que devem ser tomadas perante a deteção de situações fora do controlo.
9. Estudo de capacidade do processo: para as situações em que o processo esteja sob controlo estatístico, os índices de capacidade de processo podem ser calculados.
10. Certificação: esta é a última fase do processo de implementação do CEP, onde se procede a uma avaliação dos resultados obtidos até ao momento. Procura-se formas de assegurar a continuidade do projeto e formas de trabalhar na melhoria contínua para uma maior eficiência do CEP.

2.3. MSA – ANÁLISE AO SISTEMA DE MEDIÇÃO

- Contextualização

A Análise do Sistema de Medição (MSA) é um conjunto abrangente de ferramentas para a medição, aceitação e análise de dados e erros, e inclui temas como Controlo Estatístico de Processo, análise de capacidade, repetibilidade e reprodutibilidade, entre outros. Alias, os programas de Controlo Estatístico de Processo são influenciados pela capacidade do sistema de medição (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

Por sua vez, o Sistema de Medição é o conjunto de equipamentos ou instrumentos de medição, padrões, operações, métodos, equipamentos, *software*, pessoal, ambiente e suposições utilizadas para quantificar uma unidade de medida ou corrigir e avaliar a característica que está a ser medida.

A qualidade dos dados de medição é definida pelas propriedades estatísticas de várias medições obtidas a partir de um sistema de medição que funciona em condições estáveis. Imaginando que um sistema de medição, que funciona em condições estáveis, é usado para obter várias medições de uma determinada característica. Se as medições estão todas aproximadamente no valor principal para a característica, então a qualidade dos dados é “elevada”. Da mesma forma, se algumas ou todas as medições estão “distantes ou desviadas” do valor principal, então a qualidade dos dados é considerada “baixa ou fraca”.

2.3.1. Propriedades estatísticas de um sistema de medição

Um sistema de medição ideal produziria apenas medidas “corretas ou exatas” de cada vez que é usado. Cada medição seria sempre de acordo com um padrão.

Um sistema de medição que possa produzir medidas de acordo com o valor padrão seria considerado como tendo as propriedades estatísticas de zero variância, zero tendência e zero probabilidade de errar na medição de qualquer produto. Infelizmente, os sistemas de medição com tais propriedades estatísticas desejáveis raramente existem. A qualidade de um sistema de medição normalmente é determinada unicamente pelas propriedades estatísticas dos dados produzidos ao longo do tempo. Outras propriedades, tais como custo, facilidade de utilização, entre outras, também são importantes na medida em que elas contribuem para a oportunidade global de um sistema de medição. Mas são as propriedades estatísticas dos dados produzidos, que determinam a qualidade do sistema de medição.

A gestão de topo tem a responsabilidade de identificar as propriedades estatísticas que são mais importantes para o uso dos dados. A administração também é responsável por assegurar que essas propriedades são utilizadas como base para a seleção de um sistema de medição.

Embora cada um dos sistemas de medição poderá ter diferentes propriedades estatísticas em função das necessidades, existem certas propriedades fundamentais que definem um “bom” sistema de medição. Estes incluem:

- Discriminação adequada e sensibilidade. O incremento de medida deve ser pequeno em relação à variação do processo ou limites de especificação para efeitos de medição. A regra conhecida de dezenas, ou Regra 10-para-1, afirma que a discriminação do instrumento deve dividir a tolerância (ou variação do processo) em dez partes ou mais.
- O sistema de medição deve estar sob controlo estatístico. Isto significa que, sob condições reproduzíveis, a variação no sistema de medição é devido a causas comuns e não apenas devido a causas especiais. Isto pode ser referido como estabilidade estatística e é melhor avaliado pelo método dos gráficos.
- Para controlo do produto, a variabilidade do sistema de medição deve ser pequena em comparação com os limites de especificação.
- Para o controlo do processo, a variabilidade do sistema de medição deve demonstrar uma resolução eficaz e pequena em comparação com a variação do processo.

- Fontes de variação no sistema de medição

Semelhante a todos os processos, o sistema de medição é afetado por ambas as fontes de variação, as aleatórias e as sistemáticas. Estas fontes de variação são devido a causas comuns e especiais. Com o objetivo de controlar a variação do sistema de medição deve-se identificar as fontes potenciais de variação e posteriormente eliminar (sempre que possível) ou controlar essas mesmas fontes de variação.

Embora as causas específicas irão depender da situação, algumas fontes típicas de variação podem ser identificadas. Existem vários métodos de apresentar e categorizar essas fontes de variação, tais como diagramas de causa-efeito, diagramas de árvore de falhas.

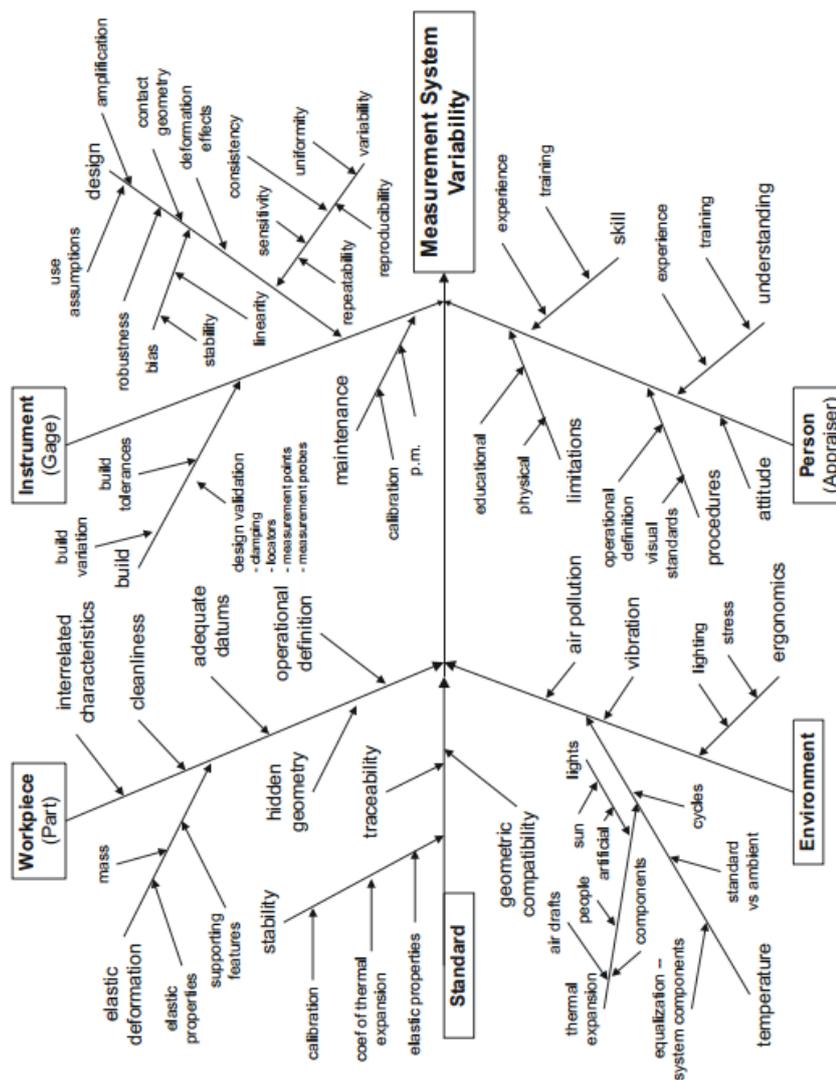


Figura 9 - Diagrama de Causa-efeito da variabilidade do sistema de medição (Fonte: (*Measurement Systems Analysis*, 2010))

Os efeitos das várias fontes de variação sobre o sistema de medição devem ser avaliados ao longo de um curto e longo período de tempo (figura 9). A capacidade do sistema de medição é o sistema de medição de erro (aleatório) ao longo de um curto período de tempo. É a combinação de erros quantificados por linearidade, uniformidade, repetibilidade e reprodutibilidade.

O desempenho do sistema de medição, como o desempenho do processo é o efeito de todas as fontes de variação ao longo do tempo. Isto é realizado através da determinação se o processo está sob controlo estatístico, no alvo, e tem uma variação aceitável (repetibilidade e reprodutibilidade) sobre o intervalo de resultados esperados. Isso adiciona estabilidade e consistência para a capacidade do sistema de medição.

A variabilidade do sistema de medição pode afetar a decisão sobre a estabilidade, a meta e variação de um processo. As fontes de variação quando não são bem estudadas podem levar a que sejam tomadas decisões erradas. Assim o impacto de uma decisão errada seria considerar uma causa comum como uma causa especial, e considerar uma causa especial como uma causa comum.

Em geral, a variação do sistema de medição pode ser caracterizado pela localização, tais como a estabilidade, a tendência e a linearidade, e pela largura, tais como a Reprodutibilidade e Repetibilidade (Wang & Chien, 2010).

- Discriminação do sistema de medida

A discriminação é a quantidade de mudança a partir de um valor de referência que um instrumento pode detetar e indicar fielmente, também conhecido como leitura ou resolução. A discriminação representa a medida de menor graduação na escala de um instrumento.

A regra geral é a discriminação do instrumento de medição deve ser de pelo menos um décimo da variação do processo esperado pela característica a ser medido (intervalo). Por exemplo, se a variação da característica especial a ser medida é de 1, o equipamento deve ser capaz de “ler” uma mudança de 0,1.

Se a generalidade dos valores de uma variável dessem origem ao mesmo valor no sistema de medição (1º caso da Figura 10), então este sistema de medição não será aceitável para estimar os índices e parâmetros do processo. É recomendável um sistema de medição quando este apresenta cinco ou mais categorias distintas para o controlo dimensional do sistema produtivo (3º caso da Figura 10).

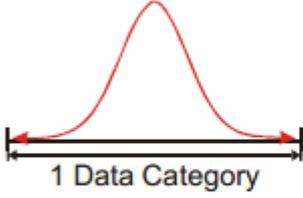
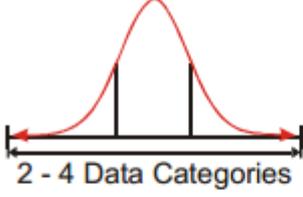
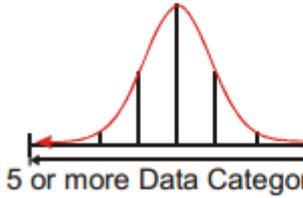
Number of Categories	Control	Analysis
 <p>1 Data Category</p>	<p>Can be used for control only if:</p> <ul style="list-style-type: none"> • The process variation is small when compared to the specifications • The loss function is flat over the expected process variation • The main source of variation causes a mean shift 	<ul style="list-style-type: none"> • Unacceptable for estimating process parameters and indices • Only indicates whether the process is producing conforming or nonconforming parts
 <p>2 - 4 Data Categories</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Can be used with semi-variable control techniques based on the process distribution • Can produce insensitive variables control charts 	<ul style="list-style-type: none"> • Generally unacceptable for estimating process parameters and indices since it only provides coarse estimates
 <p>5 or more Data Categories</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Can be used with variables control charts 	<ul style="list-style-type: none"> • Recommended

Figura 10 - Impacto do número de categorias distintas (Fonte: (*Measurement Systems Analysis*, 2010))

Se o sistema de medição não possui discriminação (sensibilidade ou resolução efetiva), não pode ser um sistema adequado para identificar a variação do processo ou quantificar as características das partes individuais a controlar. O equipamento é inaceitável se não conseguir detetar a variação das causas especiais no controlo estatístico do processo (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

- Tendência

A tendência é muitas vezes referida como “precisão”. Dado o conceito de “precisão” ter vários significados na literatura, não é recomendado o seu uso como uma alternativa para Bias ou tendência.

A tendência é a diferença entre o valor verdadeiro (valor de referência) e a média observada de medições da mesma característica na mesma peça (figura 11). A tendência é a medida do erro sistemático do sistema de medição. Este é a contribuição para o erro total constituído pelos efeitos combinados de todas as fontes de variação, conhecidas ou desconhecidas, cujas contribuições para o erro total tende a compensar de forma consistente e previsível todos os

resultados de aplicações repetidas de um mesmo processo de medição no momento das medições (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

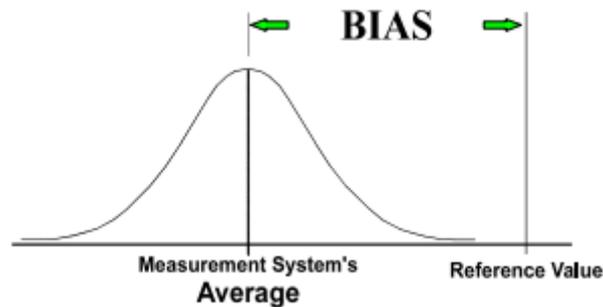


Figura 11 - Análise da tendência (Fonte: (*Measurement Systems Analysis*, 2010))

- Estabilidade

A Estabilidade (ou desvio) é a variação total nas medições obtidas com um sistema de medição na mesma peça ao medir uma única característica ao longo de um período de tempo prolongado (figura 12). Ou seja, a estabilidade é a variação da tendência ao longo do tempo (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

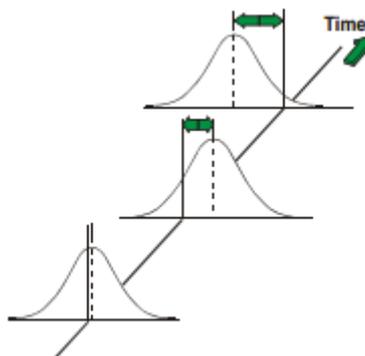


Figura 12 - Análise da estabilidade (Fonte: (*Measurement Systems Analysis*, 2010))

- Linearidade

A diferença da tendência ao longo do intervalo de medição no equipamento é denominada por linearidade. A linearidade pode ser prevista como a variação da tendência, em relação ao tamanho medido (figura13) (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

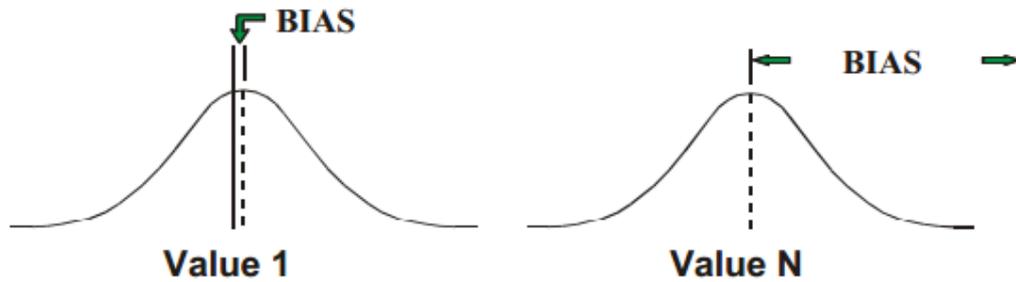


Figura 13 - Análise da linearidade (Fonte: (*Measurement Systems Analysis*, 2010))

- Repetibilidade

A Repetibilidade representa a variabilidade do equipamento de medição quando é utilizado para medir a mesma unidade (com o mesmo operador ou no mesmo período de tempo) (Peruchi, Paiva, Balestrassi, Ferreira, & Sawhney, 2014).

Esta é a variação inerente ao equipamento. A Repetibilidade é frequentemente referida como a variação do equipamento, embora esta seja uma ideia errada. Na verdade, a repetibilidade é a variação de causa comum (erro aleatório) decorrente de sucessivas medições feitas sob condições definidas (figura 14). O melhor termo para a Repetibilidade é a variação dentro do próprio sistema, quando as condições de medição são fixas e definidas.

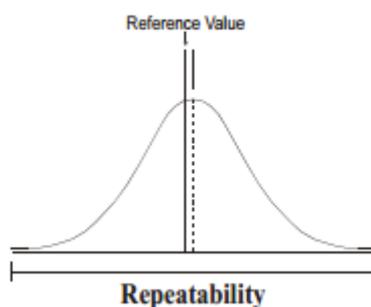


Figura 14 - Análise da repetibilidade (Fonte: (*Measurement Systems Analysis*, 2010))

- Reprodutibilidade

A Reprodutibilidade é tradicionalmente conhecida como a variação “entre os avaliadores”, isto é, reflete a variabilidade decorrente de diferentes operadores, ou períodos de tempo (Peruchi, Paiva, Balestrassi, Ferreira, & Sawhney, 2014).

Esta é tipicamente definida como a variação na média das medições feitas por diferentes avaliadores utilizando o mesmo equipamento de medida ao medir a mesma característica da mesma peça (figura 15).

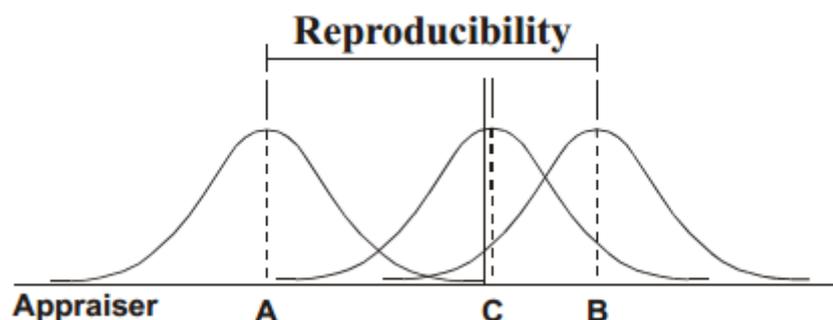


Figura 15 - Análise da reprodutibilidade (Fonte: (*Measurement Systems Analysis*, 2010))

2.3.2. Análise do Sistema de Medição por variáveis

- Estudo da Repetibilidade e Reprodutibilidade do sistema de medição

O GRR do equipamento de medição é uma estimativa da variação combinada da Repetibilidade e da Reprodutibilidade. Ou seja, o GRR é a soma das variâncias dentro do sistema e entre o sistema (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

Na análise da Repetibilidade e da Reprodutibilidade podem ser utilizadas diferentes técnicas. Existem 3 métodos que são frequentemente utilizados: o método da amplitude, método da amplitude e da média (método dos gráficos de controlo) e o método ANOVA. Com exceção do método da amplitude, os outros dois métodos seguem uma estrutura de análise de dados muito similar (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

- Método dos gráficos de controlo

O método dos gráficos de controlo ou método da média e da amplitude é uma abordagem que fornece uma estimativa da Repetibilidade e da Reprodutibilidade de um sistema de medição. Este método, em contraste com o método da amplitude apresenta uma abordagem que permite a

decomposição da variação do sistema de medição em dois componentes distintos: a Repetibilidade e a Reprodutibilidade. Contudo, não fornece informações relativas a interação de um sobre o outro (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

➤ Análise da discriminação do equipamento

A análise da discriminação do equipamento baseia-se no gráfico das médias dos operadores. Neste gráfico a área dentro dos limites de controlo representa a sensibilidade de medição (“ruído”). Uma vez que o grupo de peças usadas no estudo representa a variação do processo, cerca de metade, ou mais, das médias deve ficar dos limites de controlo. Se os dados mostram esse padrão, o sistema de medição é adequado para detetar a variação da peça-a-peça. Se menos da metade estão fora dos limites de controlo, o sistema de medição não tem discriminação suficiente.

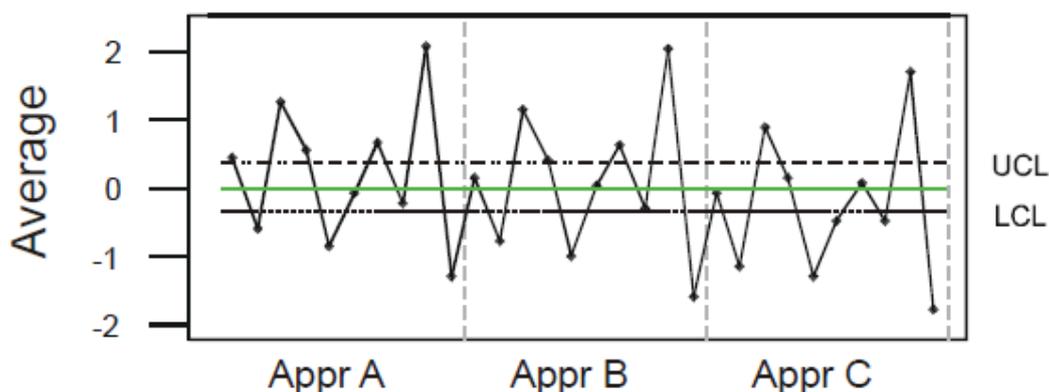


Figura 16 - Análise da discriminação do equipamento (Fonte: (*Measurement Systems Analysis*, 2010))

Na figura 16 pode-se observar que a maior parte dos pontos de medição estão fora dos limites de controlo, tal situação indica que o sistema de medição parece ter discriminação suficiente para processos com variação descritos pela amostra (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

➤ Análise da repetibilidade

Para efetuar uma análise em termos de Repetibilidade dos operadores é necessário olhar para o gráfico das amplitudes (figura 17). Se todas as amplitudes estão dentro dos limites de controlo, significa que os operadores efetuam uma medição semelhante. Caso alguma amplitude esteja fora de

controlo, significa que existem diferenças significativas entre operadores, sendo necessário investigar as causas (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

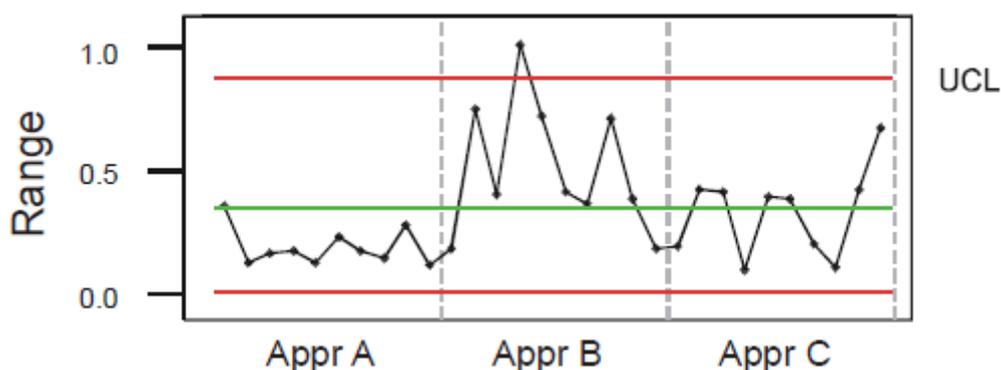


Figura 17 - Análise da repetibilidade (Fonte: (*Measurement Systems Analysis*, 2010))

Contudo, mesmo quando todas as amplitudes estão dentro dos limites de controlo, pode-se retirar igualmente conclusões acerca da repetibilidade dos operadores.

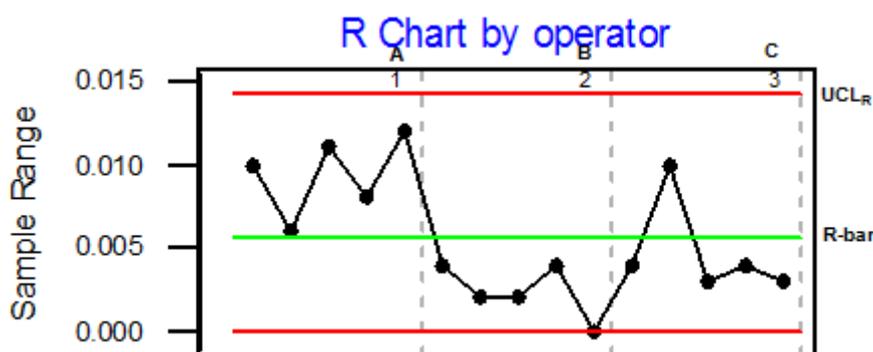


Figura 18 - Análise da repetibilidade do operador(Fonte: (*Measurement Systems Analysis*, 2010))

Na análise da figura 18 pode-se reparar que existe um contraste entre o operador A e B. Por seu lado, o operador A apresenta uma amplitude elevada, consecutivamente uma repetibilidade fraca. O operador B apresenta uma amplitude baixa, logo uma repetibilidade elevada (situação desejada) (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

➤ Análise da reprodutibilidade

Como referido acima, a Reprodutibilidade não é mais do que a variabilidade entre operadores. Mais especificamente, é a diferença entre as médias e os padrões de medições dos diferentes operadores (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

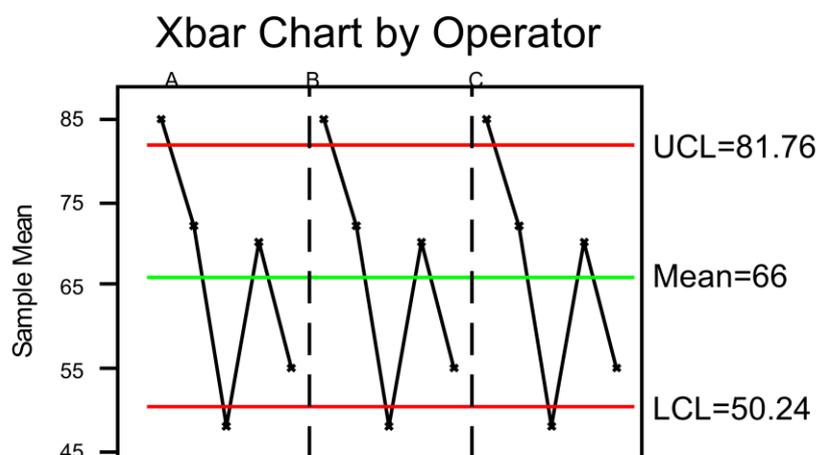


Figura 19 - Análise da reprodutibilidade (Fonte: (Measurement Systems Analysis, 2010))

A figura 19 demonstra um bom exemplo de Reprodutibilidade. Os operadores apresentam um gráfico bastante semelhante em termos de reprodutibilidade. Além disso, eles estão centrados no mesmo valor médio.

A análise da Reprodutibilidade pode ser complementada através da análise da interação entre amostras e operador. A análise relativa à interação entre amostras e operadores consiste na análise do operador com a peça (amostra). A interação entre operador e peça ocorre quando os operadores são inconsistentes na maneira de medir as amostras. Na análise da interação entre amostras e operadores deve-se estar focado na amplitude. Quando as linhas das medições dos operadores não são paralelas é sinal de existência de interação entre amostras e operadores, como se pode ver na figura 20.

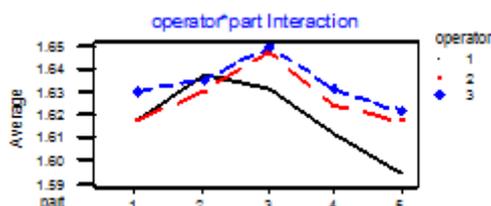


Figura 20 - Análise da interação entre operador e amostras (Fonte: (Measurement Systems Analysis, 2010))

Neste caso, conclui-se que a reprodutibilidade dos operadores é fraca.

➤ Análise da estabilidade

Na análise da estabilidade é importante estabelecer limites de controlo e avaliar para condições fora de controlo ou instáveis utilizando a análise do gráfico de controlo padrão. A estabilidade é determinada através da utilização do gráfico da amplitude (figura 21). Quando todos os pontos se encontram dentro dos limites de controlo, o sistema de medição é estatisticamente estável. Todos os pontos que estão fora do limite superior de controlo precisam de ser investigados. (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

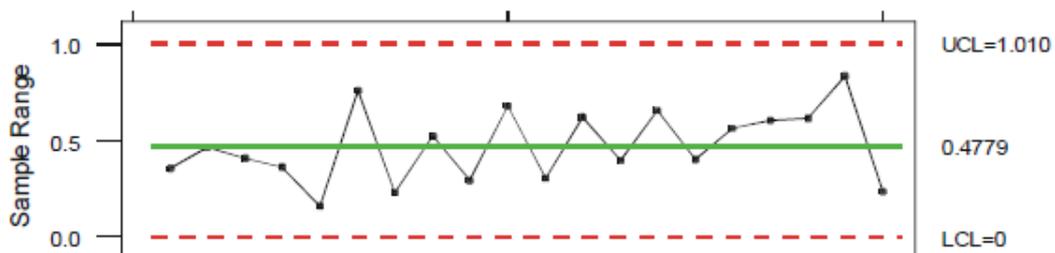


Figura 21 - Análise da estabilidade (Fonte: (*Measurement Systems Analysis*, 2010))

- Estudo da Repetibilidade e da Reprodutibilidade pela análise numérica dos resultados

Os critérios, quanto à possibilidade de variação no sistema de medição, são dependentes da percentagem da variação do processo de produção ou da tolerância de fabricação da peça que é consumida pela variação do sistema de medição. Os critérios finais de aceitação para sistemas de medição específicos dependem do ambiente e da finalidade do sistema de medição e devem ser acordados com o cliente.

Um facto de elevada importância, e que deve ser mantido sempre em mente, é em situações em que o CEP está a ser aplicado para o controlo de processo ou para a recolha de dados de processo, e o gráfico de controlo indica que o processo é estável e a variação total é aceitável, o sistema de medição pode ser considerado como aceitável para esta utilização e não necessita de reavaliação separada. Se uma condição de fora de controlo ou não conformidade for encontrada nessa situação, a primeira coisa que deve ser feita é avaliar o sistema de medição.

Os critérios, no que diz respeito ao sistema de medição de variabilidade ser considerado aceitável, são dependentes da percentagem da variação do processo de produção ou da tolerância de fabricação da peça que é consumida pela variação do sistema de medição. Para sistemas de medição cujo objetivo é analisar o processo, a regra geral para a aceitabilidade do sistema de medição é a seguinte:

- GRR <10% - O sistema de medição é considerado aceitável;
- GRR entre 10% e 30% - O sistema de medição é considerado aceitável para algumas situações. A decisão de ser considerado aceitável ou não deve ser baseada na importância da medida de aplicação, custo do dispositivo de medição, o custo de retrabalho ou reparo. Esta decisão deve ser aprovada pelo cliente.
- GRR > 30% - Sistema de medição inaceitável. O sistema de medição deve ser melhorado, reformulando a estratégia de medição.

Outro critério adicional de decisão acerca da aceitabilidade do sistema de medição passa pelo número de categorias distintas. Esta estatística indica o número de categorias em que o processo de medição pode ser dividido. Este valor deve ser maior ou igual a 5.

A aceitação final de um sistema de medição não deve reger-se só pelo conjunto destes índices. O desempenho a longo prazo do sistema de medição também deve ser revisto, por exemplo, utilizando análise de gráficos ao longo do tempo (análise gráfica) (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

2.3.3. Estudo do sistema de medição por atributos

Na análise do sistema de medição por atributos, um medidor (operador) de atributo é aquele que compara cada peça a um conjunto específico de limites e aceita a peça se os limites estão satisfeitos, caso contrário, essa peça é rejeitada (Sweet, Tjokrodjojo, & Wijaya, 2005).

O sistema de medição por atributos é a classe de sistemas de medição, quando o valor de medição é um de um número finito de categorias. O mais comum num sistema de medição por atributos é um passa/ não passa, ou seja,

existem apenas dois resultados possíveis. Outros sistemas de atributos, por exemplo, normas visuais, podem resultar em 5 a 7 classificações, tais como muito bom, bom, regular, mau, muito mau. Contudo, quanto maior for número de classificações possíveis para um estudo por atributos, maior será o risco de tomar uma decisão errada acerca da capacidade do sistema de mediação.

- Métodos de análise do risco

Em algumas situações de atributos não é viável para obter peças suficientes com os valores de referência da análise por variáveis. Em tais casos, o risco de tomar decisões erradas ou inconsistentes pode ser avaliado usando-se a análise do teste de hipóteses ou a teoria de deteção de sinais.

Uma vez que estes métodos não quantificam a variabilidade do sistema de medição, devem ser utilizados apenas com o consentimento do cliente. A seleção e uso de tais técnicas deve ser baseada em boas práticas estatísticas, numa compreensão das potenciais fontes de variação que podem afetar os processos de produção e o processo de medição, e os efeitos de uma decisão errada (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

- Análise do teste de hipóteses – Método da tabela cruzada

O processo de tabelas cruzadas analisa os dados de distribuição de duas ou mais variáveis categóricas. Os resultados, apresentados em um formato de matriz, formam uma tabela de contingência que ilustra a interdependência entre as variáveis.

O objetivo das tabelas é determinar o grau de concordância entre os avaliadores (operadores). Para determinar o nível deste acordo utiliza-se *kappa* (*Cohen*), que mede a concordância entre as avaliações de dois ou mais avaliadores, quando ambos estão classificando o mesmo objeto. Um valor de 1 indica concordância perfeita. O valor 0 indica que o acordo não é melhor do que o acaso. O *Kappa* está disponível apenas para as tabelas em que ambas as variáveis usam os mesmos valores de categoria e ambas as variáveis têm o mesmo número de categorias.

A regra geral para interpretar os valores de Kappa é:

- *Kappa* maior que 0,75 – indica um bom a excelente grau de concordância, logo sistema de medição é bom.
- *Kappa* menor que 0,40 – indica um nível de concordância fraco. O sistema de medição precisa de melhorias.

Para além do cálculo do *Kappa*, pode-se calcular a eficácia do sistema de medição. Vários testes de hipóteses entre cada par de operadores podem ser testados recorrendo a hipótese nula: H_0 : A eficácia dos operadores é a mesma. Quando a percentagem da eficiência do sistema de medida fica dentro do intervalo de confiança, aceita-se a hipótese nula de que não existem diferenças na eficiência dos operadores. O cálculo da eficiência do sistema de medida é importante para reforçar as conclusões retiradas na análise do *Kappa* (*Measurement Systems Analysis*, 2010).

A eficiência do sistema de medida é dada pela fórmula:

$$Eficiência = \frac{\text{Número de decisões corretas}}{\text{total de oportunidades para uma decisão}} \quad (\text{Equação 15})$$

Para analisar os resultados da eficiência é sugerido, no Manual de MSA (*Measurement Systems Analysis*, 2010), os seguintes valores padrão:

- % Eficiência $\geq 90\%$: Aceitável para o avaliador;
- % Eficiência $\geq 80\%$: Marginalmente aceitável para o avaliador. O sistema de medida pode precisar de melhoria;
- % Eficiência $<80\%$: Inaceitável para o operador. O sistema de medida precisa de melhorias.

Contudo, é importante não esquecer que a decisão final de acordo com estes critérios deve ser baseada no impacto (ou seja, o risco) para o restante processo e na opinião do cliente final relativamente às conclusões retiradas sobre o sistema de medida.

2.4. O PROCESSO DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS

2.4.1. A Indústria dos plásticos – breve caracterização

Um dos métodos mais comuns de processamento de plásticos é a injeção em moldes. Hoje em dia, nas habitações, nos automóveis, nos escritórios, nas indústrias existe uma quantidade enorme de diferentes tipos de artigos produzidos por injeção em moldes para plásticos.

Segundo Osswald, Turng, & Gramann (2002), o desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos de processamento de plásticos foi considerado, pela maioria das pessoas, tão importante quanto a invenção dos próprios plásticos. As máquinas de injeção de plásticos em moldes originais foram baseadas na técnica de fundição por injeção de metais.

A primeira máquina conhecida foi patenteada nos Estados Unidos da América em 1872, especificamente para o uso com celuloide. Em meados da década de 20, a Alemanha demonstra interesse nesta área, apresentando assim as suas primeiras máquinas de injeção. Nesta época as máquinas de injeção eram muito simples, onde o controlo dimensional era de facto um grande obstáculo. A grande característica destas máquinas era o seu acionamento manual, ou seja, existia uma alavanca acionada manualmente que fazia o fecho das placas. Nesta altura as pressões de injeção não eram de todo elevadas. Durante esse século, devido ao aumento das pressões competitivas, apareceu o acionamento pneumático do molde, que na altura significava um enorme passo, pois deixava cada vez mais de depender da força bruta.

No final dos anos 30, quando ocorreu uma evolução nas máquinas de injeção, começou-se a implementar sistemas hidráulicos de acionamento. Embora no final dos anos 30 já existissem algumas máquinas acionadas hidráulicamente, as máquinas continuavam-se a basear na teoria da fundição de metais, e apenas nos anos 50 foi criada uma nova gama de máquinas abrangendo as particularidades dos plásticos.

Atualmente a moldagem por injeção é o processo mais importante usado para produzir produtos de plástico. Mais de um terço de todos os materiais termoplásticos são moldados por injeção, e mais de metade de todo o equipamento de processamento de polímeros é para moldagem por injeção. O

processo de moldagem por injeção é ideal para a fabricação de peças produzidas em massa de formas complexas que requerem dimensões precisas.

2.4.2. O processo de moldação de plásticos

Os processos de moldagem de plásticos surgiram após a descoberta dos mesmos no século XIX por cientistas americanos.

Segundo Harada (2004), o recurso ao uso do processo de moldagem por injeção para a produção de peças plásticas mais simples e de pequena dimensão teve início a partir de 1940.

Importa realçar que existem duas grandes categorias de plásticos, os termoplásticos e os termofixos. Os termofixos, ao contrário dos materiais termoplásticos, não sofrem alteração significativa de rigidez quando expostos a elevadas temperaturas. Um termoplástico é um polímero de alta viscosidade que quando sob a ação de temperaturas elevadas muda de estado, passando do estado sólido para o estado líquido, devido à perda das ligações de hidrogénio. No estado líquido, o termoplástico é moldado de forma a ficar com a forma desejada, uma vez que quando o material arrefece é perdida a viscosidade e este adquire a forma do molde no qual permanece (The Society of the Plastics Industry, 1996).

A descoberta dos plásticos e das suas características permitiu que os modos de proceder ao seu processamento e moldagem também fossem evoluindo. Atualmente existem vários processos de moldagem no mercado, contudo todos os processos de moldagem de plásticos têm em comum o uso de matérias-primas poliméricas em forma de grânulos e o seu aquecimento.

O processo de moldagem mais frequente é o processo de moldagem por injeção. O processo de injeção começou por ser um processo que consistia em aquecer o material plástico até este ficar mole, e depois este passava para dentro da cavidade existente no molde para arrefecer.

Nos dias de hoje, as operações associadas ao processo de injeção são bastante mais complexas, pois todo o processo de injeção tem de ser

controlado, desde a máquina de injeção, o molde e a própria matéria-prima e operador/es com o objetivo de garantir que se produz um produto com a qualidade requerida pelo cliente.

2.4.3. O processo de moldação por injeção

O processo de moldação assenta em dois equipamentos essenciais: a máquina de injeção e o molde, embora possam existir outros equipamentos auxiliares como robô, tapetes transportadores, moinho, dispositivos de controlo da temperatura do molde, entre outros (The Society of the Plastics Industry, 1996).

- A máquina de injeção

A máquina utilizada no processo de injeção é designada por máquina de injeção ou injetora. Esta começou por ser uma máquina controlada manualmente. Atualmente são máquinas com um grau de complexidade considerável controladas por computador.

Uma máquina de injeção é constituída por três unidades: o sistema de fecho, o sistema de plasticização e o sistema de potência (figura 22).

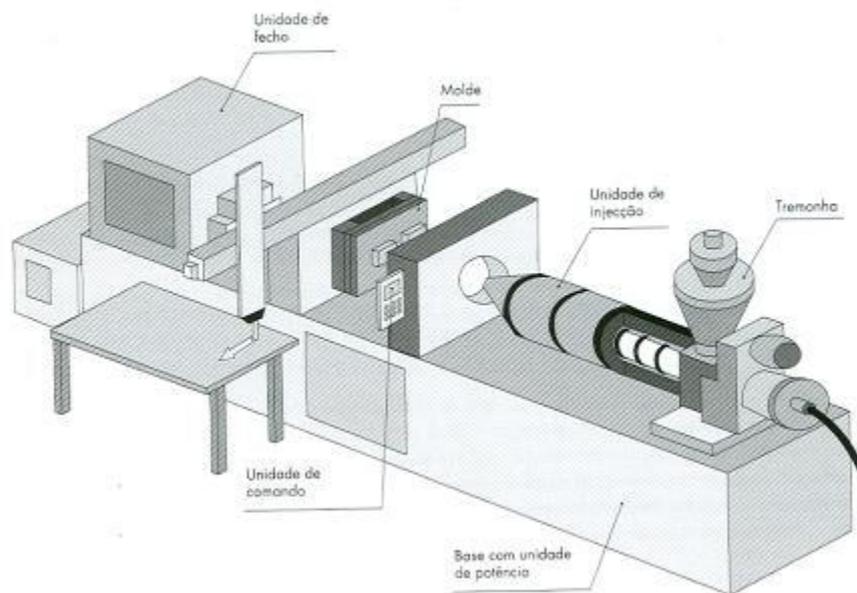


Figura 22 - Unidades funcionais da injetora (Fonte: (Fonte: (Eiras, 1999))

O sistema de fecho é constituído pelos pratos da máquina de injeção, pelo sistema de extração e ainda pelo sistema de fecho e abertura dos pratos.

Numa típica máquina de injeção existem dois pratos: o prato fixo e o móvel. O prato fixo está imóvel e localiza-se junto à unidade injeção e onde é fixada a metade fixa do molde. Por sua vez, o prato móvel é o prato que se move na injetora, sendo paralelo ao fixo. Neste prato é fixa a outra metade do molde, a metade móvel. Também ligado ao prato móvel encontra-se o sistema de fecho que é responsável por abrir e fechar o prato móvel e por manter a pressão durante todo o processo de injeção.

O sistema de plasticização é responsável por transportar a matéria-prima no estado sólido desde a tremonha até ao bico da máquina de injeção, sendo a matéria-prima fundida neste trajeto, e depois injetada para dentro da cavidade do molde. Este sistema é constituído por um cilindro revestido no exterior por um conjunto de resistências e no interior contém um fuso. Na extremidade oposta ao bico existe um recipiente para a matéria-prima no estado sólido, denominado por tremonha. Ainda faz parte do sistema de plasticização o mecanismo que faz rodar o fuso e o mecanismo que movimenta toda a unidade para a frente e para trás.

O sistema de potência é constituído por um motor elétrico que aciona uma bomba hidráulica que é responsável por fornecer a pressão necessária para os movimentos da injetora. Nas máquinas de injeção de grande tonelagem podem existir vários sistemas de motores elétricos e bombas hidráulicas. Existem também algumas injetoras que são totalmente elétricas, não existindo nenhum movimento hidráulico nestes casos, pois todos os movimentos são feitos através de motores elétricos desde a abertura e fecho do molde até à injeção.

Quanto ao funcionamento destas máquinas, uma injetora tanto pode funcionar em modo automático como em semi-automático. A diferença entre estes dois reside apenas na ordem de fechar o molde. No modo automático é feito de forma automática a seguir ao recuo da extração, enquanto no segundo modo é o próprio operador da máquina que dá essa ordem. Em termos de estabilidade do processo o mais favorável é que estas máquinas funcionem em modo automático para garantirem um tempo de ciclo constante de ciclo para ciclo.

- O Molde

O molde é um componente importante no processo de injeção, pois para além de dispendioso e complexo, tem a influência preponderante de afetar a qualidade do produto e por sua vez tornar o processo ineficiente. Por definição entende-se o molde como uma ferramenta que é utilizada para dar forma a matéria-prima injetada. É uma ferramenta capaz de produzir diversos produtos com diferentes formas geométricas.

O desempenho de um molde pode ser afetado por vários fatores, que podem estar relacionados com a sua fase de conceção e acabamento. Entre os fatores influentes pode-se destacar:

- Número de cavidades do molde;
- Ciclo de moldagem;
- Força de fecho do molde;
- Abertura do molde;
- Arrefecimento;
- Aquecimento;
- Contração do plástico.

A forma ou modo como o molde é projetado, manipulado ou conservado determina a sua eficiência (Rosato, 1993). Por outras palavras a função do molde é a distribuição e acomodação do material fundido, dando a forma dos seus contornos ao material quando arrefecido. É constituído por diversas placas de aço que no seu interior definem a cavidade com a forma da peça a injetar permitindo assim o seu arrefecimento e posterior extração.

De entre as diversas placas de aço que constituem o molde, pode-se destacar as seguintes (figura 23):

- Chapa de aperto de injeção (1);
- Chapa de cavidades (2);
- Chapa de buchas (3);
- Chapa de reforço das buchas (4);
- Calços (5,6);
- Chapa de extratores (7);

- Chapa de aperto de extratores (8);
- Chapa de aperto da extração (9).

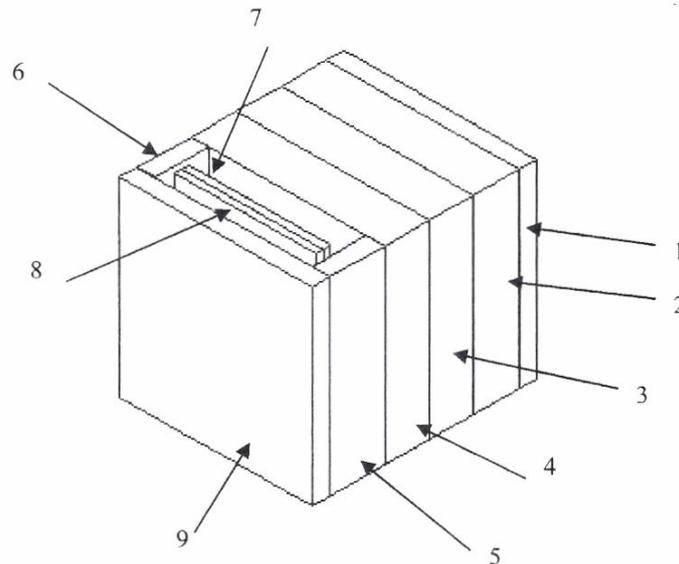


Figura 23 - Constituição do molde (Fonte: (Eiras, 1999))

As placas de aperto de injeção e de cavidades definem a parte fixa do molde que fica presa ao prato fixo da máquina de injeção. Na maior parte dos casos o sistema de extração fica na parte móvel do molde. Nos outros casos o sistema de extração fica localizado na parte fixa da máquina de injeção.

Esta ferramenta tem sido cada vez mais utilizada nas indústrias de moldação dos plásticos e como tal foram-se tornando peças de elevada precisão, necessitando assim de atividades de manutenção preventiva e uma correta utilização para diminuir o seu desgaste.

- O processo de injeção: ciclo produtivo

O tipo de matéria-prima utilizada no processo industrial de moldagem de plásticos apresenta-se sob a forma de granulado. Este é carregado na tremonha da máquina de injetar e alimentado para o interior do cilindro de plasticização onde é aquecido a fim de amolecer e homogeneizar. Proceder-se ao aquecimento do material que é garantido pelo calor transmitido através das paredes do cilindro e pelo calor gerado por efeito de dissipação viscosa, em resultado do esforço mecânico resultante da rotação do fuso. Após esta fase, o material é forçado pela rosca a fluir para o interior da cavidade de um molde

com o formato predefinido, para ser obtida a forma que o produto final ou peça irá ter. O processo conclui-se com a extração da moldação, que ocorre após o período de arrefecimento completo (Eiras, 1999).

O processo de moldação por injeção de termoplásticos obedece a um ciclo típico de transformação deste tipo de materiais, envolvendo, sequencialmente, as seguintes etapas: inicialmente o aquecimento do material até este adquirir uma viscosidade suficiente baixa; enformação sobre pressão; e arrefecimento com conseqüente recuperação de rigidez. Por outras palavras o processo de injeção é um processo cíclico em que as diferentes operações que definem o ciclo de moldação se repetem de forma contínua. Este ciclo é composto pelas seguintes operações (figura 24):

- Fecho do molde;
- Injeção;
- Pressurização,
- Arrefecimento;
- Abertura;
- Extração;
- Pausa ou tempo morto

O fecho do molde consiste em fechar o molde. Esta tarefa é executada segundo um perfil de velocidades e pressões (o molde não fecha sempre a uma velocidade constante). Nesta fase atua a proteção do molde, antes do molde estar completamente fechado a máquina deteta se existe alguma coisa encravada no molde, e que o possa danificar. Esta deteção é feita através da medição da pressão necessária para fechar o molde durante um determinado curso e um determinado tempo. Caso o limite de segurança seja atingido a máquina deixa de trabalhar.

A injeção consiste em deslocar o material fundido do cilindro da unidade de injeção para dentro da cavidade do molde e ocorre quando o bico da unidade de injeção encostar ao molde. Por outras palavras, o material é injetado devido ao movimento do fuso da unidade de injeção que se descola na direção do molde com uma velocidade e uma pressão que podem ser constantes ou que podem variar consoante o que tiver sido programado na máquina.

A pressurização consiste em manter a pressão durante um determinado período de tempo, isto porque para compensar o facto dos materiais plásticos apresentarem uma perda de volume sempre que arrefecem é necessário proceder à pressurização.

Na fase do arrefecimento o material plástico volta ao estado sólido, adquirindo a forma do molde para onde foi injetado. Durante esta fase, o material vai ganhando resistência, para que possa ser retirado do molde sem se deformar. Em simultâneo com o arrefecimento, e com o intuito de otimizar o tempo de ciclo deve ocorrer também a fusão do material plástico, isto é, enquanto decorre o arrefecimento o fuso começa a rodar e a transportar o material plástico da tremonha para o cilindro da máquina ao mesmo tempo que o vai fundindo.

A abertura do molde, e como o próprio nome indica, consiste em abrir o molde, para retirar a peça.

Finda a abertura do molde, procede-se à extração da peça, com auxílio dos extratores para retirar a peça do interior do molde. Na extração da peça, pode-se optar por recorrer a robôs para segurar a peça que é retirada, em vez de ser o operador da máquina.

O tempo morto é o tempo necessário para que a máquina esteja pronta para fechar o molde de novo. Este tempo pode ser quase nulo, ou demorar alguns segundos em função da necessidade de efetuar operações paralelas, como por exemplo, se a peça for retirada manualmente (Eiras, 1999).

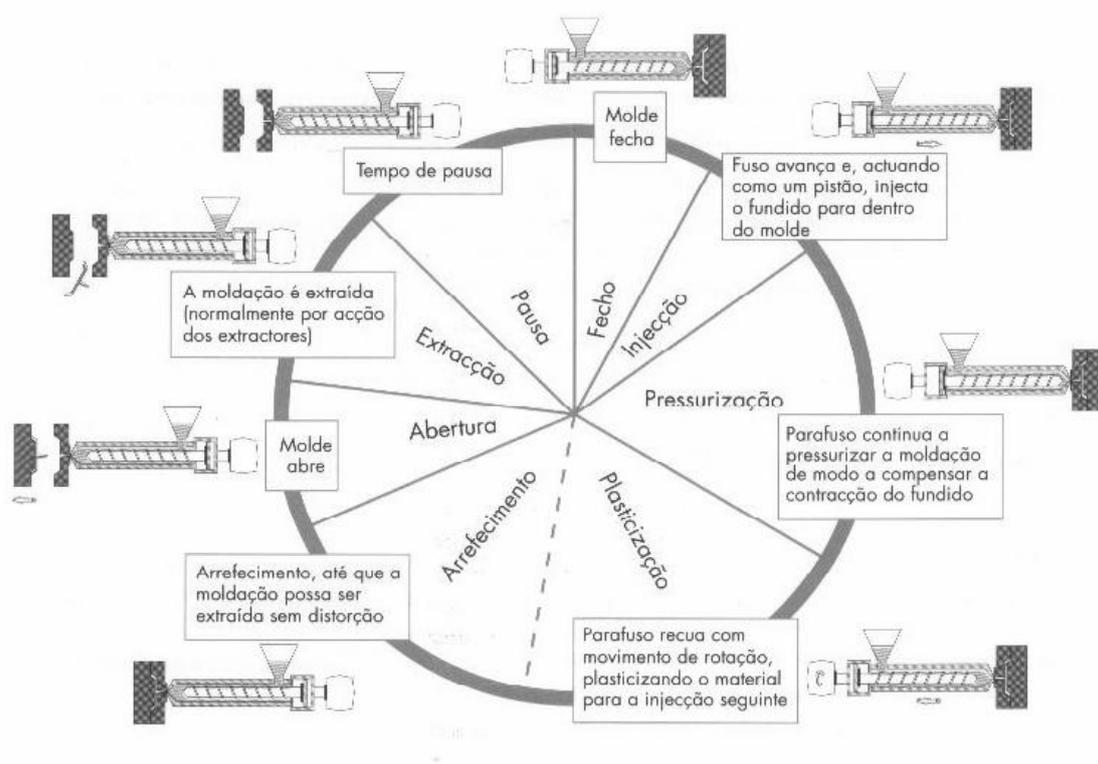


Figura 24 - Ciclo de moldação (Fonte: (Eiras, 1999))

- Controlo do processo de injeção

O processo de injeção de peças plásticas está dependente de um conjunto de fatores, como por exemplo, de possíveis imprevistos que possam afetar o processo e originar o aparecimento de problemas (defeitos).

O principal desafio do controlo do processo de moldagem por injeção é o comportamento não-linear e dinâmico dos materiais, e das interações entre a geometria do molde e os atributos para a qualidade do produto final (Greener & Wimberger-Friedl, 2006).

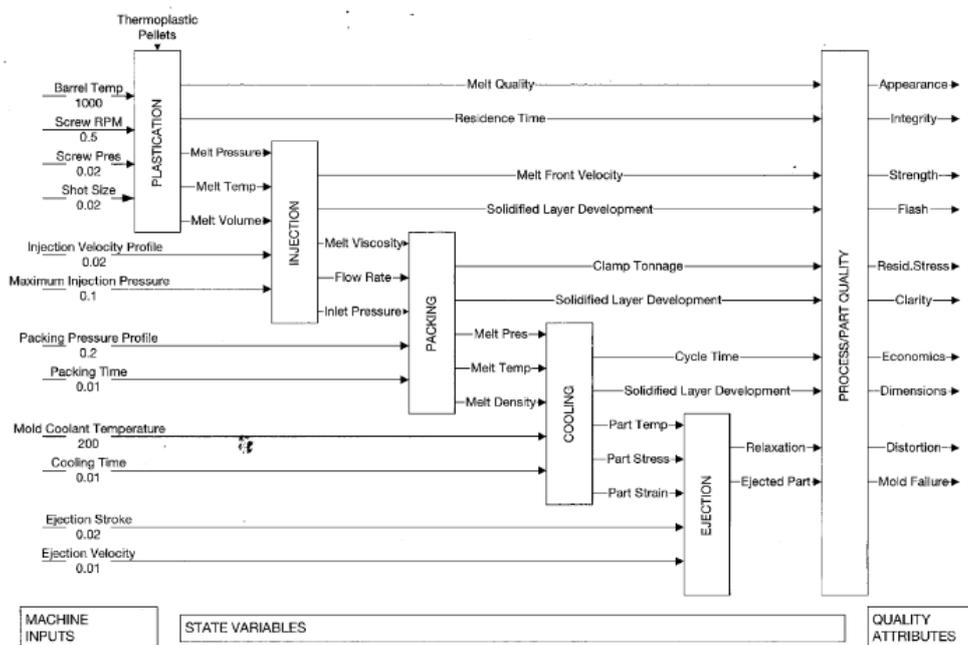


Figura 25 - Visão sistemática do processo de moldação por injeção (Fonte:(Greener & Wimberger-Friedl, 2006))

Os parâmetros da máquina são indicados no lado esquerdo da figura 25, e algumas características atributivas em termos de qualidade de peças moldadas são identificadas à direita. Nesta figura, o processo é decomposto em cinco fases distintas. A saída de cada fase não só determina diretamente as condições iniciais da próxima fase, mas também influencia algumas das qualidades finais da peça moldada.

Cada fase do processo de moldagem por injeção é complexa e garante uma discussão detalhada sobre o seu comportamento. A figura mostra os principais parâmetros em cada fase do processo que devem ser controlados.

Na moldagem por injeção de precisão, tal como em muitos outros processos de fabricação, a tendência pode ser sacrificar a eficiência de produção por causa da qualidade. No entanto, o uso repetido de uma tal abordagem pode não garantir, por si só, elevados níveis de qualidade, mas provavelmente irá garantir uma falta de competitividade. Como tal é necessário, o conhecimento dos fundamentos do controlo do processo e quais as variáveis a controlar para a garantia de um produto com qualidade, sem perder a eficiência do processo.

A Qualidade do processo de injeção está condicionada por dois fatores extremamente importantes: o projeto de moldes e as condições de processamento. Do ponto de vista da conceção dos moldes é essencial combinar as especificações técnicas do formato do molde que irão dar forma ao aspeto e forma ao produto final, assegurando, entre outros fatores, a conformidade funcional da peça. O comportamento que o material adota face às condições de injeção é uma reação que tem de ser estudada. Além das características inerentes ao tipo de material usado no processamento, o encolhimento ótimo deve ser usado para compensar o encolhimento das partes moldadas.

Contudo, e antes de uma decisão acerca de como resolver o problema ou defeito é necessário considerar os seguintes aspetos:

- Antes de mais, verificar se de facto existe mesmo o problema, se é real e se é frequente o problema ou defeito aparecer durante um curto período de tempo, até o processo ficar estável (por exemplo, arranques de produção);
 - Verificar se todos os parâmetros da máquina estão de acordo com o relatório de afinação;
 - Certificar-se que o sistema de arrefecimento está ligado e a funcionar corretamente;
 - Em caso de necessidade de alterar os parâmetros da máquina, alterar um de cada vez e registá-los para se poder voltar aos valores anteriores, em caso de necessidade;
 - Após a alteração dos parâmetros, deixar a máquina fazer alguns ciclos para verificar qual o/os efeito/os produzidos pela alteração dos parâmetros.
- Identificação das não conformidades do processo de injeção

Os principais tipos de defeitos no processo de injeção são: raiados, chupados, falta de material, excesso de material ou rebarbas, linhas de fecho ou soldadura, manchas ou pintas, marca de extratores, fios de injeção e empeno da peça (Eiras, 1999).

- Raiados – Sempre que a estabilidade térmica de um polímero é excedida, as cadeias moleculares deste começam lentamente a desintegrar-se. À medida que se vai adicionando mais calor, o polímero sofre uma degradação térmica, podendo provocar raiados (figura 26). Para além do material, a humidade da matéria-prima é outro fator a ter em consideração na análise dos raiados.



Figura 26 - Raiados (Fonte: (http://www.tudosobreplasticos.com/processo/solucoes_injecao.asp))

- Chupados – os chupados são depressões localizadas na superfície que ocorrem geralmente quando se injetam peças de elevado espessura (figura 27).



Figura 27 - Chupados (Fonte: (Eiras, 1999))

- Falta de material: este defeito é vulgarmente conhecido como “peça ratada” ou incompleta, em que as peças apresentam falta de material provocado por um mau preenchimento da cavidade do molde (figura 28).

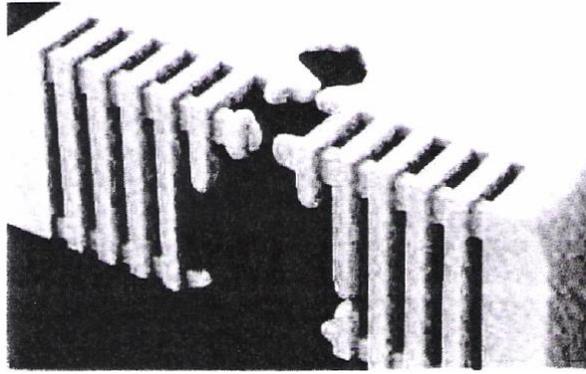


Figura 28 - Falta de material (Fonte: (Eiras, 1999))

- Excesso de material ou rebarbas: As rebarbas ou o excesso de matéria podem aparecer em toda a peça ou apenas em zonas localizadas (figura 29). Podem ser quase invisíveis ou ter alguns centímetros.

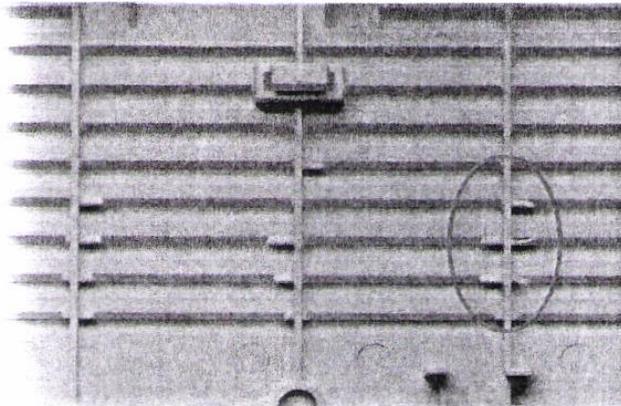


Figura 29 - Rebarbas (Fonte: (Eiras, 1999))

- Linhas de fecho

As linhas de fecho estão associadas a furos ou então a mais que um ponto de injeção. As duas frentes não se unem e não se misturam de forma perfeita e homogênea, pois a película externa do termoplástico, de temperatura ligeiramente inferior à do núcleo da massa plastificada, impede esta mistura. Estas linhas são visíveis na peça como se fossem fendas, afetando a sua aparência e enfraquecendo-a (figura 30).

Uma linha de fecho representa um ponto de fraqueza mecânico ou ótico, porque podem surgir alterações de cor da peça. Estas linhas podem ser mais visíveis em peças escuras ou transparentes com superfícies muito polidas ou levemente baças.

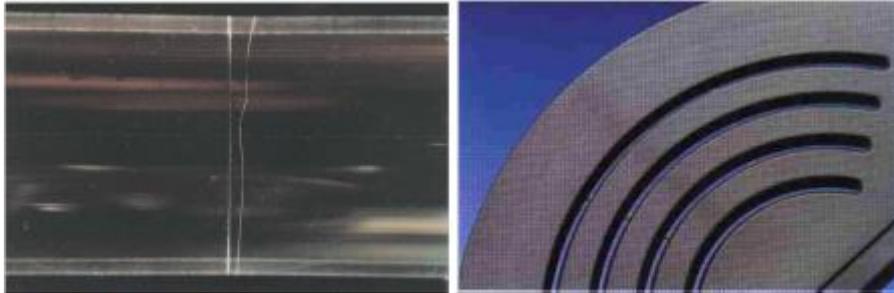


Figura 30 - Linhas de fecho (Fonte: (Eiras, 1999))

➤ Bolhas ou vazios

Este defeito surge quando a contração da matéria-prima não é devidamente compensada. As bolhas ou vazios geralmente aparecem nas zonas mais espessas da peça e caracterizam-se por aparecerem sob a forma de grandes bolhas (sem ar dentro) que diminuem quando se aumenta o tempo ou a segunda pressão (figura 31). Estas são facilmente detetáveis em peças transparentes ou translúcidas, mas nas restantes passam despercebidas podendo provocar falhas mecânicas das peças.



Figura 31 - Bolhas ou vazios (Fonte: (Eiras, 1999))

➤ Manchas ou pintas

As manchas, regra geral, são brancas, caracterizam-se por formarem zonas esbranquiçadas de forma circular ou oval podendo aparecer por toda a superfície da peça (figura 32). As pintas também podem aparecer em qualquer ponto da superfície, sendo que quando vistas sobre um certo ângulo brilham.

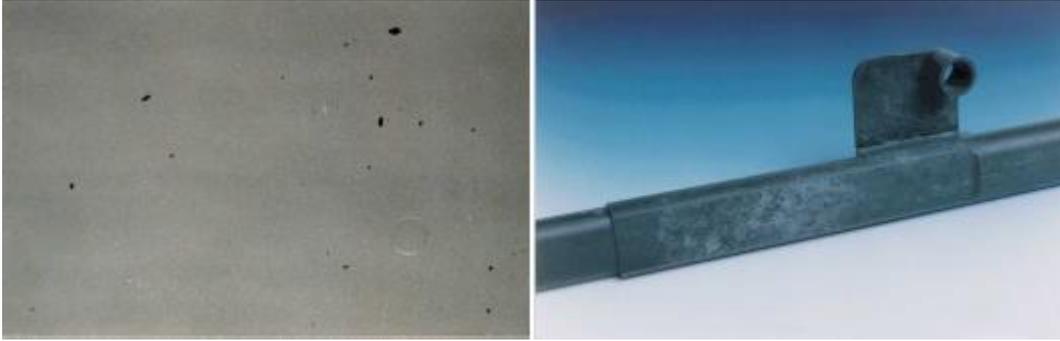


Figura 32 - Machas ou pintas (Fonte: (Eiras, 1999))

➤ Marcas de extratores

As marcas de extratores são depressões ou elevações no lado da extração na superfície da peça. Estas variações na espessura podem causar diferenças de brilho e depressões na superfície da peça (figura 33). Os extratores podem também provocar deformações na superfície da peça.



Figura 33 - Marca de extratores (Fonte: (Eiras, 1999))

➤ Fios de injeção

O fio de injeção surge na parte do gito que está em contacto com o bico da máquina de injeção. Quando a peça é injetada diretamente com um bico quente este fio fica pendurado na peça (figura 34). Se a peça for pintada posteriormente, este fio pode provocar defeitos na peça.

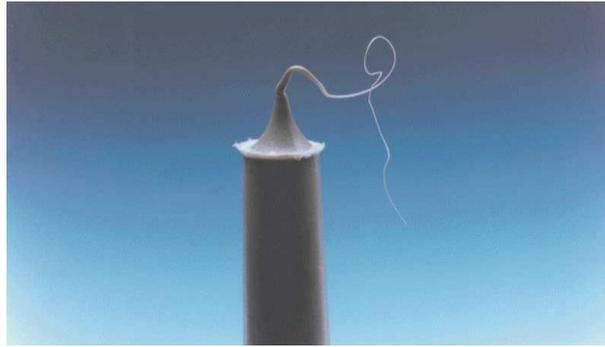


Figura 34 - Fio de injeção (Fonte: (Eiras, 1999))

➤ Empeno

O empeno é um tipo de não conformidade que interfere significativamente no dimensionamento das peças de injeção e, conseqüentemente, compromete a funcionalidade da sua aplicabilidade num sistema de montagem (figura 35).

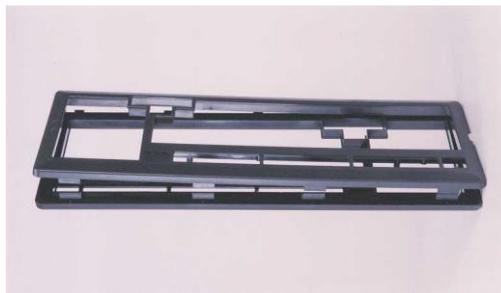


Figura 35 - Empeno (Fonte: (Eiras, 1999))

3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

A seleção deste projeto focou-se na análise das forças, necessidades e interesses pessoais. Este projeto foi estruturado com o auxílio de sessões de troca de ideias com o orientador deste projeto e com o apoio da empresa, nomeadamente da pessoa responsável pela Qualidade do edifício dos Plásticos.

Como já referido anteriormente, os objetivos desta dissertação passam pela definição de quais os tipos de defeitos mais frequentes para os produtos selecionados, analisar a causa desses defeitos e identificar possíveis ações de melhoria, melhoria do programa de Controlo Estatístico por atributos e análise do sistema de medição. Assim definiram-se como técnicas de investigação as ferramentas básicas da qualidade: diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa e os gráficos de controlo. ; e a análise ao sistema de medição.

O estudo de caso foi a metodologia de investigação selecionada para esta dissertação, uma vez que permite ao investigador assistir e reportar os fatores a estudar de uma forma mais ativa. A presença do investigador no sistema em estudo permite uma maior compreensão do mesmo, havendo uma recolha direta de informação.

3.1. O MÉTODO “ESTUDO DE CASO”

O estudo de caso trata de uma abordagem metodológica de investigação especialmente adequada quando se procura compreender, explorar ou descrever acontecimentos e contextos complexos, nos quais estão simultaneamente envolvidos diversos fatores.

O autor Yin (1994), define o estudo de caso com base nas características do fenómeno em estudo e com base num conjunto de características associadas ao processo de recolha de dados e às estratégias de análise dos mesmos.

Assim, um estudo de caso deve apresentar como características:

- Fenómeno observado no seu ambiente natural;
- Dados recolhidos utilizando diversos meios (observações diretas e indiretas, entrevistas, questionários, registos de áudio e vídeo, diários, cartas, entre outros);

- Uma ou mais entidades (pessoa, grupo, organização) são analisadas;
- A complexidade da unidade é estudada aprofundadamente;
- Pesquisa dirigida aos estágios de exploração, classificação e desenvolvimento de hipóteses do processo de construção do conhecimento;
- Não são utilizados formas experimentais de controlo ou manipulação;
- O investigador não precisa especificar antecipadamente o conjunto de variáveis dependentes e independentes;
- Os resultados dependem fortemente do poder de integração do investigador;
- Podem ser feitas mudanças na seleção do caso ou dos métodos de recolha de dados à medida que o investigador desenvolve novas hipóteses.

3.2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Segundo Saunders et al (2007), a pesquisa bibliográfica é um processo demorado, que implica uma análise de diversas fontes de informação, e do seu conteúdo. Um bom planeamento da pesquisa bibliográfica é essencial para o sucesso e eficiência do projeto de investigação.

Para desenvolver um conhecimento aprofundado sobre o tema em investigação, o processo de recolha de informação para a revisão bibliográfica foi baseado na recolha de dados de referências secundárias (livros e revistas científicas) e primárias (relatórios e teses). Tendo sido claramente as fontes secundárias as mais utilizadas.

Relativamente às fontes de pesquisa, os recursos mais utilizados foram portais de pesquisa e motores de busca online devido à facilidade de acesso e ao alcance dos mesmos, nomeadamente:

- Science Direct;
- Isi Web of Knowledge;
- B-on;
- Google.

Os termos ou palavras-chave para a pesquisa foram definidos tendo em consideração a importância que o procedimento tem na eficácia da pesquisa. Os termos utilizados foram “Quality tools”; “Statistical process control”; Measurement Systems Analysis.

4. EMPRESA: A DELPHI AUTOMOTIVE SYSTEMS

Neste capítulo será apresentada a empresa onde se desenvolveu a presente dissertação, abordando tópicos como o surgimento da empresa, principais clientes e ainda o espaço fabril e os seus processos produtivos.

4.1. BREVE APRESENTAÇÃO

A Delphi Automotive Systems – Portugal S.A pertence ao grupo Delphi, sediado nos Estados Unidos da América, na Cidade de Troy. O grupo está presente em 32 países diferentes, empregando, aproximadamente, 107,5 mil colaboradores.

Na Europa, o grupo Delphi está representado em 33 cidades, sendo a Delphi Automotive Systems- Portugal SA, sediada em Braga, uma dessas empresas. A Delphi Braga começou por ser Grundig, sendo que em 2003 adquiriu parte das instalações da Grundig.

A história da Grundig, na altura designada por “*Radio Vertrieb Fürth*”, iniciou-se após o final da Segunda Guerra Mundial, quando o fundador, Max Grundig, juntamente com outros colaboradores, montava transformadores para recetores de rádio. A empresa alcançou subitamente reputação com o desenvolvimento do legendário recetor de rádio com grande sucesso no mercado “*Heinzelmann*”. Decorridos 10 anos, a Grundig torna-se o maior fabricante de rádios na Europa, com mais de 10 000 colaboradores e um milhão de aparelhos vendidos. Ao longo dos anos, a Grundig passa a ser umas das empresas líderes no mercado eletrónico.

Entre 1990 e 1991 observou-se uma explosão no mercado da procura tendo sido este contrariado no ano 1996, ano em que a Grundig registou o pior resultado de sempre.

Em Novembro de 2003 a multinacional Americana Delphi Corporation adquiriu a Grundig Car Intermedia System, unidade de negócios à qual pertence a fábrica de Braga, incluindo os direitos de utilização da marca Grundig nos produtos da indústria automóvel. A partir dessa data, o nome da marca tem sido usado pela Delphi Product & Service Solutions para os produtos de

aftermarket, tais como rádios, sistemas de entretenimento do assento traseiro e sistemas de GPS.

Em de 2006, a Grundig Sistemas de Electrónica S.A. mudou a sua designação comercial para Delphi Automotive Systems-Portugal, S.A. – Fábrica de Braga.

A Delphi Automotive Systems Portugal é uma fábrica especializada no fabrico de peças plásticas (moldação e acabamento), placas eletrónicas, montagem final de auto rádios, sistemas de navegação e produtos de telemática para o ramo automóvel. Segundo a Classificação Portuguesa de Atividades Económicas (CAE – Revisão 3), enquadra-se na secção 29310 – Fabricação de equipamento eletrónico para veículos automóveis.

4.2. PRODUÇÃO: PRINCIPAIS CLIENTES E VOLUME DE PRODUÇÃO

Principais clientes e distribuição de receitas por cliente

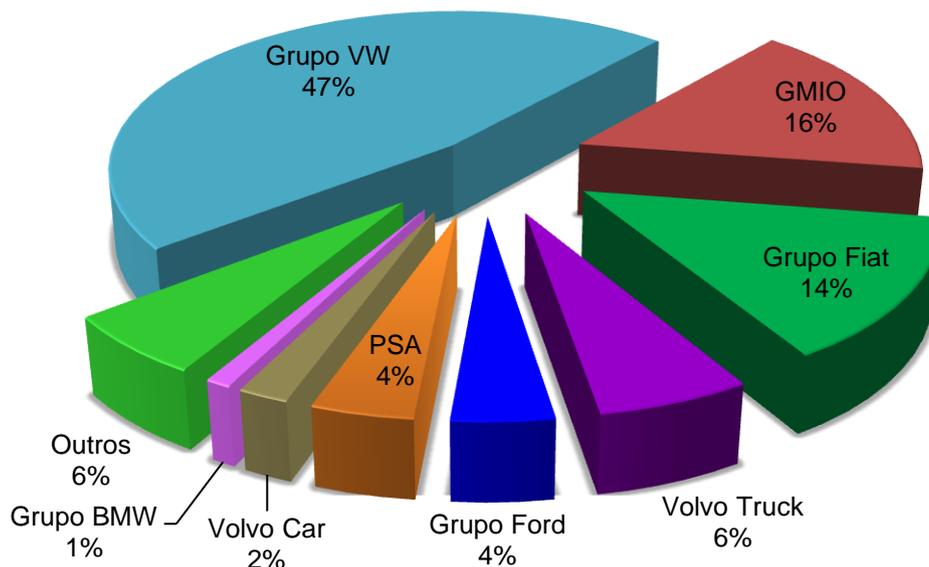


Gráfico 1 - Principais clientes e distribuição de receitas por cliente

No gráfico 1 é possível observar os principais clientes da Delphi de Braga, em 2013, relativamente às respetivas receitas, sendo o grupo VW o cliente que mais impacto teve relativamente ao volume de receitas, com cerca de 47% das mesmas.

A Delphi de Braga produz mais de 1,4 milhões de autos rádios e 3,2 milhões de antenas por ano e é detentora da certificação ISO/TS 16949 (certificação de Sistemas de Gestão da Qualidade para a indústria automóvel) e ISO 14001 (certificação de Sistemas de Gestão Ambiental), obtidas em 2001.

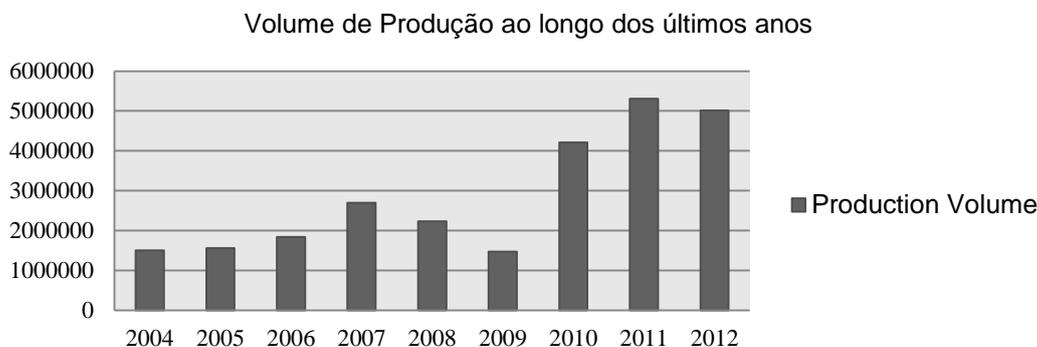


Gráfico 2 - Volume de Produção ao longo dos últimos anos

Através da análise do gráfico 2, observa-se que no ano de 2010 e 2011 registou-se um aumento acentuado do número de encomendas, devido ao facto de se ter iniciado a produção de antenas, o que originou um acréscimo significativo do volume de produção relativamente aos anos anteriores. No ano de 2012 verificou-se uma diminuição ligeira do número de encomendas.

4.3. O ESPAÇO FABRIL E O PROCESSO PRODUTIVO

A empresa possui uma área total de, aproximadamente, 17 mil metros quadrados, estando dividida em 4 edifícios (figura 36), sendo cerca de 10 mil metros quadrados são respetivos a áreas de produção. As áreas de produção estão divididas em dois edifícios, uma no edifício 1, onde são produzidos os componentes elétricos, e outra no edifício 2, onde são produzidas peças plásticas, o departamento dos plásticos.

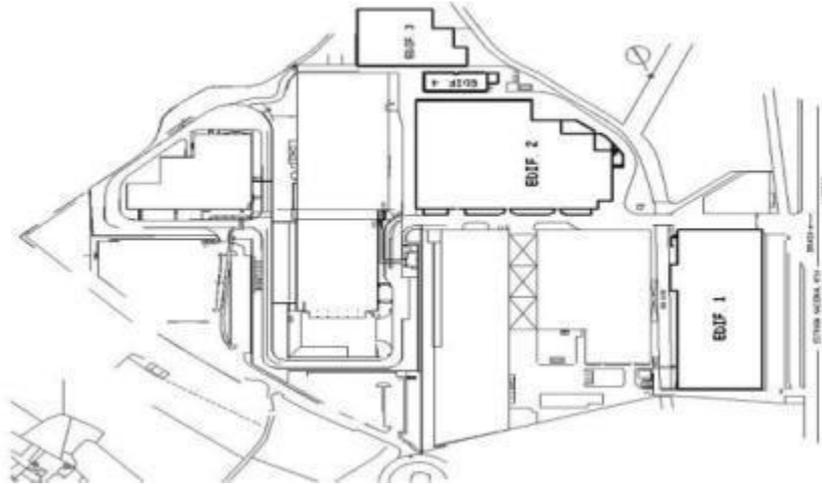


Figura 36 - Espaço fabril da Delphi Braga

- Processo Produtivo

O processo produtivo da Delphi Automotive Systems - Portugal, S.A. – Fábrica de Braga é assegurado por dois edifícios, o Edifício 1 e o Edifício 2.

De um modo geral pode-se dizer que o processo produtivo se inicia no Edifício 2, enviando depois os seus produtos para o Edifício 1.

O Edifício 2 ou Edifício dos Plásticos é responsável pela produção da parte plástica dos produtos. Neste Edifício existem 3 áreas de produção que asseguram assim a produção dos produtos que serão enviados para o Edifício 1, sendo elas: Injeção, Pintura e a Montagem Final (figura 37).

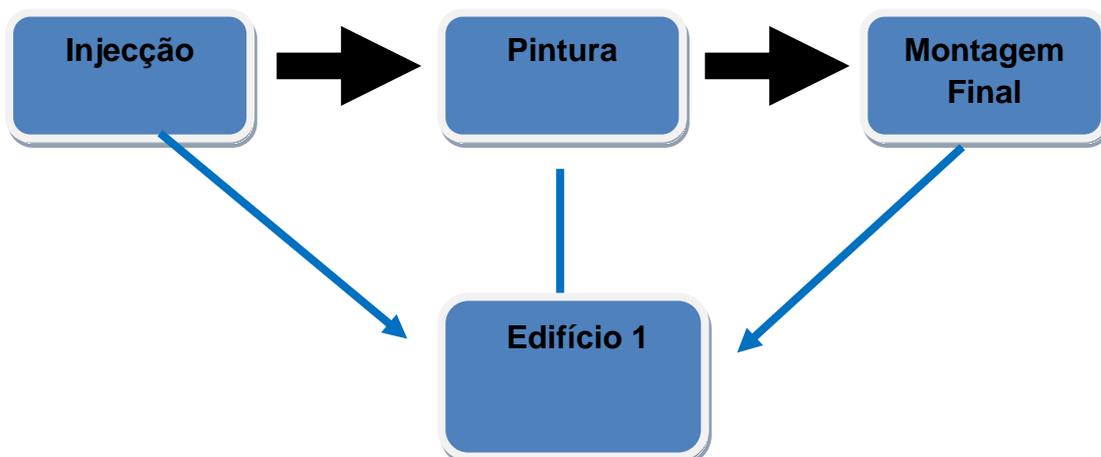


Figura 37 - Fluxograma produtivo do Edifício 2

O Edifício 1 é responsável pela parte eletrónica dos equipamentos, nomeadamente dos auto rádios, antenas, displays e sistemas de receção. Este está dividido em 3 fases principais: Inserção Automática de Componentes (Montagem Automática), que inclui a aplicação de pasta de solda e cola, a Montagem Manual, que inclui processos de soldadura e a Montagem Final, que inclui teste, controlo e embalagem.

- Análise do Processo produtivo do Edifício 2

Este edifício é a área produtiva da Delphi – Fábrica de Braga mais recente, com aproximadamente 4 anos de existência.

O processo produtivo do Edifício dos Plásticos, tal como referido acima está dividido em três etapas produtivas, representadas esquematicamente na Figura 38:

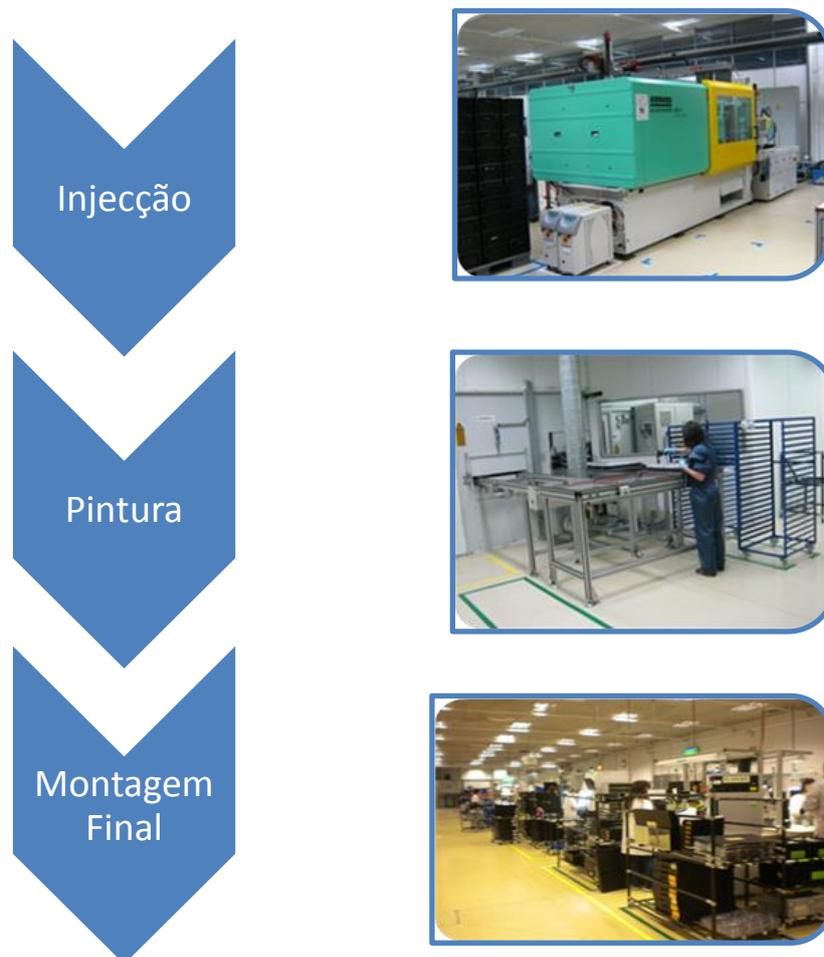


Figura 38 - Processos do edifício 2

- A. Injeção:** a injeção é o primeiro processo produtivo. Este processo dispõe de onze máquinas de injeção normal e duas máquinas de bi-injeção em que são injetados dois materiais em simultâneo. Neste processo faz-se a injeção de teclas, botões e trimplates (figura 40).
- B. Pintura:** de seguida, as peças injetadas como as teclas, botões e blendas passam para o processo de pintura, onde passam por uma fase de preparação para pintura (carregamento), onde todas as peças são analisadas por operadores, depois vão para as máquinas de pintura automática e posteriormente para a secagem em fornos. Este processo dispõe de duas máquinas de pintura automática e estufas onde as peças sofrem um processo de cura depois da pintura. Após a secagem, as peças pintadas vão para a inspeção de pintura, onde são analisadas.
- C. Montagem Final:** por fim, as peças chegam à montagem final. A montagem final é o local onde se faz a montagem das peças provenientes da injeção e da pintura, podendo, em alguns casos, as peças apenas sofrer um processo intermédio, como é o caso das lentes que apenas sofrem a operação de laser, inspeção final e embalagem. Na montagem final existem 6 tipos operações diferentes, sendo elas:
- Tampografia (pad-print);
 - Montagem;
 - Cravação a quente;
 - Laser;
 - Inspeção final;
 - Embalagem;

Contudo, existem produtos que apenas são injetados, produtos que são injetados e pintados e ainda produtos que são injetados, pintados e montados.

Para além destes processos, este edifício conta ainda com três áreas de suporte, a Serralharia, a Qualidade e uma Equipa de Manutenção (figura 39). A Serralharia mais ligada ao processo de injeção, nomeadamente na preparação e recuperação dos moldes utilizados nas máquinas de injeção. A equipa de manutenção tem como funções: a manutenção preventiva e corretiva de todos os equipamentos do edifício dos Plásticos. A Qualidade dá suporte aos 3 processos produtivos. A Qualidade tem como funções: a monitorização de

indicadores; o controlo de processo tanto da Injeção, como da Pintura e da Montagem Final; o controlo estatístico de peças injetadas; a realização de auditorias internas; trabalhar na melhoria contínua e ainda reparação de retrabalho de peças que são consideradas não conforme ou suspeitas de defeito.

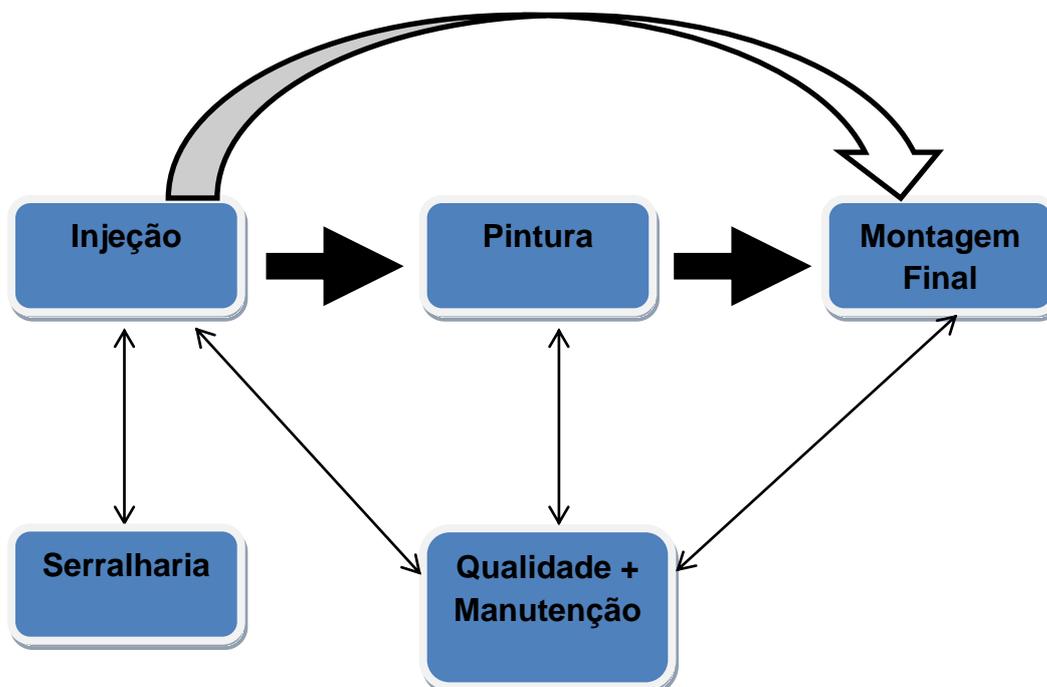


Figura 39 - Interação entre os processos do edifício 2

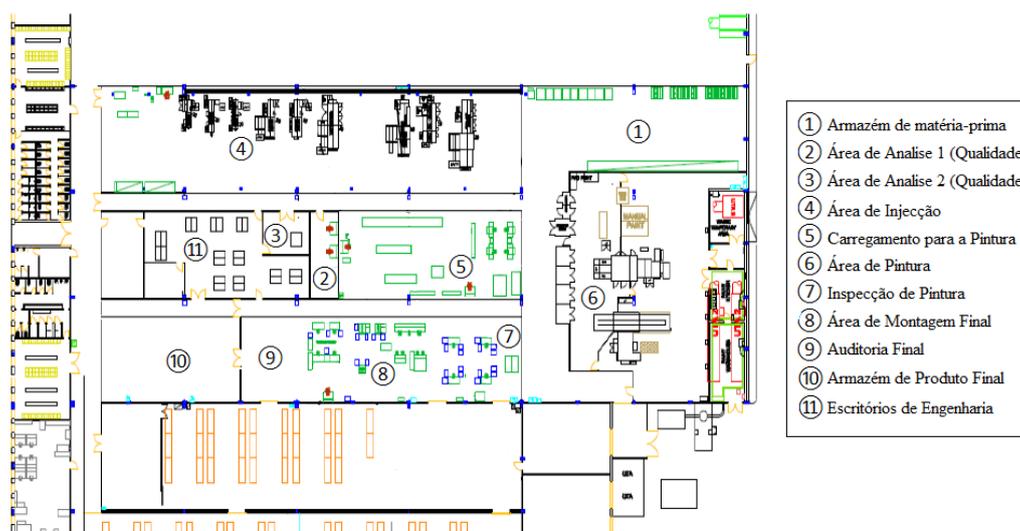


Figura 40 - Espaço fabril do edifício 2

5. ESTUDO DE CASO: MELHORIA DO PROGRAMA DE CONTROLO ESTATÍSTICO DE UM PROCESSO DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS

Ao longo deste capítulo será apresentado o estudo de caso desenvolvido nesta dissertação.

5.1. PRODUTOS EM ESTUDO

Os produtos utilizados neste estudo foram dois, denominados por produto A e produto B. Numa fase inicial apenas tinha sido seleccionado o produto A. No decorrer do projeto surgiu necessidade de incluir outro produto por receio de o produto seleccionado inicialmente não apresentar recursos suficientes para uma produção regular.

Os critérios de escolha dos produtos para este estudo prenderam-se com critérios relacionados com o volume e produção. Assim, os motivos que levaram à escolha destes dois produtos devem-se ao facto de serem aqueles que apresentam uma produção aproximadamente diária, e ambos pertencem ao mesmo cliente final. O Produto A é uns dos produtos mais caros e outro por seu lado o Produto B por ser mais simples é consecutivamente um dos mais baratos.

- Produto A

O Produto A é uma caixa (figura 41), onde será colocado o auto rádio. Este produto é constituído por uma rede e uma parte plástica. A rede é fornecida por um fornecedor externo.

Este produto é sempre produzido na mesma máquina. Para produzir este produto são utilizados os seguintes recursos:

- Uma máquina de injeção;
- Um molde;
- Um contentor de matéria-prima;
- Matéria-prima;
- Malhas de rede;
- Uma estufa;

- Uma mesa de pré-formação;
- E um robot.

O processo inicia-se com a colocação da matéria-prima em forma de granulado num contentor, que esta ligado a uma estufa. Esta matéria-prima do contentor passa para a estufa, onde tem um tempo de estufagem de 4 horas. Após este período de tempo, as caixas das malhas de rede são colocadas numa gaveta (com um cartão de proteção) na parte externa onde trabalha o robot, estas malhas de rede são agarradas pelo robot, depois por movimento de sucção o cartão é separado das malhas de rede e colocado noutra gaveta. As malhas de rede seguem para uma mesa de pré-formação, com o objetivo de centrar as malhas de rede para evitar situações de rede descentrada. Posteriormente o robot transporta as redes para o interior do molde, para assim se proceder à injeção da parte plástica do produto. A matéria-prima é transportada ainda no estado sólido para a tremonha, e depois da tremonha até ao bico da injetora (onde já está fundida). O ciclo de injeção tem uma duração de aproximadamente 60 segundos. O produto é extraído do interior do molde, com o auxílio do robot e transportado para um tapete, onde depois é recolhido por um operador e embalado em caixas próprias. Depois de embalado, este produto segue diretamente o edifício 1 (não passa pela pintura, nem pela montagem final) onde será aglomerada a parte eletrónica do auto rádio e posteriormente para o cliente final.

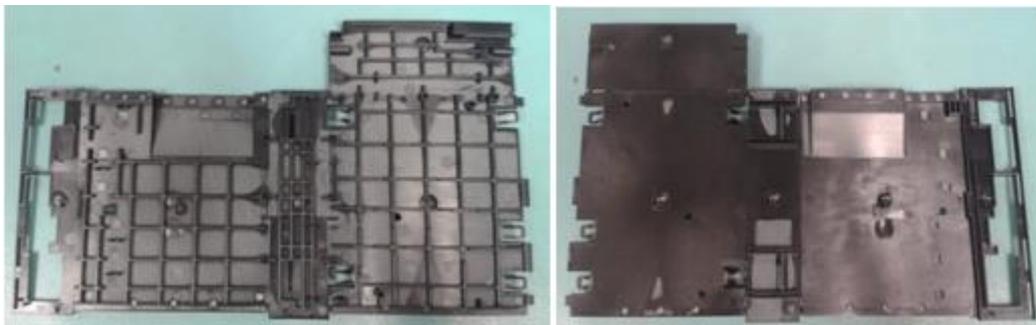


Figura 41 - Produto A

- Produto B

O produto B é um botão (figura 42). Este produto é só constituído por matéria plástica, e é produzido sempre na mesma máquina.

Os recursos utilizados para produzir este produto são:

- Uma máquina de injeção;
- Um molde;
- Um contentor de matéria-prima;
- Matéria-prima;
- Uma estufa;
- E um robot.

O processo produtivo inicia-se com a colocação de matéria-prima na forma de granulado num contentor, onde este está ligado a uma estufa para onde é transportada a matéria-prima para uma estufagem de aproximadamente 4 horas. Após esta fase, a matéria-prima é transportada ainda no estado sólido para a tremonha, e depois da tremonha até ao bico da injetora (onde já esta fundida). O ciclo de injeção tem uma duração de aproximadamente 50 segundos. Depois de injetada, a peça é extraída do molde e com recurso ao robot é transportada para um tapete, onde é recolhida por um operador, posteriormente as peças são embaladas e seguem para o *stock* do processo de injeção, para depois ir para o processo seguinte (pintura).



Figura 42 - Produto B

5.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROCESSO DE INJEÇÃO

A moldagem por injeção é classificada como um dos processos de fabricação mais flexíveis e económicos com elevado volume de peças plásticas moldadas. As causas de variações nestes processos estão relacionadas com o grande número de fatores que atuam durante uma produção regular, o que provoca um impacto diretamente na qualidade dos produtos finais (Alvarado-Iniesta, Valles-Rosales, García-Alcaraz, & Maldonado-Macias, 2012).

Assim neste subcapítulo pretende-se fazer uma caracterização geral do processo de injeção e do programa de controlo estatístico aplicado a este mesmo processo.

- Recursos e Processo Produtivo

O processo de injeção onde se aplica este estudo conta com um total de 13 máquinas de injeção, sendo que duas delas são de bi-injeção, ou seja, tem a capacidade de injetar dois tipos de plásticos diferentes (figura 43). A Moldagem por injeção é amplamente utilizada para a fabricação de uma variedade de peças, desde o menor componente para o auto rádio (por exemplo, botões) até ao painel do auto rádio, conhecido também por blenda (em inglês, *Trimplate*).



Figura 43 - Lay-Out do processo de injeção

Na área de injeção, antes de iniciar a produção é necessário que o afinador verifique a ordem de produção, nomeadamente a referência e quantidade de peças a produzir (figura 44).



Figura 44 - Ordem de produção

O processo da moldagem de peças plásticas é identificado pelo fluxograma de fabricação apresentado na figura 45:

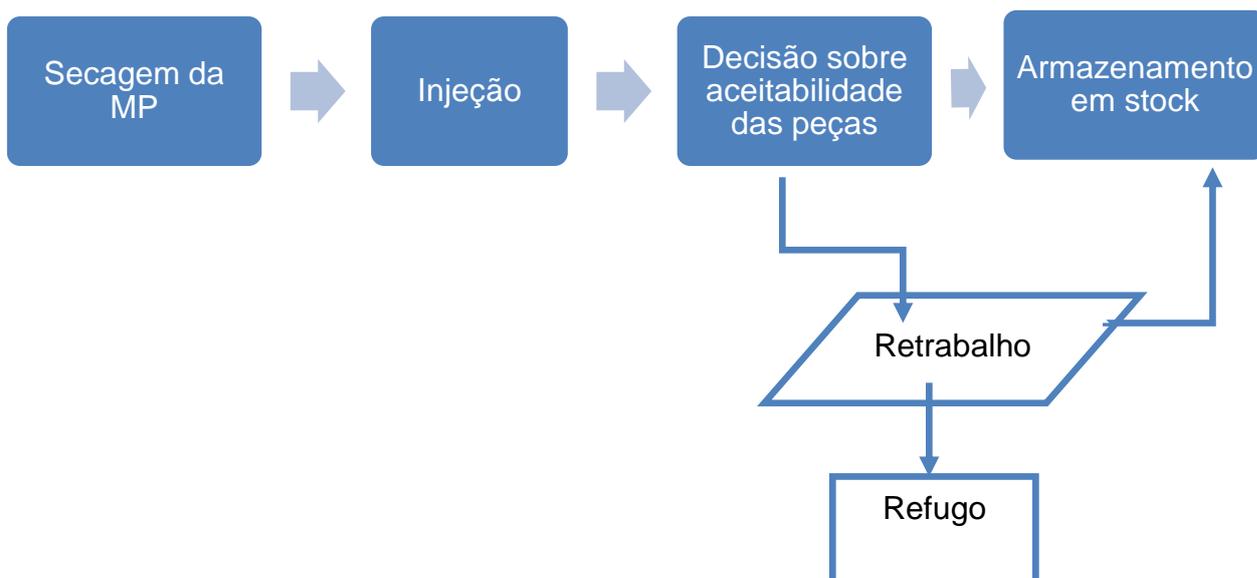


Figura 45 - Fluxograma do processo de injeção

O processo produtivo começa com a introdução da matéria-prima num contentor de alimentação (que deve estar sempre tapado para evitar a entrada de resíduos) e seguidamente passa por um processo de secagem, num desumidificador.

Seguidamente, a moldagem por injeção é um processo cíclico de transformação de termoplásticos e abrange as seguintes etapas:

- Aquecimento e fusão da matéria-prima;

- Homogeneização do material fundido;
- Injeção da matéria no interior do molde;
- Resfriamento e solidificação do material no molde;
- Extração da peça moldada.

As peças injetadas são retiradas do tapete da máquina e posteriormente são inspecionadas a 100% pelo operador e colocadas em caixas.

O processo de aceitabilidade das peças consiste na decisão sobre a aceitação ou rejeição de peças injetadas baseando-se numa inspeção visual. Neste processo verifica-se a conformidade dos produtos, isto é, a validação das peças na ausência de qualquer tipo de defeito. O método de controlo passa por colocação de carimbo de Qualidade (Figura 46), na ordem de produção, colocada nas caixas. Se aparecer algum defeito nas peças, o plano de reação consiste em segregar o material, colocar cartão amarelo nas caixas suspeitas, chamar o supervisor da operação e deslocar o material para retenção.



Figura 46 - Ordem de produção com carimbo de Qualidade

No processo de retrabalho, as peças suspeitas são inspecionadas a 100% fora da linha (na área da Qualidade). São analisadas e é estudado o tipo de retrabalho necessário. Caso não exista possibilidade de algum retrabalho, as peças são consideradas defeituosas sem recuperação possível, e vão para refugo.

- Controlo Estatístico do Processo de Injeção

Em termos de Controlo Estatístico no Processo de injeção, estão previstas 4 recolhas para análise em termos de atributos. Uma sempre que é feito um início de série, outra no fim de série, e outras duas denominadas por ronda de SPC (*Statistical process Control*) entre as 06:00h e as 07:00h e entre as 18:00h e as 19:00h. É recolhida uma peça em cada recolha para análise em termos de atributos. No que diz respeito à análise estatística não é adotado qualquer gráfico de controlo, apenas é registado zero quando não é encontrado nenhum defeito e um quando é encontrado defeito, independentemente do número de defeitos. Sempre que uma máquina está parada por um período superior a 90 minutos, quando esta volta a funcionar é feito novamente um início de série.

5.3. ANÁLISE DE PARETO

A análise de Pareto apresentada teve como objetivo determinar os defeitos mais frequentes nos dois produtos selecionados.

Esta análise teve com base o histórico de 2014, mais concretamente os meses de Abril, Maio, Junho para o produto A, para o produto B o mês de Junho e as primeiras 3 semanas do mês de Julho, pelos motivos já referidos. Foi efetuado um diagrama por mês com base numa inspeção total de todos os produtos produzidos durante os meses em estudo.

5.3.1. Análise de Pareto ao produto A

Na tabela 2 encontram-se registados os tipos de defeitos encontrados no mês de Abril, e a quantidade de cada defeito.

- Abril

Tabela 2 - Defeitos mês de Abril

Tipo de defeito	Quantidade de defeitos	Frequência cumulativa	% De defeitos	% De frequência cumulativa
Limalhas	114	114	65,14%	65,14%

Tipo de defeito	Quantidade de defeitos	Frequência cumulativa	% De defeitos	% De frequência cumulativa
Malha partida	24	138	13,71%	78,86%
Malha descentrada	22	160	12,57%	91,43%
Pino partido	8	168	4,57%	96,00%
Cartão na patilha	3	171	1,71%	97,71%
Excesso de matéria-prima	3	174	1,71%	99,43%
Falta de matéria - prima	1	175	0,57%	100,00%

Com os dados da tabela 2 foi construído o seguinte diagrama de Pareto:

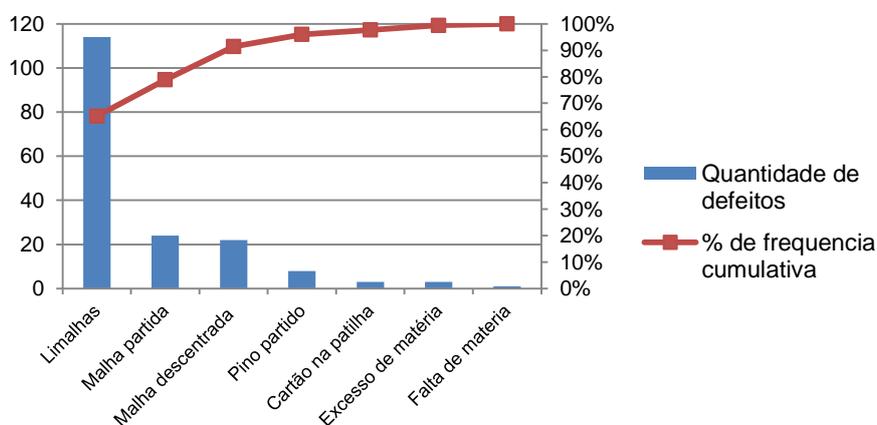


Gráfico 3 - Diagrama de Pareto do mês de Abril

Assim, e de acordo com o gráfico 3, pode-se concluir que no mês de Abril, o defeito mais frequente foram as limalhas, representado aproximadamente 65 % dos defeitos encontrados, existindo, assim, uma clara prevalência sobre os outros defeitos.

- Maio

Na tabela 3 pode-se observar todos os defeitos encontrados durante o mês de Maio, e a quantidade correspondente.

Tabela 3 - Defeitos mês de Maio

Tipo de defeito	Quantidade de defeitos	Frequência cumulativa	% de defeitos	% De frequência cumulativa
Limalhas	82	82	67,77%	67,77%
Malha partida	20	102	16,53%	84,30%
Malha descentrada	12	114	9,92%	94,21%
Pino partido	4	118	3,31%	97,52%
Cartão na patilha	2	120	1,65%	99,17%
Excesso de matéria	1	121	0,83%	100,00%

Com base nos dados recolhidos durante o mês de Maio, foi construído o gráfico 4.

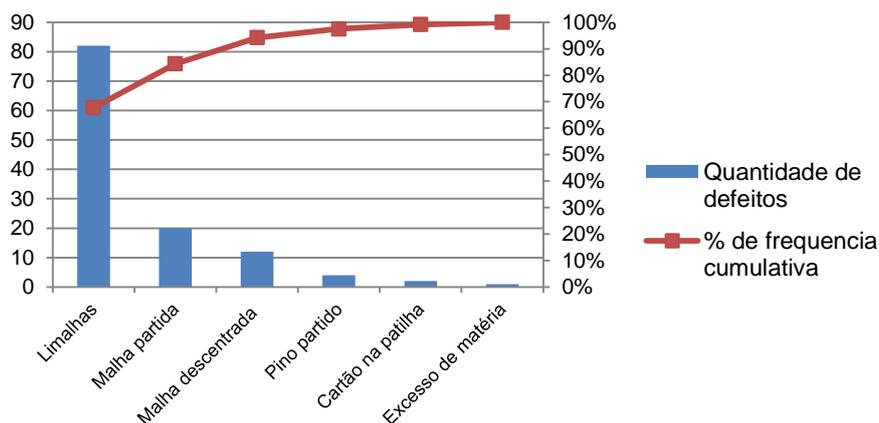


Gráfico 4 - Diagrama de Pareto do mês de Maio

Com base neste diagrama de Pareto pode-se observar que o defeito mais frequente durante o mês de Maio voltou a ser as limalhas, à semelhança do mês de Abril, representando cerca de 68% dos defeitos encontrados.

- Junho

Os dados relativos ao mês de Junho encontram-se na tabela 4.

Tabela 4 - Defeitos mês de Junho

Tipo de defeito	Quantidade de defeitos	Frequência cumulativa	% De defeitos	% De frequência cumulativa
Limalhas	48	48	75,00%	75,00%
Pino partido	9	57	14,06%	89,06%
Malha descentrada	6	63	9,38%	98,44%
Peça com sujidade	1	64	1,56%	100,00%

Com base na tabela 4 foi construído o diagrama de Pareto abaixo para o mês Junho.

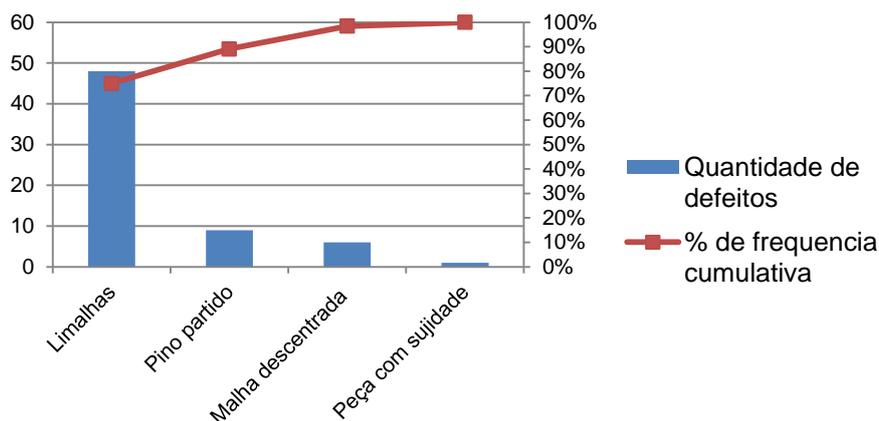


Gráfico 5 - Diagrama de Pareto do mês de Junho

De acordo com o gráfico 5, as limalhas voltaram a ser o defeito mais frequente. Representando cerca de 75% dos defeitos encontrados, tal como nos meses anteriores em análise.

- Análise crítica do apuramento dos defeitos críticos do produto A

Após a análise dos defeitos identificados ao longo dos meses de Abril, Maio e Junho, pode-se identificar como defeitos: limalhas, pinos partidos, malha descentrada, malha partida, cartão na patilha, excesso de matéria-prima, falta de matéria-prima, cartão na patilha e peça com sujidade.

O defeito mais crítico foram as limalhas, sendo o defeito que claramente mais se destacou dos outros, apresentando aos longos dos 3 meses uma percentagem de defeitos encontrados superior a 65%.

Este defeito foge claramente aos defeitos típicos que se pode encontrar num processo de injeção, descritos na Revisão bibliográfica. Tal situação é justificada pela peculiaridade do produto em questão. As limalhas são pequenos resíduos de malha de rede que aparecem no produto. Acresce criticidade a este defeito o facto que se estas limalhas se desprenderem podem provocar um curto-circuito.

5.3.2. Análise de Pareto ao produto B

Para a análise de Pareto deste produto apenas se começou a efetuar estudo de defeitos críticos a partir do mês de Junho, terminando na terceira semana de Julho.

- Junho

Na tabela 5 pode-se verificar todos os defeitos encontrados ao longo do mês de Junho.

Tabela 5- Defeitos mês de Junho

Tipo de defeito	Quantidade de defeitos	Frequência cumulativa	% De defeitos	% De frequência cumulativa
Manchas brancas	1894	1894	96,63%	96,63%
Pontos negros	66	1960	3,37%	100,00%

Com base nos dados recolhidos durante o mês de Junho e que se encontram na tabela 5, resultou o diagrama de Pareto apresentado abaixo.

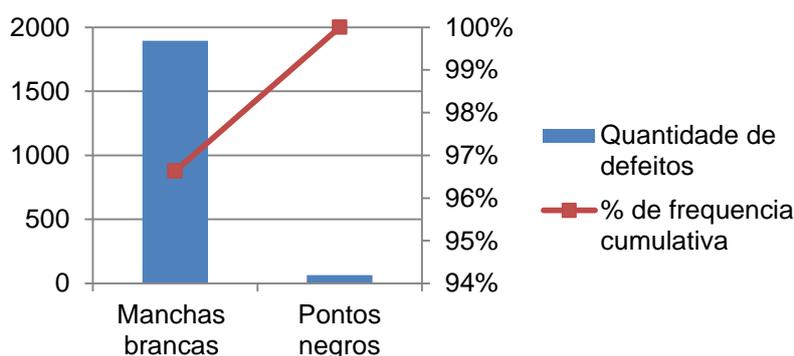


Gráfico 6 - Diagrama de Pareto do mês de Junho

Do gráfico 6 pode-se concluir que o defeito mais frequente são manchas brancas, representado cerca de 97% dos defeitos encontrados na produção do mês de Junho.

- Julho

Na tabela 6 pode-se observar os defeitos encontrados durante o mês de Julho.

Tabela 6 - Defeitos mês de Julho

Tipo de defeito	Quantidade de defeitos	Frequência cumulativa	% De defeitos	% De frequência cumulativa
Manchas brancas	775	775	99,87%	99,87%
Bolhas	1	776	0,13%	100,00%

Com base nos dados que constam na tabela acima, foi construído o gráfico 7.

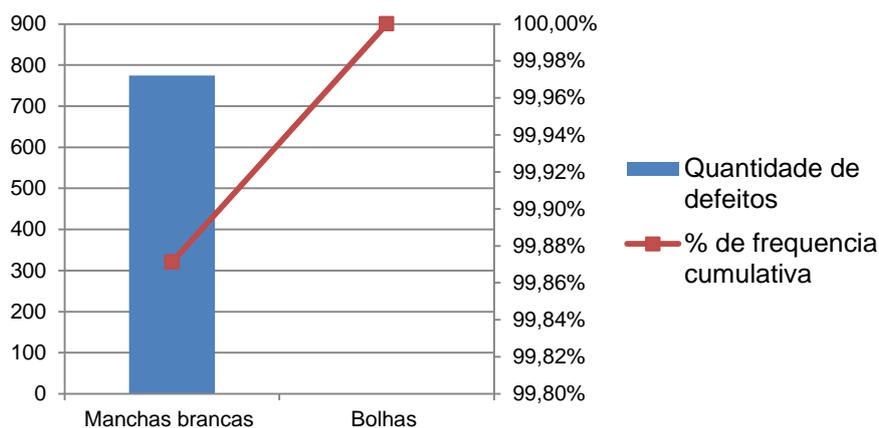


Gráfico 7 - Diagrama de Pareto do mês de Julho

Com base neste diagrama de Pareto pode-se observar que o defeito mais frequente foi novamente manchas brancas, representado cerca de 99,9% da produção.

- Análise crítica do apuramento dos defeitos críticos do produto B

Após a análise dos defeitos encontrados ao longo do mês de Junho e de Julho, resultantes da inspeção de toda a produção, pode-se concluir que os defeitos existentes na produção deste produto são: manchas brancas, pontos negros e bolhas.

Este produto, contrariamente ao Produto A, apresenta defeitos típicos para o processo de injeção. As manchas brancas são o defeito mais frequente, existindo uma clara prevalência sobre os outros defeitos. Estas caracterizam-se por ser pequenas manchas de cor branca, localizadas na parte lateral do produto.

Quanto aos pontos negros, pode-se verificar que existe uma diminuição significativa do mês de Junho para o mês de Julho, não apresentando qualquer ponto negro no mês de Julho. Aparentemente não existe qualquer motivo para esta situação, pois não foi tomada qualquer medida para corrigir a situação dos pontos negros.

5.4. ANÁLISE DAS CAUSAS DOS DEFEITOS

A análise de Pareto permitiu identificar quais os defeitos mais frequentes, cujas causas seriam objeto de discussão em sessões de *brainstorming* com os agentes envolvidos nos processos dos produtos em questão. Neste sentido efetuou-se uma análise de causa-efeito aos defeitos para ambos os produtos, recorrendo ao diagrama de causa-efeito e à técnica de *brainstorming* para auxiliar na identificação das causas. Assim, as sessões foram individualizadas por produto (produto A e produto B), pois quer os defeitos quer os produtos são diferentes.

Nas sessões de *brainstorming* foram abordados os seguintes temas:

- Defeitos identificados: apresentação dos defeitos identificados para os dois produtos e respetivas análises dos diagramas de Pareto dos defeitos encontrados, descritos acima.
- Análise das Causas dos Defeitos: na análise das causas dos defeitos, recorreu-se ao diagrama causa-efeito.

5.4.1. Análise das causas de defeitos do Produto A

Para efetuar uma análise às causas dos defeitos identificados na análise de Pareto recorreu-se a um diagrama de causa-efeito ou *Ishikawa*. Na figura 47 apresenta-se o resultado da sessão de *brainstorming*.

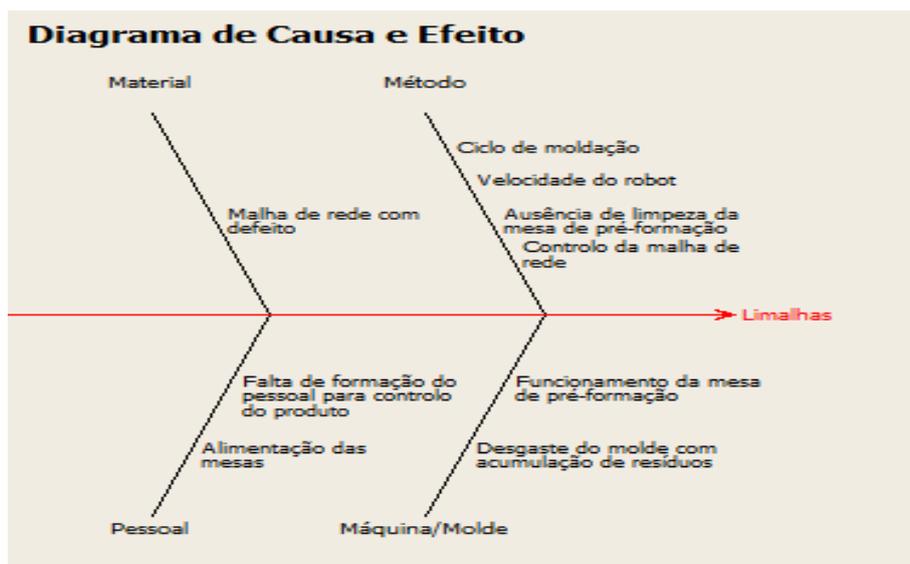


Figura 47 - Diagrama de Causa-efeito Limalhas

De acordo com a figura 47 apenas se efetuou uma análise mais detalhada às causas com um maior conjunto de sub-causas e tendo em consideração que esta era a causa mais crítica. Assim para este produto foi analisado em detalhe as causas relacionadas com o método.

Na análise deste diagrama de causa-efeito, as causas foram classificadas segundo o método de produção, a máquina/molde, o pessoal e o material (matéria-prima).

Do ponto de vista do método foram identificadas como causas o ciclo de moldação, a velocidade do robot, a ausência de limpeza da mesa e a falta de controlo das malhas de rede à entrada (só controlo em termos de empeno).

- O ciclo de moldação neste produto tem uma duração de aproximadamente 60 segundos. Contudo existem alguns fatores que podem limitar ou influenciar este tempo, como por exemplo, o material utilizado e as próprias características deste produto, como tal foi mencionado no *brainstorming* que um tempo de ciclo muito rápido pode danificar as malhas de rede e produzir assim limalhas, ou outro tipo de danificações.
- A velocidade do robot, na medida em que as malhas de rede são agarradas por este e transportadas para a mesa de pré-formação, se a

velocidade do robot for demasiado rápida pode provocar deformação e consecutivamente aparecem as limalhas.

- A ausência da limpeza da mesa de pré-formação, onde podem ficar resíduos.
- O método de controlo das malhas de rede. Tal como já referido, as malhas de redes são adquiridas a um fornecedor externo e só são controladas em termos de empeno.

Dado o defeito das limalhas ser o defeito mais crítico, os restantes diagramas de causa-efeito para os outros defeitos encontrados para este produto encontram-se no Anexo I.

5.4.2. Análise das causas de defeitos do Produto B

Para efetuar uma análise às causas dos defeitos identificados na análise de Pareto para o Produto B recorreu-se a um diagrama de causa-efeito ou *Ishikawa*. Na figura 48 apresenta-se o resultado da sessão de *brainstorming*. Na análise deste diagrama de causa-efeito, as causas foram classificadas segundo o método de produção, a máquina/molde, o pessoal e o material (matéria-prima).

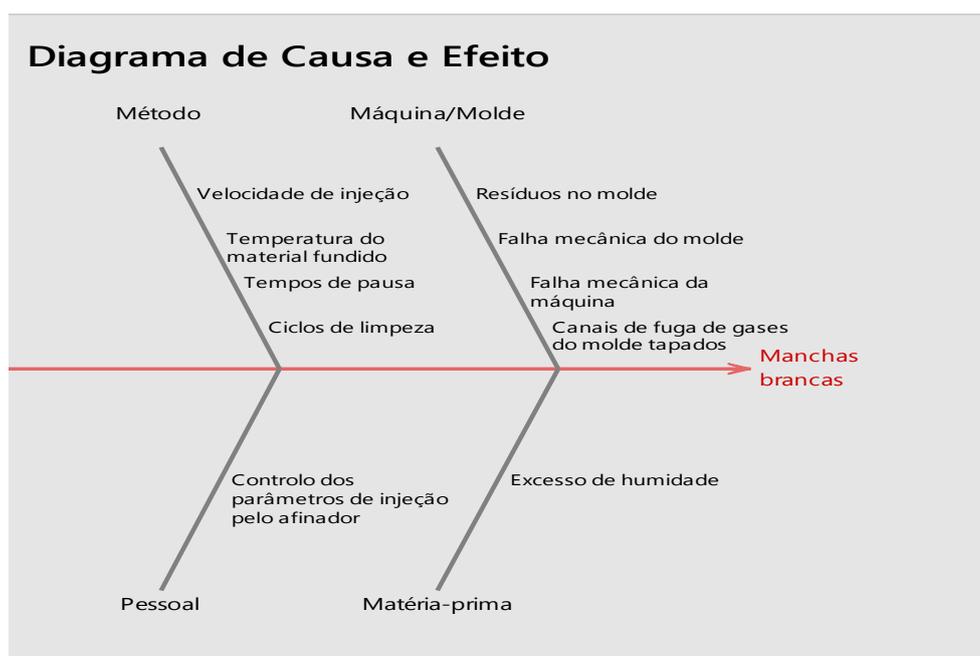


Figura 48 - Diagrama de Causa-efeito Manchas Brancas

De acordo com a figura 48 apenas se efetuou uma análise mais detalhada às causas com um maior conjunto de sub-causas e tendo em consideração que esta era a causa mais crítica. Para este produto considerou-se como causa crítica a máquina/molde, contudo também se analisou o método tendo em conta o número de sub-causas.

Do ponto de vista do método foram identificadas como possíveis causas o ciclo de moldação, a temperatura de fusão, os tempos de pausas, e os ciclos de limpeza.

- Velocidade de injeção: a velocidade de injeção determina o avanço do material fundido no interior do molde. Uma velocidade elevada pode provocar tensões internas ou externas, podendo originar assim manchas brancas.
- Temperatura do material injetado: a temperatura a que o material é injetado pode danificá-lo. Temperaturas muito elevadas nas saídas do bico de injeção podem danificar o material.
- Tempos de pausas: de acordo com o histórico relatado no *brainstorming* sempre, que a máquina para por um período prolongado as manchas aparecem com mais frequência no início. Por vezes, na pausa para almoço dos operadores, e porque existem mais máquinas a produzir, a máquina deste produto permanece sem produzir por um período de aproximadamente entre 30 minutos a 1 hora, sendo o suficiente para provocar mais frequência de manchas brancas.
- Ciclos de limpeza: os ciclos de limpeza mais curtos podem contribuir para diminuir a quantidade de resíduos deixados a cada ciclo de moldação. Assim, conclui-se que estes devem ser reajustados para verificar se tem impacto na quantidade de manchas.

Do ponto de vista da máquina/molde foram identificadas como possíveis causas resíduos existentes no molde que são libertados em cada ciclo de moldação, falha mecânica do molde e da máquina e canais de fuga de gases tapados.

- Resíduos no molde: Há muitas razões associadas ao acumular de resíduos sobre o molde. As mais comuns são a decomposição térmica,

cisalhamento excessivo; saídas de gases ineficientes. Na prática, estes resíduos acumulam-se devido a uma combinação de vários fatores o que torna complexa a localização e a solução do problema. A decomposição térmica pode ser causada pela temperatura do material fundido ser demasiado elevada e/ou matéria-prima com instabilidade térmica. O cisalhamento excessivo pode ser provocado por paredes do molde muito finas e/ou pela velocidade de injeção muito alta.

- Falha mecânica do molde: falha do posicionador de movimentos dos elementos móveis, provocada pela ausência de massa de lubrificação (optou-se por não utilizar massa de lubrificação para evitar que os canais de fuga de gases fiquem obstruídos).
- Canais de fuga de gases obstruídos: de acordo com o histórico relatado no *brainstorming* esta situação é provocada pela massa de lubrificação.

Dado as manchas brancas serem o defeito mais crítico, os restantes diagramas de causa-efeito para os outros defeitos encontrados para este produto encontram-se no Anexo II.

5.5. AÇÕES DE MELHORIA PARA AS CAUSAS CRÍTICAS IDENTIFICADAS

Com base na análise dos defeitos mais frequentes, e com o apoio das sessões de *brainstorming*, foram seleccionadas um conjunto de medidas para as causas mais críticas com o objetivo de as eliminar/controlar.

5.5.1. Medidas para eliminar/controlar o defeito crítico do produto A:

Limalhas

Estas medidas apresentadas na tabela 7, resultam do *brainstorming* realizado para este produto, onde todos os elementos participaram ativamente na apresentação de sugestões de melhoria. Das quatro medidas apresentadas, as três primeiras foram aplicadas durante o decorrer deste estudo de caso. A última medida, relativa à garra para manipulação das malhas de rede, por ser uma medida que necessita do envolvimento de mais agentes para a sua implementação foi decidido que só se avançaria para a sua implementação em Setembro, dado o aproximar do período de férias.

Tabela 7 - Medidas para eliminar/controlar as limalhas

Problema	Potencial causa	Ação	Responsável	Data
Limalhas	Resíduos de malha de rede entre injeções	Limpeza do molde no início da produção pelo afinador responsável pelo turno.	Responsável do processo de injeção	Julho/Agosto de 14
	Resíduos provenientes da estampagem da malha de rede	Limpeza da mesa no início de turno, e após hora da refeição realizada pelo afinador responsável pelo turno.	Responsável do processo de injeção	Julho/Agosto de 14
	Malhas de rede soltas na extremidade da malha	Realizar uma experiência com malhas de rede com defeitos em diferentes zonas.	Qualidade	Julho/Agosto de 14
	Descentramento da malha de rede no molde	Garra para manipulação das malhas de rede desde que é retida da caixa com o cartão até colocar as malhas de rede no interior do molde; Aumento da peça central de apoio instalada na 1ª fase.	Responsável do processo de injeção/ Equipa de engenharia/ Equipa de manutenção	Setembro de 14

De acordo com as medidas sugeridas para eliminar/controlar as limalhas, no decorrer deste projeto, três medidas foram implementadas: limpeza da mesa de pré-formação, limpeza do molde, e uma experiência com malhas de rede defeituosas com o objetivo de comprovar a necessidade de controlo das mesmas para além do controlo em termos de empeno já efetuado.

- Limpeza da mesa de pré-formação e do molde

Durante a análise com a equipa que participou no *brainstorming* foi mencionado que uma das possíveis causas da elevada percentagem de limalhas poderia estar relacionada com as limalhas (resíduos de malha de rede) que estavam depositados na mesa de pré-formação e também no molde. Dado isto, foi averiguada esta possibilidade, encontrando-se de facto resíduos existentes nas cavidades da mesa de pré-formação, tal como se pode verificar nas figura 49.



Figura 49- Limalhas na mesa de pré-formação



Figura 50 – Mesa de pré-formação

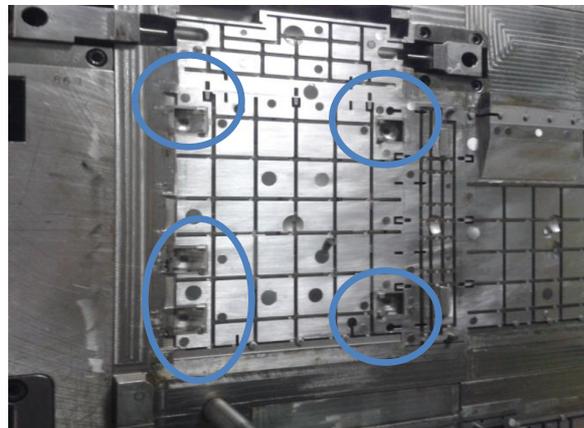


Figura 51 - Molde

Perante esta evidência foi tomada a decisão de efetuar a limpeza da mesa de pré-formação no início de cada turno e na pausa para refeições, o molde foi decidido que só seria limpo no início de cada turno (figura 50 e 51). Foi também solicitado sempre que fosse encontrada uma limalha fosse registado em que zona apareceu e a hora. Para isso foi criada uma folha de registo e dividiu-se o *lay-out* do produto final por zonas (figura 52), para se possível determinar qual ou quais as zonas em que mais aparecem as limalhas.

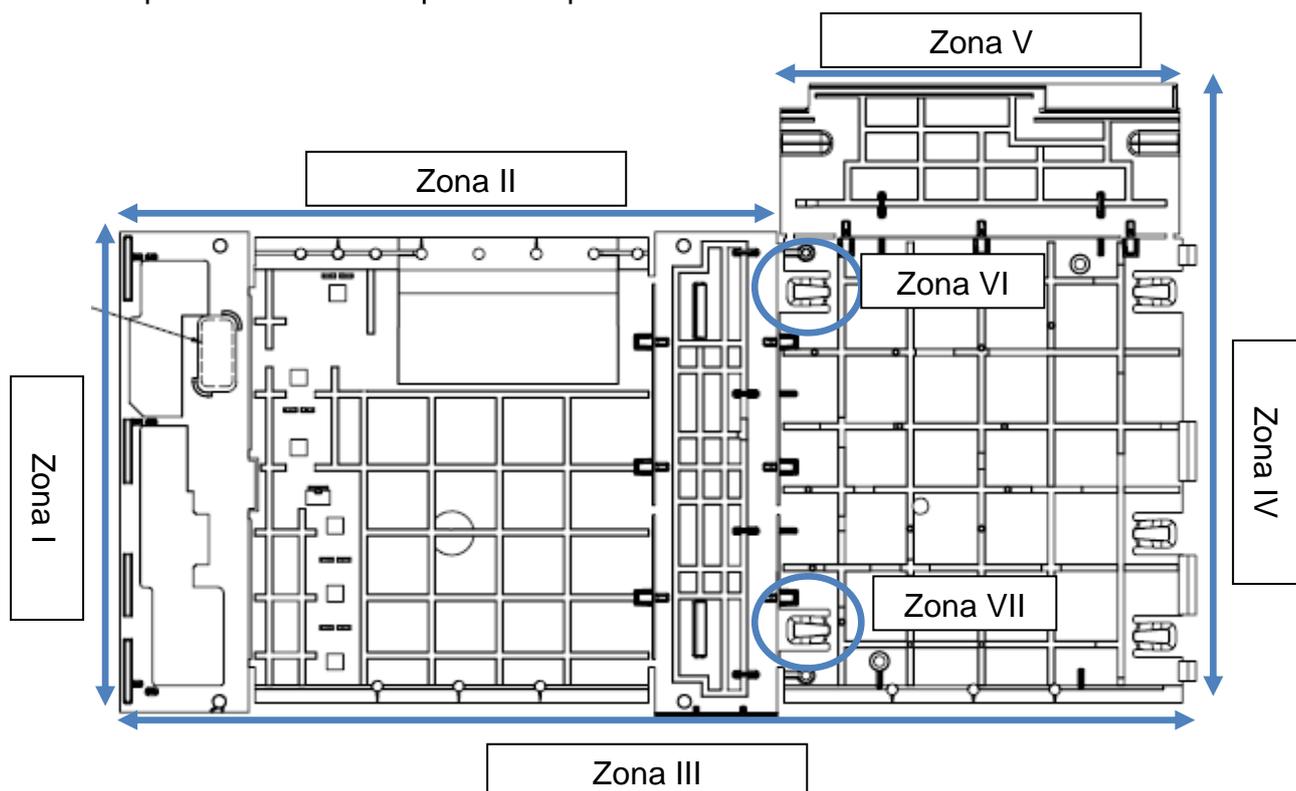


Figura 52 - *Lay-out* produto final

Assim, como mencionado acima, foi implementado um registo por hora da quantidade de limalhas que apareciam e a zona onde apareciam, de acordo com a divisão do *lay-out* do produto.

Antes de se iniciar a implementação desta medida, foram recolhidos dados relativos às limalhas encontradas nos últimos cinco dias antes da implementação da medida em questão (gráfico 8), para assim, se poder comparar resultados.

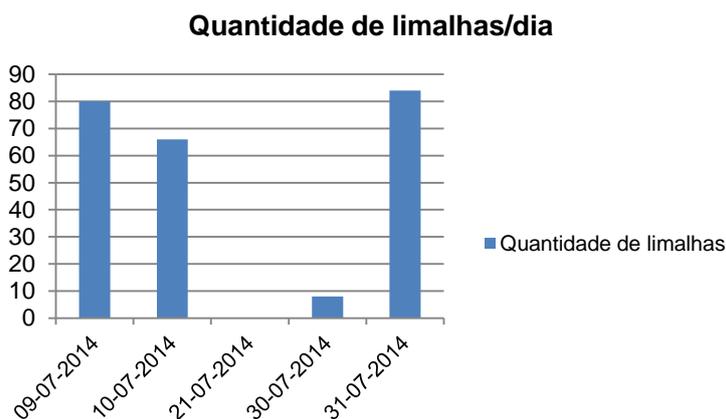


Gráfico 8 - Quantidade de limalhas/dia

Nesta dissertação são apresentados dados relativos à primeira semana de implementação do registo.

➤ Dia 1

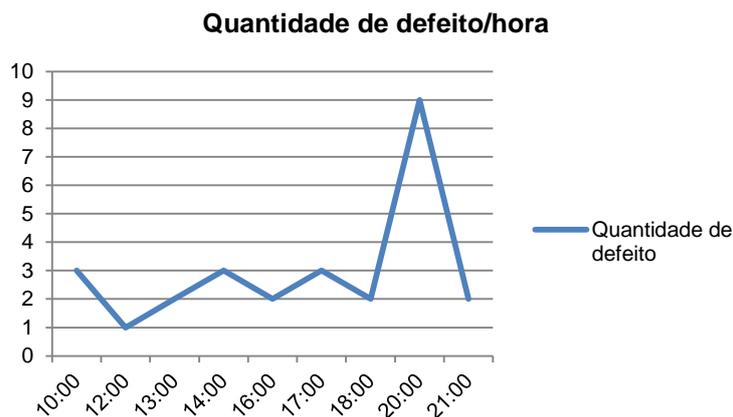


Gráfico 9 - Quantidade de defeitos por hora: dia 1

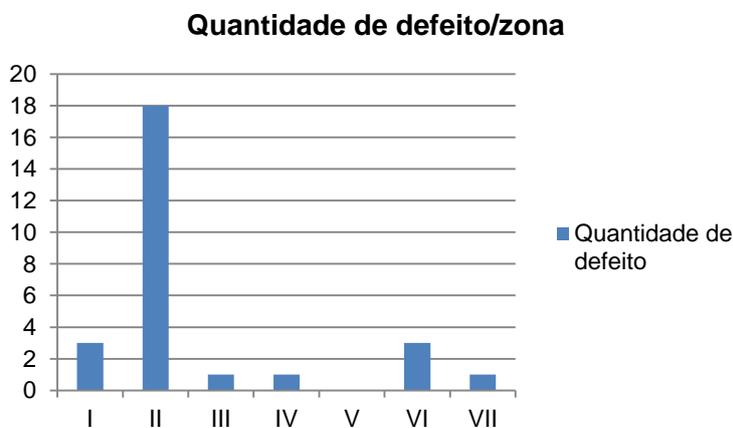


Gráfico 10 - Quantidade de defeitos por zona: dia 1

No primeiro dia, a produção do produto A funcionou em dois turnos, iniciou às 10:00 horas e terminou um pouco antes do segundo turno sair. A máquina parou entre as 11:00h e as 12:00h, entre as 15:00h e as 16:00h e entre as 19:00h e as 20:00h. Existiu um pico de limalhas entre as 20:00h e as 21:00h (gráfico 9). Este pico sucedeu após a paragem da máquina para jantar dos colaboradores. Pode-se questionar como possível causa resíduos que se tenham acumulado no interior do molde, dado este só ser limpo no início do turno (por voltas das 14:00h/15:00h). Poderá também ser a causa deste pico defeitos nas malhas de rede utilizadas neste período. Contudo, as malhas de rede só são controladas em termos de empeno e não existem dados suficientes para estabelecer esta relação.

Em termos de zona crítica pode-se salientar a zona II (gráfico 10) apresentando no primeiro dia um total de 18 defeitos, num total de 27.

➤ Dia 2

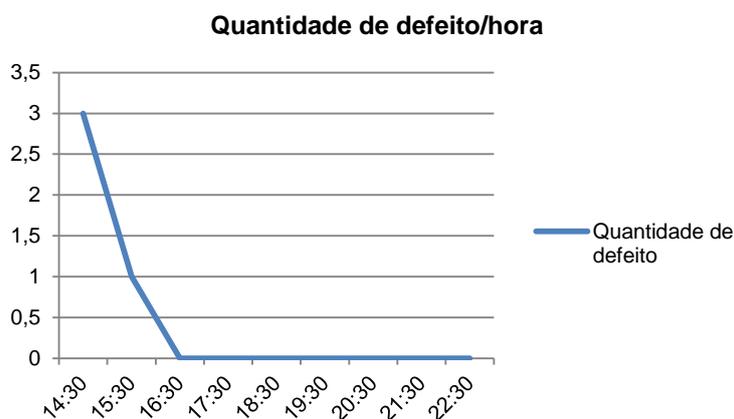


Gráfico 11 - Quantidade de defeitos por hora: dia 2

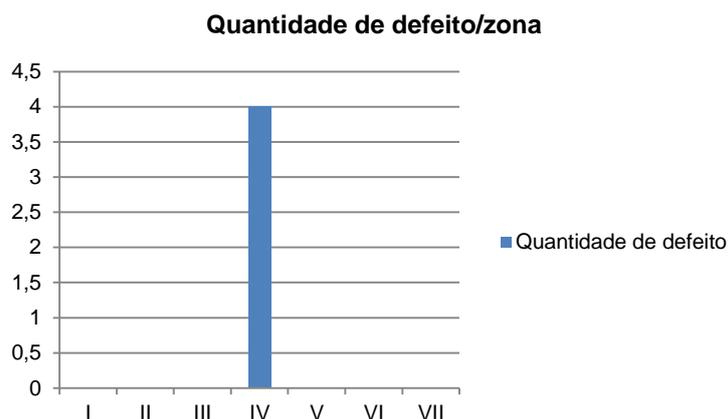


Gráfico 12 - Quantidade de defeitos por zona: dia 2

No segundo dia de registo existiu uma clara diminuição na quantidade de defeitos, passando-se de 27 defeitos registados no primeiro dia para um total de 4 defeitos no segundo dia. A produção neste dia foi no segundo turno, existindo um total de três defeitos na primeira hora (entre as 14:30h e as 15:30h), e um defeito na segunda hora (entre as 15:30h e as 16:30h), como se pode observar no gráfico 11. Estes picos ocorreram nas primeiras horas após limpeza do molde e da mesa de pré-formação.

Em termos de zona crítica, e de acordo, com o gráfico 12, pode-se salientar a zona IV, onde foram encontrados todos os defeitos do dia.

➤ Dia 3

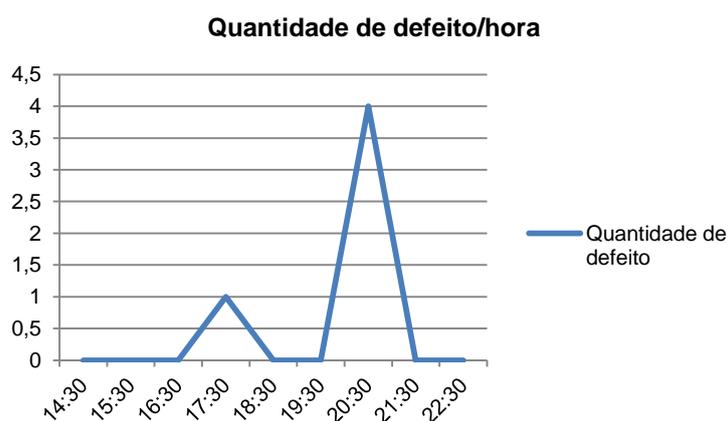


Gráfico 13 - Quantidade de defeitos por hora: dia 3

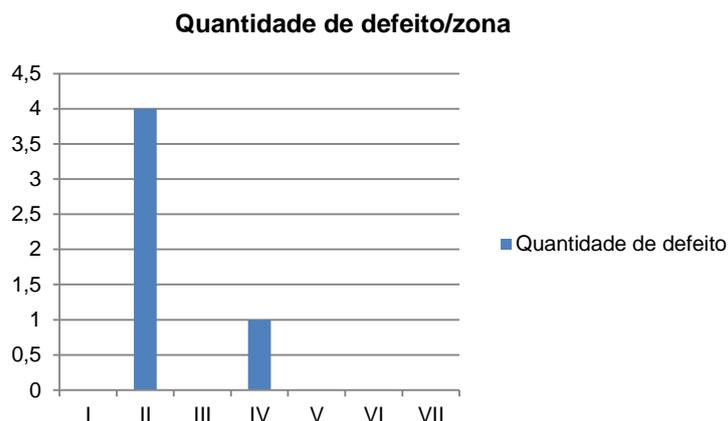


Gráfico 14 - Quantidade de defeitos por zona: dia 3

No terceiro dia de registo, a produção foi também apenas no segundo turno, e comparado com o dia anterior existiu mais um defeito (total de 5 defeitos). Com base no gráfico 13, neste dia existiu um pico de defeitos no período entre as 20:30h e as 21:30h (4 defeitos).

Relativamente a este dia, as zonas em que ocorreram defeitos foram as zonas II e IV (gráfico 14).

➤ Dia 4

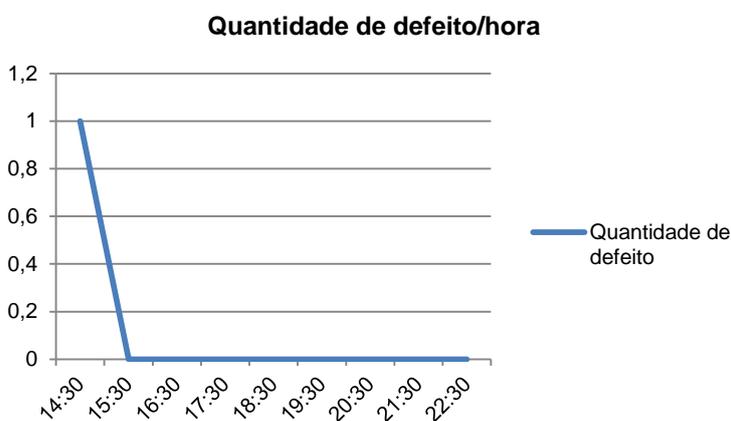


Gráfico 15 - Quantidade de defeitos por hora: dia 4

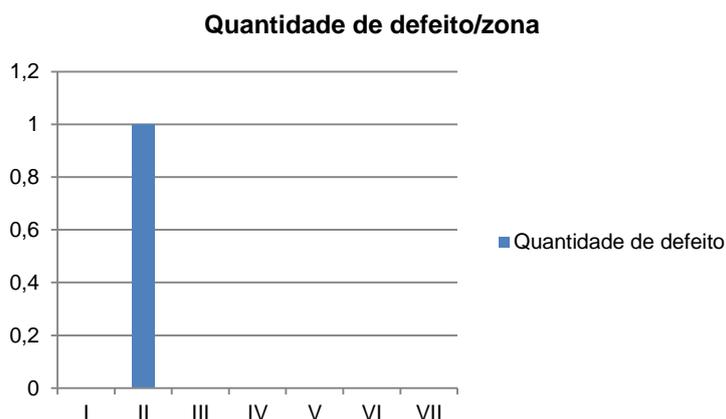


Gráfico 16 - Quantidade de defeitos por zona: dia 4

No quarto dia de registo apareceu um total de 1 defeito. Sendo que a produção voltou a ser unicamente no segundo turno e a ocorrência do defeito registou-se na primeira hora de trabalho, como se pode observar no gráfico 15 (período entre as 14:30h e as 15:30h).

Com base no gráfico 16, a zona onde ocorreu o defeito foi na zona II.

➤ Dia 5

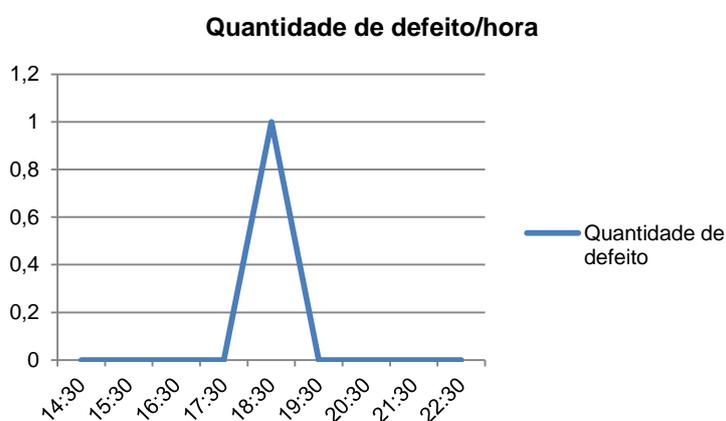


Gráfico 17 - Quantidade de defeitos por hora: dia 5

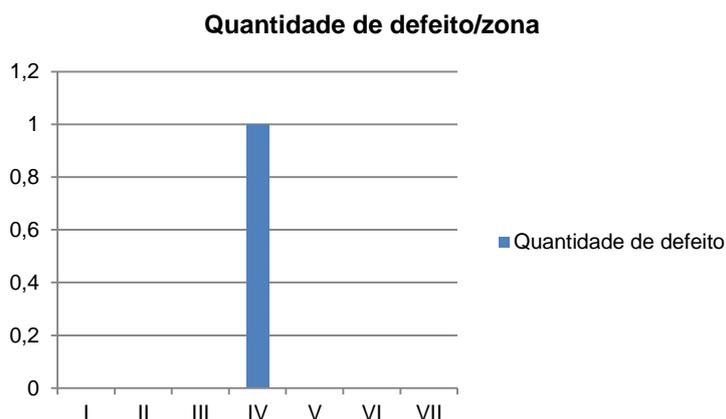


Gráfico 18 - Quantidade de defeitos por zona: dia 5

No quinto dia de registo voltou-se a registar apenas um defeito. A produção voltou a ser no segundo turno, ocorrendo o defeito entre o período das 18:30h e as 19:30h (gráfico 17).

O defeito registado neste dia foi encontrado na zona IV (gráfico 18).

- Análise crítica à limpeza da mesa de pré-formação e do molde

Destes primeiros dias de registo pode-se realçar o decréscimo de defeitos entre o primeiro dia e o quinto, contudo convém realçar que no primeiro dia a produção funcionou em dois turnos. Da análise dos cinco dias pode-se observar que apesar do decréscimo da quantidade de defeitos, continuam a existir picos. Em alguns dias os picos ocorreram após os períodos de limpeza, ou após a mudança de turno (entre as 14:30h/ 15:00h) em que se efetua a limpeza do molde e da mesa de pré-formação ou após a pausa para refeição (10:30h/ e às 19:30h), demonstrando, assim, que existe influência de outras causas no aparecimento das limalhas.

Resumindo, através da comparação com o gráfico 8, pode-se observar a clara diminuição do número de limalhas e confirmar a eficácia da medida. Pois, nos últimos cinco dias antes da implementação da medida de limpeza da mesa de pré-formação e do molde foram registadas no total 238 limalhas, nestes cinco dias em questão a produção funcionou em dois turnos, com exceção do quarto dia. Enquanto, nos primeiros cinco dias de implementação da medida foram registadas 38 limalhas.

Assim, e apesar da diminuição da quantidade de limalhas, pode-se questionar a existência de outras causas no aparecimento das limalhas, como a possibilidade destas limalhas corresponderem a defeitos provenientes da malha de rede, ou problemas relacionados com a velocidade do robot, tempo de ciclo, velocidade de rotação da mesa de pré-formação, entre outros identificados na análise de causa-efeito. Assim, comprova-se a necessidade da continuidade deste estudo para que outras possíveis causas possam ser investigadas.

Para uma argumentação mais sólida recomenda-se a continuidade deste registo e ainda o controlo das malhas de rede nas zonas críticas identificadas no *lay-out* do produto, para assim se poder estabelecer uma relação entre estes picos e as malhas de rede.

Em termos de zonas críticas é evidente que se realçam duas, a zona II e a zona IV. Na falta de evidências claras de que estes defeitos correspondem a defeitos na malha de rede, não se pode definir estas zonas como zonas críticas nas malhas de rede e assim passar a inspecionar apenas estas zonas, reduzindo o tempo de inspeção. Dado isto, recomenda-se a continuidade deste estudo. Em termos de pontos críticos no produto final pode-se realçar a zona II e a zona IV.

- Experiência com malhas de rede com defeito

Outra ideia que surgiu na sessão de *brainstorming*, e dado que as malhas de rede serem apenas controladas à entrada em termos de empeno, foi sugerido realizar uma experiência com malhas de rede com defeito em zonas previamente escolhidas e discutidas na sessão de *brainstorming*. O objetivo desta experiência era determinar se os defeitos na malha de rede depois do produto ser injetado dão origem a limalhas e assim justificar a necessidade de controlo das mesmas para além do empeno.

Para tal, e dado o *lay-out* da malha de rede ser igual ao do produto, dividiu-se o *lay-out* da malha da rede igual de acordo com o do produto para depois se estabelecer uma relação entre o defeito nas malhas de rede e a zona onde aparecem as limalhas no produto final.

➤ Peça nº 1

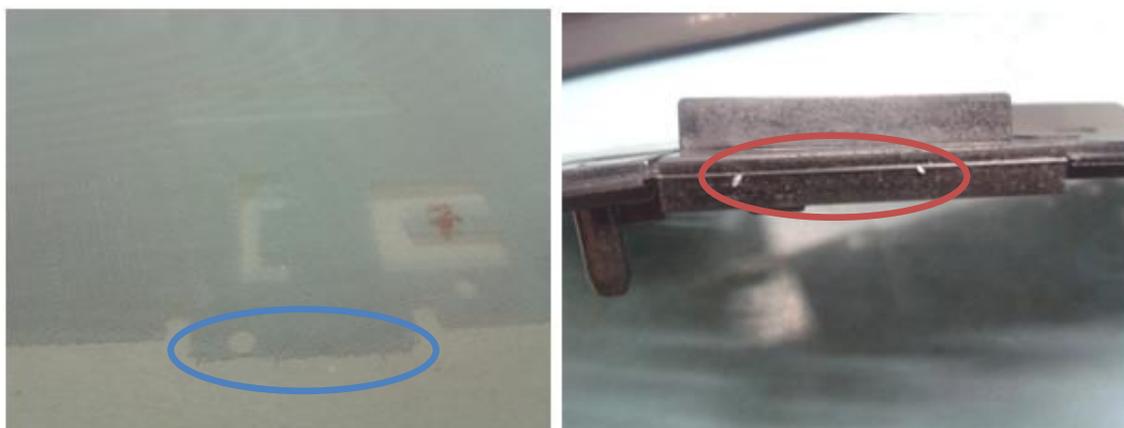


Figura 53 - Experiência malha de redes: peça nº1

Como se pode analisar na figura 1, o defeito na malha da rede na zona III, deu origem a duas limalhas na mesma zona depois de injetado o produto final.

➤ Peça nº 2

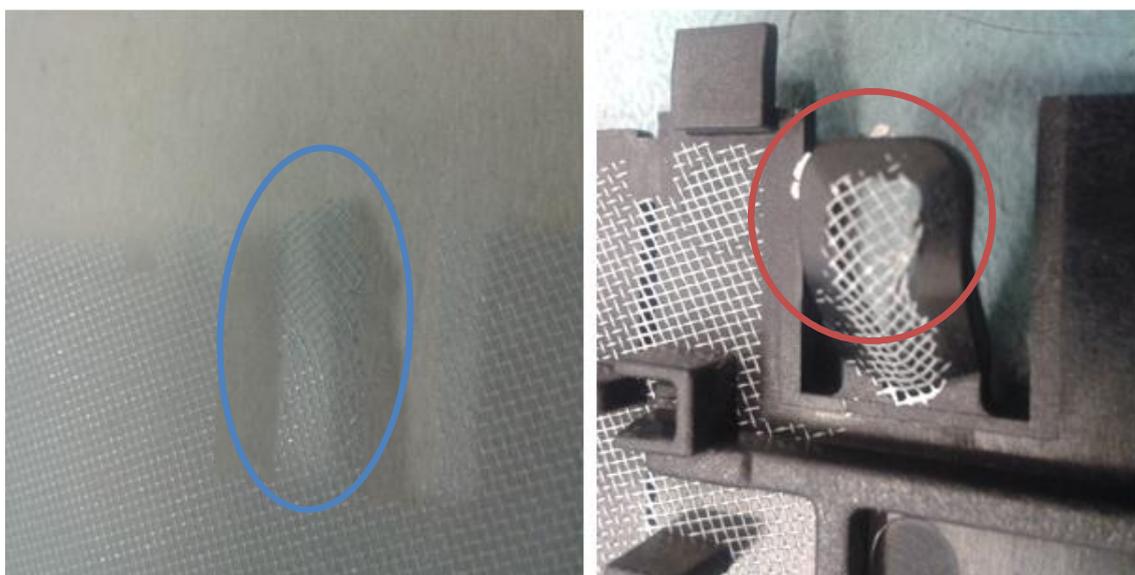


Figura 54 - Experiência malha de redes: peça nº2

Na peça nº 2 foi selecionado um defeito na malha da rede numa das patilhas na zona IV que deu origem a limalhas na mesma zona no produto depois de injetado, tal como se pode verificar na figura 54.

➤ Peça nº 3

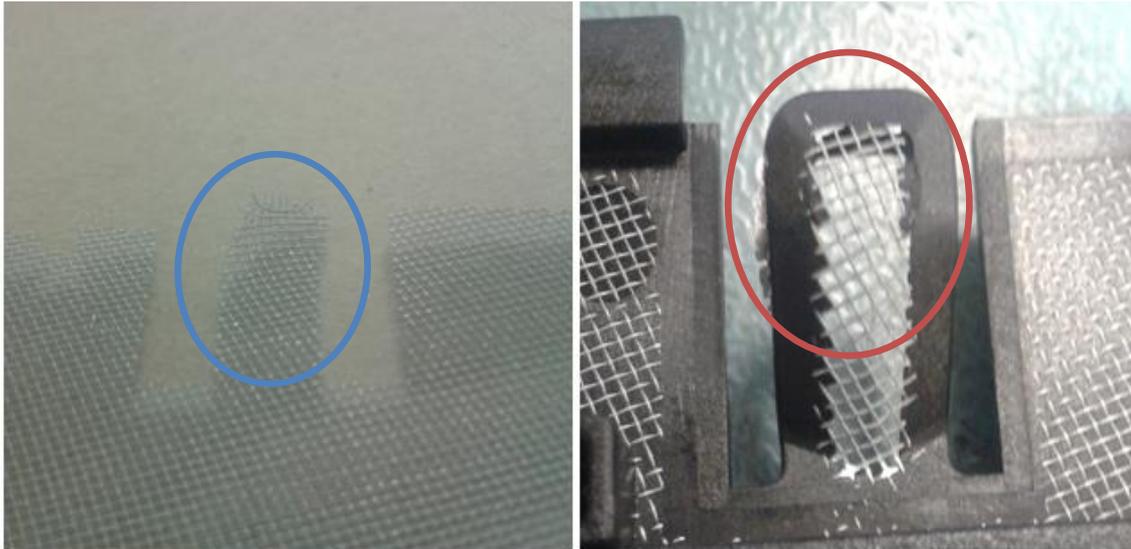


Figura 55 - Experiência malha de redes: peça nº3

Na peça nº 3 voltou a ser selecionado um defeito nas patilhas da zona IV, agora mais ligeiro, com um levantamento da malha da rede, que voltou a reproduzir o mesmo defeito (limalhas), como se pode ver na figura 55.

➤ Peça nº 4



Figura 56 - Experiência malha de redes: peça nº4

Na peça nº4 foi selecionada uma malha de rede com defeito na zona I, onde se pode verificar várias danificações que deram origem a limalhas (na figura 56).

➤ Peça nº 5

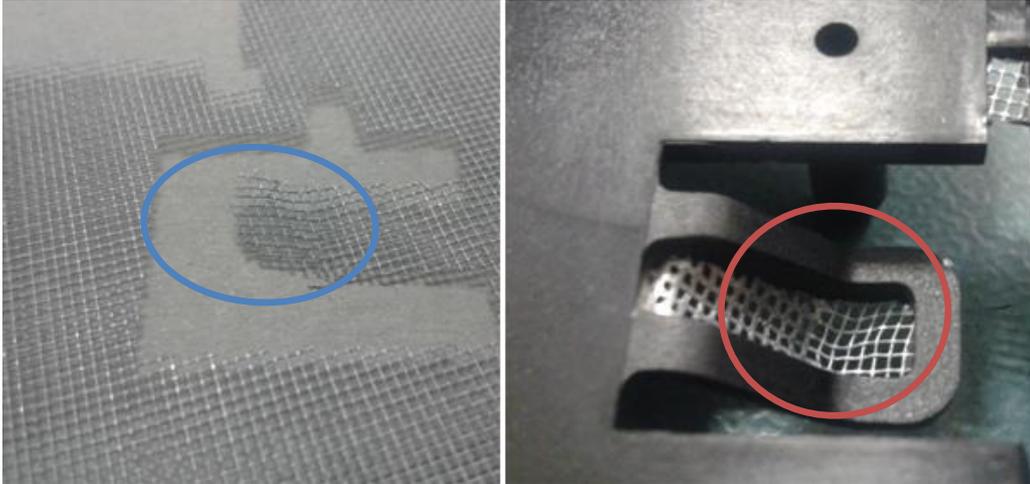


Figura 57 - Experiência malha de redes: peça nº5

Na peça da figura 57, foi selecionada uma malha de rede com defeito na zona VII (numa patilha “interior”) que se encontrava bastante danificada. Este defeito deu origem a uma limalha, embora pequena, e na extremidade da patilha também é possível observar que a malha de rede está fragilizada.

➤ Peça nº 6

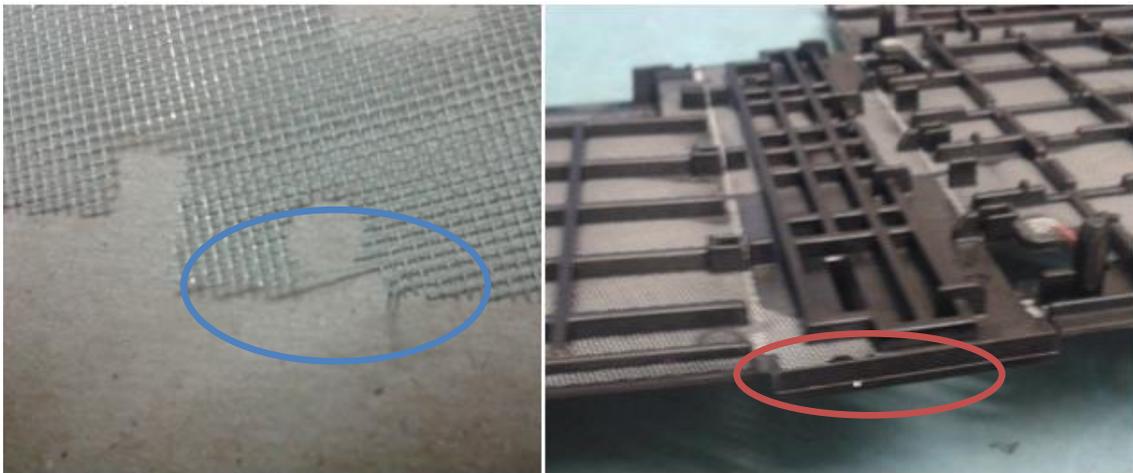


Figura 58 - Experiência malha de redes: peça nº6

Na peça nº6 voltou a ser selecionado um defeito na zona III, que em comparação com a peça nº1 é mais ligeiro como se pode observar na figura 58. Este defeito selecionado na malha de rede deu também origem a uma limalha, apesar de ser mais ligeiro.

➤ Peça nº 7

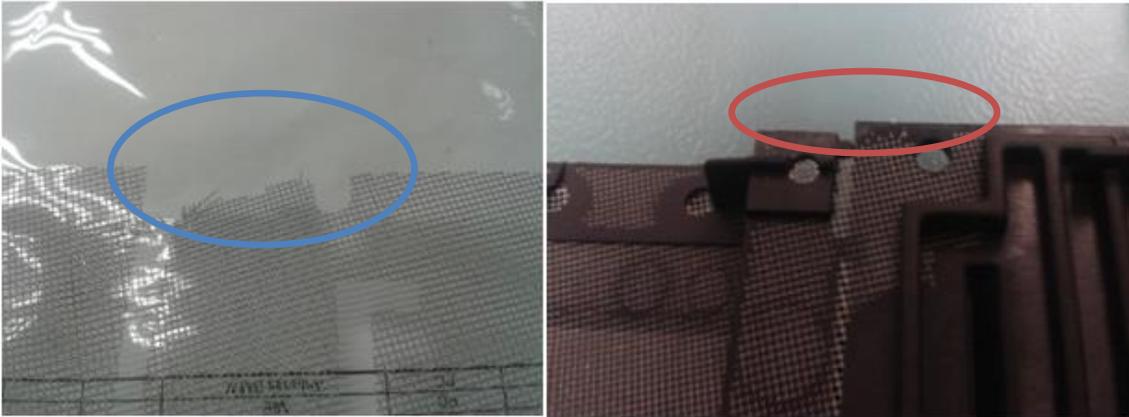


Figura 59 - Experiência malha de redes: peça nº7

Na peça nº 7 foi selecionado um defeito na malha de rede na zona II. Este defeito produziu igualmente uma limalha, como se pode verificar na figura 59.

- Análise crítica da experiência com malhas de rede com defeito

Para esta experiência foram considerados mais do que um defeito em todas as zonas assinaladas no lay-out da malha de rede. Apenas se apresentou aqui aqueles defeitos na malha de rede que deram origem a limalhas. Importa referir que o facto de alguns defeitos não terem originado limalhas, pode ser justificado pela mesa de pré-formação. Ou seja, tal como já mencionado anteriormente, o processo produtivo deste produto inicia-se com a entrada das malhas de rede na mesa de pré-formação. O objetivo da mesa de pré-formação é centrar as malhas de redes, durante esta fase podem ficar resíduos nas cavidades existentes na mesa de pré-formação.

Finda esta experiência, considera-se que o objetivo foi atingido, tendo sido demonstrado que os defeitos na malha de rede contribuem para o aparecimento das limalhas. Sendo assim, considera-se pertinente um controlo mais alargado das malhas de rede a entrada e não apenas em termos de empeno. Para além disso, julga-se ter reunido provas suficientes para efetuar uma reclamação ao fornecedor.

5.5.2. Medidas para eliminar/controlar o defeito crítico do produto B: Manchas brancas

Tabela 8 - Medidas para eliminar/controlar as manchas brancas

Problema	Potencial causa	Ação	Responsável	Data
Manchas Brancas	Resíduos no molde	Redefinir ciclos de limpeza em função do volume produzido (aproximadamente 60000 injeções)	Responsável pelos moldes	Julho de 14
	Parâmetros de injeção	Otimização dos parâmetros de injeção	Responsável do processo de injeção	Julho de 14
	Canais de fuga de gases do molde tapados	Produzir sem massa de lubrificação nos elementos móveis do molde para evitar que tape os canais de fuga de gases	Responsável pelos moldes	Julho de 14
	Falha mecânica do molde (posicionador de elementos móveis)	Avaliar tratamento superficial para o posicionador dos elementos móveis	Responsável pelos moldes	Setembro de 14
		Analizar o posicionador dos elementos móveis a cada manutenção preventiva e intervenções de manutenção preventiva mais periódicas.	Equipa de manutenção	Setembro de 14

Estas medidas apresentadas na tabela 8, resultam do brainstorming realizado para este produto, onde todos os elementos participaram ativamente na apresentação de sugestões de melhoria. Nesta dissertação não se apresenta uma análise detalhada destas medidas, por existir uma elevada probabilidade da produção do produto em questão ser extinta até ao fim do ano.

- Redefinir ciclos de limpeza

Durante o brainstorming para análise das manchas brancas foi mencionado a importância de redefinir os ciclos de limpeza. Assim foi definido pela equipa de moldes e do processo de injeção que seria efetuada uma limpeza ao molde a cada 60000 injeções. Esta medida já se encontra implementada.

- Otimização dos parâmetros de injeção

De acordo com a investigação das causas para as manchas brancas, foi mencionado que a velocidade de injeção e a temperatura a que é injetado o material são parâmetros que podem influenciar as manchas brancas. Dado isto, foi decidido pela equipa do processo de injeção alterar estes parâmetros na tentativa de reduzir a percentagem de manchas brancas, diminuindo a velocidade de injeção e a temperatura a que o material é injetado. Esta medida já se encontra implementada.

- Produzir sem massa de lubrificação nos elementos do molde

Segundo a equipa de moldes era frequente os canais de fuga de gases estarem obstruídos pela massa de lubrificação dos elementos móveis do molde. Foi então decidido pela mesma equipa retirar a massa de lubrificação para contornar esta situação. Esta medida já se encontra implementada.

- Tratamento e manutenção preventiva do posicionador dos elementos móveis

Na consequência de utilizar o molde sem massa de lubrificação, o posicionador de elementos móveis avaria com mais frequência. Esta é uma situação que a equipa de moldes prefere comparativamente com a situação dos canais de fuga de gases tapados. Mas é possível trabalhar na melhoria desta situação, averiguando a possibilidade de um tratamento superficial para o posicionador dos elementos móveis em vez da massa de lubrificação. Foi sugerido também

que a equipa de manutenção analise a cada intervenção de manutenção preventiva o posicionador dos elementos móveis e que essas intervenções fossem mais periódicas, dado este ser um problema frequente.

5.6. CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO

Na empresa onde se desenvolveu este projeto já estava implementado um Programa de Controlo Estatístico de Processo, quer por variáveis quer por atributos. Contudo, em termos de atributos, apenas é registado se foi detetado algum defeito ou não, não existindo qualquer tratamento estatístico.

Neste estudo, e como já referido, foram seleccionados 2 produtos, denominados por produto A e produto B. Assim para o Controlo Estatístico do Processo foram considerados todos os defeitos que tivessem impacto no aspeto visual do Produto. Inicialmente fez-se uma análise considerando o tamanho da amostra correspondente à produção total dos dois produtos, ou seja, amostras de tamanho variável. O objetivo em analisar o processo recorrendo a amostras de tamanho variável consistia em retirar conclusões acerca da sua estabilidade, em termos estatísticos, para depois, perante a evidência de este estar sob controlo estatístico, fossem seleccionadas amostras de tamanho fixo.

5.6.1. Plano de Controlo

No CEP é importante ser definido um plano de controlo, onde seja contemplado a dimensão da amostra e a frequência da amostragem é o método de análise.

- Tamanho da amostra

Numa primeira fase para os dois produtos trabalhou-se com uma amostragem de tamanho variável, correspondente a produção total, com o objetivo de analisar a estabilidade do processo.

Em termos de amostragem fixa para o produto A foi seleccionada uma amostra de tamanho igual a 5, enquanto para o Produto B foi seleccionada uma amostra de tamanho igual a 40 peças. A justificação para existir uma diferença no tamanho das amostras consiste no facto de o Produto B apresentar um tempo

de ciclo menor e uma análise em termos atributivos mais simples consecutivamente um tempo de inspeção bastante menor.

A escolha de uma amostragem de tamanho fixo igual a 5 peças para o produto A e 40 peças para o produto B foi uma escolha que teve por base a procura da melhor quantidade. É sabido que quanto maior for a amostragem maior será a facilidade com que se deteta a presença de causas especiais a afetar o processo. Contudo, e tendo em consideração que apenas eram recolhidas uma peça para controlo por atributos, julga-se que a recolha de 5 peças para o produto A e 40 peças para o produto B será a melhor solução, não implicando um acréscimo de trabalho que necessite de investimentos por parte da empresa.

- Frequência de amostragem

Em termos de frequência de recolha de peças para análise foi seguido o que já estava implementado pela empresa, nos inícios e fins de série eram sempre recolhidas peças para análise, mais duas rondas, entre as 06:00h e as 07:00h e as 18:00h e 19:00h.

Dado o produto B ser produzido entre as 07:30h e as 16:30h, foi estabelecido uma frequência de amostragem exclusivamente para este estudo. Assim eram recolhidas peças por volta das 07:30h (início de série), por volta das 13:30h (ronda de SPC) e por volta das 16:30h (fim de série).

- Critérios de decisão

Para este estudo foram considerados para cada produto os defeitos encontrados durante a recolha de dados para a análise de Pareto apresentada nesta dissertação. Para isso utilizou-se uma amostra padrão de cada produto para comparação.

Assim para o produto A foram considerados os seguintes defeitos:

- Limalhas;
- Malha partida;
- Malha descentrada;
- Excesso de matéria-prima;
- Falta de matéria-prima;

- Pino partido;
- Cartão na patilha;
- Sujidade na peça.

Para o produto B foram considerados os seguintes defeitos:

- Manchas brancas;
- Pontos negros;
- Bolhas.

5.6.2. Análise dos dados recolhidos: Gráficos de amostras de tamanho variável

- Produto A

Tal como referido, numa primeira fase optou-se por fazer uma análise recorrendo a gráficos de amostras de tamanho variável. Foram recolhidos dados para este produto durante os meses de Abril, Maio e Junho. Os dados relativos a estes meses encontram-se no anexo III.

➤ Abril

No gráfico abaixo apresenta-se o gráfico para amostras de tamanho variável correspondente ao mês de Abril, com um total de 19 amostras.

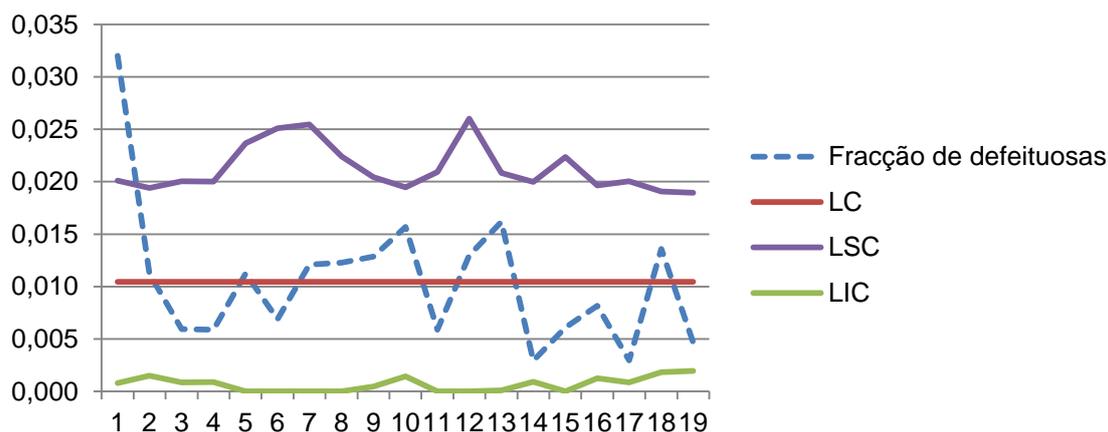


Gráfico 19 - Gráfico de amostras de tamanho variável para o Produto A: mês de Abril

O gráfico 19 apresenta um limite de controlo de 0,010. Numa produção mensal de 16741 peças, 175 foram consideradas defeituosas. Neste gráfico pode-se observar um ponto fora dos limites de controlo, mais concretamente a amostra

nº1. Tal como é demonstrada na análise de Pareto, o defeito mais frequente neste produto são as limalhas, defeito que está na origem deste ponto fora de controlo.

➤ Maio

No gráfico abaixo apresenta-se o gráfico para amostras de tamanho variável correspondente ao mês de Maio, com um total de 20 amostras. Este gráfico apresenta um LC de 0,006. Neste mês a produção foi de 19152 peças, em que 121 peças foram consideradas como defeituosas.

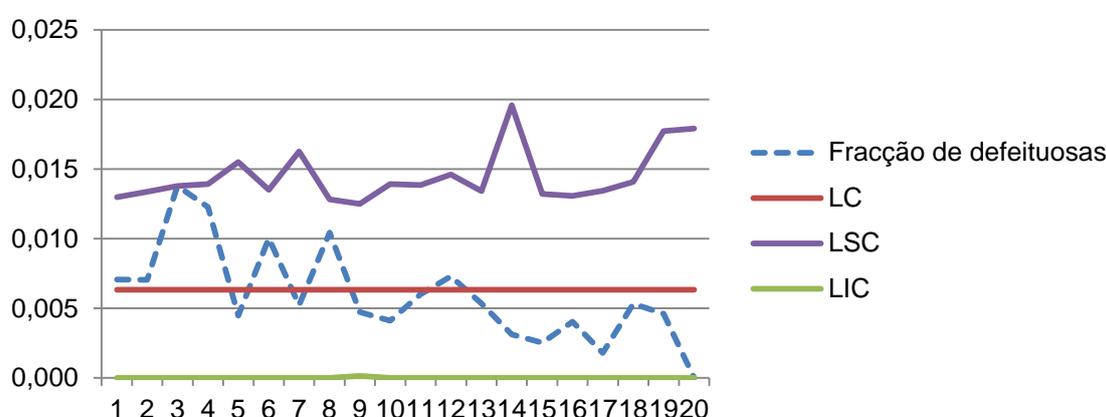


Gráfico 20 - Gráfico de amostras de tamanho variável para o Produto A: mês de Maio

No Gráfico 20, na amostra nº3, a fração de defeituosas é igual ao limite superior de controlo (0,014). De acordo com os dados recolhidos, a amostra nº3 corresponde ao dia 6 de Maio, em que foram registadas 14 peças defeituosas, em que 9 eram limalhas representando cerca de 64% das peças defeituosas, 3 malhas partidas, 1 defeituosa por excesso de matéria-prima e 1 defeituosa por malha descentrada. Dado isto, volta-se a concluir que neste dia a maior percentagem de defeituosas deve-se as limalhas, e dada a peculiaridade deste defeito e possibilidade de mais do que uma fonte a contribuir para as causas assinaláveis não se consegue afirmar à data de recolha da amostra em questão qual a origem das limalhas, dado as medidas para eliminar/controlar este defeito ainda estarem em fase de estudo.

Importa realçar que durante os meses de Abril/Maio foram definidos novos critérios para aceitação de limalhas, após acordo com o cliente, isto é, foi definido que as limalhas na parte interior das peças (caixilho) deixavam de ser

consideradas defeito, passando a ser admissíveis porque se trata de um produto que é uma caixa para a parte eletrónica do auto rádio e considerou-se que nesta zona as limalhas não apresentavam risco significativo de provocar curto-circuito. Esta medida foi complementada com uma reunião diária para avaliar a rejeição. Os efeitos de tais medidas começaram a ser visíveis no mês de Maio, justificando assim uma tendência decrescente a partir da amostra nº8.

➤ Junho

No gráfico 21 pode-se observar os valores da amostragem realizada para o mesmo de Junho, com um total de 18 amostras. Para este mês o limite de controlo foi de 0,006. Neste mês a produção foi de 10938 peças, com um total de 64 peças defeituosas.

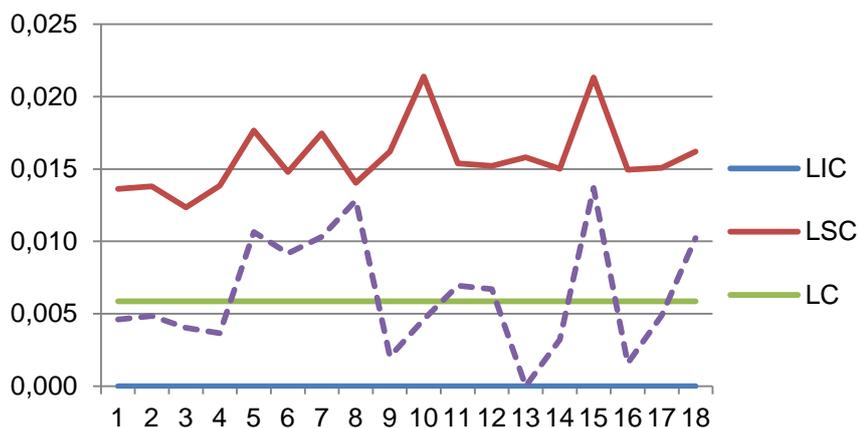


Gráfico 21 - Gráfico de amostras de tamanho variável para o Produto A: mês de Junho

Neste gráfico pode-se observar que não existe qualquer ponto fora dos limites de controlo. Pelo que se pode concluir que neste mês o processo está sob controlo estatístico, apresentando uma aleatoriedade na fração de defeituosas. Este mês foi aquele que apresentou um total de defeituosas mais baixo, sendo sentido assim o impacto das medidas implementadas anteriormente.

Análise crítica da amostragem por tamanho variável para o produto A

Da análise da estabilidade do processo recorrendo aos gráficos de amostras de tamanho variável pode-se concluir que existe instabilidade. No primeiro mês foi detetado um ponto acima do Limite Superior de Controlo, o defeito que mais contribuiu para este ponto foram as limalhas, confirmando a conclusão retirada da análise de Pareto de que este era o defeito mais crítico. Tal situação volta a

ocorrer no segundo mês, em que apesar de não existir nenhum ponto fora de controlo, existe um ponto igual ao LSC, em que mais uma vez o defeito que mais contribui para tal situação foram as limalhas.

No último mês de análise em termos de amostras de tamanho variável o processo esta sob controlo estatístico, com uma tendência aleatória.

Assim não se pode concluir que o processo tenha estado sob controlo estatístico durante estes três meses. Mas foi identificado qual o defeito que mais contribui para esta situação e foram estudadas medidas para eliminar/controlar o mesmo. Tendo em consideração que inicialmente só se avançaria para uma amostragem de tamanho fixo se o processo estivesse sob controlo estatístico, mas dado o problema ter sido identificado e definidas medidas para o eliminar/controlar optou-se por avançar para uma análise em termos de amostragem fixa, de tamanho igual a 5.

- Produto B

Para este produto foram recolhidas amostras durante o mês de Junho e Julho. Os dados relativos a estes meses encontram-se no anexo III.

➤ Junho

No gráfico abaixo apresenta-se o gráfico referente ao mês de Junho, com um total de 14 amostras.

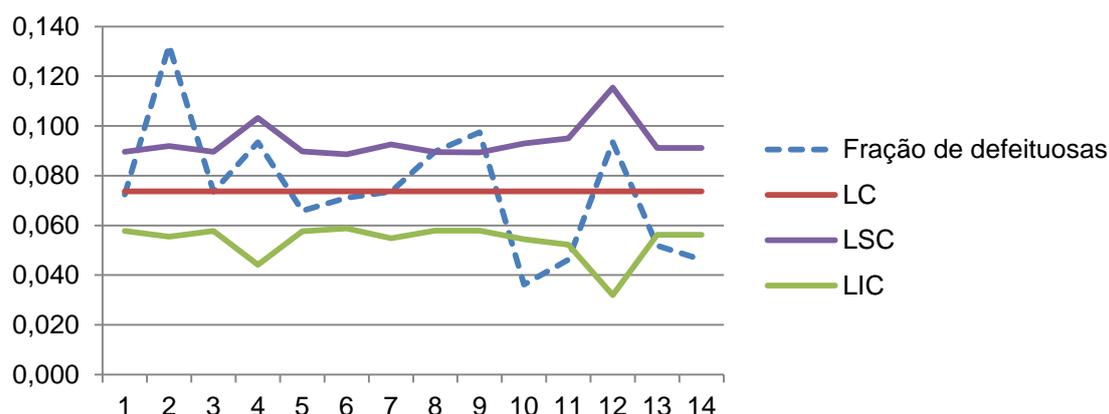


Gráfico 22 - Gráfico de amostras de tamanho variável para o Produto B: mês de Junho

Neste mês a produção foi de 26600 peças no total, das quais 1960 foram consideradas defeituosas. O gráfico 22 apresenta um limite de controlo de

0,074. É possível através da observação do gráfico concluir que existem pontos fora dos limites de controlo. Nomeadamente nas amostras nº2, nº8 e nº9 acima do Limite Superior de Controlo e as amostras nº10, nº11, nº13 e nº14 abaixo do Limite Inferior de Controlo.

A amostra nº2 corresponde a um dia em que os canais de fuga de gases do molde estavam obstruídos, sendo que passado algum tempo o molde foi retirado e lançada avaria do molde. Tal como já foi explicado nesta dissertação, o uso de massa de lubrificação faz com que frequentemente os canais de fuga de gases estejam obstruídos. O mesmo aconteceu para a amostra 9. Para a amostra 8 não foi detetada qualquer causa especial ou assinalável.

Quanto às amostras que se encontram abaixo do limite inferior de controlo, a amostra nº 10 corresponde ao dia imediatamente a seguir ao que o molde foi retirado da máquina por avaria. Sendo que o molde esteve em reparação o resto do dia, e só voltou a entrar em operação no dia da amostra nº10, introduzindo assim instabilidade ao processo e podendo ser esta a justificação para esta situação. Quanto às restantes amostras que se encontram abaixo do limite inferior de controlo não foi possível detetar qualquer causa assinalável.

➤ Julho

No gráfico 23 apresenta-se a análise gráfica referente ao mês de Julho, com um total de 14 amostras, com uma produção total de 24571, das quais 776 foram consideradas defeituosas. Este gráfico apresenta um LC de 0,032.

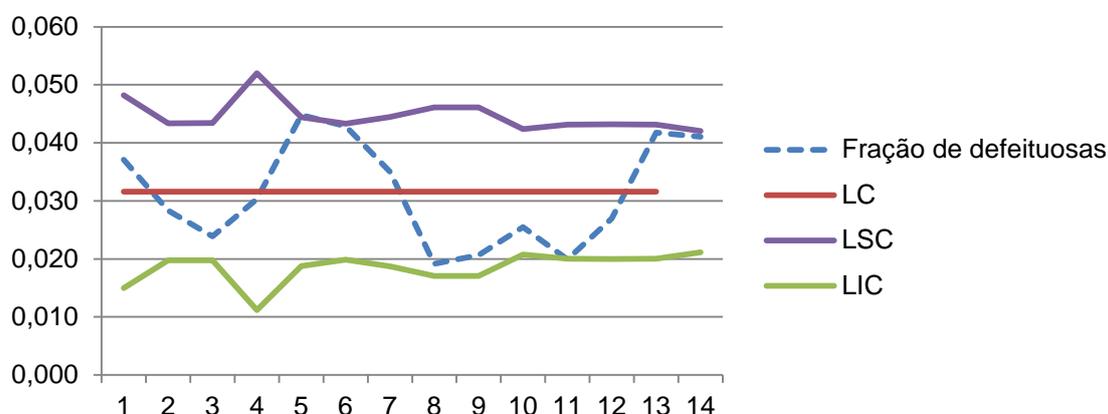


Gráfico 23 - Gráfico de amostras de tamanho variável para o Produto B: mês de Julho

Neste gráfico é possível observar que a amostra nº5 está fora de controlo, estando acima do limite superior de controlo ($LSC=0,044$ e fração de defeituosas= $0,045$). Na amostra nº6 o limite superior de controlo é igual à fração de defeituosas ($0,043$). Esta situação foi provocada por avaria do molde, causada pela falha do posicionador dos elementos móveis do molde. Esta situação é causada, com já explicado anteriormente, em virtude de se optar por não colocar massa de lubrificação no molde para os canais de fuga de gases não ficarem obstruídos, pelo que leva à falha do posicionador.

- Análise crítica da amostragem por tamanho variável para o Produto B

Com base nos dados recolhidos para análise da estabilidade do processo para este produto pode-se observar o processo apresentou instabilidade no primeiro mês com um ponto fora dos limites de controlo, no segundo mês, apesar do processo estar sob controlo e existir uma tendência aleatória, é possível observar que com alguma facilidade o processo pode deixar de estar sob controlo estatístico por existirem alguns picos.

Mais uma vez, foi definido que a segunda etapa (análise por amostragem fixa) seria em caso de o processo estar sob controlo estatístico. Mas dado mais uma vez o problema que mais contribui para a instabilidade do processo ter sido identificado, e ser uma consequência de uma outra medida implementada, foi decidido avançar para a amostragem fixa. Contudo, esta causa crítica foi estudada e sugeridas novas medidas para eliminar/controlar a causa.

5.6.3. Análise dos dados recolhidos: Gráficos da fração de não conformes

Como já referido acima, foi definido, no início deste projeto, que o objetivo de analisar a estabilidade do processo recorrendo a gráficos de amostras de tamanho variável era determinar se o processo estava sob controlo estatístico. Tal situação não se observou em todos os meses em estudo, mas como foram identificadas as causas dos pontos fora de controlo e se encontravam a ser estudadas medidas para eliminar/controlar as causas foi decidido estudar a estabilidade do processo recorrendo a tamanhos de amostras fixas para ambos os produtos.

- Produto A

Para este produto foi utilizado uma amostra de tamanho igual a 5, como referido acima. Foram recolhidas 26 amostras. O objetivo previsto eram 30 amostras, tal como para o produto B, contudo e por motivos relacionados com férias (menos recursos humanos) e por motivos relacionados com um *stock* baixo de malhas de rede, devido a estas estarem esgotadas no fornecedor foi impossível atingir o objetivo no prazo previsto. Os dados relativos à recolha efetuada para este gráfico encontram-se no anexo III.

Este produto é sempre produzido na mesma máquina, regra geral por dois turnos (das 06:00h às 14:30h e das 14:30h às 23:00h). Nas amostras recolhidas, e como referido por limitação de recursos humanos, existiram dias em que apenas existiu produção num turno e outros os dois turnos. Assim as recolhas foram feitas às 06:00h para inícios de séries, às 07:00h para ronda de SPC, às 18:30h para ronda de SPC e por fim às 23:00h para fins de série.

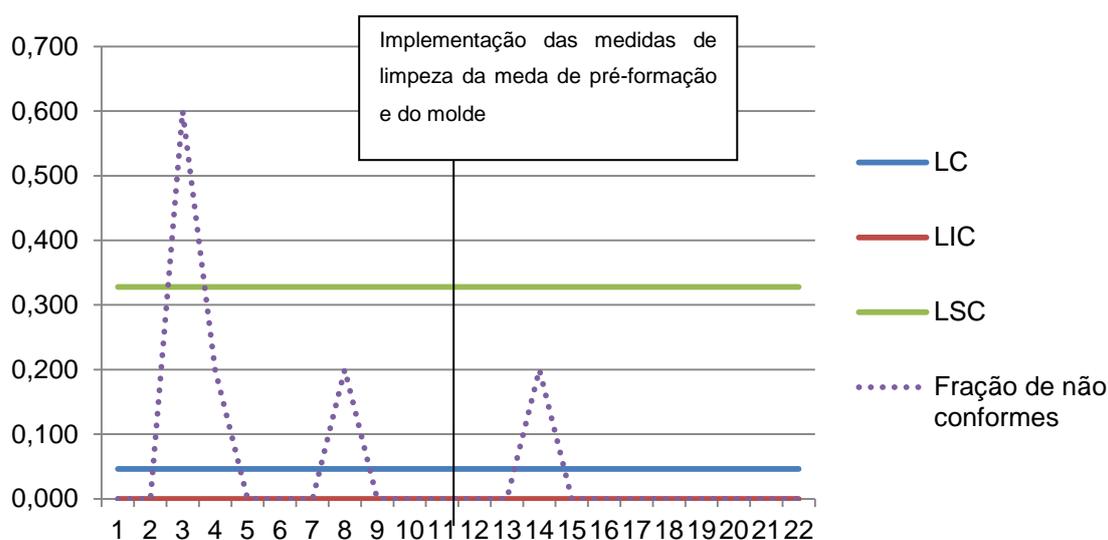


Gráfico 24 - Gráfico da fração de não conformes para o Produto A

O gráfico 24 apresenta LC de 0,046; um Limite Superior de Controlo igual (LSC) a 0,33 e um Limite Inferior de Controlo (LIC) igual a 0.

Assim na análise do gráfico 24 pode-se concluir que o processo do produto A não se encontra sob controlo estatístico dado existir um ponto de medição acima do Limite Superior de Controlo. Esse ponto corresponde à amostra nº 3, retirada no dia 21 de Julho, numa ronda de SPC (18:30h). Os três defeitos

registados nessa amostra correspondem a limalhas. Dada a peculiaridade deste defeito, não foi possível estabelecer uma causa com base em dados fidedignos. Importa referir que duas das medidas implementadas para estudar este defeito, nomeadamente a limpeza do molde e da mesa de pré-formação apenas se iniciou no dia 1 de Agosto (a partir da 11^a amostra). Assim esse ponto acima do LSC registou-se antes da implementação dessas medidas. Com a implementação de tais medidas é possível observar que não existiu qualquer ponto fora de controlo (entre as amostras n^o11 e n^o22), demonstrando a importância das medidas e a sua contribuição para o controlo deste defeito.

- Produto B

Como já referido acima, para este produto foi selecionada uma amostra de tamanho igual a 40 peças por cada recolha. Foram efetuadas 30 recolhas, sendo que as primeiras 21 amostras correspondem ao período normal em que este produto é produzido. Este é produzido sempre na mesma máquina e funciona entre as 07:30h e as 16:30h, mas dado estar-se em período de férias a produção do produto em questão passou para o primeiro turno (entre as 06:00h e as 14:30h) nas últimas 10 amostras recolhidas. Os dados relativos à recolha efetuada para este gráfico encontram-se no anexo III.

Para as primeiras 21 amostras a frequência de recolha das amostras foi às 07:30h para o início de série, às 13:30h para ronda de SPC e por fim às 16:30h para fim de série. As restantes nove amostras foram recolhidas às 06:00h para início de série, às 07:00h para ronda de SPC e às 14:30h para fim de série.

Das 30 recolhas de tamanho igual a 40, resultaram um total de 47 não conformidades, dando origem ao gráfico 24.

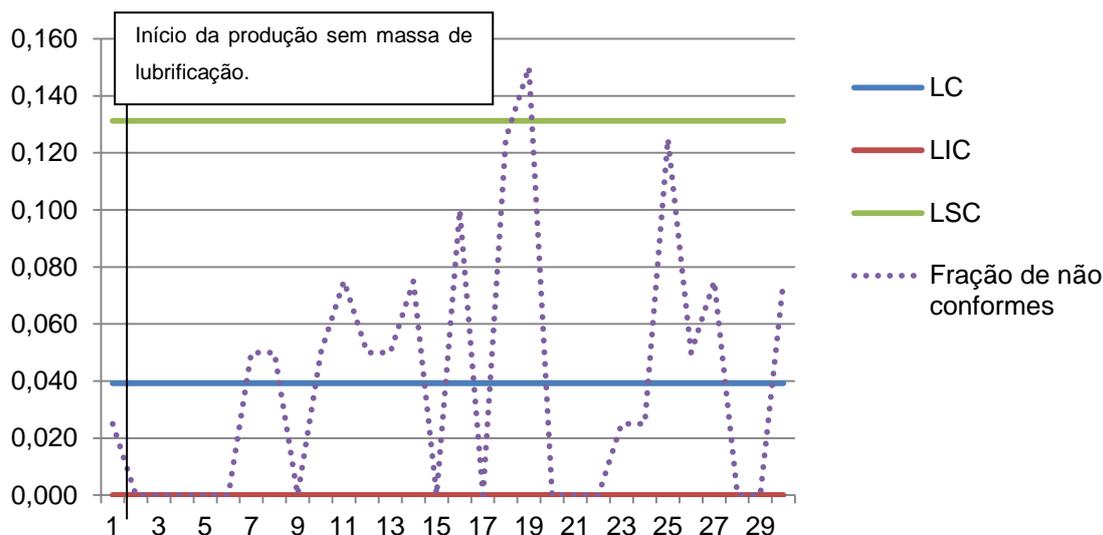


Gráfico 25 - Gráfico da fração de não conformes para o Produto B

O gráfico 25 apresenta os seguintes limites de controlo: Limite de Controlo (LC) de 0,039; Limite Inferior de Controlo (LIC) de 0; Limite Superior de Controlo (LSC) 0,131.

Da análise do gráfico pode-se observar um ponto acima do Limite Superior de Controlo, correspondente a amostra 19. A amostra 19 foi recolhida no dia 25 de Julho, correspondendo ao início de série do dia em questão. Foi lançada avaria pouco após o início de produção, por suspeita de falha do posicionador de elementos móveis do molde. Após intervenção foi realizada outra recolha para início de série, dado a máquina ter estado em ações de intervenção para retificar o problema por um período superior a 90 minutos, por volta das 14:00h não sendo registado qualquer defeito (amostra 20) e no fim de série (amostra 21) não foi igualmente registado qualquer defeito.

- Análise crítica da amostragem por tamanho fixo

Com recurso aos gráficos de controlo por atributos, nomeadamente através do gráfico da fração de não conformes, observou-se que ambos os processos dos produtos em estudo apresentaram pontos fora dos limites de controlo. Para o produto A, o ponto corresponde a uma data antes da implementação de medidas para eliminar/controlar a causa assinalável. Pelo que se recomenda a continuidade deste estudo para averiguar o impacto da aplicação das medidas implementadas.

Quanto ao produto B, este também apresenta um ponto fora de controlo. A causa assinalável para essa situação foi identificada, sabe-se concretamente qual a origem dessa causa, falta assim serem implementadas medidas para eliminar/controlar essa causa e estudar o impacto dessas mesmas medidas através deste tipo de gráficos.

5.7. ANÁLISE AO SISTEMA DE MEDIÇÃO – MSA

A análise ao sistema de medida desenvolvida ao longo deste capítulo teve como objetivo uma análise, quer por variáveis quer por atributos, unicamente a um produto, denominado nesta dissertação por produto A.

O motivo que levou à escolha deste produto está relacionado com a sua complexidade comparativamente ao produto B. Basta observar a análise de Pareto apresentada anteriormente nesta dissertação, e comparar a quantidade de defeitos que se pode encontrar em cada produto. No produto A foram detetados 8 tipos de defeitos, enquanto no produto B apenas 3 tipos de defeitos. Sendo que em termos de análise por variáveis apenas é medida uma cota em ambos os produtos, mas tendo em conta a análise por atributos optou-se por manter o mesmo produto para a análise por variáveis.

Neste estudo participaram três colaboradores, um do processo de injeção e dois do departamento de Qualidade para análise por atributos. Para a análise por variáveis os três colaboradores selecionados pertenciam ao departamento de Qualidade. Os colaboradores selecionados para este estudo, por questões de privacidade, foram denominados por colaborador 1, 2 e 3.

5.7.1. Análise por variáveis

Como já foi referido nesta dissertação, em termos de análise por variáveis pode-se analisar a estabilidade, a discriminação, a tendência, a linearidade, a repetibilidade e a reprodutibilidade. Neste estudo desenvolvido exclui-se a linearidade e a tendência, sendo desenvolvido um estudo em termos de Repetibilidade e Reprodutibilidade (estudo R&R), e ainda uma análise à estabilidade e a discriminação do equipamento de medida. Para isso recorreu-se ao *software* Minitab, para efetuar uma análise gráfica e numérica.

É medida uma cota neste produto. Na figura 60 é representada a localização do ponto de medição.

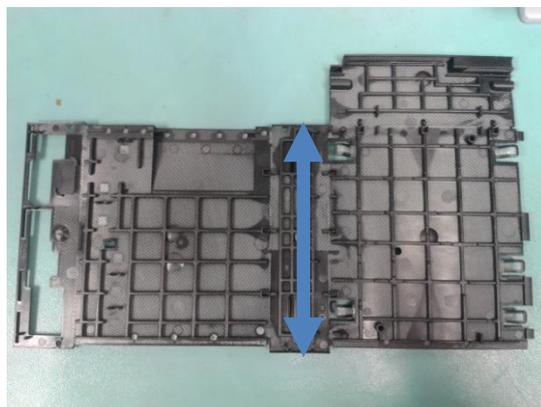


Figura 60 - Ponto de medição do Produto A

Para este produto, o Limite de especificação (LE) é 180,00mm; o limite superior de especificação (LSE) é 180,37mm e o limite inferior de especificação (LIE) é 179,6mm.

- Metodologia

Para este estudo por variáveis reuniram-se 20 amostras, de modo a conseguir representar grande parte da amplitude de variação admissível da característica controlada. Numeraram-se as amostras de maneira a serem o menos visível aos colaboradores em estudo. Cada colaborador realizou três medições de cada amostra, sendo a sequência de medição diferente em cada ciclo de medição, isto é, as amostras foram colocadas de forma aleatória para medição.

O equipamento utilizado para este estudo foi um paquímetro de 300 mm, que se encontra calibrado. Todos os equipamentos de medição de peças para o controlo estatístico por variáveis são calibrados por uma empresa externa, que efetua um conjunto de operações. Essas operações são efetuadas sob condições específicas, através da comparação entre o paquímetro ou dispositivo funcional e um conhecido valor de referência padrão e de incerteza.

Os resultados foram registados e podem ser verificados na figura 65, tendo-se efetuado no final a análise dos resultados em termos gráficos e numéricos.

• Resultados obtidos

Colaborador 1	Nº Amostras																				Média Colaborador A	Amplitude Colaborador A
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1ª Medição	179,64	180,01	180,33	180,30	179,70	180,03	179,73	180,00	180,00	179,64	180,30	180,36	179,65	180,01	179,64	180,01	180,05	180,37	180,01	180,01	179,99	0,73
2ª Medição	179,65	180,00	180,31	180,33	179,68	180,02	179,72	180,00	180,00	179,65	180,32	180,37	179,66	180,05	179,66	180,02	180,08	180,34	180,00	180,01	179,99	0,72
3ª Medição	179,67	180,01	180,33	180,32	179,68	180,03	179,72	180,02	180,00	179,66	180,33	180,36	179,67	180,02	179,66	180,01	180,06	180,34	180,00	180,00	179,99	0,70
Média Colaborador A [Xa]	179,653	180,007	180,323	180,317	179,687	180,027	179,723	180,007	180,000	179,650	180,317	180,363	179,660	180,027	179,653	180,013	180,063	180,350	180,003	180,007	179,99	0,71
Amplitude Colaborador A [Ra]	0,030	0,010	0,020	0,030	0,020	0,010	0,010	0,020	0,000	0,020	0,030	0,010	0,020	0,040	0,020	0,010	0,030	0,030	0,010	0,010	0,02	0,04

Colaborador 2	Nº Amostras																				Média Colaborador B	Amplitude Colaborador B
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1ª Medição	179,65	180,01	180,32	180,29	179,69	180,03	179,71	180,01	179,96	179,68	180,31	180,35	179,65	180,02	179,65	180,01	180,05	180,36	179,95	179,98	179,98	0,71
2ª Medição	179,65	180,01	180,32	180,29	179,70	180,02	179,70	180,01	179,96	179,67	180,33	180,34	179,67	180,03	179,67	180,01	180,04	180,35	179,96	180,00	179,99	0,70
3ª Medição	179,66	180,00	180,33	180,31	179,68	180,04	179,71	180,02	179,97	179,67	180,32	180,34	179,65	180,03	179,67	180,00	180,05	180,36	179,95	179,98	179,99	0,71
Média Colaborador B [Xb]	179,653	180,007	180,323	180,297	179,690	180,030	179,707	180,013	179,963	179,673	180,320	180,343	179,657	180,027	179,663	180,007	180,047	180,357	179,953	179,987	179,99	0,70
Amplitude Colaborador B [Rb]	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	0,020	0,010	0,020	0,010	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010	0,020	0,01	0,01

Colaborador 3	Nº Amostras																				Média Colaborador C	Amplitude Colaborador C
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1ª Medição	179,65	180,01	180,31	180,29	179,69	180,00	179,71	180,03	179,96	179,67	180,30	180,34	179,64	180,01	179,65	180,00	180,05	180,36	179,95	179,98	179,98	0,72
2ª Medição	179,67	180,01	180,31	180,30	179,69	180,00	179,71	180,03	179,96	179,68	180,30	180,34	179,64	180,01	179,65	180,00	180,04	180,34	179,95	179,98	179,98	0,70
3ª Medição	179,66	180,01	180,32	180,30	179,70	180,01	179,72	180,02	179,98	179,66	180,30	180,35	179,67	180,03	179,64	180,02	180,06	180,34	179,95	180,01	179,99	0,71
Média Colaborador C [Xc]	179,660	180,010	180,313	180,297	179,693	180,003	179,713	180,027	179,967	179,670	180,300	180,343	179,650	180,017	179,647	180,007	180,050	180,347	179,950	179,990	179,98	0,70
Amplitude Colaborador [Rc]	0,020	0,000	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020	0,000	0,010	0,030	0,020	0,010	0,020	0,020	0,020	0,000	0,030	0,01	0,03

Figura 61 - Resultados obtidos no MSA por variáveis

- Análise gráfica dos resultados

Para esta análise gráfica foi selecionado o método dos gráficos de controlo – o método da média e da amplitude.

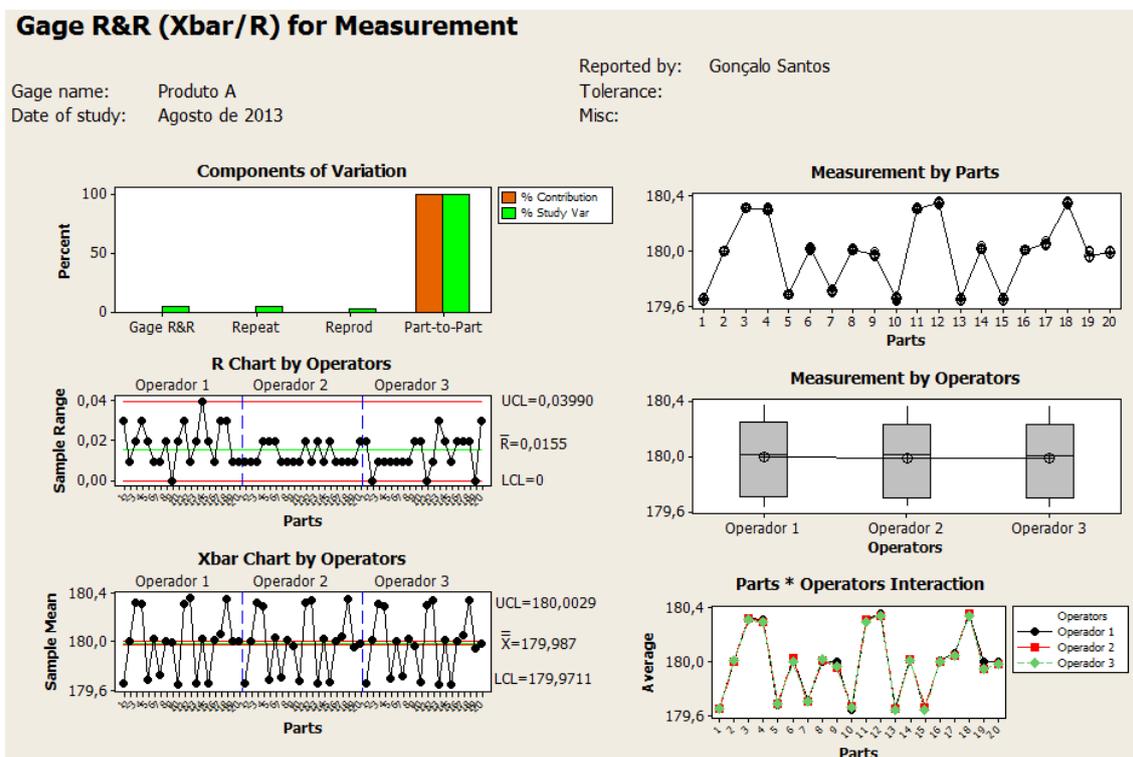


Figura 62 - Resultados gráficos do MSA por variáveis

A. Análise da variação do estudo

Tendo por base a figura 62, obtida através do *software* Minitab, pode-se observar no gráfico da variação, que grande parte da mesma provém das amostras (*part-to-part*), situação que é desejável. Este gráfico representa assim os contributos para a variação total do estudo.

B. Análise da repetibilidade e da estabilidade

No gráfico das amplitudes (*R chart*) pode-se analisar a repetibilidade. O desejável é que todos os pontos estejam dentro dos limites de controlo. Através da análise do gráfico em questão pode-se concluir que não existem pontos fora dos limites de controlo, logo o feedback em termos de repetibilidade dos operadores é positivo. Contudo, pode-se observar que o operador 2 é aquele

que apresenta uma menor amplitude, conseqüentemente uma maior repetibilidade.

Em termos de estabilidade, a análise é semelhante à repetibilidade. Se todos os pontos estão dentro dos limites de controlo, conclui-se que o sistema de medida é estatisticamente estável, dado que todos os pontos estão dentro dos limites de controlo.

C. Análise da reprodutibilidade e da variação do sistema vs variação das amostras

No gráfico das médias (*Xbar chart*) pode-se analisar a reprodutibilidade e obter uma indicação da variação do sistema de medição, em comparação com a variação das amostras. Em termos da variação do sistema de medição relativamente à variação das amostras, o ideal é que a maior parte dos pontos de medição estejam fora dos limites de controlo (cerca de 70%), indicando assim maior variação das amostras do que a variação da medição. Através da análise do gráfico em questão pode-se concluir que maior parte dos pontos de medição estão fora dos limites de controlo, logo a variação introduzida pelas amostras é maior do que a variação da medição.

Em termos de reprodutibilidade, o ideal é que os operadores apresentem um gráfico com os valores de medição aproximadamente iguais, indicando assim que a variabilidade entre eles é reduzida ou nula. Para este estudo, e de acordo com o desejável em termos de reprodutibilidade, pode-se concluir que existem semelhanças no gráfico dos três operadores, indicando que a variação entre eles será reduzida, existindo uma boa reprodutibilidade.

D. Análise da medição por amostras

No gráfico "*Measurement by parts*" da figura 62, pode-se observar a média por amostra. O ideal é que a maioria dos pontos neste gráfico estejam sobrepostos, indicando assim que todos os operadores apresentam a mesma média para cada amostra. Esta situação verifica-se neste estudo, estando todos os pontos sobrepostos, ou seja, a média para cada amostra foi aproximadamente igual nos três operadores em estudo.

E. Análise da medição por operadores

No gráfico “*Measurement by Operators*” da figura 62, pode-se observar a média por cada operador em estudo. O ideal é que os operadores apresentem uma média da sua medição aproximadamente igual. Neste estudo pode-se observar que os operadores apresentam uma média das suas medições aproximadamente igual, atingindo assim o objetivo, o sistema de medição é considerado consistente.

F. Análise da interação entre operadores e amostras

No gráfico “*Parts* Operators Interaction*” da figura 62, pode-se analisar a interação entre os operadores e amostras em estudo. Esta análise é um complemento à análise da reprodutibilidade. Se as linhas das médias das medições dos operadores para cada amostra em estudo são paralelas, significa que não existe interação entre os operadores e as amostras. Neste estudo pode-se concluir que não existe interação entre os operadores e as amostras, dado as linhas de cada operador serem paralelas, indicando que o sistema de medida é consistente.

- Análise numérica dos resultados

Como forma de complemento a análise gráfica dos resultados das medições, fez-se uma análise numérica, com o intuito de formar conclusões mais sólidas relativas a esta análise do sistema de medição.

Gage R&R Study - XBar/R Method

Gage R&R for Measurement

Gage name: Produto A
Date of study: Agosto de 2013
Reported by: Gonçalo Santos
Tolerance:
Misc:

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0001089	0,31
Repeatability	0,0000838	0,24
Reproducibility	0,0000251	0,07
Part-To-Part	0,0347912	99,69
Total Variation	0,0349001	100,00

Process tolerance = 0,74

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,010437	0,06262	5,59	8,46
Repeatability	0,009155	0,05493	4,90	7,42
Reproducibility	0,005011	0,03006	2,68	4,06
Part-To-Part	0,186524	1,11914	99,84	151,24
Total Variation	0,186816	1,12089	100,00	151,47

Number of Distinct Categories = 25

Figura 63 - Resultados numéricos do MSA por variáveis

Com recurso ao *software* Minitab obtiveram-se os resultados apresentados na figura 63.

Para retirar conclusões, deve-se analisar o valor da Repetibilidade e Reprodutibilidade para o estudo (GRR) e o número de categorias distintas.

Antes de se iniciar a análise dos resultados para a tomada de decisões relativas à aceitabilidade do sistema de medição, pode-se confirmar as conclusões retiradas na análise gráfica relativa à contribuição por componentes para a variação total. Na análise gráfica tinha-se concluído que grande parte da variação era devida as amostras e não devido à repetibilidade e reprodutibilidade. Tal situação pode ser confirmada em termos percentuais. A repetibilidade e reprodutibilidade contribuíram para a variação com cerca de

0,31%, enquanto a variação das amostras contribui com 99,84%, confirmando assim o que se tinha concluído na análise gráfica.

Quanto às conclusões acerca do sistema de medição, através da análise da percentagem da variabilidade do processo de produção ou da tolerância de fabricação da peça que é consumida pela variação do sistema de medição, como mencionado nesta dissertação, na revisão de literatura (Capítulo 2), considera-se o sistema de medição aceitável, dado a percentagem variação do estudo da Repetibilidade e da Reprodutibilidade (GRR) é menor que 10%.

Um critério adicional para aceitabilidade do sistema de medição é o número de categorias distintas, que de acordo com o Manual de Análise do Sistema de Medição (2010), deve ser maior ou igual a cinco. Dado que neste estudo o número de categorias distintas é de 25, reforça-se a ideia de que o sistema de medição é aceitável.

- Análise crítica à Análise do Sistema de Medição por variáveis

De acordo com os resultados gráficos e os resultados numéricos obtidos nesta análise pode-se concluir que o sistema de medição é aceitável.

Na análise numérica da Repetibilidade e da Reprodutibilidade pode-se observar uma diferença entre estas duas, com predominância da Repetibilidade. De acordo com o Manual de Análise do Sistema de Medição (*Measurement Systems Analysis, 2010*), quando a repetibilidade é grande quando comparada com a reprodutibilidade, as razões podem ser o equipamento de medição necessitar de manutenção, alteração do equipamento de medição, o ponto de medição da peça pode necessitar de ser melhorado e existir demasiada variação no interior da peça. Contudo, no manual não é quantificado quando é que a repetibilidade é grande quando comparada com a reprodutibilidade. Assim sugere-se que estas razões sejam analisadas por uma equipa multidisciplinar, e dado o equipamento de medição ter uma discriminação de duas casas decimais sugere-se que seja pensado a hipótese de adquirir um paquímetro com três casas decimais ou alterar o equipamento de medição para um micrómetro (já existente na empresa). Em termos de alteração do ponto de medição, o formato final deste produto é uma caixa para alojamento da parte eletrónica do auto rádio e a dimensão a controlar é a

largura da caixa. Contudo pode-se analisar com a equipa de engenharia quais as possibilidades para melhoria do ponto de medição.

5.7.2. Análise por atributos

- Metodologia

Para este estudo reuniram-se 20 amostras, de modo a reunir peças boas (consideradas peças ok) e peças defeituosas (considerados nok). Para tornar mais fácil a distinção das peças, numeraram-se as amostras (Tabela 9) de maneira a serem o menos visível aos colaboradores em estudo para evitar que estes memorizassem o número de peça e associassem o defeito.

As amostras foram colocadas de forma aleatória para medição. Cada colaborador realizou três análises de cada amostra, sendo a sequência de análise diferente em cada ciclo de medição. Neste estudo participaram três colaboradores, dois do departamento de Qualidade e um do processo de injeção. O motivo que levou à escolha de um colaborador do processo de injeção prende-se com a necessidade de averiguar a capacidade destes em detetar defeitos no produto. Este colaborador está normalmente afeto à máquina responsável por produzir este produto. Uma deteção antecipada por este na recolha das peças do tapete permite desencadear um alerta mais rápido ao responsável do Processo de Injeção e à Qualidade, trabalhando assim na melhoria contínua e na redução da quantidade de peças rejeitadas.

Para este estudo foram considerados os defeitos de acordo com a análise de Pareto efetuada para este produto, excluindo peças com sujidade, cartão na patilha e falta de matéria-prima. Quanto às peças com sujidade e cartão na patilha este defeito ocorre com pouca frequência. A falta de matéria-prima por não existência de um exemplar também não foi considerada neste estudo.

No anexo III encontram-se as imagens referentes aos defeitos considerados para este estudo.

Os resultados foram registados e podem ser verificados nas tabelas abaixo (Tabela 10,11,12 e 13). No final fez-se a análise dos resultados, quer em termos gráficos quer em termos numéricos.

- Descrição dos defeitos

Tabela 9- Tabela referência padrão dos defeitos das amostras em estudo

Nº de peça	Defeito
1	Ok
2	Nok - Limalha na patilha na zona IV
3	Nok - Excesso de matéria-prima nos buracos zona III
4	Ok
5	Nok - Malha descentrada Zona IV
6	Ok
7	Nok - Limalha na zona III
8	Nok - Malha descentrada zona IV
9	Nok - Pinos partidos
10	Nok - Limalha zona I
11	Ok
12	Ok
13	Nok - Limalha zona III
14	Nok - Pino partido
15	Nok - Malha partida e limalha na zona VI
16	Ok
17	Nok - Limalha zona II
18	Ok
19	Nok - Malha partida e limalha na patilha zona IV
20	Ok

- Resultados obtidos

- Quantidade de Ok/NOK por peça e operador

Tabela 10 - Quantidade de OK/NOK por operador/peça

Nº de peça	Operador 1		Operador 2		Operador 3	
	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK
1	3	0	3	0	3	0
2	0	3	0	3	0	3
3	0	3	0	3	3	0
4	3	0	3	0	3	0
5	0	3	0	3	0	3
6	3	0	3	0	3	0
7	0	3	0	3	0	3
8	0	3	0	3	0	3
9	0	3	3	0	3	0
10	0	3	0	3	0	3
11	3	0	3	0	3	0
12	3	0	3	0	3	0
13	0	3	0	3	0	3
14	0	3	3	0	3	0
15	0	3	0	3	0	3
16	3	0	3	0	3	0
17	0	3	0	3	0	3
18	3	0	3	0	3	0
19	0	3	0	3	0	3
20	3	0	3	0	3	0

➤ Operador 1

Tabela 11 - Resultados obtidos no MSA por atributos: Operador 1

Nº de peça	Análise 1	Análise 2	Análise 3
1	Ok	Ok	Ok
2	Nok	Nok	Nok
3	Nok	Nok	Nok
4	Ok	Ok	Ok
5	Nok	Nok	Nok
6	Ok	Ok	Ok
7	Nok	Nok	Nok
8	Nok	Nok	Nok
9	Nok	Nok	Nok
10	Nok	Nok	Nok
11	Ok	Ok	Ok
12	Ok	Ok	Ok
13	Nok	Nok	Nok
14	Nok	Nok	Nok
15	Nok	Nok	Nok
16	Ok	Ok	Ok
17	Nok	Nok	Nok
18	Ok	Ok	Ok
19	Nok	Nok	Nok
20	Ok	Ok	Ok

➤ Operador 2

Tabela 12 - Resultados obtidos no MSA por atributos: Operador 2

Nº de peça	Análise 1	Análise 2	Análise 3
1	Ok	Ok	Ok
2	Nok	Nok	Nok
3	Nok	Nok	Nok
4	Ok	Ok	Ok
5	Nok	Nok	Nok
6	Ok	Ok	Ok
7	Nok	Nok	Nok
8	Nok	Nok	Nok
9	Ok	Ok	Nok
10	Nok	Nok	Nok
11	Ok	Ok	Ok
12	Ok	Ok	Ok
13	Nok	Nok	Nok
14	Ok	Ok	Nok
15	Nok	Nok	Nok
16	Ok	Ok	Ok
17	Nok	Nok	Nok
18	Ok	Ok	Ok
19	Nok	Nok	Nok
20	Ok	Ok	Ok

➤ Operador 3

Tabela 13 - Resultados obtidos no MSA por atributos: Operador 3

Nº de peça	Análise 1	Análise 2	Análise 3
1	Ok	Ok	Ok
2	Nok	Nok	Nok
3	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok
5	Nok	Nok	Nok
6	Ok	Ok	Ok
7	Nok	Nok	Nok
8	Nok	Nok	Nok
9	Ok	Ok	Ok
10	Nok	Nok	Nok
11	Ok	Ok	Ok
12	Ok	Ok	Ok
13	Nok	Nok	Nok
14	Ok	Ok	Ok
15	Nok	Nok	Nok
16	Ok	Ok	Ok
17	Nok	Nok	Nok
18	Ok	Ok	Ok
19	Nok	Nok	Nok
20	Ok	Ok	Ok

Numa primeira fase, através das tabelas de recolha de dados, comparando com a tabela de referência dos defeitos (descrição dos defeitos), pode-se observar que o operador 1 apresentou resultados de acordo com as referências. Quanto aos outros dois operadores pode-se observar nos valores com sombreado vermelho que estes apresentaram resultados diferentes quando comparado com a referência.

- Análise gráfica dos resultados

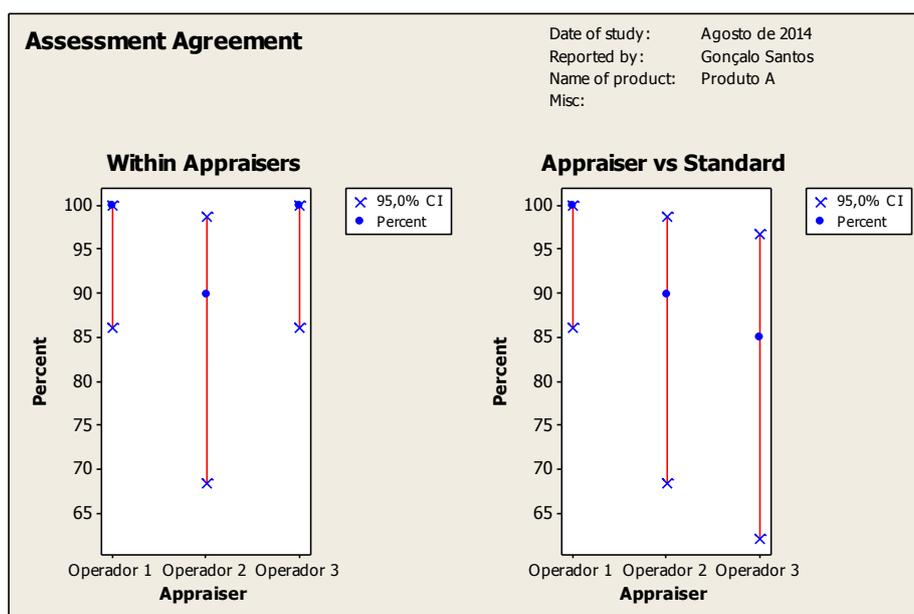


Figura 64 - Resultados gráficos do MSA por atributos

A análise efetuada teve por base o Método da Análise do Teste de Hipóteses – Método da Tabela Cruzada. Com base na imagem acima pode-se confirmar o que foi afirmado acima quanto aos resultados dos operadores.

No lado esquerdo da figura 64 (*Within Appraisers*) pode-se observar os resultados do operador ao longo das três análises. Quanto ao operador 1, este foi constante ao longo das três análises, tal como o operador 3, apresentando assim uma concordância de 100% nos seus resultados. Por sua vez, o operador 2 apresentou variação nas suas respostas ao longo das análises. Quer isto dizer, que numa das medições o operador considerou uma amostra boa (ok) e na análise a seguir considerou má (nok). Esta situação é sustentada pela tabela 11, onde se pode observar que nas amostras 9 e 14 o operador considerou as amostras nas duas primeiras análises ok e na última considerou as amostras com nok. Estas amostras eram referentes ao defeito de pino

partido. Este operador apresenta uma percentagem de 90% de concordância consigo mesmo.

No lado direito da figura 64 (*Appraisers vs Standard*) pode-se analisar os resultados do operador tendo por comparação a referência padrão de defeitos das amostras.

O operador 1, para além de concordar consigo mesmo ao longo das três análises que fez às 20 amostras, apresentou resultados sempre de acordo com a referência padrão para cada amostra. O operador 2 e 3 apresentaram alguns resultados diferentes da referência padrão para as amostras em estudo. O operador 2 apresentou 90% dos seus resultados de acordo com a referência padrão e o operador 3 apresentou 85% dos seus resultados de acordo com a referência padrão.

Tendo por base os valores apresentados na revisão de literatura desta dissertação, Capítulo 2, pode-se concluir que em termos de concordância do próprio operador, todos os operadores apresentam uma eficiência do sistema de medida aceitável (≥ 90).

Quanto à análise dos resultados dos operadores comparando com a referência (concordância entre operador e referência padrão), o operador 1 apresenta mais uma vez uma eficiência do sistema de medida aceitável ($\geq 90\%$). O operador 2 apresenta uma eficiência do sistema de medida igualmente aceitável. Quando ao operador 3, este apresenta uma eficiência do sistema de medida marginalmente aceitável, necessitando de melhorias.

Para comprovar estes resultados e apresentar uma análise sólida e uma tomada de decisões eficaz pode-se analisar também os resultados numéricos.

- Análise numérica dos resultados

Para esta análise, o método escolhido nesta dissertação foi o Método da Análise de Teste de Hipóteses – Método da Tabela Cruzada.

A. Análise da concordância do próprio operador

Results for: Worksheet 1

Attribute Agreement Analysis for Assessments

Date of study: Agosto de 2014
Reported by: Gonçalo Santos
Name of product: Produto A
Misc:

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Operador 1	20	20	100,00	86,09; 100,00)
Operador 2	20	18	90,00	68,30; 98,77)
Operador 3	20	20	100,00	86,09; 100,00)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Operador 1	nok	1,00000	0,129099	7,74597	0,0000
	ok	1,00000	0,129099	7,74597	0,0000
Operador 2	nok	0,86607	0,129099	6,70856	0,0000
	ok	0,86607	0,129099	6,70856	0,0000
Operador 3	nok	1,00000	0,129099	7,74597	0,0000
	ok	1,00000	0,129099	7,74597	0,0000

Figura 65 - Resultados numéricos do MSA por atributos: Within Appraisers

Nesta figura 65 pode-se confirmar o que foi concluído acima quanto à concordância de cada operador consigo mesmo. Os três operadores apresentam um sistema de medida aceitável. O operador 1 apresenta uma percentagem de 100% de concordância consigo mesmo, o mesmo se aplica ao operador 3. O operador 2 apresenta uma concordância de 90% sendo o sistema de medida do operador considerado também aceitável.

Estas conclusões são reforçadas pelo valor de *Kappa (Cohen)*, em que de acordo com os valores apresentados na revisão de literatura, todos os operadores em estudo apresentam um sistema de medida aceitável, dado o valor em questão ser superior a 0,75.

B. Análise da concordância de cada operador VS referência padrão

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Operador 1	20	20	100,00	(86,09; 100,00)
Operador 2	20	18	90,00	(68,30; 98,77)
Operador 3	20	17	85,00	(62,11; 96,79)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Assessment Disagreement

Appraiser	# ok / nok	Percent	# nok / ok	Percent	# Mixed	Percent
Operador 1	0 / 0	0,00	0 / 0	0,00	0	0,00
Operador 2	0 / 0	0,00	0 / 0	0,00	2	10,00
Operador 3	3 / 0	25,00	0 / 0	0,00	0	0,00

ok / nok: Assessments across trials = ok / standard = nok.

nok / ok: Assessments across trials = nok / standard = ok.

Mixed: Assessments across trials are not identical.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Operador 1	nok	1,00000	0,129099	7,74597	0,0000
	ok	1,00000	0,129099	7,74597	0,0000
Operador 2	nok	0,86532	0,129099	6,70274	0,0000
	ok	0,86532	0,129099	6,70274	0,0000
Operador 3	nok	0,69925	0,129099	5,41635	0,0000
	ok	0,69925	0,129099	5,41635	0,0000

Figura 66 - Resultados numéricos do MSA por atributos: Each Appraiser vs Standard

Na figura 66 pode-se concluir que o operador 1 apresenta uma concordância de 100% em comparação dos seus resultados com a referência padrão para as amostras analisadas por este, logo o sistema de medida do operador é aceitável. O operador 2 apresenta uma concordância de 90% tendo em conta os seus resultados e a referência padrão para as amostras em estudo, sendo também o sistema de medida considerado aceitável. Por fim o operador 3 apresenta 85% dos seus resultados de acordo a referência padrão para as amostras em estudo, assim o sistema de medida do operador é considerado marginalmente aceitável, existindo necessidade de melhorias.

Pode-se confirmar estas conclusões através da análise do valor de *Kappa*. O operador 1 apresenta um excelente grau de concordância (*kappa* maior que 0,75), o mesmo se pode concluir para o operador 2, embora com uma percentagem menor. O operador 3 apresenta um valor de *Kappa* de aproximadamente 0,70, estando este valor entre 0,40 e 0,75 podendo-se concluir que o grau de concordância é aceitável, embora existam necessidades

de melhorias. Esta decisão deve ser analisada com o cliente, identificando as falhas e analisando-as.

Mais uma vez a análise numérica encontra-se em concordância com a análise gráfica.

C. Análise da concordância entre operadores

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
20	17	85,00	(62,11; 96,79)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
nok	0,838390	0,0372678	22,4964	0,0000
ok	0,838390	0,0372678	22,4964	0,0000

Figura 67 - Resultados numéricos do MSA por atributos: Between Appraisers

Nesta análise estuda-se a concordância entre os vários operadores em estudo. Assim pode-se observar na figura 67, que em termos de concordância entre operadores, em 85% dos resultados todos os operadores concordam na classificação da amostra. O sistema de medida é assim considerado marginalmente aceitável.

O grau de concordância é de 0,83 indicando um bom grau de concordância.

D. Análise da concordância entre operadores VS referência padrão

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
20	17	85,00	(62,11; 96,79)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
nok	0,854856	0,0745356	11,4691	0,0000
ok	0,854856	0,0745356	11,4691	0,0000

Figura 68 - Resultados numéricos do MSA por atributos: All Appraisers vs Standard

Na análise da concordância dos resultados de todos os operadores com a referência padrão (figura 68), pode-se concluir que 85% dos seus resultados estão de acordo com a referência padrão, logo o sistema de medida é considerado marginalmente aceitável, existindo necessidades de melhoria.

Quanto ao grau de concordância de todos os operadores com a referência padrão, pode-se concluir que existe um bom nível de concordância (*kappa* maior que 0,75).

- Análise crítica à Análise do Sistema de Medição por atributos

Julga-se ser pertinente focar as conclusões na análise da concordância do próprio operador e na análise concordância de cada operador vs referência padrão, visto que se pode analisar cada operador individualmente, sem desprezar a análise da concordância entre os operadores e concordância entre os operadores vs referencia padrão.

➤ Operador 1

Com base no número de decisões corretas sob o total de oportunidades de decisão, para as duas situações (concordância entre os operadores e concordância, bem como entre o operador vs referencia padrão) este operador apresenta um sistema de medição aceitável (100%), e um grau de concordância de 1, pelo que é considerado um excelente grau de concordância.

➤ Operador 2

O operador 2, com base no número de decisões corretas sob o total de oportunidades de decisão, para a concordância consigo próprio, apresenta uma percentagem de aproximadamente 90%, sendo o sistema de medição aceitável. Quanto ao grau de concordância consigo próprio, com base no valor de *Kappa*, é considerado bom, por estar acima dos 0,75. Apesar do grau de concordância ser considerado bom, é pertinente averiguar com o operador o que falhou na identificação do defeito e qual o motivo que o levou a identificar o defeito só à terceira análise. No que diz respeito à concordância entre o operador vs referencia padrão, a conclusão é exatamente igual.

➤ Operador 3

Este operador, na análise da concordância consigo mesmo, com base no número de decisões corretas sob o total de oportunidades de decisão, apresenta uma percentagem de 100%, sendo o sistema de medição considerado aceitável, porque o operador foi constante ao longo das três análises. Como tal, o seu grau de concordância foi de 1, logo apresenta um excelente grau de concordância. No que diz respeito à análise da sua concordância com a referência padrão, com base no número de decisões corretas sob o total de oportunidades de decisão, apresenta uma percentagem de 85%, logo o sistema de medição é considerado marginalmente aceitável. O grau de concordância dos seus resultados face à referência padrão foi de aproximadamente 0,70, considerando-se, assim, um grau de concordância aceitável. Este operador revela necessidade de formação, pois apesar de ter utilizado nas suas análises os mesmos critérios (análise da sua própria concordância), considerou três amostras como ok, quando na referência padrão estas foram consideradas como nok, concretamente os defeitos de pinos partidos (amostras 9 e 14) e o defeito de excesso de matéria-prima (amostra 3).

Estas amostras foram revistas com o operador individualmente logo após o fim do MSA, e discutidos os critérios que o levaram a considerar estas amostras como ok. Julga-se ainda pertinente, com base na análise da concordância entre operadores VS referência padrão, que a empresa realize uma pequena ação de formação, para os operadores do processo de injeção que recolhem as peças do tapete das máquinas de injeção e para os colaboradores do departamento de Qualidade, sobre os defeitos identificados na análise de Pareto desenvolvida nesta dissertação, e quais os critérios de aceitação.

6. CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta um resumo geral das principais conclusões a retirar do desenvolvimento do projeto realizado. Assim como as limitações sentidas e recomendações de trabalho futuro.

Este projeto teve como objetivo a melhoria do programa de controlo estatístico de um processo de injeção de plásticos. Assim, para estudar este processo foram selecionados dois produtos: o Produto A e o Produto B. Para se atingir este objetivo proposto, existiu necessidade de subdividir o objetivo principal em outros objetivos mais específicos. Foram assim definidos os seguintes quatro objetivos específicos: análise de Pareto para determinar quais os defeitos mais críticos, análise de causa-efeito para os defeitos identificados, melhoria do método de controlo estatístico por atributos já implementado e análise ao sistema de medição.

Com recurso à análise de Pareto chegou-se a conclusão que para o produto A, o defeito mais crítico eram as limalhas. Num total de oito defeitos encontrados neste produto, as limalhas nos 3 meses em estudo para esta análise apresentaram uma percentagem superior a 65% dos defeitos encontrados. Para o produto B as manchas brancas foram identificadas como o defeito mais crítico, representado cerca de 96,63% dos defeitos encontrados (num total de 2 defeitos) no primeiro mês e no segundo mês cerca de 99,87% (num total de 3 defeitos).

No sentido de se estudar as causas dos defeitos identificados nos processos dos produtos sobre o qual versava este projeto, foi aplicada uma análise de causa-efeito para se descobrir quais as causas do defeito. Assim foi desenvolvida uma análise de causa-efeito para cada defeito dos dois produtos, com auxílio a sessões de brainstorming com uma equipa multidisciplinar, onde se concluiu que para o defeito mais crítico do produto A (as limalhas) a causa mais crítica era o método. Para o produto B concluiu-se que a causa mais crítica era a máquina/molde.

Finda a análise causa-efeito para os dois produtos, foram desenvolvidas medidas para eliminar/controlar as causas críticas. Assim para o Produto A, com o objetivo de controlar as limalhas, foram apresentadas algumas medidas,

de realçar a limpeza do molde e da mesa de pré-formação e uma experiência com malhas de rede com defeito que foram implementadas ainda durante este projeto. Da limpeza do molde e da mesa pré-formação observou-se uma diminuição das limalhas. Contudo foi também possível concluir que existem outras causas a contribuírem para o aparecimento das limalhas. Do estudo realizado com malhas de rede com defeito retirou-se a necessidade de as controlar à entrada, para além do controlo em termos de empeno. Quanto ao produto B, foi igualmente desenvolvido um conjunto de medidas para eliminar/controlar as manchas brancas, sendo de realçar a medida que foi implementada pela equipa de moldes/processo de injeção de utilizar o molde sem massa de lubrificação para evitar que os canais de fuga de gases fossem obstruídos. Esta medida levou a que o posicionador de elementos móveis avariasse com frequência, pelo que esta deve ser uma situação de análise com prioridade.

Para controlar estes defeitos críticos, realizou-se uma experiência com recurso aos gráficos de controlo, numa primeira análise com amostras de tamanho variável (correspondente à produção total) e numa segunda fase com amostragem fixa. Da amostragem com tamanho variável observou-se que os processos dos produtos em questão apresentaram instabilidade. Contudo foram identificadas as causas especiais que deram origem a esses pontos fora de controlo, que correspondiam aos defeitos mais críticos identificados na análise de Pareto, tendo sido desenvolvidas medidas para eliminar/controlar essas mesmas causas. Assim, decidiu-se, que apesar de os processos não terem apresentado estabilidade estatística em alguns meses, passar para a segunda fase da amostragem fixa. Com recurso a amostras de tamanho fixo foi observado que para o Produto A existiu um ponto acima do Limite Superior de Controlo, mas a partir do momento em que foi aplicada a medida de limpeza do molde e da mesa de pré-formação para eliminar/controlar as limalhas, o processo não apresentou qualquer ponto fora de controlo. Relativamente ao produto B existiu também um ponto acima do Limite Superior de Controlo, situação provocada pela avaria do posicionador de elementos móveis do molde.

Da Análise ao Sistema de Medição foi possível concluir que tanto na análise por variáveis, quer por atributos, o sistema de medição é considerado aceitável. Contudo, na análise por atributos foram detetadas pequenas diferenças entre operadores, pelo que se recomenda uma ação de formação com os colaboradores, divulgando o resultado desta análise aos três colaboradores, focando em especial os defeitos correspondentes às amostras que geraram diferenças entre operadores. Em termos de variáveis, e apesar do sistema de medição ser considerado aceitável, recomenda-se que seja analisada a possibilidade de alterar o equipamento de medição e uma eventual alteração do ponto de medição.

Assim, em resumo geral recomenda-se a continuidade deste estudo para determinar se com recurso a amostras de tamanho fixo os processos estabilizam e que sejam ainda aplicadas outras sugestões apresentadas para controlo das causas críticas.

6.1. Limitações

Durante este projeto sucederam algumas limitações que dificultaram o alcance do objetivo final. De realçar o facto das malhas de rede utilizadas no produto A apresentarem um *stock* relativamente baixo e também por estarem esgotadas no fornecedor, situação que levou a que por questões de segurança fosse também selecionado outro produto. Esta situação impossibilitou na amostragem por tamanho fixo que fossem recolhidas 30 amostras.

Os produtos selecionados pertenciam a um cliente que não representa uma marca topo de gama. Tal situação acaba por influenciar os critérios de aceitação (critérios de aceitação mais largos), e tendo em conta que o produto B apresenta um valor final relativamente baixo quando comparado com o produto A ou com outro produto da empresa, é expectável que medidas para eliminar as causas críticas que envolvem um investimento considerável sejam mais lentas a serem adotadas. Foi também relatado que existe possibilidade de se deixar de produzir o produto B na Delphi de Braga, o que também acresce alguma dificuldade na tomada de decisões.

6.2. Trabalho Futuro

Como trabalho futuro recomenda-se que para a eliminação/controlo das limalhas seja adotado um sistema de aspiração localizado em vez do sistema atual (ar comprimido) de limpeza da mesa de pré-formação e do molde, e que seja realizado um planeamento de experiências para analisar o impacto do tempo de ciclo e da velocidade do robot no aparecimento das limalhas.

Recomenda-se ainda que seja efetuado uma nova Análise ao Sistema de Medição, por variáveis utilizando o método ANOVA, bem como outra Análise ao Sistema de Medição com um novo equipamento de medição para comparar resultados e optar pelo melhor equipamento de medição (que apresente menor variação).

Por fim, que sejam repensadas as recolhas de amostras para CEP. Sugere-se que sejam pensadas as recolhas de amostras para CEP num período mais curto, para que em caso de presença de causas especiais a afetar a estabilidade do processo se possa reagir mais rapidamente e assim diminuir o número de peças para retrabalho e/ou refugo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado-Iniesta, A., Valles-Rosales, D., García-Alcaraz, J., & Maldonado-Macias, A. (2012). A Recurrent Neural Network for Warpage Prediction in Injection Molding. *Journal of Applied Research and Technology*, 10(6), 912-919.
- Antony, J., & Taner, T. (2003). A conceptual framework for the effective implementation of statistical process control. *Business Process Management Journal*, 9(4), 473-489.
- Bramwell, D. (2013). An introduction to statistical process control in research proteomics. *Journal of proteomics*, 95, 3-21. doi: 10.1016/j.jprot.2013.06.010
- Burdick, R., Borror, C., & D., M. (2005). *Design and analysis of gauge R&R studies: making decisions with confidence intervals in random and fixed Anova models* Philadelphia, Alexandria.
- Castagliola, P., Achouri, A., Taleb, H., Celano, G., & Psarakis, S. (2013). Monitoring the Coefficient of Variation Using a Variable Sampling Interval Control Chart. *Quality and Reliability Engineering International*, 29(8), 1135-1149. doi: 10.1002/qre.1465
- Does, R., Schippers, W., & Trip, A. (1997). A framework for implementation of statistical process control. *Internation Journal of Quality Science*, 2(3), 181-198. doi: 10.1108/13598539710170821
- Duffuaa, S., Khursheed, S., & Noman, S. (2004). Integrating statistical process control, engineering process control and Taguchi's quality engineering. *International Journal of Production Research*, 42(19), 4109-4118. doi: 10.1080/00207540410001704069
- Eiras, F. (1999). *Manual Prático de Moldação por Injecção* (K. P. P. S.A Ed.).
- Ford Motor Company, G. M. C. (2010). *Measurement Systems Analysis* (4 ed.): AIAG.
- Greener, J., & Wimberger-Friedl, R. (2006). *Precision injection molding : process, materials and applications*. Munich: Hanser.
- Harada, J. (2004). *Moldes para injeção de Termoplásticos: Projetos e Princípios Básicos*. São Paulo: Artliber.

- Haridy, S., Wu, Z., Lee, K., & Rahim, M. (2014). An attribute chart for monitoring the process mean and variance. *International Journal of Production Research*, 52(11), 3366-3380. doi: 10.1080/00207543.2013.875234
- Kaya, I., & Kahraman, C. (2011). Process capability analyses based on fuzzy measurements and fuzzy control charts. *Expert Systems With Applications*, 38(4), 3172-3184.
- Keats, J., & Montgomery, D. (1991). *Statistical process control in manufacturing*. New York: Marcel Dekker.
- Lim, S. A. H., Antony, J., & Albliwi, S. (2014). Statistical Process Control (SPC) in the food industry - A systematic review and future research agenda. *Trends in Food Science & Technology*, 37, 137-151.
- Mast, J., Schippers, W., Does, R., & Heuvel, E. (2000). Steps and strategies in process improvement. *Quality and Reability Engeneering International*, 16(4), 301-311. doi: 10.1002/1099-1638(200007/08)16:4<301::AID-QRE340>3.0.CO;2-E
- Montgomery, D. (2008). *Introduction to Statistical Quality Control*. Arizona: John Wiley & Sons, Inc.
- Motorcu, A. R., & Gullu, A. (2006). Statistical process control in machining, a case study for machine tool capability and process capability. *Materials & Design*, 27(5), 364-372. doi: 10.1016/j.matdes.2004.11.003
- Osswald, T., Turng, L., & Gramann, P. (2002). *Injection Molding Handbook*. Munich: Hanser.
- Pacheco, M., Sampaio, P., & Rodrigues, C. (2011). *Ferramentas da qualidade: estudo da sua aplicação e uso nas organizações certificadas*. Paper presented at the ENEGI - Encontro Nacional de Engenharia e Gestão Industrial, Guimarães.
- Paliska, G., Pavletic, D., & Sokovic, M. (2007). Quality tools – systematic use in process industry. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 25(1), 79 - 82.
- Peruchi, R., Paiva, A., Balestrassi, P., Ferreira, J., & Sawhney, R. (2014). Weighted approach for multivariate analysis of variance in measurement system analysis. *Precision Engineering*, 38(3), 651-658. doi: 10.1016/j.precisioneng.2014.03.001

- Phelan, S. (2011). Case study research: design and methods. *Evaluation & Research in Education*, 24, 221-222. doi: 10.1080/09500790.2011.582317
- Ravenswood, K. (2011). Eisenhardt's impact on theory in case study research. *Journal of Business Research*, 64(7), 680-686. doi: 10.1016/j.jbusres.2010.08.014
- Rosato, D. (1993). *Plastics encyclopedia and dictionary*. New York: Hanser Gardner Pubns.
- Rungtusanatham, M. (1999). The Quality and Motivational Effects of Statistical Process Control *Journal of Quality Management*, 4(2), 243-264
- Saunders, M., Lewis, P., Thornhill, A. (2004). *Research Methods for Business Students*, 4th. Edition, Financial Times Prentice-Hall.
- Sila, I., & Ebrahimpour, M. (2003). Examination and comparison of the critical factors of total quality management (TQM) across countries. *International Journal of Production Research*, 41(2), 235-268. doi: 10.1080/0020754021000022212
- Starzynska, B., & Hamrol, A. (2013). Excellence toolbox: Decision support system for quality tools and techniques selection and application. *TOTAL QUALITY MANAGEMENT & BUSINESS EXCELLENCE*, 24(5-6), 577-595. doi: 10.1080/14783363.2012.669557
- Statistical Process Control*. (1995). England: A.I.A.G.
- Sweet, A., Tjokrodjojo, S., & Wijaya, P. (2005). An Investigation of the Measurements Systems Analysis "Analytic Method" for Attribute Gages. *Quality Engineering*, 17(2), 219-226. doi: 10.1081/QEN-200056453
- Tari, J. J., & Sabater, V. (2004). Quality tools and techniques: Are they necessary for quality management? *International Journal of Production Economics*, 92(3), 267-280. doi: 10.1016/j.ijpe.2003.10.018
- The Society of the Plastics Industry. (1996). *Operator's Handbook for Plastic Injection Molding*. Washington: The Society of the Plastics Industry.
- Wang, F., & Chien, T. (2010). Process-oriented basis representation for a multivariate gauge study. *Computers & Industrial Engineering*, 58(1), 143-150. doi: 10.1016/j.cie.2009.10.001

- Wheeler, D. (1995). *Advanced topics in statistical process control : the power of shewhart's charts* (S. Press Ed. 6th ed.). Knoxville.
- Wu, Z., Luo, H., & Zhang, X. (2006). Optimal np control chart with curtailment. *European Journal of Operational Research*, 174(3), 1723-1741. doi: 10.1016/j.ejor.2005.03.038
- Yin, Robert (1994). *Case Study Research: Design and Methods* (2nd edn). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Zimmer, L., Montgomery, D., & Runger, G. (2010). Evaluation of a three-state adaptive sample size X control chart. *International Journal of Production Research*, 36(3), 733-743. doi: 10.1080/002075498193660

WEB SITES CONSULTADOS

http://www.tudosobreplasticos.com/processo/solucoes_injecao.asp

ANEXO I – DIAGRAMAS DE CAUSA-EFEITO: PRODUTO A

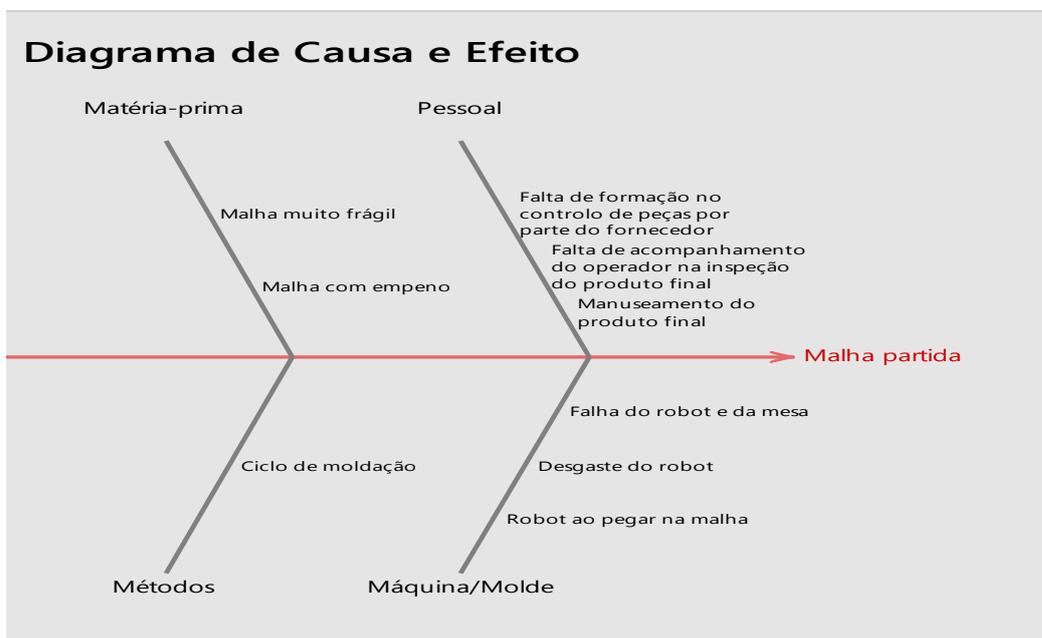


Figura 69- Diagrama de Causa-efeito Malha partida

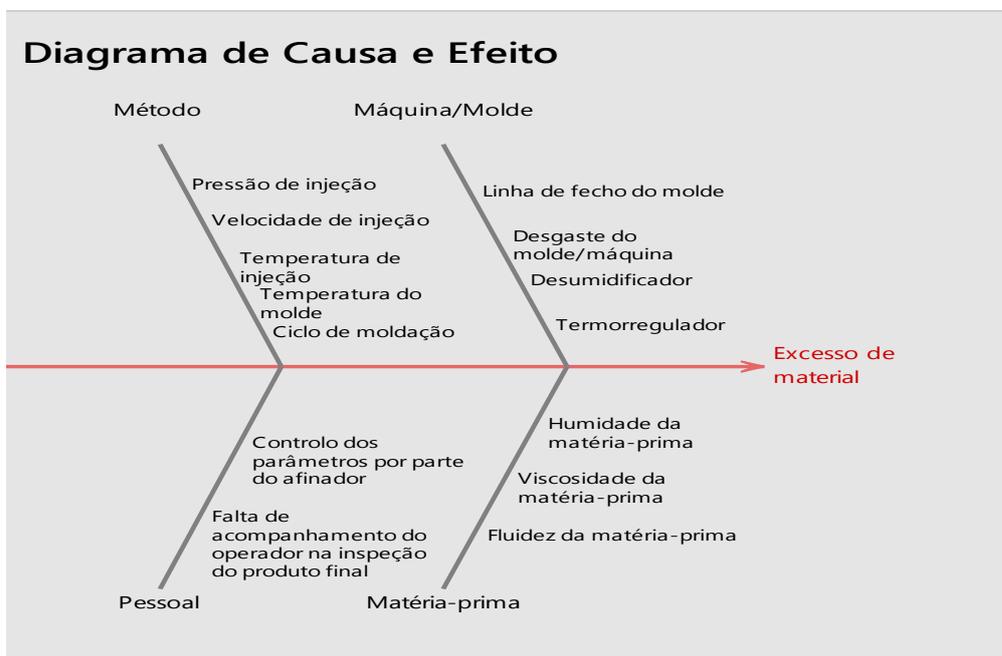


Figura 70 - Diagrama de Causa-efeito Excesso de material

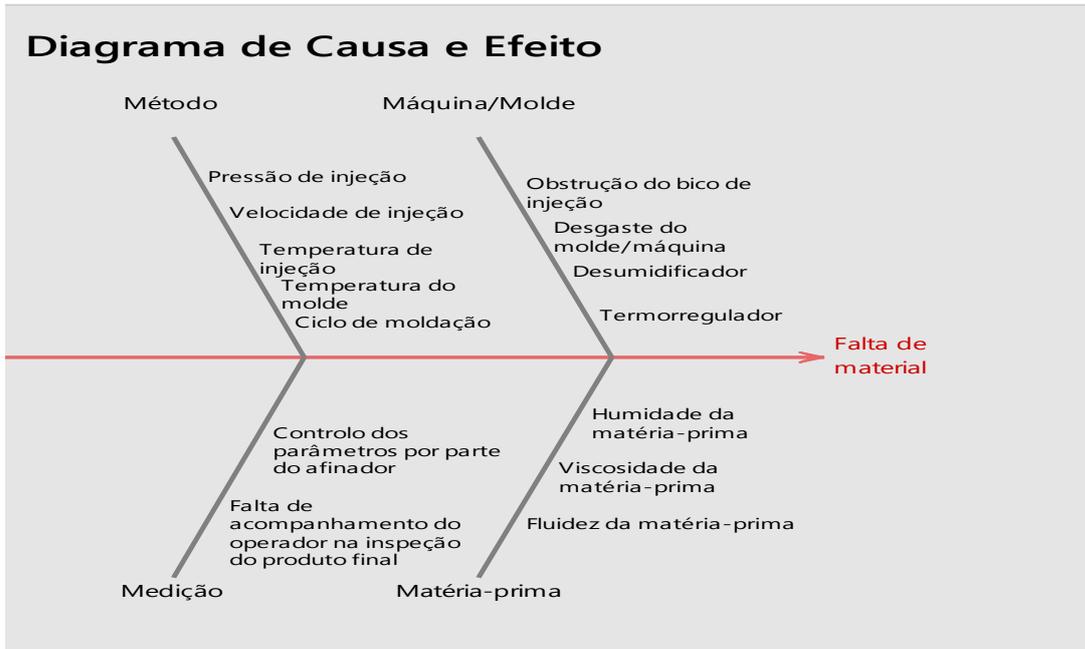


Figura 71 - Diagrama de Causa-efeito: Falta de material

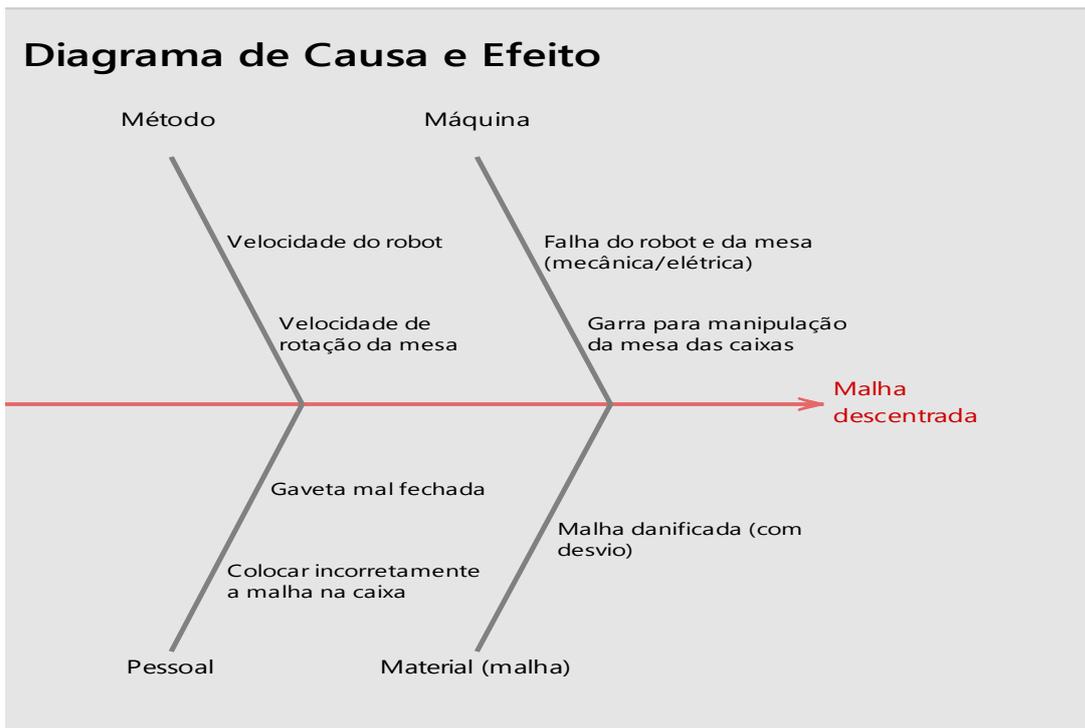


Figura 72 - Diagrama de Causa-efeito Malha descentrada

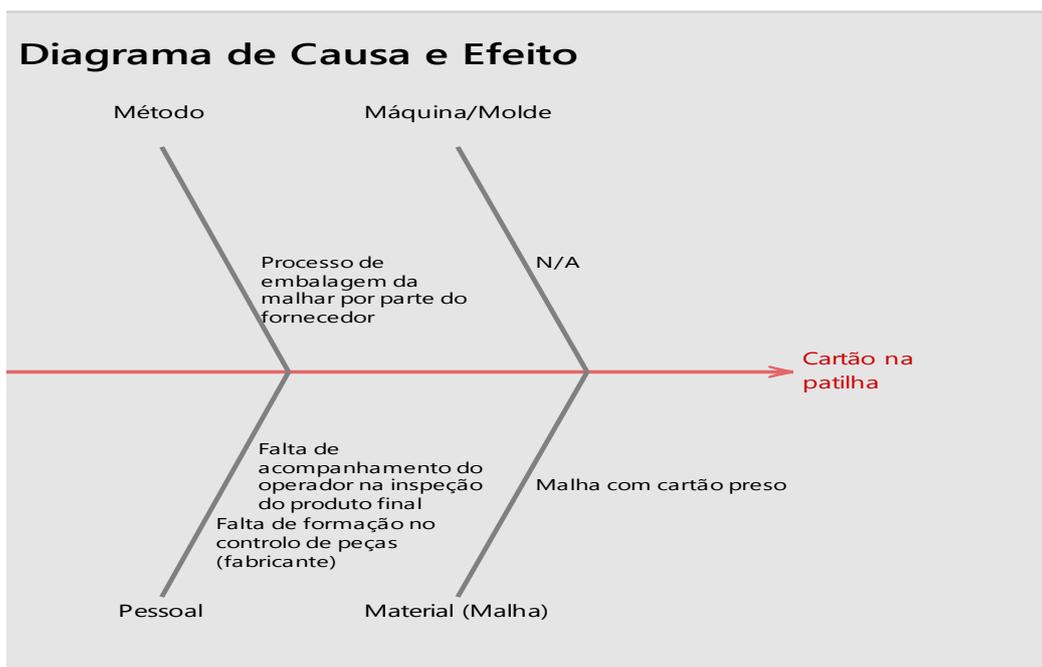


Figura 73 - Diagrama de Causa-efeito Cartão na patilha

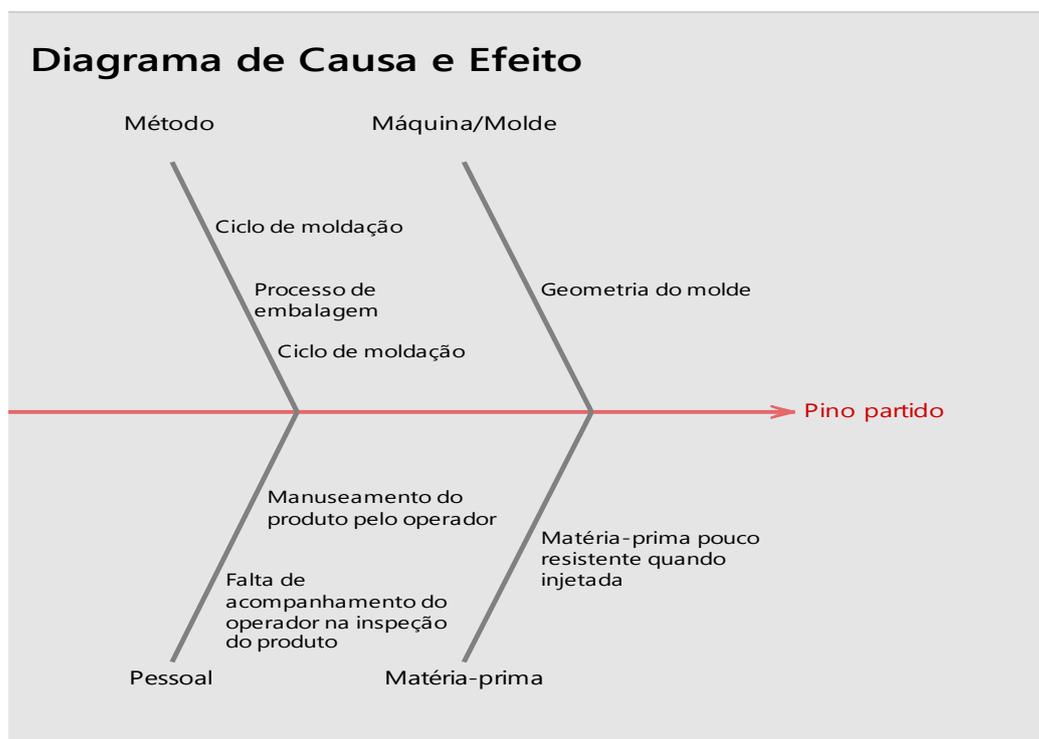


Figura 74 - Diagrama de Causa-efeito Pino partido

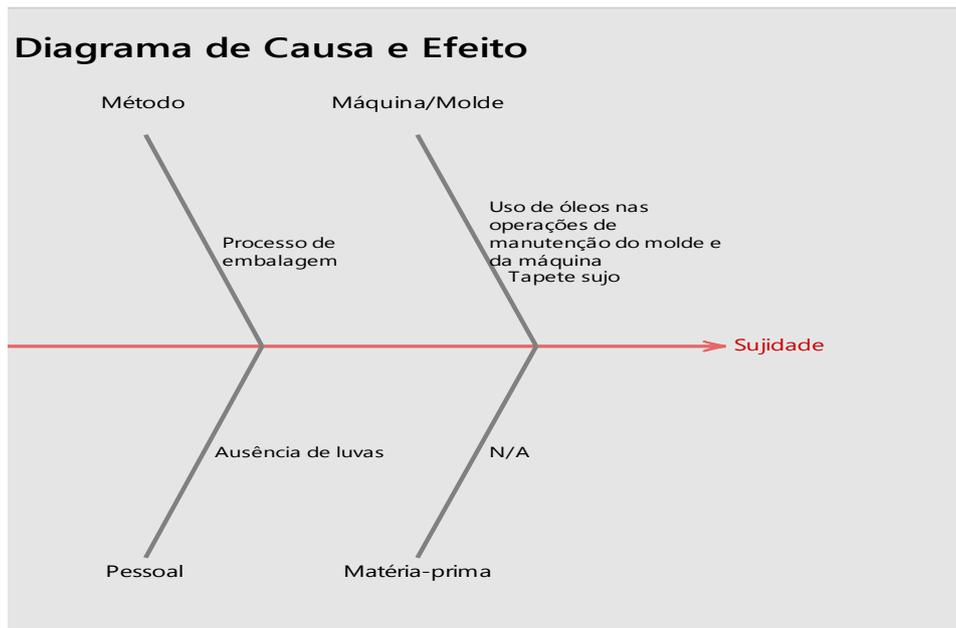


Figura 75 - Diagrama de Causa-efeito Sujidade

ANEXO II – DIAGRAMAS DE CAUSA-EFEITO: PRODUTO B

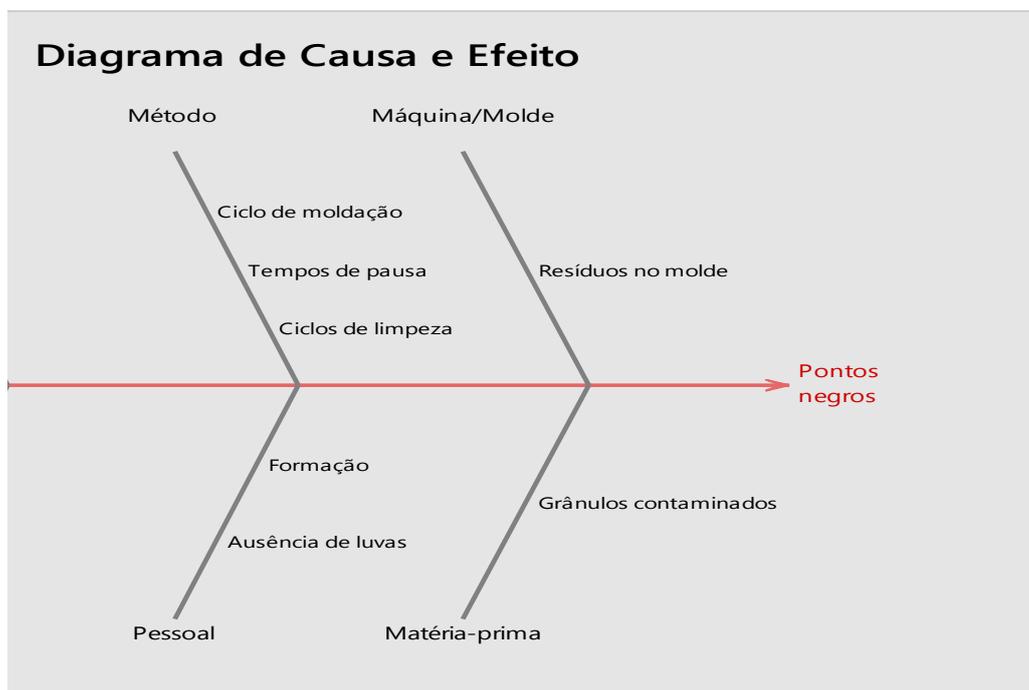


Figura 76 - Diagrama de Causa-efeito Pontos negros

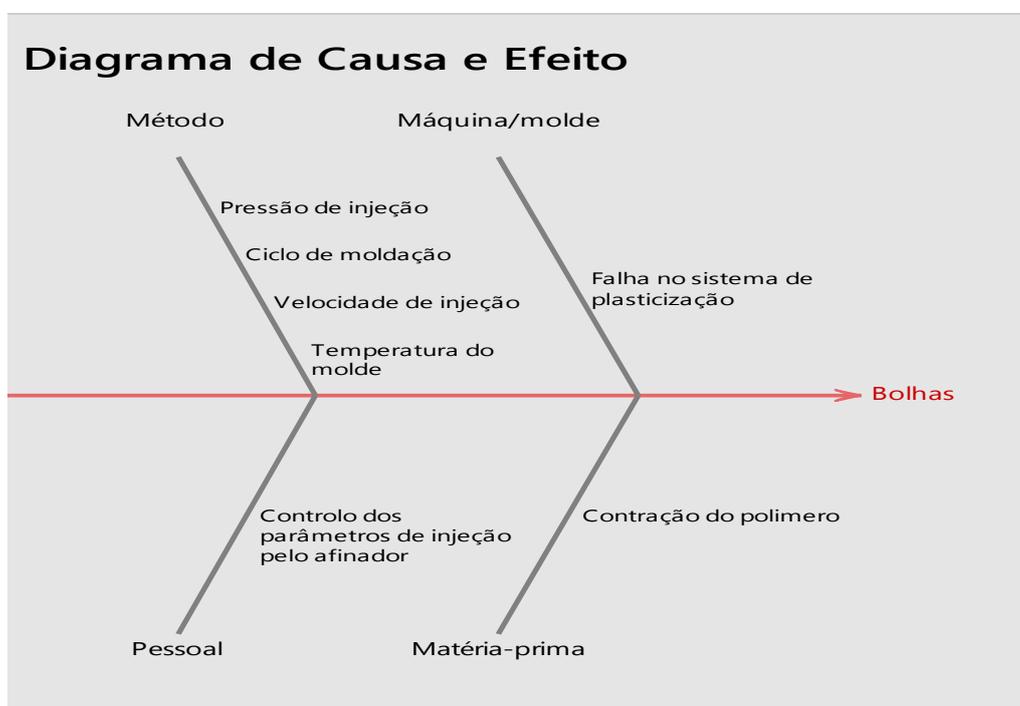


Figura 77 - Diagrama de Causa-efeito Bolhas

ANEXO III – DADOS DO CONTROLO ESTATISTICO DE PROCESSO

- Amostragem de tamanho variável Produto A: Mês de Abril

Tabela 14 – Dados CEP para amostragem de tamanho variável Produto A: Mês de Abril

Data	Produção	Nº de defeituosas	Fração de defeituosas	LC	LIC	LIC	LSC
02-04-2014	1000	32	0,032	0,010	0,001	0,001	0,020
03-04-2014	1160	13	0,011	0,010	0,001	0,001	0,019
04-04-2014	1012	6	0,006	0,010	0,001	0,001	0,020
07-04-2014	1018	6	0,006	0,010	0,001	0,001	0,020
08-04-2014	534	6	0,011	0,010	-0,003	0,000	0,024
09-04-2014	435	3	0,007	0,010	-0,004	0,000	0,025
10-04-2014	413	5	0,012	0,010	-0,005	0,000	0,025
11-04-2014	652	8	0,012	0,010	-0,001	0,000	0,022
14-04-2014	934	12	0,013	0,010	0,000	0,000	0,020
15-04-2014	1147	18	0,016	0,010	0,001	0,001	0,019
16-04-2014	851	5	0,006	0,010	0,000	0,000	0,021
17-04-2014	385	5	0,013	0,010	-0,005	0,000	0,026
18-04-2014	866	14	0,016	0,010	0,000	0,000	0,021
22-04-2014	1024	3	0,003	0,010	0,001	0,001	0,020
23-04-2014	656	4	0,006	0,010	-0,001	0,000	0,022
24-04-2014	1101	9	0,008	0,010	0,001	0,001	0,020
28-04-2014	1011	3	0,003	0,010	0,001	0,001	0,020
29-04-2014	1252	17	0,014	0,010	0,002	0,002	0,019
30-04-2014	1290	6	0,005	0,010	0,002	0,002	0,019

- Amostragem de tamanho variável Produto A: Mês de Maio

Tabela 15 - Dados CEP para amostragem de tamanho variável Produto A: Mês de Maio

Data	Produção	Nº de defeituosas	Fração de defeituosas	LC	LIC	LIC	LSC
02-05-2014	1275	9	0,007	0,006	0,000	0,000	0,013
05-05-2014	1136	8	0,007	0,006	-0,001	0,000	0,013
06-05-2014	1016	14	0,014	0,006	-0,001	0,000	0,014
07-05-2014	978	12	0,012	0,006	-0,001	0,000	0,014
08-05-2014	670	3	0,004	0,006	-0,003	0,000	0,016
09-05-2014	1097	11	0,010	0,006	-0,001	0,000	0,013
12-05-2014	573	3	0,005	0,006	-0,004	0,000	0,016
13-05-2014	1342	14	0,010	0,006	0,000	0,000	0,013
14-05-2014	1483	7	0,005	0,006	0,000	0,000	0,012
15-05-2014	976	4	0,004	0,006	-0,001	0,000	0,014
16-05-2014	998	6	0,006	0,006	-0,001	0,000	0,014
19-05-2014	822	6	0,007	0,006	-0,002	0,000	0,015
20-05-2014	1122	6	0,005	0,006	-0,001	0,000	0,013
21-05-2014	321	1	0,003	0,006	-0,007	0,000	0,020
22-05-2014	1189	3	0,003	0,006	-0,001	0,000	0,013
23-05-2014	1241	5	0,004	0,006	0,000	0,000	0,013
26-05-2014	1118	2	0,002	0,006	-0,001	0,000	0,013
27-05-2014	941	5	0,005	0,006	-0,001	0,000	0,014
29-05-2014	434	2	0,005	0,006	-0,005	0,000	0,018
30-05-2014	420	0	0,000	0,006	-0,005	0,000	0,018

- Amostragem de tamanho variável Produto A: Mês de Junho

Tabela 16 - Dados CEP para amostragem de tamanho variável Produto A: Mês de junho

Data	Produção	Nº de defeituosas	Fração de defeituosas	LC	LIC	LIC	LSC
02-06-2014	868	4	0,005	0,006	-0,002	0,000	0,014
03-06-2014	827	4	0,005	0,006	-0,002	0,000	0,014
04-06-2014	1241	5	0,004	0,006	-0,001	0,000	0,012
06-06-2014	819	3	0,004	0,006	-0,002	0,000	0,014
09-06-2014	376	4	0,011	0,006	-0,006	0,000	0,018
11-06-2014	654	6	0,009	0,006	-0,003	0,000	0,015
12-06-2014	388	4	0,010	0,006	-0,006	0,000	0,017
13-06-2014	779	10	0,013	0,006	-0,002	0,000	0,014
16-06-2014	489	1	0,002	0,006	-0,004	0,000	0,016
17-06-2014	217	1	0,005	0,006	-0,010	0,000	0,021
18-06-2014	576	4	0,007	0,006	-0,004	0,000	0,015
19-06-2014	598	4	0,007	0,006	-0,004	0,000	0,015
20-06-2014	528	0	0,000	0,006	-0,004	0,000	0,016
23-06-2014	623	2	0,003	0,006	-0,003	0,000	0,015
25-06-2014	219	3	0,014	0,006	-0,010	0,000	0,021
26-06-2014	632	1	0,002	0,006	-0,003	0,000	0,015
27-06-2014	615	3	0,005	0,006	-0,003	0,000	0,015
30-06-2014	489	5	0,010	0,006	-0,004	0,000	0,016

- Amostragem de tamanho variável Produto B: Mês de Junho

Tabela 17 - Dados CEP para amostragem de tamanho variável Produto B: Mês de Junho

Data	Produção	Nº de defeituosas	Fração de defeituosas	LC	LIC	LIC	LSC
04-06-2014	2415	175	0,072	0,074	0,058	0,058	0,090
05-06-2014	1844	244	0,132	0,074	0,055	0,055	0,092
06-06-2014	2418	178	0,074	0,074	0,058	0,058	0,090
09-06-2014	706	66	0,093	0,074	0,044	0,044	0,103
16-06-2014	2398	158	0,066	0,074	0,058	0,058	0,090
17-06-2014	2756	196	0,071	0,074	0,059	0,059	0,089
18-06-2014	1727	127	0,074	0,074	0,055	0,055	0,093
19-06-2014	2461	221	0,090	0,074	0,058	0,058	0,089
20-06-2014	2482	242	0,098	0,074	0,058	0,058	0,089
23-06-2014	1660	60	0,036	0,074	0,054	0,054	0,093
25-06-2014	1342	62	0,046	0,074	0,052	0,052	0,095
26-06-2014	353	33	0,093	0,074	0,032	0,032	0,115
27-06-2014	2025	105	0,052	0,074	0,056	0,056	0,091
30-06-2014	2013	93	0,046	0,074	0,056	0,056	0,091

- Amostragem de tamanho variável Produto B: Mês de Julho

Tabela 18 - Dados CEP para amostragem de tamanho variável Produto B: Mês de Julho

Data	Produção	Nº de defeituosas	Fracção de defeituosas	LC	LIC	LIC	LSC
01-07-2014	997	37	0,037	0,032	0,015	0,015	0,048
02-07-2014	1976	56	0,028	0,032	0,020	0,020	0,043
03-07-2014	1967	47	0,024	0,032	0,020	0,020	0,043
04-07-2014	660	20	0,030	0,032	0,011	0,011	0,052
08-07-2014	1675	75	0,045	0,032	0,019	0,019	0,044
09-07-2014	2006	86	0,043	0,032	0,020	0,020	0,043
10-07-2014	1658	58	0,035	0,032	0,019	0,019	0,044
11-07-2014	1305	25	0,019	0,032	0,017	0,017	0,046
14-07-2014	1307	27	0,021	0,032	0,017	0,017	0,046
17-07-2014	2353	60	0,025	0,032	0,021	0,021	0,042
18-07-2014	2059	41	0,020	0,032	0,020	0,020	0,043
21-07-2014	2041	55	0,027	0,032	0,020	0,020	0,043
22-07-2014	2058	86	0,042	0,032	0,020	0,020	0,043
23-07-2014	2509	103	0,041	0,032	0,021	0,021	0,042

- Gráfico p: Produto A

Tabela 19 – Dados CEP para o gráfico p: Produto A

Nº de amostra	Nº de não conformidades	Fracção de não conformes	LC	LIC	LIC	LSC
1	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
2	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
3	3	0,6	0,046	-0,235	0,000	0,328
4	1	0,2	0,046	-0,235	0,000	0,328
5	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
6	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
7	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
8	1	0,2	0,046	-0,235	0,000	0,328
9	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
10	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
11	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
12	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
13	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
14	1	0,2	0,046	-0,235	0,000	0,328
15	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
16	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
17	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
18	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
19	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
20	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
21	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
22	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
23	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
24	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
25	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328
26	0	0	0,046	-0,235	0,000	0,328

- Gráfico p: Produto B

Tabela 20 - Dados CEP para o gráfico p: Produto B

Nº de amostra	Nº de não conformidades	Fracção de não conformes	LC	LIC	LIC	LSC
1	1	0,025	0,039	-0,053	0,000	0,131
2	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
3	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
4	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
5	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
6	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
7	2	0,05	0,039	-0,053	0,000	0,131
8	2	0,05	0,039	-0,053	0,000	0,131
9	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
10	2	0,05	0,039	-0,053	0,000	0,131
11	3	0,075	0,039	-0,053	0,000	0,131
12	2	0,05	0,039	-0,053	0,000	0,131
13	2	0,05	0,039	-0,053	0,000	0,131
14	3	0,075	0,039	-0,053	0,000	0,131
15	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
16	4	0,1	0,039	-0,053	0,000	0,131
17	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
18	5	0,125	0,039	-0,053	0,000	0,131
19	6	0,15	0,039	-0,053	0,000	0,131
20	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
21	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
22	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
23	1	0,025	0,039	-0,053	0,000	0,131
24	1	0,025	0,039	-0,053	0,000	0,131

Nº de amostra	Nº de não conformidades	Fracção de não conformes	LC	LIC	LIC	LSC
25	5	0,125	0,039	-0,053	0,000	0,131
26	2	0,05	0,039	-0,053	0,000	0,131
27	3	0,075	0,039	-0,053	0,000	0,131
28	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
29	0	0	0,039	-0,053	0,000	0,131
30	3	0,075	0,039	-0,053	0,000	0,131

ANEXO IV – DEFEITOS CONSIDERADOS NO MSA POR ATRIBUTOS

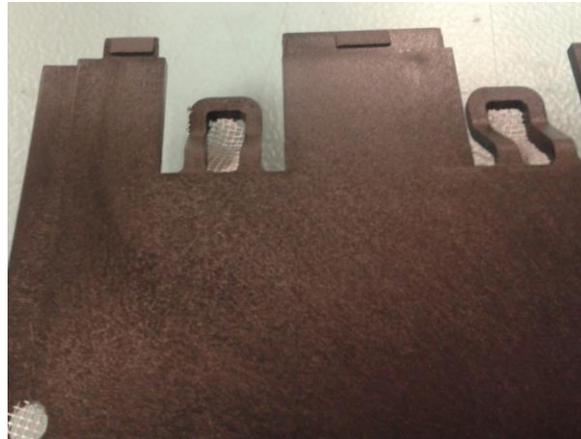


Figura 78- Amostra nº2

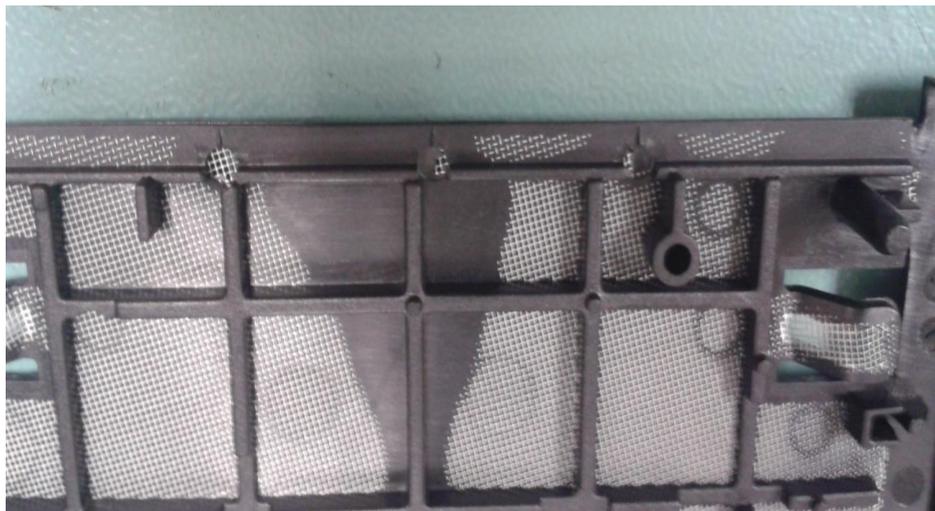


Figura 79 - Amostra nº 3



Figura 80 - Amostra nº 5



Figura 81 - Amostra nº 7



Figura 82 - Amostra nº 8



Figura 83 - Amostra nº 9



Figura 84 - Amostra nº10

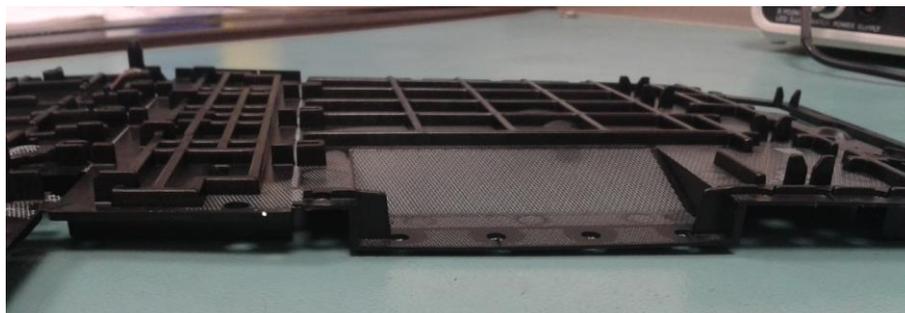


Figura 85 - Amostra nº13



Figura 86 - Amostra nº14



Figura 87 - Amostra nº15

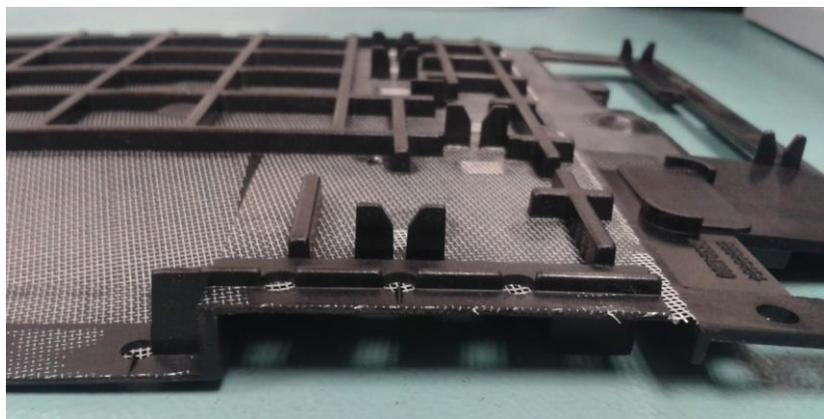


Figura 88 - Amostra nº17

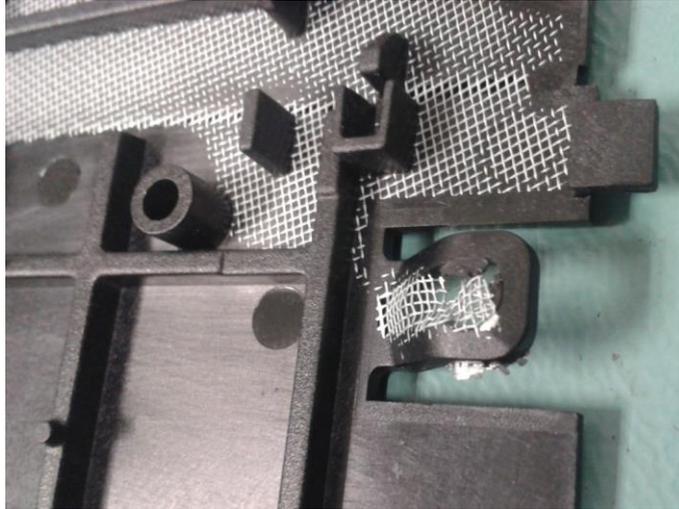


Figura 89 - Amostra nº19