



MELHORIA DE PROCESSO NA INDÚSTRIA DE PNEUS

TIAGO MANUEL FERNANDES DA COSTA

dezembro de 2017

MELHORIA DE PROCESSO NA INDÚSTRIA DE PNEUS

Tiago Manuel Fernandes da Costa

2016/2017

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

MELHORIA DE PROCESSO NA INDÚSTRIA DE PNEUS

Tiago Manuel Fernandes da Costa
1100791

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva e coorientada pelo Doutor Luís Carlos Pinto Ferreira, Professores Adjuntos do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

2016/2017

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Manuel Jorge Dores de Castro
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Manuel Ferreira Rebelo
Professor Auxiliar, Universidade Lusíada, Norte, Campus de Vila Nova de Famalicão

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Francisco Silva, pelo suporte, disponibilidade, conhecimento transmitido e orientação na execução desta dissertação.

Ao meu orientador na Continental Mabor, José Salgueiro, pelo apoio, disponibilidade, experiência e conhecimento transmitido ao longo de todo o trabalho.

À Continental Mabor S.A., pela oportunidade e condições concedidas para a realização deste trabalho de dissertação.

A todos os membros da Direção da Engenharia Industrial da Continental Mabor, Armando Estevão, Filipe Carvalho, Nuno Rodrigues, Fernando Simões, Paulo Figueiredo, Manuel Santos, Ana Gonçalves, Marta Morais, André Silva, Rui Pereira, Helder Quaresma, Pedro Nogueira e Vitor Oliveira, o meu obrigado pelo acolhimento, ajuda e partilha de conhecimento.

A todos os membros da Continental Mabor com quem estabeleci contacto, e que de qualquer forma contribuíram para a execução desta dissertação.

Gostaria ainda de agradecer a todos os colegas, amigos e professores que, de alguma forma, me ajudaram ao longo de todo o percurso académico.

À minha família, pelo esforço e apoio em todos os momentos.

PALAVRAS- CHAVE

Produção de pneus; Melhoria de produtividade; Melhoria de qualidade; Automação; Seis Sigma; DMAIC

RESUMO

A produção de pneus, tal como a de outro tipo de componentes automóveis, necessita de respeitar os principais pilares da indústria automóvel: elevada competitividade e qualidade, com tempos de entrega dentro do que é requerido pelas linhas finais de montagem. Existem alguns produtores de pneus a nível global, e a competição entre eles é muito elevada. A isto, acresce o facto de que a qualidade deste tipo de produto é crucial, por razões de segurança. Assim, este tipo de sistemas produtivos necessita de produzir produtos de elevada qualidade em curtos períodos de tempo, reduzindo permanentemente os seus custos associados. Tendo em conta que o preço e quantidade da matéria-prima para cada pneu permanece aproximadamente inalterado, os processos utilizados na sua produção assumem um papel muito importante.

O presente trabalho foi desenvolvido em ambiente industrial, na empresa Continental Mabor, respondendo à necessidade de análise do seu processo de extrusão. Este produzia uma grande quantidade de material não conforme, influenciando diretamente um dos seus indicadores de desempenho, designado por *geração de work-off*. Assim, o objetivo a atingir seria a redução deste desperdício, através da análise da presente situação e pelo desenvolvimento de sugestões de melhoria. A metodologia aplicada a este problema foi a Seis Sigma, utilizando a abordagem para melhoria da qualidade de produtos existentes: DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve and Control*). Ao longo das diferentes etapas, o processo foi mapeado em detalhe, utilizando ferramentas da qualidade de forma estruturada, para uma resolução eficiente do problema. Conclui-se que o trabalho foi finalizado com sucesso, uma vez que após a implementação das sugestões de melhoria, a geração de material não conforme foi acentuadamente reduzida. Como consequência, os custos relacionados com não-conformidades foram também reduzidos.

KEYWORDS

Tires production; Increasing productivity; Quality improvement; Automation; Six Sigma; DMAIC

ABSTRACT

Tire manufacturing as well as other automotive components, need to respect the main pillars of the automotive industry: high competitiveness and quality with delivery time within the standards required by the final assembly lines. There are some important tire producers playing worldwide and the competition among them is very high. Furthermore, the quality of this type of product is crucial due to safety reasons. Thus, tire manufacturers need to produce high quality products in a short period, reducing permanently the costs associated to the product. Attending that raw material cost and quantity almost remains the same for each type of tire, the processes used in their production assume a very important role.

The work was developed in industrial environment at Continental Mabor, answering to the need for analysis of the extrusion process. The production of a high quantity of nonconforming material directly affected one of the factory key performance indicators, named as *work-off generation*. Therefore, the goal to achieve would be the reduction of this waste generation through the current situation analysis and the development of improvement suggestions. The used methodology was the Six Sigma, applying the quality improvement approach for existing products: DMAIC. Going through the different stages, the process was mapped in detail using the quality tools in a structured way to achieve an efficient problem resolution. It can be concluded that this work was successfully finished since, after the implementation of proposed improvements, the generation of nonconforming material drastically decreased. As result, the costs relatively to non-conformities were also reduced.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

AG	<i>Automotive Group</i>
CTQ	<i>Critical To Quality</i>
DFSS	<i>Design For Six Sigma</i>
DIP	Departamento de Industrialização de Produto
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>
DOE	<i>Design Of Experiments</i>
DP	Departamento de Produção
DPMO	<i>Defects Per Million Opportunities</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
GWO	Geração de Work-Off
IPOC	<i>In Process Change of Compound</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
KM	<i>Karkasse Machine</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSE	Limite Superior de Especificação
NA	Não Aplicável
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
ppm	Partes Por Milhão
PU	<i>Production Unit</i>
SIPOC	<i>Supplier, Input, Process, Output, Customer</i>
SPC	<i>Statistical Process Control</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
VOC	<i>Voice Of Customer</i>
WO	<i>Work-Off</i>

Lista de Unidades

t	Tonelada
m	Metro
kg	Quilograma

Lista de Símbolos

€	Euro
Σ	Somatório
%	Percentagem

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - ADOÇÃO DO PROGRAMA SEIS SIGMA EM ORGANIZAÇÕES.	30
FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO NORMAL.	31
FIGURA 3 - PROCESSO COM NÍVEL 6 SIGMA SUJEITO A UM DESVIO DE 1,5 SIGMA DO VALOR ALVO.	32
FIGURA 4 - USO DO CICLO DMAIC NUM PROJETO SEIS SIGMA.	34
FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO DE UM GRÁFICO DE GANTT.	38
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DE DIAGRAMA SIPOC.	39
FIGURA 7 - DIAGRAMA DE PARETO.	41
FIGURA 8 - EXEMPLO DE UM DIAGRAMA DE ISHIKAWA.	42
FIGURA 9 – ILUSTRAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DE UM PNEU.	45
FIGURA 10 - ÁRVORE DE PRODUTO DO PNEU.	46
FIGURA 11 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DO PNEU.	46
FIGURA 12 - EXEMPLO DE UM LOTE DE FOLHAS DE COMPOSTO.	47
FIGURA 13 – DP II - PREPARAÇÃO A QUENTE.	48
FIGURA 14 – DP III - CONSTRUÇÃO.	48
FIGURA 15 - EXEMPLO DE MARCAÇÕES STANDARD NA PAREDE DE UM PNEU.	49
FIGURA 16 - EXEMPLO DE UM PADRÃO DE PISO.	49
FIGURA 17 – DP V – INSPEÇÃO FINAL.	50
FIGURA 18 – DOCUMENTO DE DEFINIÇÃO DE PROJETO (<i>PROJECT CHARTER</i>).	54
FIGURA 19 - GRÁFICO DE GANTT UTILIZADO PARA O PLANEAMENTO DO PROJETO.	55
FIGURA 20 - DIAGRAMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PISOS E PAREDES.	55
FIGURA 21 - ESQUEMA DE UMA LINHA DE EXTRUSÃO E SEQUÊNCIA DE PROCESSO.	57
FIGURA 22 – RACK'S E PASSADEIRAS DE ALIMENTAÇÃO.	58
FIGURA 23 – ENTRADA DO COMPOSTO NA TREMONHA.	58
FIGURA 24 – MODELO BÁSICO DE UMA EXTRUSORA.	59
FIGURA 25 – INSTALAÇÃO TRIPLEX.	60
FIGURA 26 - ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE UM PISO.	60
FIGURA 27 - REPRESENTAÇÃO DE UMA FIEIRA.	61
FIGURA 28 – CABEÇOTE DE EXTRUSÃO.	61
FIGURA 29 – SISTEMA DE APLICAÇÃO DE LINHAS COLORIDAS.	62
FIGURA 30 - EXEMPLO DE PARÂMETROS DE CONTROLO NA EXTRUSÃO DE PISO.	63
FIGURA 31 – PROCESSO DE ARREFECIMENTO (TANQUES DE IMERSÃO) E SECAGEM (SOPRADORES).	64
FIGURA 32 – MÁQUINA DE CORTE DO PISO.	64
FIGURA 33 – ARMAZENAMENTO EM CARRO DE TRANSPORTE ATRAVÉS DO BOOKING.	65
FIGURA 34 – ESTAÇÕES DE ENROLAMENTO NA EXTRUSÃO DE PAREDE.	65
FIGURA 35 - ESQUEMA DE UM SETUP DE FIEIRA.	66
FIGURA 36 - REPRESENTAÇÃO DE UMA PRÉ-FIEIRA.	67
FIGURA 37 - ESQUEMA DE UM SETUP DE CAPA.	67
FIGURA 38 - ESQUEMA DE UM SETUP DE BASE.	67
FIGURA 39 - DIAGRAMA SIPOC PARA EXTRUSÃO DE PISO.	69

FIGURA 40 - EXEMPLO DO REGISTO EFETUADO NO TEMPLATE DE EXTRUSÃO DE PISO.	70
FIGURA 41 – INDICADORES DE GERAÇÃO DE WORK-OFF POR PROCESSO.	70
FIGURA 42 - PERCENTAGEM DE GERAÇÃO DE WORK-OFF POR PROCESSO.	71
FIGURA 43 - NÚMERO DE PISOS REJEITADOS NO SETUP DE ARTIGOS 743-902.	72
FIGURA 44 - NÚMERO DE PISOS REJEITADOS APÓS CONVERSÃO NO SETUP DE ARTIGOS 743-902.	73
FIGURA 45 - PARETO DE PERTURBAÇÕES NA EXTRUSÃO DE PISO.	75
FIGURA 46 - DIAGRAMA DE ISHIKAWA RELATIVO À EXTRUSÃO DE PAREDE.	77
FIGURA 47 - PARETO DE PERTURBAÇÕES NA EXTRUSÃO DE PAREDE.	77
FIGURA 48 – SENSOR INSTALADO PARA PREVENÇÃO DE FALHAS DE ALIMENTAÇÃO.	81
FIGURA 49 – FOSSO DA EXTRUSORA E04 APÓS O INCREMENTO DE PROFUNDIDADE.	82
FIGURA 50 – SEMÁFORO VERDE NA EXTRUSORA E07.	83

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – ATIVIDADES, MÉTODOS E FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A FASE DEFINE.	34
TABELA 2 – ATIVIDADES, MÉTODOS E FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A FASE MEASURE.	35
TABELA 3 – ATIVIDADES, MÉTODOS E FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A FASE ANALYSE.	36
TABELA 4 – ATIVIDADES, MÉTODOS E FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A FASE IMPROVE.	36
TABELA 5 – ATIVIDADES, MÉTODOS E FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A FASE CONTROL.	37
TABELA 6 - IDENTIFICAÇÃO DAS LINHAS DE EXTRUSÃO.	56
TABELA 7 – SETUP VERSUS TIPO DE EXTRUSÃO.	66
TABELA 8 - PERCENTAGEM DE WORK-OFF GERADO DURANTE A PRODUÇÃO POR EVENTO.	71
TABELA 9 - GERAÇÃO DE WO (EM NÚMERO DE PISOS) POR SETUP E LINHA DE EXTRUSÃO DE PISO.	73
TABELA 10 - PRINCIPAIS PERTURBAÇÕES NA LINHA E03 E E04.	74
TABELA 11 - PRINCIPAIS PERTURBAÇÕES NA LINHA E05 E E06.	74
TABELA 12 - VALORES DO COMPRIMENTO DE CORTE NA EXTRUSÃO DE PAREDE.	75
TABELA 13 – GERAÇÃO DE WORK-OFF DURANTE SETUP NA EXTRUSÃO DE PAREDE.	76
TABELA 14 - VALOR DE WORK-OFF DIÁRIO GERADO NA EXTRUSÃO DE PAREDE.	78
TABELA 15 - VALOR DE WORK-OFF DIÁRIO GERADO NA EXTRUSÃO DE PISO.	78
TABELA 16 - RESULTADOS DA AÇÃO DE MELHORIA NA LINHA E07.	84
TABELA 17 - QUANTIFICAÇÃO DE GANHOS PELAS SUGESTÕES DE MELHORIA.	85

ÍNDICE

RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABELAS	XVII
1 INTRODUÇÃO	23
1.1 Enquadramento.....	23
1.2 Apresentação da empresa.....	23
1.2.1 Continental AG	23
1.2.2 Continental Mabor	24
1.3 Objetivos.....	24
1.4 Metodologia	25
1.5 Organização do relatório.....	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 Seis Sigma	29
2.1.1 Origem e evolução	29
2.1.2 Metodologia Seis Sigma	30
2.1.3 Métrica Seis Sigma	31
2.1.4 Ciclo DMAIC	33
2.1.5 Técnicas e Ferramentas da Qualidade	37
3 PROCESSO PRODUTIVO	45
3.1 Produto.....	45
3.2 Processo produtivo.....	46
3.2.1 DP I - Misturação	47
3.2.2 DP II - Preparação	47
3.2.3 DP III - Construção	48
3.2.4 DP IV - Vulcanização	49
3.2.5 DP V - Inspeção final	50
4 CASO DE ESTUDO	53

4.1	Fase Define	53
4.1.1	Seleção do projeto	53
4.1.2	Planeamento do projeto	54
4.1.3	Mapeamento do processo	55
4.1.4	Setup	66
4.1.5	Material não conforme	68
4.1.6	Diagrama SIPOC	68
4.2	Fase Measure	69
4.2.1	Plano de recolha de dados	69
4.2.2	Avaliação do estado atual de geração de work-off	70
4.3	Fase Analyse	72
4.3.1	Extrusão de piso	72
4.3.2	Extrusão de Parede	75
4.3.3	Simulação	78
4.4	Fase Improve	78
4.4.1	Hierarquização de ações de melhoria	79
4.4.2	Extrusão de Piso	80
4.4.3	Extrusão de Parede	82
4.4.4	Outras ações não quantificadas	83
4.5	Fase Control.....	84
4.5.1	Impacto e eficácia das ações de melhoria	84
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO	89
5.1	CONCLUSÕES	89
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO	90
6	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	93
6.1	BIBLIOGRAFIA	93
6.2	Outras fontes de informação	96
7	ANEXOS	99
7.1	ANEXO I – Template de folhas de registo	99

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.2 Apresentação da empresa

1.3 Objetivos

1.4 Metodologia

1.5 Organização do relatório

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Esta dissertação surge no âmbito da dissertação de mestrado, do ramo de Gestão Industrial, do curso de Mestrado em Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Realizado em ambiente industrial e intitulado de “Melhoria de processo na indústria de pneus”, esta dissertação resulta de um estágio curricular na empresa Continental Mabor, que se apresenta como uma referência mundial do grupo Continental no fabrico de pneus para a indústria automóvel.

O conteúdo desta dissertação diz respeito à análise do processo de extrusão visando a melhoria do indicador de desempenho do processo produtivo do pneu designado por *Geração de work-off*. Serão então apresentados os esforços efetuados visando a redução do número de artigos defeituosos, aumentando a qualidade e fiabilidade do processo de extrusão, responsável pela produção de dois semiprodutos do pneu, o piso e a parede. A atuação sob este processo foi integrada e orientada pelo Departamento de Engenharia Industrial, sendo possível realizar um acompanhamento de seis linhas de extrusão.

A metodologia utilizada foi o ciclo DMAIC que integra o Seis Sigma, visando a melhoria da qualidade de produtos e processos numa organização. Recorrendo ao ciclo DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), caracterizado pela melhoria da qualidade de produtos existentes, são apresentadas nesta dissertação todas as etapas percorridas.

1.2 Apresentação da empresa

1.2.1 Continental AG

O grupo Continental AG foi fundado na cidade alemã de Hanover, em 1871. Nessa altura, a principal fábrica focava-se na produção de artigos de borracha flexível, mas também pneumáticos para carruagens e bicicletas.

Em 1904, apresentou pela primeira vez um pneu para automóvel com um padrão de piso incorporado. Desde então, acompanhou a evolução nesta indústria desenvolvendo sistematicamente técnicas, produtos e equipamento para a melhoria de pneus.

Em 2007, a Continental adquire a Siemens VDO Automotive AG e avança para os cinco maiores fornecedores mundiais da indústria automóvel.

Atualmente, a corporação Continental está dividida nos grupos *Automotive Group* e *Rubber Group*, que por sua vez compreendem cinco divisões:

- *Chassis & Safety*
- *Powertrain*
- *Interior*
- *Tires*
- *Contitech*.

Estas divisões refletem a produção especializada de sistemas de travagem, controlos dinâmicos para viaturas, tecnologias de transmissão de potência, sistemas eletrónicos, sensores, pneus e elastómeros técnicos.

1.2.2 Continental Mabor

Na divisão *Tires*, incluída no *Rubber Group*, encontra-se a fábrica Continental Mabor. Nasceu no ano de 1989, como resultado da fusão entre a empresa Mabor (primeira fábrica de pneumáticos em Portugal) e a Continental AG.

O crescimento desta unidade tem sido ininterrupto, apresentando em 1990 uma produção média de 5 000 pneus por dia, tem atualmente uma capacidade superior a 50 000 pneus por dia, sendo uma das fábricas do grupo com melhor produtividade. Em 2012, recebeu o prémio *Quality Prize* do grupo Continental, sendo a primeira fábrica a produzir pneus para o grupo Porsche. Desde então, tem recebido o mesmo prémio em anos consecutivos, mantendo elevados os seus indicadores de qualidade.

Inicialmente, a produção focava-se apenas em pneus da marca Mabor, contudo, hoje em dia a gama de artigos que é produzida é muito elevada, não só em número de marcas, como também em tipo e tamanho de pneu. Uma enorme parte da produção é exportada, sendo que mais de metade desta tem como destino o mercado de substituição, e a restante é encaminhada para linhas de montagem de OEM (*Original Equipment Manufacturer*).

Atualmente, a Continental Mabor emprega perto de 2000 trabalhadores, tendo já sido ultrapassada a produção anual de 17,5 milhões de pneus.

1.3 Objetivos

O objetivo principal que se pretende atingir com este trabalho é identificar as variáveis, no processo de extrusão, que influenciam negativamente o indicador de

geração de *work-off* (WO) de modo a propor melhorias para atingir a redução do seu valor. Assim, como desdobramento deste objetivo é pretendido:

- Definir o problema, a atividade de melhoria, os objetivos e identificar os requisitos do cliente;
- Medir a *performance* atual do processo;
- Analisar os dados do processo usando as ferramentas de qualidade, de modo a determinar as causas de variação e de não conformidades;
- Melhorar o desempenho do processo, propondo e implementando soluções;
- Controlar a melhoria de processo efetuada e quantificar o proveito obtido.

1.4 Metodologia

A metodologia adotada para a realização desta dissertação, uma vez conhecido o seu âmbito, teve início com uma revisão bibliográfica sobre a metodologia Seis Sigma. Através de livros e artigos científicos, foi compreendido o contexto de aplicação e os benefícios conseguidos por esta metodologia, os fatores chave para a sua implementação e o conjunto de ferramentas que incorpora. Posteriormente, na unidade produtiva da Continental Mabor, foi necessário proceder a uma análise sobre os processos produtivos que iriam ser alvo de estudo.

O estudo concebido, tendo em conta a necessidade de melhoria de qualidade de um processo existente, baseou-se na abordagem pelo ciclo DMAIC. Assim, na primeira etapa (*Define*), foi realizada a definição do problema através da ferramenta *Project Charter*. O planeamento de alto nível do projeto foi realizado através de um gráfico de Gantt e o mapeamento do processo incluiu a construção de um diagrama SIPOC (*Supplier, Inputs, Process, Outputs, Customer*). Na segunda fase (*Measure*), foi realizada a medição do desempenho do processo, através de um plano de recolha de dados. Na terceira fase (*Analyse*), foram utilizadas ferramentas (diagrama de Pareto e Ishikawa) para determinar as causas raiz do problema, e na quarta fase (*Improve*) foram implementadas as ações de melhoria com vista a eliminar as causas identificadas. Por último, na fase de controlo (*Control*) foi monitorizado o processo e quantificado o impacto resultante das ações implementadas.

1.5 Organização do relatório

O presente relatório encontra-se dividido em quatro capítulos, sendo o primeiro e presente capítulo a introdução.

O segundo, diz respeito à revisão bibliográfica dos conceitos científicos e ferramentas utilizadas na parte prática do trabalho.

O terceiro capítulo, apresenta o projeto de melhoria pela implementação da abordagem pelo ciclo DMAIC, composta pelas fases de *Define*, *Measure*, *Analyse*, *Improve* e *Control*.

Por último, o quarto capítulo é composto pelas conclusões do trabalho e propostas para trabalho futuro.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Seis Sigma

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Seis Sigma

2.1.1 Origem e evolução

Na década de 80 e início da década de 90, algumas empresas nos Estados Unidos, incluindo a Motorola, eram confrontadas com uma intensa rivalidade por empresas japonesas, que demonstravam uma qualidade superior nos seus produtos. No entanto, em 1987, um novo conceito emergiu do Setor de Comunicações da Motorola, liderado por George Fisher (Wang, 2008). Este conceito inovador de melhoria, foi designado de Seis Sigma e foi o resultado de uma série de mudanças na área da qualidade, num esforço de reduzir os defeitos nos seus produtos para apenas algumas partes por milhão (Juran & Godfrey, 1999) (Park, 2003).

Com o forte apoio do *chairman* Bob Galvin, foi definido um objetivo inicial de melhoria de desempenho de dez vezes o atual, num período de cinco anos. Galvin capacitou os seus trabalhadores com as ferramentas apropriadas e solicitou a ajuda de especialistas de qualidade, como Joseph M. Juran e Dorian Shainin. Juran forneceu métodos para identificar problemas de qualidade crónicos e como eliminar os problemas através de equipas de melhoria. Shainin auxiliou com metodologias estatísticas de melhoria, tais como DOE (*Design Of Experiments*) e SPC (*Statistical Process Control*). Em 1987, Galvin lançou a iniciativa “Six Sigma Quality”, onde formulou o objetivo de atingir o nível de qualidade seis sigma (ou seja 3,4 defeitos por milhão de oportunidades) no ano de 1992 (Park, 2003).

Em 1988, a Motorola foi homenageada com o prémio *Malcolm Baldrige National Quality Award*, sendo que nos três anos consecutivos anteriores, investiu 170 milhões de dólares em formação Seis Sigma aos seus trabalhadores. Como consequência, foi reportada uma poupança de 2,2 biliões de dólares em custos associados à qualidade (*costs of poor quality*). Este desempenho financeiro da Motorola e o de organizações que posteriormente implementaram o programa Seis Sigma, como Kodak, General Electric (GE), Boeing e Sony, deram origem a um ganho de popularidade desta estratégia de gestão, que conduziu várias organizações de áreas como cuidados de saúde, governamentais e serviços a implementarem o mesmo programa (Arumugan, Antony, & Linderman, 2016) (Antony, 2006). Na Figura 1, pode observar-se o crescimento do programa Seis Sigma, através da sua adoção por várias organizações, desde a sua criação pela Motorola até 1999.

Recentemente, a economia global presencia uma elevada competição. Contudo, a maior parte das organizações que adotaram a abordagem Seis Sigma, têm sido bem-sucedidas nas suas atividades (Ertürk, Tuerdi, & Wujiabudula, 2016).

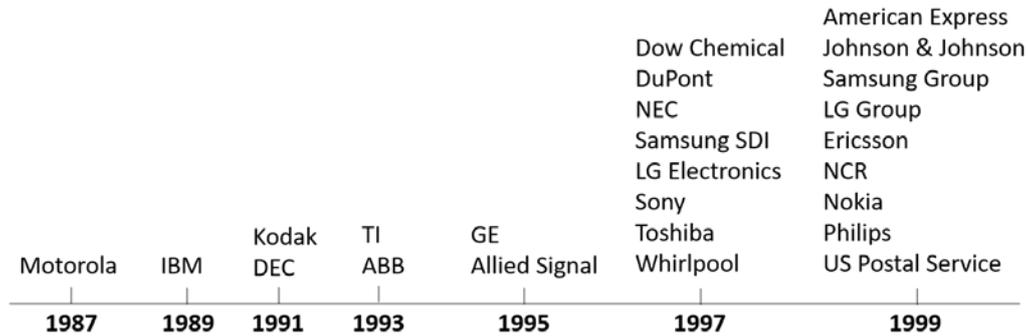


Figura 1 - Adoção do programa Seis Sigma em organizações (adaptado de Park, 2003).

2.1.2 Metodologia Seis Sigma

Seis Sigma é considerada uma abordagem inovadora para a melhoria constante de processos e é uma metodologia do TQM (*Total Quality Management*) (Desai & Shrivastava, 2008). Consiste numa aplicação rigorosa, focada e extremamente eficiente de práticas e conceitos de qualidade. Incorpora princípios de trabalho de muitos pioneiros da qualidade, e tende para o conceito de um desempenho das organizações isento de erros (Pyzdek, 2003). Procura encontrar e eliminar as causas raiz de problemas e defeitos nos processos, sendo também o seu foco, a melhoria de produtividade, tempos de inatividade dos processos (*process downtime*), entre outros (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2000). É então uma estratégia usada para melhorar a rentabilidade de uma organização e assegurar a eficiência em todas as operações. No entanto, ao contrário de outros movimentos focados na melhoria da qualidade, que primariamente se focam no produto ou serviço providenciado ao cliente final, a metodologia Seis Sigma coloca ênfase na qualidade do sistema global da organização (Kwak & Anbari, 2006).

A letra sigma, é usada por estatísticos para medir a variabilidade de qualquer processo (Pyzdek, 2003). Neste sentido, o termo Seis Sigma refere-se a uma performance estatística alvo de operar com apenas 3,4 defeitos por cada milhão de oportunidades, ou 3,4 ppm (partes por milhão de oportunidades), o qual representa um baixo nível de variabilidade e é usualmente considerado de excelência para grande parte dos processos (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2000).

O objetivo de qualquer projeto Seis Sigma, é o de tornar o processo capaz de cumprir todos os requisitos com um alto grau de consistência. Existem duas formas de o fazer: através do ciclo de melhoria de processo, DMAIC, ou através do ciclo DFSS (*Design For Six Sigma*). O primeiro, é o método usualmente associado à metodologia Seis Sigma, envolvendo a procura de soluções para eliminar causas raiz de problemas de desempenho em processos existentes. O segundo, é uma abordagem que tem como objetivo conceber novos processos, produtos ou serviços, de forma a que seja atingida

a máxima satisfação do cliente (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2000) (El-Haik & Yang, 2003).

Uma característica muito importante do Seis Sigma é a criação de uma infraestrutura que assegura que as atividades de melhoria de desempenho têm os recursos necessários. As organizações envolvidas no programa Seis Sigma, utilizam indivíduos especialmente treinados, designados por *Green Belts*, *Black Belts*, *Master Black Belts* e *Champions*, responsáveis por liderar e implementar o programa (Pyzdek, 2003) (Snee, 2004).

2.1.3 Métrica Seis Sigma

O foco da metodologia Seis Sigma, é a redução da variabilidade de desempenho de qualquer processo, por forma a que os limites de especificação se encontrem a pelo menos seis desvios padrão do valor alvo (nível seis sigma). A distribuição característica é normalmente assumida como normal, sendo os parâmetros que determinam uma distribuição normal, a média, μ , e o desvio padrão, σ . A média indica a localização da distribuição numa escala contínua, enquanto o desvio padrão representa a dispersão dessa distribuição (ver Figura 2) (Montgomery & Woodall, 2008) (Park, 2003).

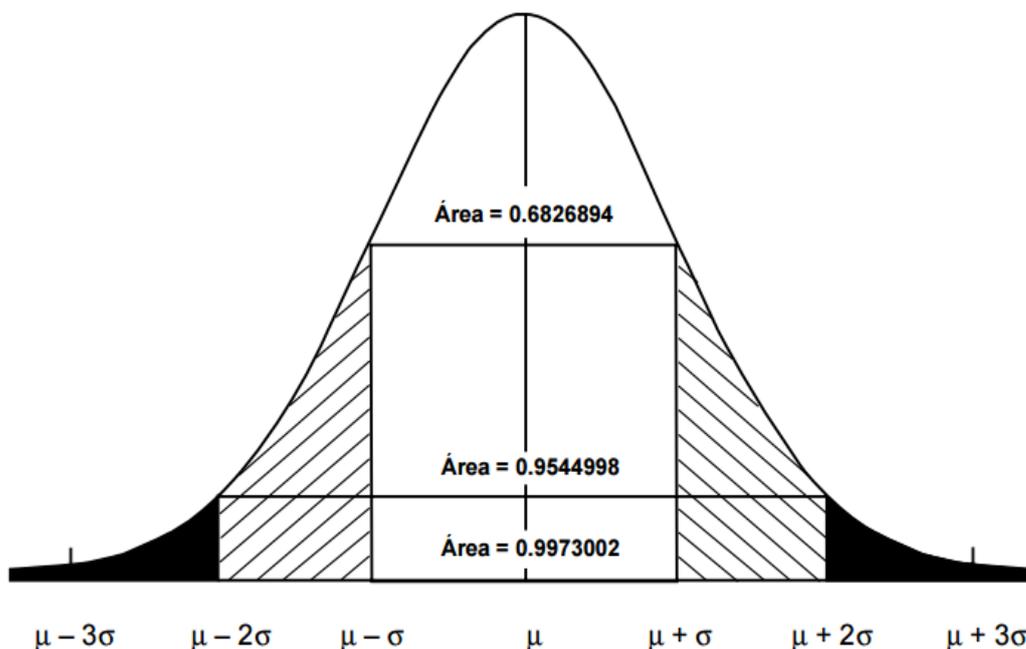


Figura 2 - Distribuição normal (adaptado de Park, 2003).

Os limites de especificação são as tolerâncias exigidas pelos clientes, para os produtos ou processos que irão adquirir. Existem dois limites, o LIE e LSE, que representam o limite inferior de especificação e o limite superior de especificação, respetivamente. O nível de qualidade sigma ou nível sigma, apresenta a menor distância da média do processo \bar{X} a um dos limites de especificação (ver Figura 3) (Park, 2003).

Na prática, é desejado que a média do processo seja mantida no valor alvo, contudo, o conceito desenvolvido pela Motorola assume que após ser atingido o nível seis sigma, no longo prazo, esta média ainda se encontra sujeita a perturbações que poderão causar um desvio de até $1,5 \sigma$ (Montgomery & Woodall, 2008) (Snee, 2004). Um processo de nível seis sigma, apresenta valores para C_p e C_{pk} de 2 e 1,5, respetivamente, atingindo não mais do que 3,4 ppm, considerando uma variação máxima da média do processo de $1,5 \sigma$ (ver Figura 3) (Breyfogle III, 2003).

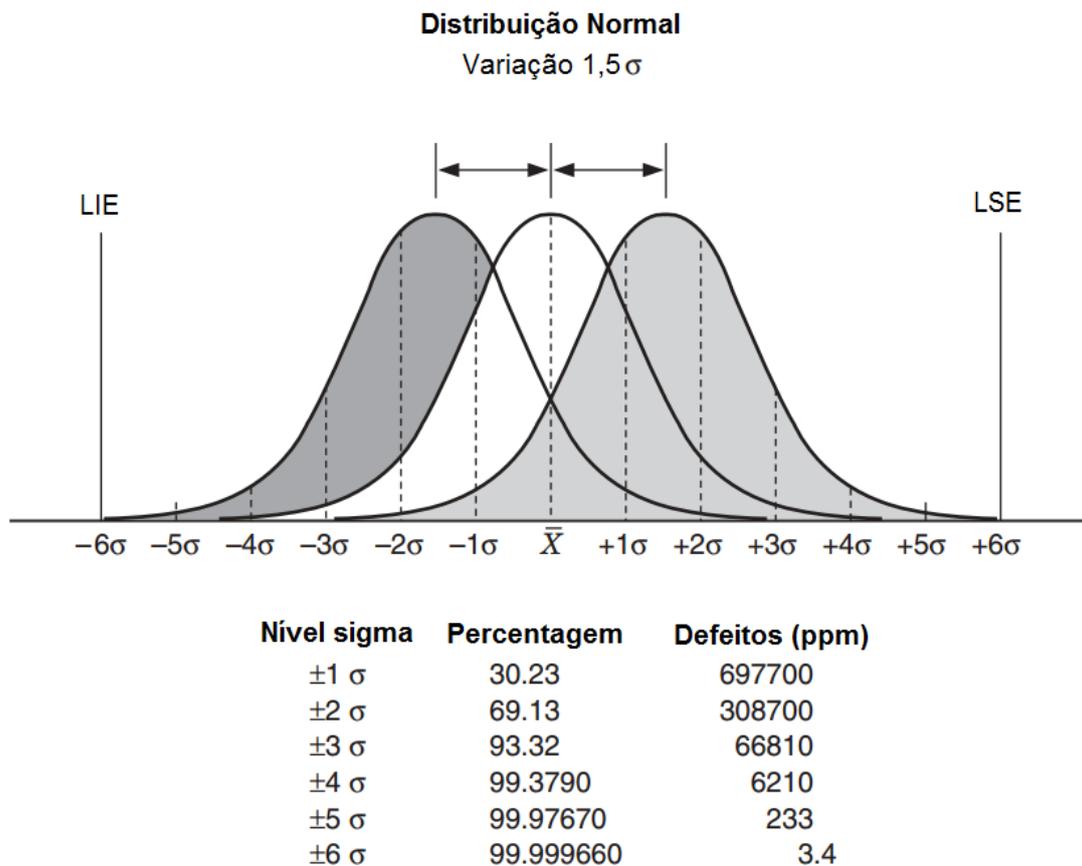


Figura 3 - Processo com nível 6 σ sujeito a um desvio de $1,5\sigma$ do valor alvo (adaptado de Montgomery & Woodall, 2008).

O nível de qualidade sigma, é uma métrica empregue para caracterizar a capacidade de um processo no cumprimento dos limites de especificação (Breyfogle III, 2003). Um defeito, é definido como um qualquer evento no qual um produto ou processo ultrapassa estes limites (não atinge os requisitos do cliente). Uma vez contado o número de defeitos, é possível calcular a percentagem de itens isentos de defeitos e determinar o nível sigma. Os níveis sigma de desempenho, são frequentemente expressos em defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) ou partes por milhão (ppm). DPMO indica quantos defeitos aconteceriam numa qualquer atividade, se esta fosse repetida um milhão de vezes (Wang, 2008). Na equação 1, encontra-se a fórmula de cálculo do DPMO e na equação 2, a fórmula de cálculo do ppm.

$$DPMO = \frac{N^{\circ} \text{ de defeitos}}{\text{Total de Oportunidades} * \text{Quant. inspecionada}} \times 10^6 \quad (1)$$

$$ppm = \frac{N^{\circ} \text{ de defeitos}}{\text{Quant. inspecionada}} \times 10^6 \quad (2)$$

Apesar deste tipo de métrica estar associado ao programa Seis Sigma, não existe nenhuma obrigação em seguir a escala sigma, visto que o uso do DPMO ou do nível sigma, representam apenas uma medida. Importa sim, que existam métodos de análise e melhoria adequados, e dados representativos do funcionamento da organização (Wang, 2008).

2.1.4 Ciclo DMAIC

Um dos fatores de sucesso do programa Seis Sigma, é a abordagem de resolução de problemas ou melhoria de processos designada por DMAIC (Antony & Banuelas, 2002). O ciclo consiste em cinco etapas (ver Figura 4), sendo que a operação do mesmo é similar a outras metodologias de resolução de problemas, como o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) de Deming e o procedimento *Seven Step* de Gryna e Juran (De Mast & Lokkerbol, 2012).

No início do ciclo (*Define*), é realizada a definição do problema e de todos os aspetos relevantes para o projeto. Durante a segunda etapa (*Measure*), é efetuada a medição da situação atual, traduzindo-se o problema para uma forma mensurável (De Mast & Lokkerbol, 2012). A etapa seguinte consiste na análise dos dados recolhidos, com o propósito de determinar as causas raiz dos problemas (*Analyse*) (De Koning & De Mast, 2006). O objetivo da fase de melhoria é eliminar as causas previamente identificadas (*Improve*) e na última etapa, deve ser efetuado o controlo e monitorização do processo, prevenindo uma reversão deste para o estado inicial (*Control*) (Eslami, Mohaghegh, & Brun, 2014).

O sucesso na implementação da metodologia Seis Sigma, através da abordagem DMAIC, é observado em vários tipos de indústria, seja a indústria automóvel (Antony, Gijo, & Childe, 2012) (Kaushik & Kumar, 2017), indústria alimentar (Hung & Sung, 2011), cuidados de saúde (Eldridge, et al.) (Van Den Heuvel, Does, & Verver, 2005), a indústria PCB (*Printed Circuit Board*) (Tong, Tsung, & Yen, 2004) e também na área da energia (Kaushik & Khanduja, 2008).

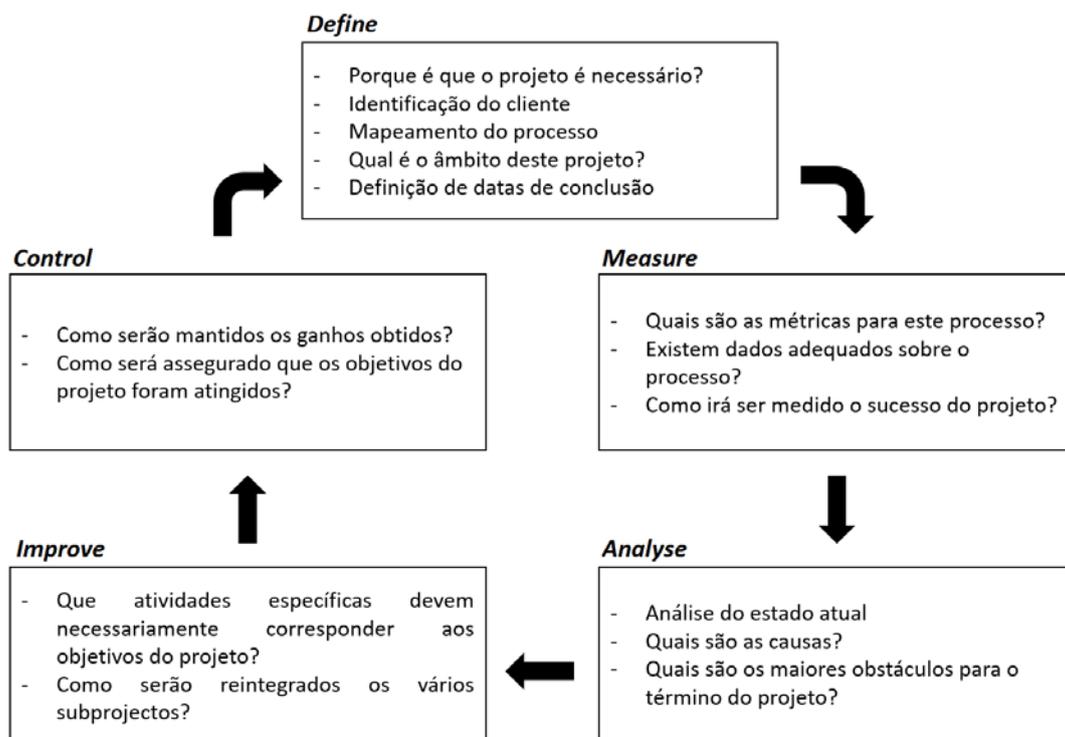


Figura 4 - Uso do ciclo DMAIC num projeto Seis Sigma (adaptado de Pyzdek, 2003).

2.1.4.1 Fase Define

Nesta fase, é selecionado o projeto e definido o problema específico a ser resolvido, bem como o processo a ser analisado. O projeto resultante, o seu âmbito, e os seus objetivos são resumidos num documento designado por *Project Charter*. Este documento, é uma ferramenta chave desta fase inicial visto que, uma causa comum para a falha de projetos de melhoria, é a existência de diferentes perceções do que é pretendido pelo projeto (Singh & Khanduja, 2014) (Snee, 2004). Em suma, na Tabela 1, são apresentadas as atividades a desenvolver, os métodos e ferramentas essenciais indicados para esta etapa inicial (Ertürk, Tuerdi, & Wujiabudula, 2016) (De Koning & De Mast, 2006) (El-Haik & Yang, 2003).

Tabela 1 – Atividades, métodos e ferramentas da qualidade para a fase Define.

Atividades	Métodos e Ferramentas
Esboçar um documento, onde é incluído: <i>business case</i> ; metas e objetivos do projeto; âmbito e restrições do projeto; a equipa e seu papel no projeto; planeamento preliminar do projeto.	- <i>Project Charter</i>
Identificar, analisar e priorizar os requisitos do cliente.	- VOC (<i>Voice Of Customer</i>)
Identificar e mapear os processos relevantes.	- CTQ (<i>Critical To Quality</i>)
	- Fluxograma de processo
	- Diagrama SIPOC

2.1.4.2 Fase *Measure*

Nesta etapa o problema é traduzido numa forma mensurável. É efetuada uma recolha de dados para avaliar o desempenho atual do processo, providenciando informação para as fases seguintes de análise e melhoria (De Koning & De Mast, 2006) (El-Haik & Yang, 2003). Torna-se então necessário estabelecer métricas válidas e credíveis, para monitorizar o progresso do processo no sentido dos objetivos definidos anteriormente (Pyzdek, 2003). Tendo em conta estes objetivos e os requisitos do cliente, são selecionados os *outputs* objeto de melhoria (Snee, 2004). As atividades, bem como os métodos e ferramentas a utilizar nesta etapa, são apresentadas na Tabela 2, (De Koning & De Mast, 2006) (Singh & Khanduja, 2014) (Werkema, 2004).

Tabela 2 – Atividades, métodos e ferramentas da qualidade para a fase *Measure*.

Atividades	Métodos e ferramentas
Selecionar as variáveis alvo de medição.	- Análise de Sistemas de Medição
Construir um plano de recolha de dados: determinação da frequência de amostras, o formato da recolha de dados e instrumentos de medição.	- Plano de recolha de dados - Amostragem - Diagrama de Pareto - Cartas de controlo - Histograma
Estudar as variações dos problemas prioritários identificados.	- Métricas Seis Sigma - <i>Benchmarking</i>

2.1.4.3 Fase *Analyse*

Após a recolha de dados, é necessário proceder ao seu processamento e análise com o objetivo de diagnosticar as causas raiz dos problemas. Nesta etapa de análise, o primeiro passo para encontrar estas causas é identificar potenciais causas. Assim, sessões de *brainstorming* são frequentemente conduzidas com todos os membros da equipa, para identificar potenciais causas do problema (Antony, Gijo, & Childe, 2012). Durante a análise de dados, a análise de Pareto é frequentemente utilizada para determinar que categorias, tipicamente um número reduzido, representam a maioria do total de erros (Snee, 2004).

A compreensão dos dados recolhidos é feita através de análises descritivas, e as ferramentas estatísticas são usadas para guiar a análise (Pyzdek, 2003). Analogamente ao procedimento efetuado nas fases anteriores, encontram-se na Tabela 3 as atividades, métodos e ferramentas a utilizar nesta etapa (El-Haik & Yang, 2003) (Ertürk, Tuerdi, & Wujiabudula, 2016) (Snee, 2004).

Tabela 3 – Atividades, métodos e ferramentas da qualidade para a fase *Analyse*.

Atividades	Métodos e ferramentas
Análise de dados: utilizar os dados recolhidos de forma a encontrar padrões, tendências ou outras disparidades que poderão sugerir uma causa e efeito.	- Análise de causas raiz - Diagrama de Ishikawa - FMEA (<i>Failure Modes and Effects Analysis</i>)
Análise de processo: observação dos processos-chave que fornecem os requisitos do cliente com o objetivo de identificar tempos de ciclo, retrabalho e tempos de inatividade e outros eventos que não acrescentam valor.	- Diagrama de Pareto - Histograma - Testes de hipóteses - <i>Brainstorming</i>
Priorizar oportunidades de melhoria.	

2.1.4.4 Fase *Improve*

Ao chegar a esta etapa de melhoria, já devem ter sido identificadas as causas raiz para os problemas de desempenho do processo, no fim da fase anterior (El-Haik & Yang, 2003). Assim, é necessário analisar a mudança que é necessária efetuar, para eliminar essas causas raiz. Esta mudança contempla a geração, seleção e implementação de soluções com o objetivo de melhorar o desempenho do processo (Snee, 2004) (De Koning & De Mast, 2006).

Esta é a única fase onde realmente é executada uma melhoria, sendo que as restantes fases têm como objetivo efetuar uma preparação (*define, measure, analyse*) e manutenção (*control*) das melhorias executadas nesta etapa (Snee, 2004).

Quando os problemas são identificados pela análise de processo, as soluções são frequentemente apresentadas através de simplificação de processos, processamento paralelo e eliminação de pontos de estrangulamento (El-Haik & Yang, 2003). As atividades, bem como os métodos e ferramentas a utilizar na etapa *Improve*, são descritos na Tabela 4 [(Ertürk, Tuerdi, & Wujiabudula, 2016) (Werkema, 2004).

Tabela 4 – Atividades, métodos e ferramentas da qualidade para a fase *Improve*.

Atividades	Métodos e ferramentas
Desenvolver ideias de potenciais soluções para a eliminação de causas raiz e efetuar a sua priorização.	- <i>Brainstorming</i> - FMEA
Avaliar o impacto e riscos das soluções a implementar.	- Análise de <i>stakeholders</i> - Diagrama de Gantt
Implementar as ações planeadas.	- DOE
Validar as ações de melhoria através de testes piloto.	- Teste de operação

2.1.4.5 Fase *Control*

Na fase de controlo, é necessário assegurar que as ações de melhoria efetuadas anteriormente, se mantêm após o projeto terminar (Snee, 2004). Tendo este objetivo em vista, é necessário implementar planos de controlo do processo, desenvolver novos procedimentos para assegurar ganhos a longo prazo, documentar os novos métodos e efetuar a verificação dos proveitos e poupanças alcançadas pelo projeto. Ao finalizar o projeto, devem ser partilhadas as lições aprendidas, sendo publicados os resultados internamente ou externamente e reconhecida a contribuição dos membros da equipa (Antony, 2006). As atividades, bem como os métodos e ferramentas a utilizar nesta etapa, estão descritos na Tabela 5 (Ertürk, Tuerdi, & Wujiabudula, 2016) (Singh & Khanduja, 2014).

Tabela 5 – Atividades, métodos e ferramentas da qualidade para a fase *Control*.

Atividades	Métodos e ferramentas
Desenvolver planos de monitorização e controlo do processo após melhoria.	- Plano de controlo - Cartas de controlo - Métricas de Seis Sigma
Verificar benefícios e minimização de custos atingidos.	- Diagrama de Gantt - <i>Poka Yoke</i> - SPC

2.1.5 Técnicas e Ferramentas da Qualidade

A abordagem pelo ciclo DMAIC do Seis Sigma, tal como outras metodologias de melhoria de processos, contempla várias atividades, métodos e ferramentas da qualidade, associados a cada fase do ciclo, como referido anteriormente. Contudo, em cada projeto Seis Sigma deve ser escolhido o conjunto de atividades, métodos e ferramentas adequado. Assim, apresentam-se neste capítulo as ferramentas utilizadas durante o caso de estudo (capítulo 4).

2.1.5.1 *Project Charter*

O *Project Charter* é um documento onde é frequentemente resumida a autorização oficial para um projeto Seis Sigma. É utilizado na fase *Define* do ciclo DMAIC, formalizando o acordo entra a equipa responsável pelo projeto e a gestão de topo da organização (Kaushik & Khanduja, 2008) (Pyzdek, 2003). Este documento deve identificar claramente o âmbito do projeto, bem como o papel e responsabilidades dos membros da equipa do projeto (Antony, 2006) (Pyzdek, 2003). De forma concisa, o *Project Charter* deve incluir as seguintes informações (De Mast & Lokkerbol, 2012) (Werkema, 2004):

- Nome do projeto;
- Período de execução do projeto;
- Identificação da equipa;
- Descrição do problema;
- Objetivos e metas do projeto;
- Dados históricos do problema;
- Âmbito do projeto, restrições e suposições;
- Cronograma preliminar do projeto;

2.1.5.2 Diagrama de Gantt

Os diagramas de Gantt são frequentemente utilizados na gestão de projetos, permitindo desenvolver um cronograma realista do mesmo, mas também programar a alocação dos recursos e acompanhar o progresso do projeto, durante a execução do planeamento previsto. Na Figura 5 encontra-se representado um exemplo de um diagrama de Gantt.

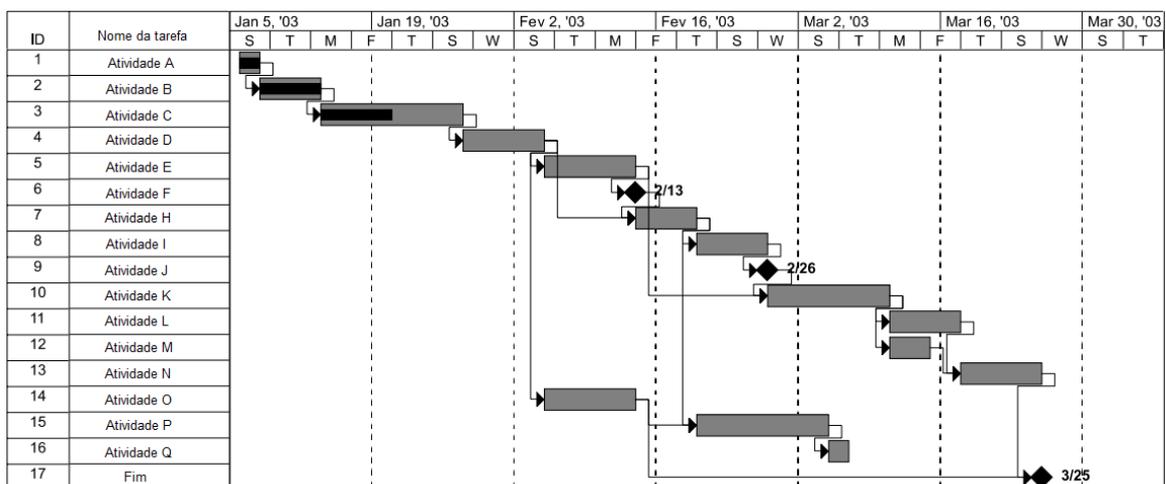


Figura 5 - Representação de um gráfico de Gantt (adaptado de Pyzdek, 2003).

O gráfico mostra a relação entre as tarefas do projeto, juntamente com as suas restrições temporais. O eixo horizontal de um gráfico de Gantt mostra as unidades de tempo (dias, semanas, meses, etc.), enquanto o eixo vertical, expõe as atividades a serem concluídas. As barras do gráfico mostram o tempo estimado de início da atividade e a duração das várias atividades (Pyzdek, 2003).

2.1.5.3 Diagrama SIPOC

O diagrama SIPOC é uma das ferramentas mais eficientes para o mapeamento de processos de uma organização. São frequentemente utilizados durante a abordagem DMAIC para a resolução de problemas, especialmente durante a fase *Define*, sendo que o acrônimo SIPOC deriva de cinco elementos (Pyzdek, 2003) (George, Maxey, Rowlands, & Upton, 2005):

- *Supplier* (fornecedor) - o indivíduo ou grupo que providencia informação, material ou outros recursos ao processo;
- *Input* (entradas) – constitui a entrada ao processo sob a forma de informação, material ou outro recurso;
- *Process* (processo) – a série de etapas que transformam e, idealmente, acrescentam valor ao *input*;
- *Output* (saídas) – o produto final do processo que seguirá para o cliente;
- *Customer* (cliente) – o indivíduo, grupo ou processo que recebe o *output*. Podem ser internos ou externos à organização.

O cliente tem requisitos explícitos ou implícitos para os *outputs*, sendo que estes são frequentemente descritos no modelo (El-Haik & Yang, 2003). O diagrama SIPOC responde a uma série de questões que são comuns a quase todos os processos abordados por projetos Seis Sigma. Alguns exemplos destas perguntas são: qual o valor criado? Qual o *output* produzido? Quais os *inputs* para o processo? Quem providencia os *inputs*? Que recursos são utilizados pelo processo? Em que etapas é criado valor? (Pyzdek, 2003). Um exemplo esquemático da construção de um diagrama SIPOC pode ser observado na Figura 6.

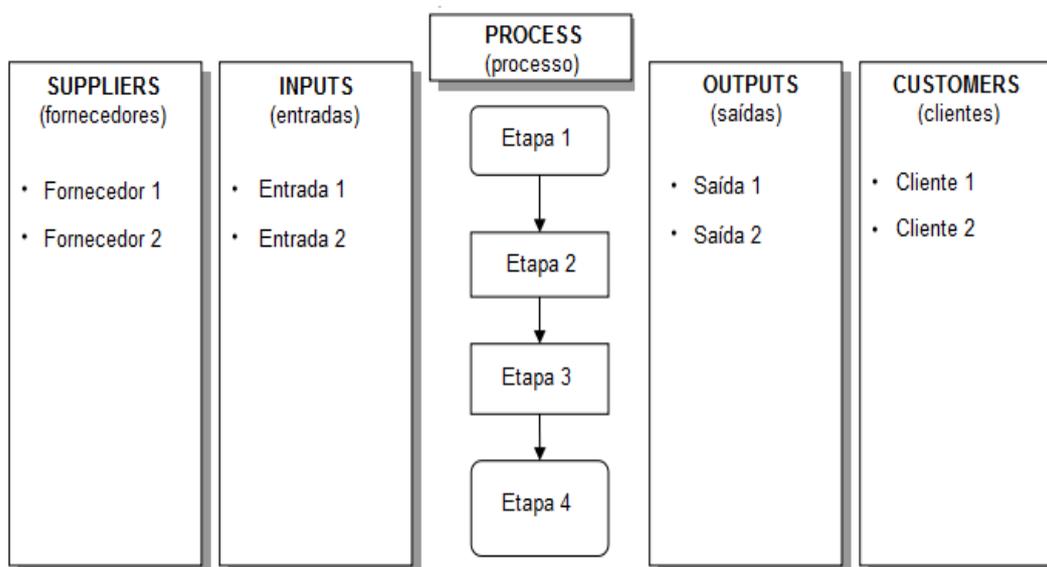


Figura 6 - Representação de diagrama SIPOC (adaptado de Pyzdek, 2003).

Algumas das vantagens da utilização deste tipo de diagrama, são a exibição de um conjunto de atividades de vários tipos de funções num único e simples diagrama; a utilização de uma estrutura aplicável a processos de todos tamanhos – até mesmo a toda uma organização; e o facto de manter uma visão geral da perspectiva do processo, à qual podem ser adicionados detalhes (Wang, 2008).

2.1.5.4 *Brainstorming*

Uma sessão de *brainstorming*, é uma técnica muito útil para gerar novas ideias e envolver um grupo de trabalho sobre um determinado assunto, num curto espaço de tempo. É utilizada então a interação de uma equipa, ou grupo multifuncional concebido para o efeito, onde é encorajado o pensamento criativo, sendo que apenas é permitida discussão após a recolha de todas as ideias (Breyfogle III, 2003) (Juran & Godfrey, 1999). O responsável por liderar a sessão de *brainstorming* deve ter em conta as seguintes indicações:

- Definir de forma clara e simples o problema;
- Dois ou mais membros devem documentar as ideias, por forma a que estejam visíveis por todos os participantes e assim possam desenvolver os conceitos;
- O nome do participante que sugeriu a ideia deve ser colocado ao lado desta;
- A geração de ideias, tipicamente inicia de forma lenta. Contudo, quando alguém propõe uma ideia incomum, ocorre frequentemente uma alteração de velocidade, visto que encoraja a participação dos restantes membros;
- Uma sessão pode produzir mais de 100 ideias, no entanto, muitas não terão aplicabilidade;
- Muitas ideias inovadoras podem surgir um dia ou dois após a sessão.

Existem várias formas de conduzir este tipo de sessão e de compilar a informação resultante. A geração de ideias pode ser feita de forma formal ou informal, contudo, deve existir flexibilidade na escolha de uma das abordagens, visto que cada equipa ou grupo possui uma personalidade própria (Breyfogle III, 2003).

2.1.5.5 *Diagrama de Pareto*

Este diagrama, é uma ferramenta da qualidade baseada no Princípio de Pareto, também conhecido por regra 80/20 (El-Haik & Yang, 2003). Este princípio enuncia que, numa qualquer população que contribua para um efeito comum, uma relativa minoria dos que contribuem (20%, os poucos vitais) são responsáveis pela maior parte (80%, muitos triviais) desse efeito (Juran & Godfrey, 1999).

Num contexto de análise de defeitos, a análise de Pareto é então conhecida como o processo de separar os muitos triviais dos poucos vitais, concentrando esforços para a eliminação destes últimos. A Figura 7 ilustra um diagrama de Pareto e as seguintes etapas, as quais dizem respeito ao seu modo de elaboração (Pyzdek, 2003):

1. Determinar as classificações ou categorias a analisar.
2. Selecionar o período de tempo para análise. O intervalo deve ser longo o suficiente para ser representativo do desempenho típico.
3. Determinar o total de ocorrências (seja contagem de defeitos ou outro) para cada categoria. Determinar o somatório total. Se existirem várias categorias que apenas representam uma pequena parte do total, agrupá-las numa categoria designada por “Outros”.
4. Calcular a percentagem para cada categoria, dividindo o total da categoria pelo somatório total de ocorrências e multiplicando por 100.
5. Ordenar as categorias do maior número de ocorrências para o menor.
6. Calcular a "percentagem cumulativa" adicionando a percentagem para cada categoria, das categorias anteriores.
7. Construir um gráfico, onde o eixo vertical esquerdo apresenta uma escala de 0 até pelo menos o valor do somatório total. Colocar um rótulo apropriado no eixo. Definir a escala do eixo vertical direito, de 0 a 100%, com o valor de 100% no lado direito, à mesma altura que o valor mais elevado da escala do lado esquerdo.
8. Rotular o eixo horizontal com os nomes das categorias.
9. Desenhar em barras a representação da quantidade de cada categoria. A altura da barra é determinada pelo eixo vertical esquerdo.
10. Desenhar uma linha que mostre a coluna de percentagem cumulativa da tabela da análise de Pareto. A linha da percentagem acumulada é determinada pelo eixo vertical direito.

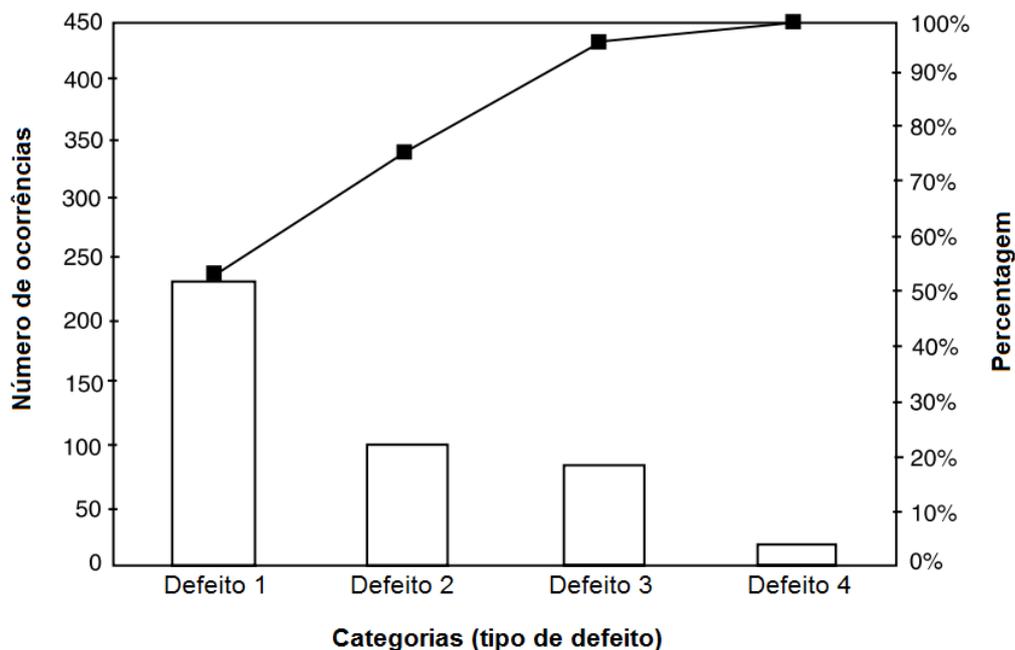


Figura 7 - Diagrama de Pareto (adaptado de Pyzdek, 2003).

2.1.5.6 Diagrama de Ishikawa

Este popular diagrama (também conhecido como diagrama causa e efeito ou espinha de peixe) foi desenvolvido em 1943 pelo professor Kaoru Ishikawa (Juran & Godfrey, 1999). A melhoria de processo envolve a atuação sobre causas de variação. Na maioria das aplicações práticas, o número de causas possíveis para cada problema pode ser muito elevado. Ishikawa desenvolveu com este diagrama, um método simples de exibir graficamente as causas para um determinado problema de qualidade. Este tipo de diagrama é usado para organizar e mostrar graficamente todo o conhecimento que a equipa de projeto tem sobre um problema particular. Normalmente os passos usados são (Pyzdek, 2003):

1. Desenvolver um fluxograma do processo da área sujeita a melhoria;
2. Definir o problema a ser resolvido;
3. Recorrer a sessões de *brainstorming* para identificar todas as causas possíveis do problema;
4. Organizar os resultados da sessão de *brainstorming* em categorias racionais;
5. Construir o diagrama que mostra de forma precisa a relação entre os dados e cada categoria.

Esta técnica prevê a utilização do *brainstorming*, onde os indivíduos da equipa descrevem as causas que poderão estar na origem do problema em discussão. Aquando da construção de um diagrama, é frequente considerar as seis principais causas que podem contribuir para o problema em questão: mão-de-obra, máquina, material, método, medição e meio ambiente. A Figura 8 ilustra a construção do diagrama de Ishikawa (Pyzdek, 2003).

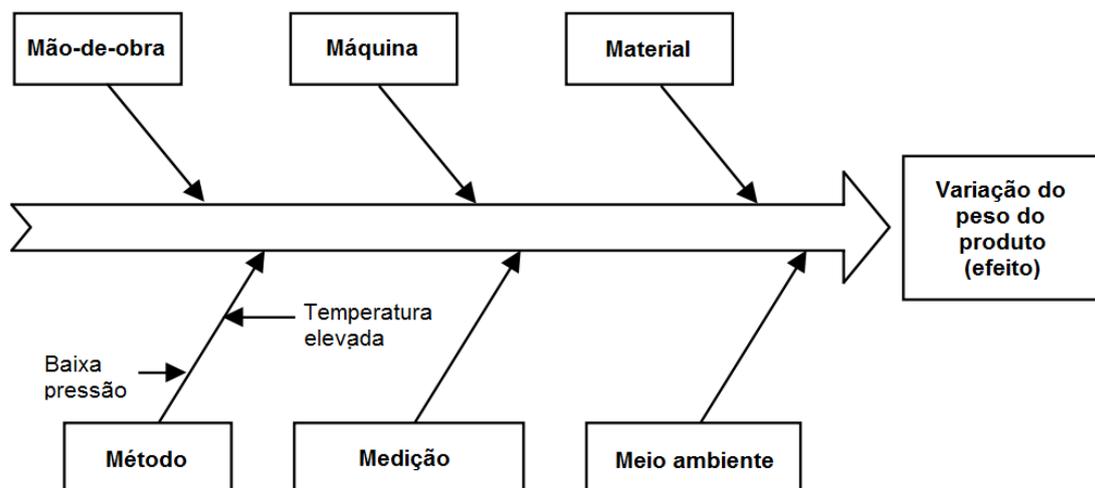


Figura 8 - Exemplo de um diagrama de Ishikawa (Adaptado de Park, 2003).

PROCESSO PRODUTIVO

3.1 Produto

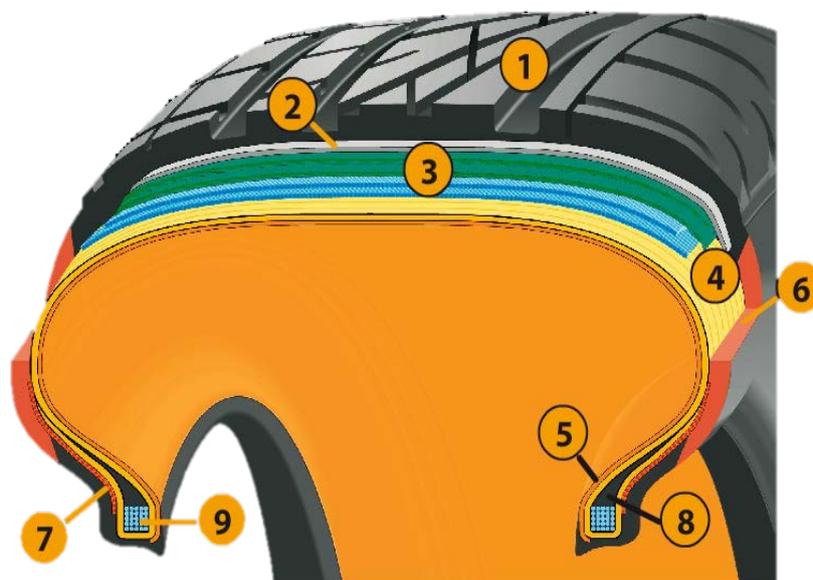
3.2 Processo produtivo

3 PROCESSO PRODUTIVO

Neste capítulo pretende-se descrever sumariamente os processos e elementos que fazem parte do processo produtivo global.

3.1 Produto

Como já foi referido, o produto final do processo produtivo é o pneu, que é composto por vários elementos. Na Figura 9, podemos observar a secção transversal de um pneu onde se encontram identificados numericamente os nove elementos.



- | | |
|-----------------------------|----------------------|
| 1 – Piso | 6 – Parede |
| 2 – Cinta têxtil em espiral | 7 – Reforço do talão |
| 3 – Cinta metálica | 8 – Cunha de talão |
| 4 – Tela têxtil | 9 – Núcleo do talão |
| 5 – Camada estanque | |

Figura 9 – Ilustração dos elementos constituintes de um pneu (Continental AG, 2016).

O piso e a parede são os semiprodutos que estão diretamente relacionados com o processo em estudo, pelo que serão analisados com mais detalhe posteriormente.

O reforço, cunha e núcleo de talão constituem o que é designado apenas por talão. Como podemos observar na Figura 9 e Figura 10, cada pneu é constituído por dois talões (esquerdo e direito).

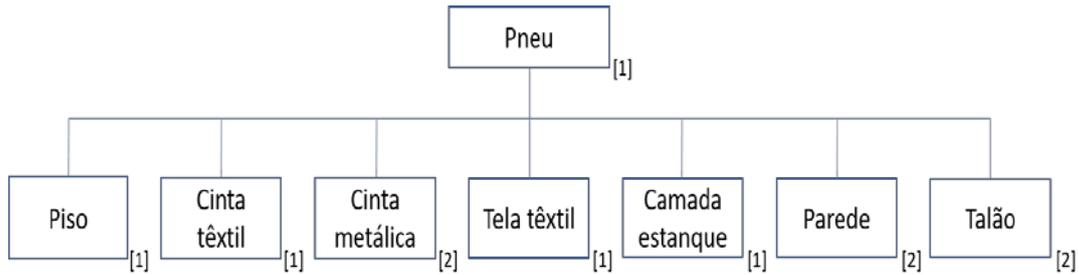


Figura 10 – Árvore de produto do pneu.

3.2 Processo produtivo

O processo produtivo da Continental Mabor encontra-se dividido em cinco fases, associadas a cinco áreas: DP I - Misturação, DP II - Preparação, DP III - Construção, DP IV - Vulcanização e DP V - Inspeção Final. Estas encontram-se representadas na Figura 11, onde é apresentado um fluxograma do processo produtivo geral.

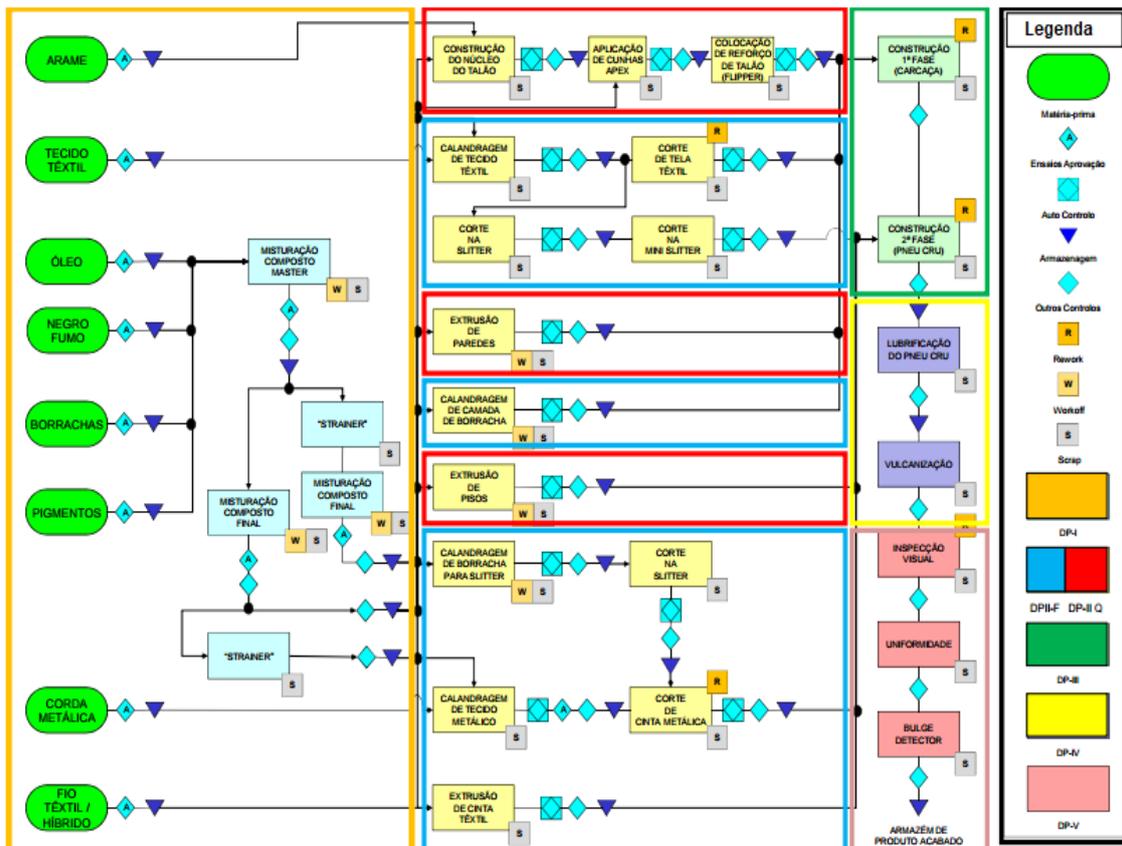


Figura 11 – Fluxograma do processo produtivo do pneu (Continental Mabor, 2016).

3.2.1 DP I - Misturação

Nesta área, representada pela cor laranja na Figura 11, encontram-se reunidas as matérias-primas. Estas são sujeitas a ensaios de aprovação, seguidos de um movimento de armazenagem. A matéria-prima proveniente da extração de borracha natural e da indústria química (desta última provém principalmente borracha sintética, pigmentos, óleo mineral e sílica), é utilizada para produzir o composto que irá servir a área seguinte. No fim do processo de misturação, o material é sujeito a controlo, é transportado em lotes - como podemos observar na Figura 12- e é armazenado na Preparação até ser consumido.



Figura 12 - Exemplo de um lote de folhas de composto (Continental Mabor, 2016).

3.2.2 DP II - Preparação

Esta área está dividida em duas áreas, denominadas de Preparação a Quente e Preparação a Frio, representadas a vermelho e azul, respetivamente (ver Figura 11). Desta última, resultam semiprodutos como a cinta têxtil, cinta metálica, os reforços e a camada estanque. Na Preparação a Quente (ver Figura 13), são produzidos os talões e as cunhas, bem como a parede e o piso. Uma vez produzidos, seguem para a área de Construção, através de diferentes tipos de meio de transporte.



Figura 13 – DP II - Preparação a Quente (Continental Mabor, 2016).

3.2.3 DP III - Construção

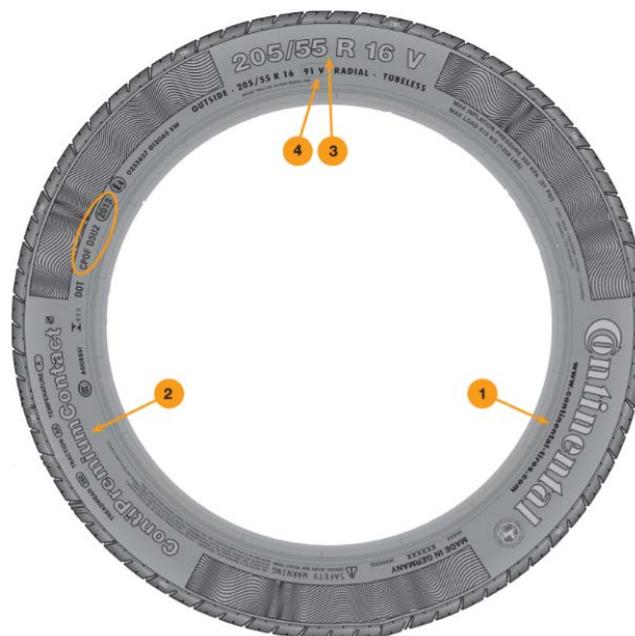
Esta área (ver Figura 14) é composto por vários módulos de construção, que integram duas máquinas, a *Karkasse Machine* (KM) e a *Production Unit* (PU), representadas pela cor verde na Figura 10. Na máquina KM é construída a carcaça do pneu através da junção da tela têxtil, da camada estanque, das paredes e dos talões. Na etapa seguinte, segue para a máquina PU onde é incorporada a cinta têxtil, a cinta metálica e o piso. Após este processo, o conjunto é designado por “pneu verde”.



Figura 14 – DP III - Construção (Continental Mabor, 2016).

3.2.4 DP IV - Vulcanização

Tal como é representado pelo fluxograma da Figura 11, o pneu verde segue através de transportadores automáticos para uma cabine de pintura, para ser pintado e lubrificado interiormente. De seguida, os pneus seguem em carros de transporte para a zona onde estão localizadas as prensas de vulcanização. Nesta etapa, o pneu verde é colocado numa prensa, onde é comprimido contra o molde, resultando daí a sua forma final, após um determinado período sob parâmetros específicos de pressão e temperatura. Os moldes da prensa contêm gravações que conferem ao pneu as marcações na parede (ver Figura 15) e o padrão de piso pretendido (ver Figura 16).



- 1 Fabricante (marca ou logótipo)
- 2 Nome do produto
- 3 Tamanho
- 4 Índice de carga

Figura 15 - Exemplo de marcações *standard* na parede de um pneu (Continental AG, 2016).



Figura 16 - Exemplo de um padrão de piso (Continental AG, 2016).

3.2.5 DP V - Inspeção final

O pneu chega a esta última área através de um transportador automático (ver Figura 17). O pneu é sujeito a inspeção visual, assim como vários testes de uniformidade. Uma vez ultrapassados todos os testes e inspeções, os pneus são enviados através de um transportador para o armazém de produto acabado onde são armazenados (ver Figura 11).

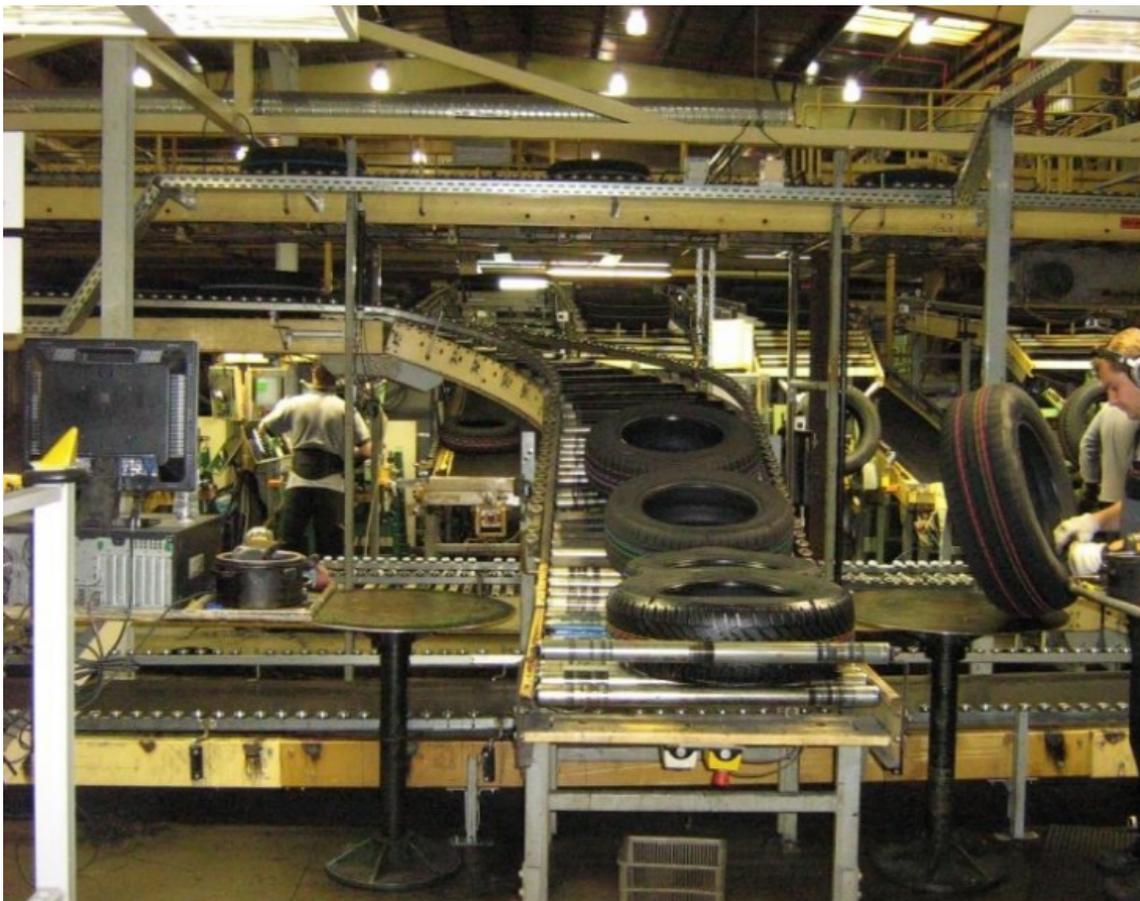


Figura 17 – DP V – Inspeção Final (Continental Mabor, 2013).

CASO DE ESTUDO

4.1 Fase *Define*

4.2 Fase *Measure*

4.3 Fase *Analyse*

4.4 Fase *Improve*

4.5 Fase *Control*

4 CASO DE ESTUDO

O presente caso de estudo aborda a aplicação da metodologia Seis Sigma na melhoria do processo de extrusão da empresa Continental Mabor. O desenvolvimento prático do projeto, integrado no Departamento de Engenharia Industrial, teve como base a abordagem através do ciclo DMAIC. Assim, este capítulo é composto pela descrição detalhada das etapas deste ciclo, aplicadas ao projeto de melhoria.

4.1 Fase *Define*

Nesta fase inicial do ciclo DMAIC, foi realizada uma definição completa do projeto. Neste sentido, foi necessário identificar o problema, as metas e objetivos a atingir. As responsabilidades e tarefas da equipa, bem como os limites do seu campo de ação, foram também definidos. Foi realizado um mapeamento do processo no sentido de compreender de forma mais detalhada o funcionamento das atividades, processos em análise e respetivos intervenientes (particularmente fornecedores e clientes internos ou externos) e os seus requisitos e especificações.

4.1.1 Seleção do projeto

O processo produtivo da Continental Mabor possui um conjunto de indicadores de desempenho (KPI) aos quais são atribuídas metas pela empresa-mãe Continental AG. Um desses indicadores, designado por *Geração de work-off* (GWO), encontrava-se fora do limite definido como objetivo, o que motivou a criação deste projeto de melhoria.

A GWO é um dos indicadores utilizados pela fábrica para a análise do desempenho do processo produtivo e da sua evolução ao longo do tempo. Este indicador quantitativo mede a relação percentual entre o material não conforme, rejeitado sobre a forma de WO, e a quantidade de composto produzido na área de Misturação.

$$\text{GWO (\%)} = \frac{\text{Quantidade de work-off (ton)}}{\text{Quantidade de composto produzido (ton)}} \times 100 \quad (3)$$

4.1.2 Planeamento do projeto

Uma vez selecionado o projeto, o primeiro passo a realizar é a criação de um documento que sumariza os seus elementos, explicando o caso em estudo, o seu âmbito e os seus objetivos. O documento concebido designa-se por *Project Charter*, e é apresentado na Figura 18.

Business Case		Problem Statement	
A necessidade da implementação deste projeto surge visto que um dos KPI do sistema produtivo da Continental Mabor se encontra fora dos valores desejáveis. Este indicador quantitativo é designado por taxa de geração de <i>work-off</i> , e mede a relação entre o que é rejeitado sob a forma de <i>work-off</i> e o que é produzido na Misturação. Assim, tornou-se necessário diminuir o seu valor, uma vez que tem um impacto negativo no processo e representa um elevado custo financeiro.		Diariamente, mais de 60 toneladas de composto produzido no departamento de Misturação, é rejeitado sob a forma de <i>work-off</i> no processo de extrusão.	
		Opportunity Statement	
		Melhoria do indicador de geração de <i>work-off</i> , através da identificação e quantificação do <i>work-off</i> gerado pela ocorrência de <i>setups</i> e perturbações.	
Scope		Goals & Objectives	
<i>In</i>	<i>Out</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Identificação das principais causas de geração de <i>work-off</i> (WO); - Obtenção da quantidade de WO produzido; - Diminuição da geração de WO no processo de extrusão. 	
Redução da geração de WO no processo de extrusão (pisos e paredes).	Custo do produto final não conforme.		
Process Start Point	Process End Point		
9 de Maio de 20016	7 de Outubro de 2016		
Team Members		Completion Dates	
<i>Name</i>	<i>Role</i>	<i>Define</i>	Maio, 2016
Tiago Costa	Decision Support	<i>Measure</i>	Julho, 2016
José Salgueiro	Project Leader	<i>Analyze</i>	Agosto, 2016
Jorge Veloso	Black Belt	<i>Improve</i>	Setembro, 2016
Francisco Viamonte	Black Belt	<i>Control</i>	Outubro, 2016

Figura 18 – Documento de definição de projeto (*project charter*).

Como auxílio ao planeamento e progresso do projeto, foi utilizado o gráfico de Gantt na Figura 19. Este permite uma vista geral das atividades e a sua calendarização, estabelecendo os prazos de conclusão das várias fases do projeto, que teve início em Maio de 2016 e uma duração de seis meses.

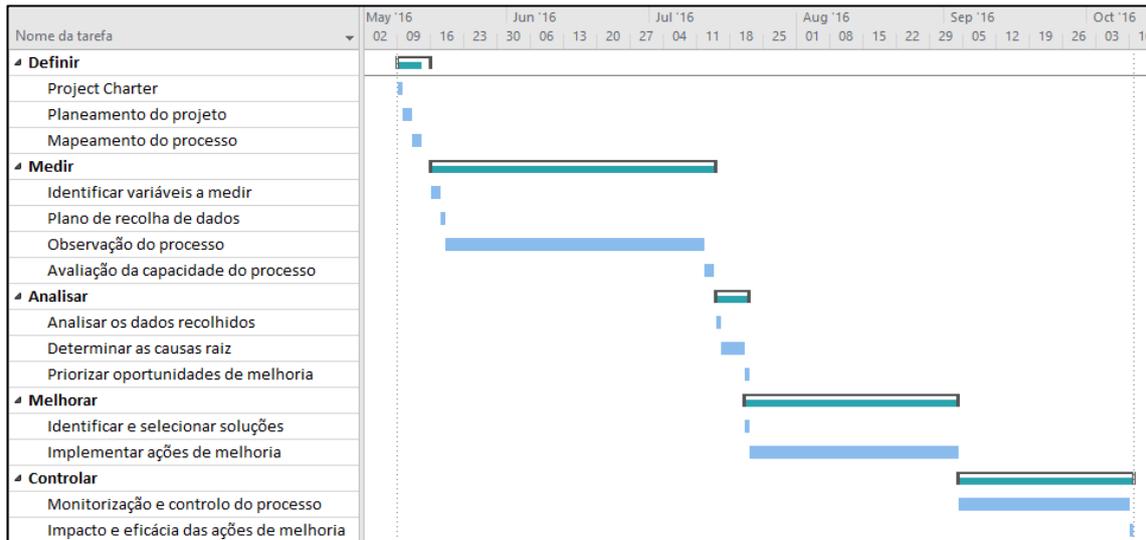


Figura 19 - Gráfico de Gantt utilizado para o planeamento do projeto.

4.1.3 Mapeamento do processo

A produção de piso e parede, situada na área de Preparação a quente, é conseguida recorrendo ao processo de extrusão. Este processo recebe os lotes de folhas de composto produzidos na área de Misturação e transforma-os em semi-produtos, nomeadamente o piso ou a parede, que seguem para a Construção (ver Figura 20).

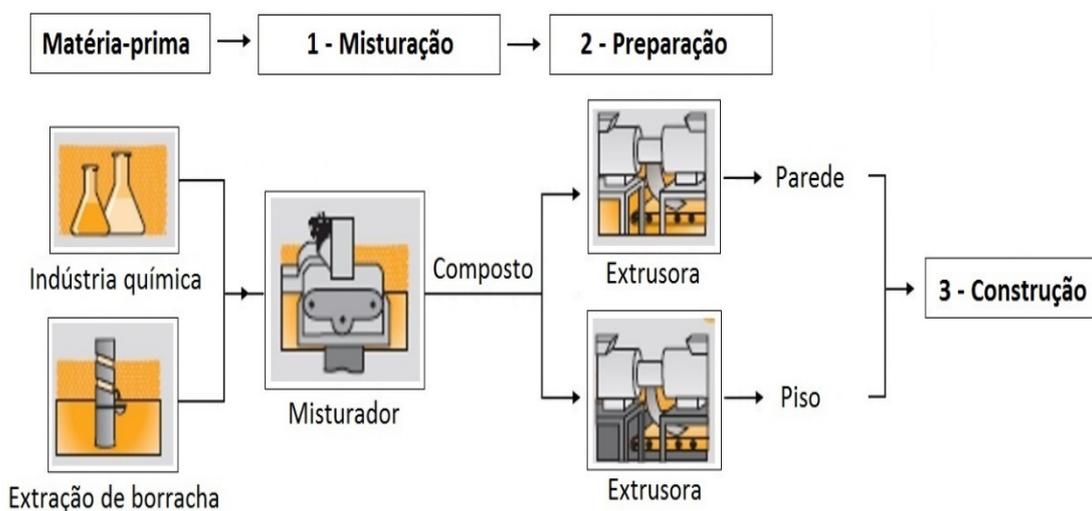


Figura 20 - Diagrama do processo de produção de pisos e paredes.

Neste processo produtivo existem três tipos de linha de extrusão: extrusão de parede, extrusão de piso e um tipo de linha combinada, que é capaz de alternar entre a produção de ambos. Como podemos observar na Tabela 6, ao número 1 e 7 correspondem linhas de extrusão de parede, ao número 2 uma linha combinada e os restantes dizem respeito à extrusão de piso. Estes tipos de linha apresentam-se semelhantes, pelo que serão descritos de seguida os seus elementos constituintes relevantes e enunciadas as respetivas diferenças entre a produção de piso e parede.

Tabela 6 - Identificação das linhas de extrusão.

Linha	Componente
E01	Parede
E02	Piso/Parede
E03	Piso
E04	Piso
E05	Piso
E06	Piso
E07	Parede

Na Figura 21, apresenta-se um esquema combinado da extrusão de piso e parede, onde estão descritas as etapas principais do processo de extrusão. Na etapa 1 será descrita a preparação e alimentação, que culmina com a entrada de composto nas tremonhas. A etapa 2 diz respeito à extrusão do composto, onde serão explicados alguns conceitos importantes, sendo que na etapa 3 e 6, são realizados os controlos dimensionais iniciais e finais, respetivamente, ao material extrudido. A etapa 4 alude à fase de arrefecimento e secagem, seguindo-se a etapa 5, de corte, que antecede a etapa final de armazenamento (etapa 7) dos semiprodutos.

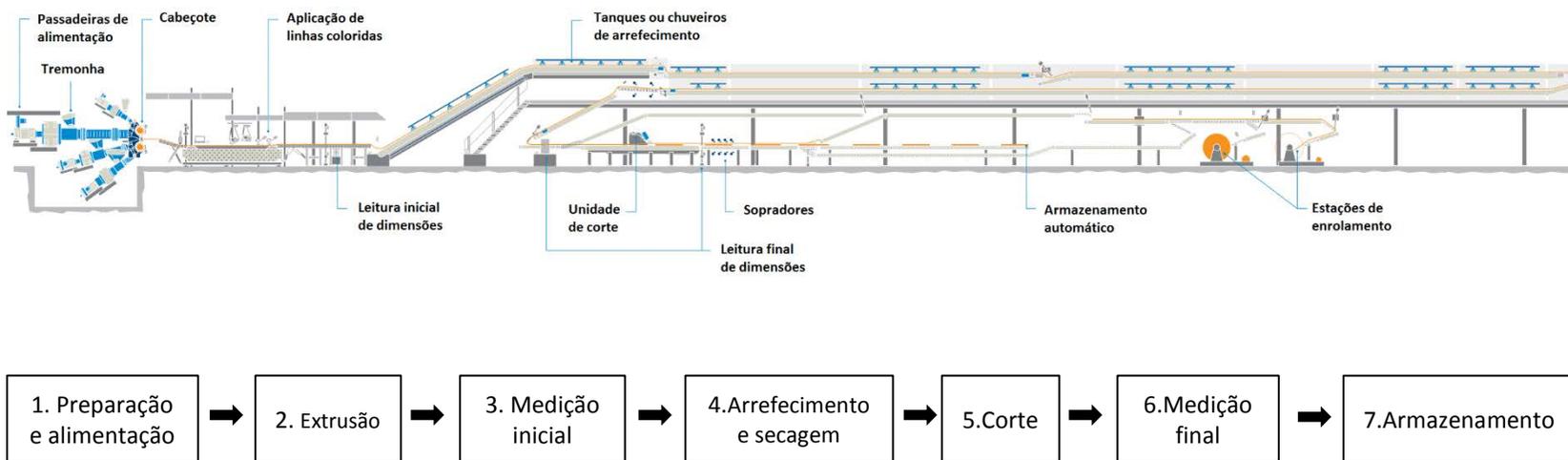


Figura 21 - Esquema de uma linha de extrusão e sequência de processo (adaptado de Krauss Maffei Berstorff, 2016).

4.1.3.1 Preparação e alimentação (etapa 1)

O composto produzido na área de Misturação é transportado para uma zona próxima da linha e armazenado em *rack's* (prateleiras). O processo inicia-se com a movimentação do composto pelo operador, da *rack* para a passadeira de alimentação, conforme a necessidade de produção (ver Figura 22).



Figura 22 – *Rack's* e passadeiras de alimentação (Continental Mabor, 2016).



Figura 23 – Entrada do composto na tremonha (Continental Mabor, 2013).

As passadeiras de alimentação garantem a deslocação e entrada de composto nas tremonhas (ver Figura 23). Cada passadeira está ainda munida de um detetor de metais, a fim de garantir que estes não entrem na extrusora. A presença deste material poderia causar danos aos parafusos de alimentação e representar uma paragem longa com um custo elevado para a empresa.

4.1.3.2 Extrusão (etapa 2)

Nesta etapa, o composto é aquecido e homogeneizado (Figura 24), adquirindo um estado plástico, e é transportado até à fieira através dos parafusos de alimentação. O conjunto de extrusão é composto por uma cabeça de entrada múltipla, que pode ser alimentada por várias extrusoras.

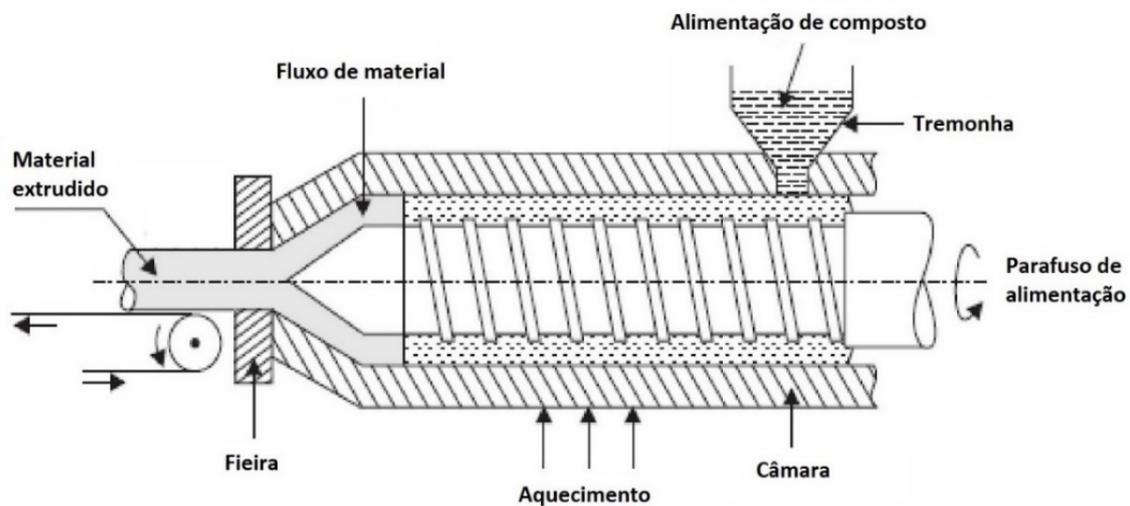


Figura 24 – Modelo básico de uma extrusora.

No caso em estudo, todas as linhas são compostas por mais do que uma extrusora e, conforme o seu número, este tipo de instalação pode ser designado por *duplex* (duas extrusoras), *triplex* (três extrusoras) ou *quadruplex* (quatro extrusoras). O diâmetro destas extrusoras é diferente, visto que são alocadas a estas diferentes tipos de composto. A linha de extrusão E03, por exemplo, apresenta uma instalação *triplex*, com extrusoras de diâmetro igual a 200 mm (para o composto de capa), 150 mm (para o composto de base) e 90 mm (para o composto do extremo).

Este tipo de instalação com várias extrusoras, como representado na Figura 25, permite a extrusão simultânea de diferentes compostos de borracha, o que possibilita a obtenção de produtos com uma estrutura diferenciada, como é o caso do piso e da parede.

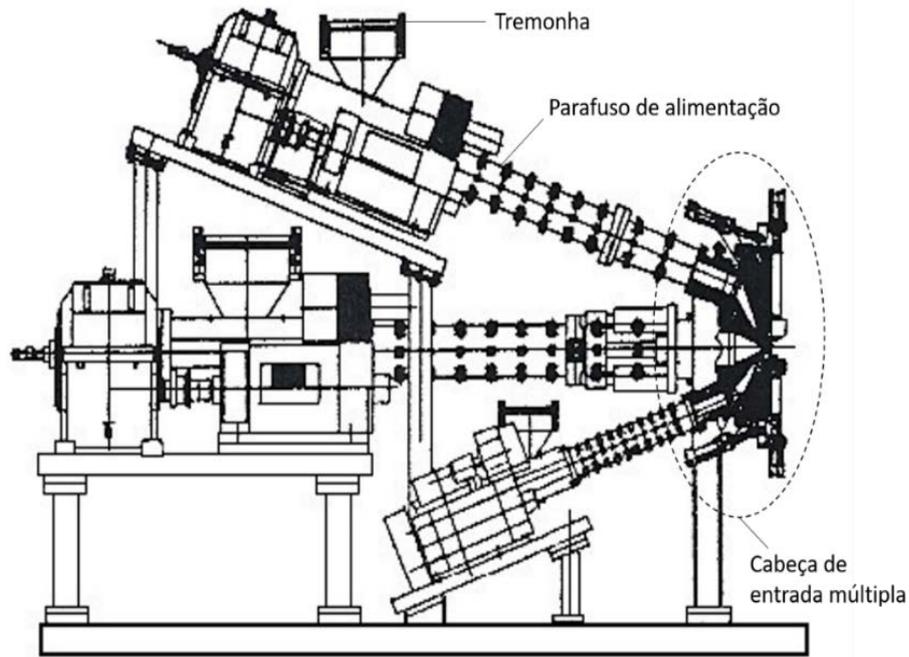


Figura 25 – Instalação triplex (Caetano, 2016).

O piso é composto por três elementos estruturais de borracha natural e sintética, como podemos observar na Figura 26. A capa, que permanece em contacto com o solo, fornece aderência, resistência ao desgaste e estabilidade direcional. A base tem como função reduzir a resistência ao rolamento e proteger a carcaça. Finalmente o extremo garante a transição do piso para a parede. Assim, a instalação para a produção de um piso é usualmente *triplex* ou superior, visto que para cada um destes três elementos é alocado um tipo de composto diferente. A parede, produzida à base de borracha natural e recorrendo a dois tipos de composto diferentes, protege a carcaça contra choques laterais e contra a degradação atmosférica.

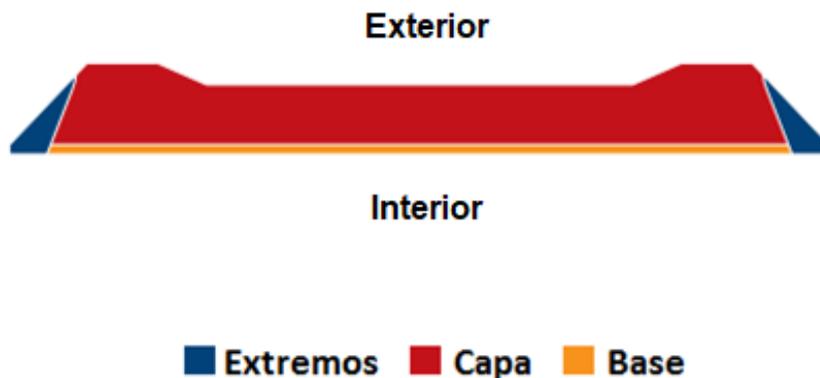


Figura 26 - Elementos estruturais de um piso (Krauss Maffei Berstorff, 2016).

A gama de pneus produzida na Continental Mabor é extensa, pelo que são produzidos vários tipos de piso e parede, portanto, para cada artigo a produzir existe uma receita correspondente. Esta inclui todos os parâmetros e variáveis do processo como a temperatura de cada componente, a velocidade de rotação dos parafusos de alimentação, a pressão para cada extrusora, etc. Quanto à temperatura, por exemplo, cada parte da extrusora tem uma temperatura definida pela receita do artigo e que é garantida pela Unidade de Controlo de Temperatura.

No cabeçote de extrusão, o material é forçado a atravessar a pré-fieira e a fieira (ver Figura 27), responsável pela definição do perfil do artigo a produzir, e onde o material de cada extrusora (base, capa e extremo no caso da extrusão de piso) se junta.

É ainda importante referir que o parafuso de alimentação é controlado por um sistema designado RMEA. Este acelera ou desacelera o parafuso consoante as medições contínuas, de peso por metro e largura, efetuadas ao material extrudido. Além disto, efetua também um controlo de velocidade de toda a linha. Outro sistema de controlo implementado, mas apenas exclusivo das linhas de extrusão de piso, é o IPOC (*In Process Change of Compound*). Este indica ao operador o momento em que a produção do presente artigo (receita) chega ao fim, para que este possa iniciar a produção de um novo artigo (nova receita). A principal função deste programa é evitar que exista uma mistura de diferentes compostos numa qualquer transição de produção entre dois artigos diferentes.

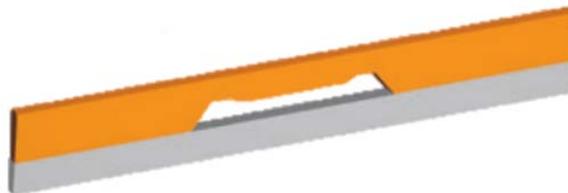


Figura 27 - Representação de uma fieira (Krauss Maffei Berstorff, 2016).



Figura 28 – Cabeçote de extrusão (Continental Mabor, 2013).

O material flui continuamente através do cabeçote de extrusão (ver Figura 28) e atravessa um primeiro cilindro de relaxamento, e vários cilindros com diferentes velocidades angulares. O objetivo deste procedimento é eliminar as tensões internas existentes no material, afim de evitar a sua expansão ou retração ao longo da linha.

A velocidade de todas as passadeiras de transporte ao longo da linha é controlada através de balanceiros mecânicos. Estes medem a tensão existente no material entre duas passadeiras, aumentando ou diminuindo a velocidade da passadeira posterior. Assim, é garantido que o material consegue atravessar todo o percurso da linha sem encolher e dobrar-se, nem estirar em demasia.

Na extrusão de piso, é necessário recorrer a um processo de aplicação de linhas coloridas, que servirá como identificação do tipo de pneu no fim do processo. Esta aplicação é iniciada com a ajuda do operador, e feita de forma contínua após ser colocado na posição de funcionamento, como podemos ver na Figura 29. A cor das linhas e a sua posição estão previamente determinadas pela receita do artigo e são controladas por um sistema ótico. Existe um ecrã que permite ao operador saber se a aplicação está a ser feita de forma correta.



Figura 29 – Sistema de aplicação de linhas coloridas (Continental Mabor, 2013).

4.1.3.3 Sistemas de medição (etapa 3 e 6)

Em todas as linhas de extrusão, existem sistemas de medição colocados na fase inicial de produção e na fase final. Para o controlo de peso são utilizadas balanças incorporadas nas passadeiras de movimentação, enquanto a medição de comprimento e largura é feita com recurso a sistemas visuais (câmaras).

Na extrusão de parede existem dois tipos de sistema de medição: de peso e de largura. No entanto, para o controlo da conformidade do material, é apenas considerada a largura (final) da parede. Já na extrusão de piso (ver Figura 30), é feito um controlo através de três dimensões: peso, largura e comprimento. Para que um piso seja rejeitado, basta que uma destas três dimensões esteja fora dos limites de controlo.

No zona final da linha, existe um conjunto de semáforos munidos de um sinal sonoro, que permitem ao operador perceber de forma fácil se o produto que está na linha cumpre as especificações ou não. Existe um semáforo para cada dimensão controlada e podem ser mostradas três cores. Na cor verde ou laranja, seja acima ou abaixo do valor alvo, o produto encontra-se dentro dos limites de controlo, pelo que pode seguir para o armazenamento. Quando a luz vermelha acende, é transmitido um sinal sonoro e o material é rejeitado.

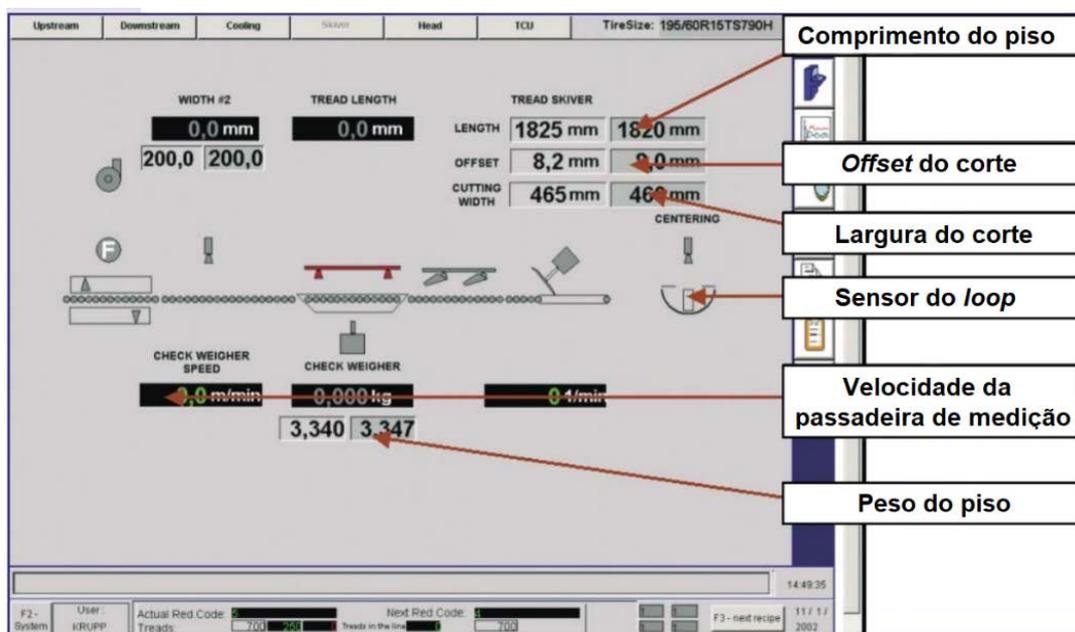


Figura 30 - Exemplo de parâmetros de controlo na extrusão de piso (Krauss Maffei Berstorff, 2016).

4.1.3.4 Arrefecimento e secagem (etapa 4)

Após as medições iniciais, o material sobe para o nível superior da linha e é arrefecido através de chuveiros ou através da imersão em tanques de água (ver Figura 31). Este é o maior percurso feito pelo material ao longo da linha, e tem como objetivo garantir que o material obtém a consistência ideal para as operações que se seguem. Após a etapa de arrefecimento, o material desce novamente e é secado através de sopradores (ver Figura 31). É fundamental que o material não apresente humidade, visto que iria dificultar a adesão aos restantes elementos na fase posterior de construção.

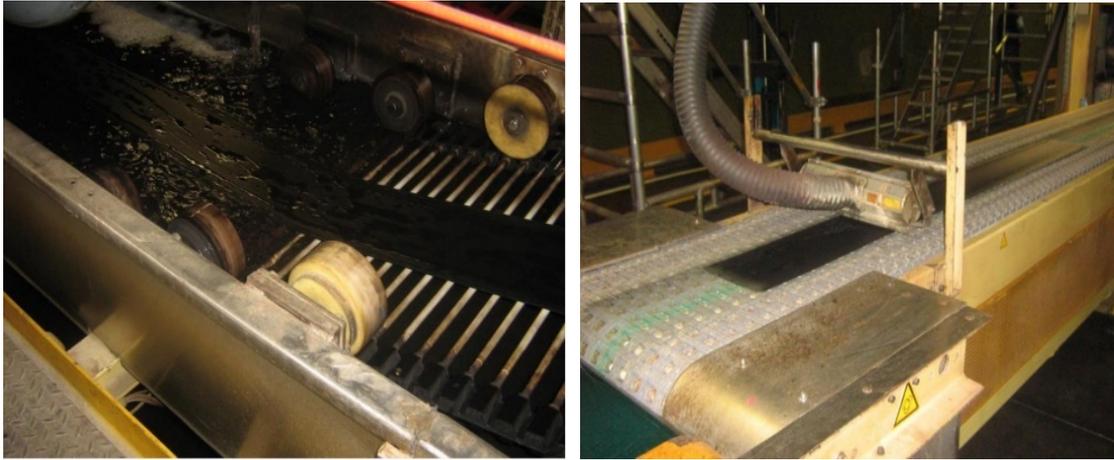


Figura 31 – Processo de arrefecimento (tanques de imersão) e secagem (sopradores) (Continental Mabor, 2013).

4.1.3.5 Corte (etapa 5)

Na próxima etapa, no caso da extrusão de parede, o corte de material só ocorre quando é necessário trocar de cassete de armazenamento, quando é necessário efetuar a sua rejeição devido a não conformidades ou quando é atingida a produção prevista para o artigo. No caso da extrusão de piso, o material entra para a unidade de corte, onde a extensão contínua de borracha se transforma em vários segmentos (de piso) com o comprimento determinado pela receita do artigo. O processo de corte é composto por um *loop* e uma máquina de corte. A passadeira move o material até à posição de corte e pára, avançando de novo após a lâmina da máquina efetuar o corte. Para evitar que as passadeiras anteriores à unidade de corte parem também, é acumulado material no *loop* (ver Figura 32). Após o corte, as passadeiras movimentam-se retirando material do *loop* que avança novamente para a zona de corte, repetindo-se este ciclo continuamente.



Figura 32 – Máquina de corte do piso (Continental Mabor, 2013).

4.1.3.6 Armazenamento (etapa 7)

O armazenamento do material da linha ocorre sempre que as dimensões deste não ultrapassam os limites de controlo. Na extrusão de piso, caso a aplicação de linhas coloridas seja deficiente, o piso também é rejeitado. Assim, nas linhas de extrusão de piso, o armazenamento é feito através de um equipamento de armazenamento automático (ver Figura 33). Este movimenta os piso das passadeiras para os carros de transporte. O operador tem a responsabilidade de colocar o carro de transporte no robô responsável pelo armazenamento (*booking*), na posição correta, e garantir que existe sempre um carro disponível, evitando uma paragem do sistema.



Figura 33 – Armazenamento em carro de transporte através do *booking* (Continental Mabor, 2013).

Já na extrusão de paredes, o armazenamento é executado de forma diferente. A extensão de borracha extrudida é enrolada em cassetes (ver Figura 34) de forma contínua, até ser atingido o comprimento (em metros) de lote definido.



Figura 34 – Estações de enrolamento na extrusão de parede (Continental Mabor, 2016).

4.1.4 Setup

Um *setup* é realizado sempre que é necessário efetuar uma mudança de receita, isto é, substituir o artigo que está a ser produzido por um outro com alguma característica diferente. Neste processo de extrusão é executado um elevado número de *setups* visto que existe uma extensa gama de artigos a ser produzida. Importa então definir como são classificados os tipos de *setup* que são realizados: *setup* de fieira, *setup* de capa, *setup* de base e *setup* de linhas coloridas. Na extrusão de paredes apenas existe o *setup* de fieira, enquanto o *setup* de capa, base ou linhas coloridas é exclusivo da extrusão de piso, como podemos ver na Tabela 7.

Tabela 7 – *Setup* versus tipo de extrusão.

<i>Setup</i>	Piso	Parede
Fieira	X	X
Capa	X	
Base	X	
Linhas coloridas	X	

Durante qualquer tipo de *setup*, existem sempre dois momentos que permitem que este suceda: o corte do artigo em produção e o ajuste de dimensões do novo artigo que irá ser produzido. A estes dois momentos está sempre associada uma rejeição de material (gerando WO) resultante destas operações de fabrico e que são comuns a todo o tipo de *setup*. Quando é efetuado o corte, a última zona de borracha extrudida deforma-se, obrigando à sua rejeição. Já no início de produção (extrusão) de um novo artigo, existe sempre um período de ajuste em que o piso ou parede ainda não cumpre os requisitos dimensionais necessários para que seja aceite. Estes dois períodos serão posteriormente analisados e designados simplesmente por “Corte” e “Ajuste” (ver Figura 35).

O *setup* de fieira caracteriza-se, como o nome indica, pela troca de pré-fieira e fieira, ou apenas desta última (ver Figura 36). Após o corte do artigo, o operador procede a esta mudança, iniciando de seguida a produção de um novo artigo e entrando no período de ajuste.

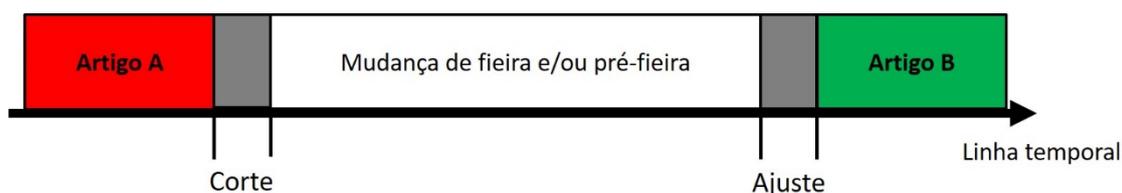


Figura 35 - Esquema de um *setup* de fieira.



Figura 36 - Representação de uma pré-fieira (Krauss Maffei Berstorff, 2016).

No *setup* de capa, são acrescentados mais dois momentos de rejeição de material e que contribuem para a geração de WO (IPOC Capa). Como já anteriormente referido, neste *setup* é ativado o sistema IPOC para o composto de capa. Neste procedimento, as extrusoras de base e extremo são desligadas, sendo extrudido material do composto de capa, escoando o fim do composto. Como vemos na Figura 37, após a troca de ferramentas, existe um novo período de IPOC, onde é executado o mesmo procedimento, com o objetivo de evitar a presença do mesmo composto de capa entre diferentes artigos.

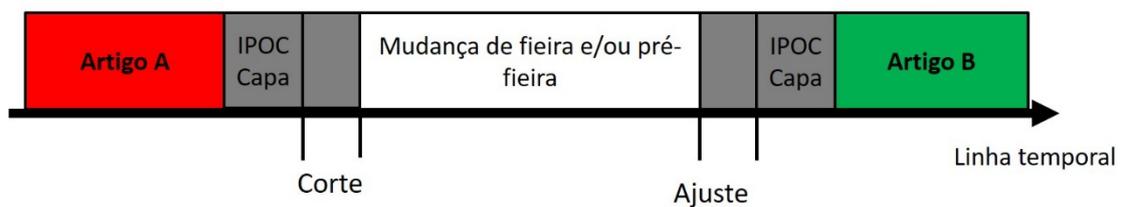


Figura 37 - Esquema de um *setup* de capa.

O procedimento do *setup* de base é feito com o mesmo objetivo do *setup* anterior. Contudo, é feito com o acréscimo de mais um momento de rejeição de material, o IPOC Base, visto que o artigo que sucede o anterior terá um composto de base diferente. Assim, entre os dois períodos de IPOC de capa é realizado um de IPOC do composto de base (IPOC Base), como podemos ver na Figura 38.

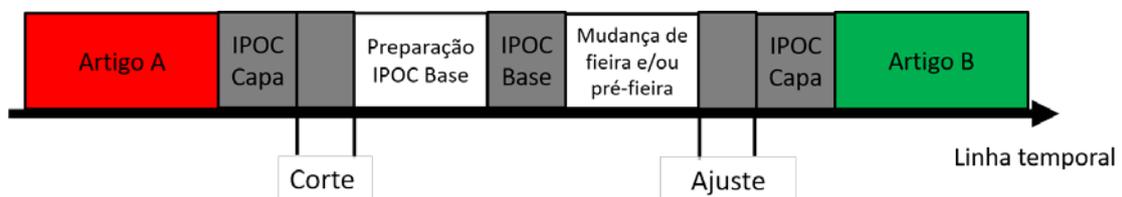


Figura 38 - Esquema de um *setup* de base.

O *setup* de linhas coloridas é caracterizado apenas por uma alteração da marcação de linhas coloridas no material, sendo esta a única diferença entre o primeiro artigo e o seguinte. Assim, o procedimento é semelhante a um *setup* de fieira, sendo que o

operador efetua apenas uma troca de tintas, o que significa que os momentos de rejeição de material são os mesmos de um *setup* de fieira.

4.1.5 Material não conforme

O material não conforme é produzido em várias situações, nomeadamente durante setups, quando existe alguma perturbação do processo ou ainda quando é necessário efetuar amostras para estudo de determinados artigos. Contudo, o trabalho realizado debruçou-se sobre a produção de material não conforme devido a *setups* e a perturbações. O material que é rejeitado após a extrusão de piso ou parede é designado por *work-off*. Este é acondicionado numa zona próxima da linha, até ser devolvido à área de Misturação para ser reaproveitado. Visto que existem vários tipos de composto, estes são armazenados separadamente (e segundo o seu código). Existe ainda uma pequena parte de material que é rejeitado e que não pode ser reaproveitado, sendo denominado de *scrap*.

Na extrusão de piso, existe uma avaliação individual de cada piso, sendo que se este não cumprir os requisitos, é prontamente rejeitado no fim da linha, seja de forma automática ou através do *input* de um operador. Porém, na extrusão de parede ocorre uma extrusão e armazenamento contínuo de material, sem necessidade de efetuar cortes, tal como referido anteriormente. Quando o material passa pela zona de medição e é detetado que não cumpre a especificação, este não é imediatamente rejeitado, sendo iniciada uma contagem. Após serem contabilizados nove metros de material fora da especificação, é atribuída uma ordem de corte. Este corte apenas cessa sendo novamente armazenado material, aquando de uma nova contagem do mesmo valor, de material dentro da especificação.

4.1.6 Diagrama SIPOC

O diagrama SIPOC (ver Figura 39) foi elaborado com o objetivo de mapear o processo e delimitar o seu âmbito. Os diferentes tipos de fornecedores (que providenciam as entradas ao processo) englobam a área de Misturação, o departamento de Industrialização do Produto (DIP), o departamento de Produção (DP), Armazém, departamento de Engenharia e a área de Preparação a Quente. Consoante a etapa do processo, estas entradas podem assumir várias formas: seja de material, como é o caso dos compostos na etapa de preparação, seja de informação, como é o caso da receita do artigo nas etapas de extrusão, arrefecimento, secagem e corte.

O processo é definido segundo uma sequência de atividades que acrescenta valor às entradas para produzir saídas para os respetivos clientes, respeitando os seus requisitos, como descrito na Figura 39. Neste caso, tanto os fornecedores como os

clientes (Alimentação à extrusão e área de Construção) são internos. Esta ferramenta permitiu destacar a informação relevante para o projeto, focando-se nas atividades críticas do processo.

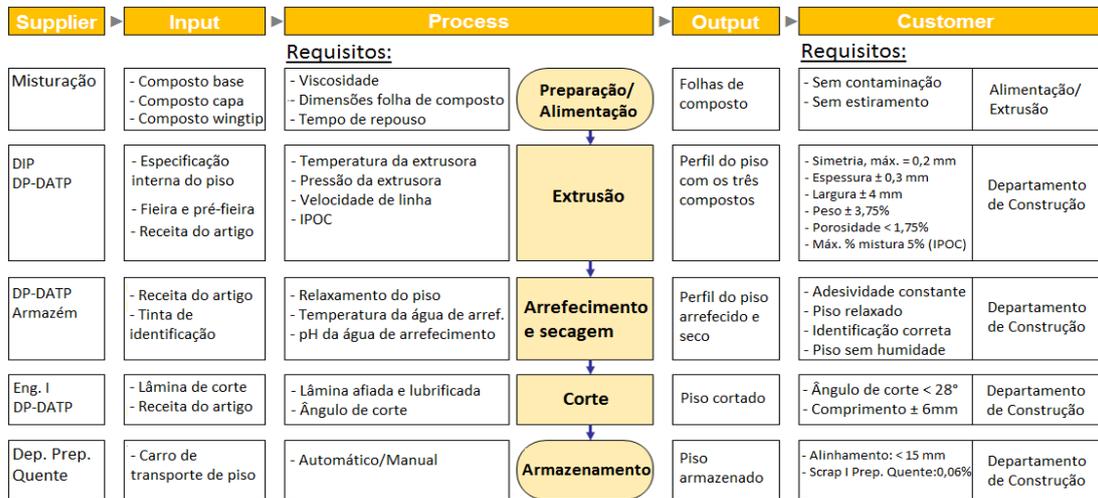


Figura 39 - Diagrama SIPOC para extrusão de piso.

4.2 Fase Measure

Nesta fase do ciclo DMAIC, foram recolhidos dados com o objetivo de avaliar o desempenho do processo. Este procedimento contemplou a criação de um plano de recolha de dados, que englobou a observação do processo em seis linhas de extrusão (E01, E03, E04, E05, E06 e E07) e a avaliação do estado atual de geração de WO. Existem quatro tipos de medições que podem ser feitas à geração de WO, nomeadamente durante *setups*, perturbações, amostras e de devoluções. No entanto, foi decidido pela equipa focar as medições durante o processo em duas, na ocorrência de *setups* e perturbações.

4.2.1 Plano de recolha de dados

Durante esta fase de medição, correspondente a cerca de vinte e três semanas, foram realizadas por semana, dez ensaios de três horas cada. A recolha de dados foi executada contabilizando o material rejeitado durante a ocorrência de *setups* ou perturbações, em ambos os tipos de extrusão. Durante cada ensaio, é possível observar vários *setups*, visto que a frequência com que ocorrem é elevada. Para efetuar a recolha destes dados, foram criados dois *templates* com o formato adequado para cada tipo de extrusão (piso e parede), que podem ser consultados no Anexo I.

Na Figura 40, podemos observar um exemplo do registo efetuado durante a recolha, utilizando o *template* para a extrusão de piso. Na primeira linha, no dia 31 de maio de 2016, ocorreu um *setup* de feira na linha E04 do artigo com o código 920 para o artigo 902. O WO registado durante este período correspondeu a 35 pisos durante o *setup* (3 na fase de Corte mais 32 durante a fase de Ajuste) e ainda a 34 pisos imputados a perturbações devido a uma falha de alimentação de composto na tremonha. No registo seguinte na linha E06, o procedimento efetuado é semelhante, contudo, é feito durante um *setup* de base. No processo de extrusão de parede o registo ocorreu do mesmo modo, no entanto, ao invés do número de pisos, foi efetuada uma contagem do número de cortes de rejeição efetuados, convertidos em metros rejeitados de parede.

Setup					Pisos Rejeitados							Artigo (Total pisos)	Observações	
Extrusora	Data	Turno	Cód. inicial	Cód. final	Fim		Mud. Feira	IPOC Base	Mud. Feira	Início				
					Corte	IPOC				IPOC	Ajuste			
E04	31/05/2016	B	Medida	920	902	3	NA	NA	NA	NA	NA	32	902 (360)	34 - Falha de alimentação de composto na tremonha
			Base	T01139	T01139									
			Capa	T08846	T08846									
E06	29/06/2016	C	Medida	478	690	2	9	NA	17	NA	14	8	690 (320)	2 - Comprimento
			Base	T00426	T00011									
			Capa	T01884	T04444									

Figura 40 - Exemplo do registo efetuado no *template* de extrusão de piso.

4.2.2 Avaliação do estado atual de geração de *work-off*

Na Continental Mabor, existem outros processos que contribuem para a geração de WO, para além da extrusão de piso e parede.

Esses outros processos, tal como a produção de camada estanque, talões, entre outros, são apresentados na Figura 41 como “Outros”. Tendo em conta uma produção diária de composto na área de Misturação de 560 toneladas, os valores de GWO de 6,9% e 3,2% (ver Figura 41) traduzem-se numa geração de WO de cerca de 38 e 18 toneladas na extrusão de piso e parede, respetivamente.

Indicadores de GWO no sistema produtivo

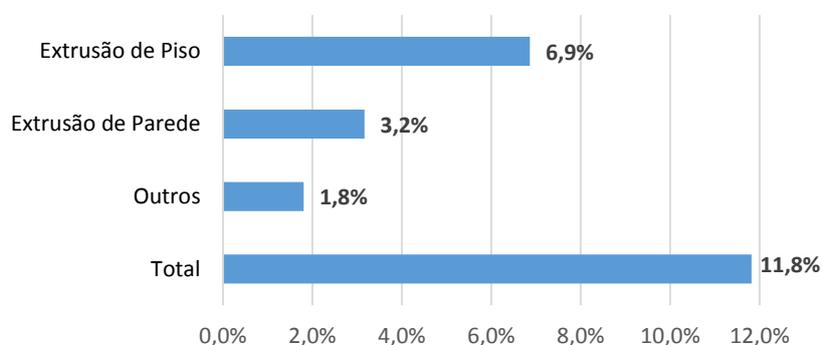


Figura 41 – Indicadores de geração de *work-off* por processo.

Através do gráfico da Figura 42, podemos observar que o processo de extrusão é responsável pela maioria da geração de WO. A extrusão de piso detém cerca de 60% de toda a geração de WO e, incluindo o valor de extrusão de parede, este número ascende aos 85%.

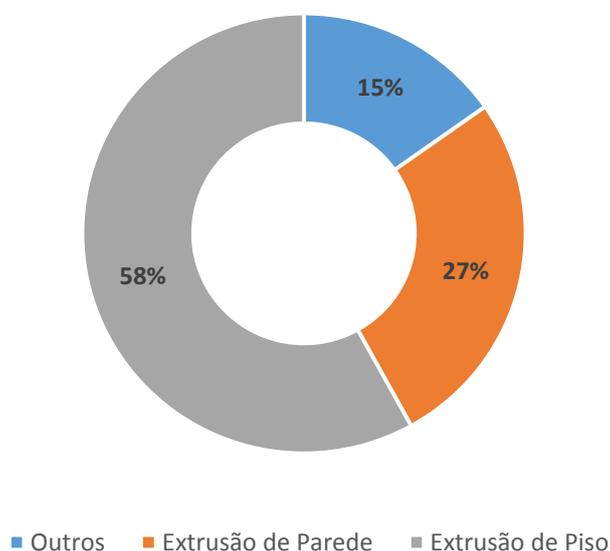


Figura 42 - Percentagem de geração de *work-off* por processo.

Em cada tipo de extrusão, foram realizadas medições durante a ocorrência de *setups* e perturbações que permitiram quantificar a geração de WO por estes elementos, como podemos observar na Tabela 8. Foi determinado pelos responsáveis do projeto, que os valores de amostras e devoluções não fariam parte da medição, no entanto, estes dados foram fornecidos pelos elementos responsáveis por essa atividade. O WO referente a devoluções, diz respeito a todo o material rejeitado pela área de Construção e que é devolvido às mesas de WO na área de Preparação a quente.

Tabela 8 - Percentagem de *work-off* gerado durante a produção por evento.

Produção	Extrusão de Piso	Extrusão de Parede
WO – <i>Setups</i>	5%	10%
WO - Perturbações	4%	10%
WO – Amostras	1%	1%
WO – Devoluções	3%	5%
Material conforme	87%	74%
Total	100%	100%

Pela interpretação da Tabela 8, é perceptível que a extrusão de paredes apresenta, percentualmente, uma geração superior à extrusão de piso. Contudo, o peso de composto de um piso é (aproximadamente três vezes) superior ao de parede, pelo que a extrusão de piso, tal como referido anteriormente, contribui com um peso maior (38 toneladas) na geração de WO.

4.3 Fase *Analyse*

Esta fase teve como objetivo determinar as causas raiz dos defeitos e fontes de variação para o processo. Isto foi conseguido através da análise dos dados recolhidos, sessões de *brainstorming*, construção de gráficos de Pareto, um diagrama de Ishikawa e *gemba walks*, ou seja, a observação física dos locais onde o processo se desenvolve. Com base na recolha efetuada, a etapa de análise dividiu-se por tipo de extrusão (piso e parede) e por evento (*setups* e perturbações).

4.3.1 Extrusão de piso

A análise dos dados recolhidos subdividiu-se ainda por tipo de evento (*setups* e perturbações) visto que representam diferentes fases do processo produtivo, pelo que devem ser analisados isoladamente:

- *Setups*

Na extrusão de piso foram efetuadas medições de *setup* de base, capa e fieira, tal como descrito anteriormente. Porém, para efeitos de análise, não é possível comparar o número de pisos rejeitados de forma equitativa entre dois artigos diferentes, visto que apresentam um peso diferente. Assim, foi necessário efetuar uma conversão tendo em conta o peso do próprio artigo e o peso médio de um piso (piso padrão de 3,5 kg). Tomando como exemplo um *setup* do artigo 743 para o artigo 902, foram rejeitados dois pisos na fase de Corte e oito na fase de Ajuste (ver Figura 43).

Setup		Pisos Rejeitados				
Cód. inicial	Cód. final	Fim		IPOC Base	Início	
		Corte	IPOC Capa		IPOC Capa	Ajuste
743	902	2	NA	NA	NA	8

Figura 43 - Número de pisos rejeitados no *setup* de artigos 743-902.

Utilizando o peso de cada artigo, 3,644 kg e 2,876 kg para o artigo 743 e 902, respetivamente, e aplicando a fórmula,

$$N^{\circ} \text{ de pisos rejeitados (padr\~{a}o)} = \frac{N^{\circ} \text{ de pisos rejeitados artigo } Y \times \text{Peso do artigo } Y}{3,5 \text{ kg (peso padr\~{a}o)}} \quad (4)$$

foi possível converter os valores registados (ver Figura 44). Posteriormente, a média destes novos valores de pisos rejeitados por linha de extrusão e tipo de *setup* foram então comparados através da fase de *setup*, como é apresentado na Tabela 9.

Setup		Pisos Rejeitados (padr\~{a}o - 3,5 kg)				
Cód. inicial	Cód. final	Fim		IPOC Base	Início	
		Corte	IPOC Capa		IPOC Capa	Ajuste
743	902	2	NA	NA	NA	7

Figura 44 - Número de pisos rejeitados após conversão no *setup* de artigos 743-902.

Tabela 9 - Geração de WO (em número de pisos) por *setup* e linha de extrusão de piso.

Setup	Linha	Fase do <i>setup</i>					Total (m)
		Fim do artigo		IPOC Base	Início de artigo		
		Corte (m)	IPOC Capa		IPOC Capa	Ajuste	
Base	E03	2	9	13	9	7	41
	E05	2	7	12	10	14	46
	E06	2	6	11	9	10	38
Capa	E03	3	6	NA	9	15	33
	E04	3	8	NA	6	10	27
	E05	1	10	NA	8	18	36
	E06	2	6	NA	8	8	25
Fieira	E03	4	NA	NA	NA	11	14
	E04	4	NA	NA	NA	13	17
	E05	2	NA	NA	NA	16	18
	E06	4	NA	NA	NA	12	16
Média		2,6	7,4	12,0	8,4	12,2	NA
Desvio Padr\~{a}o		1,0	1,6	1,0	1,3	3,4	NA

Após a análise dos dados da Tabela 9, identificou-se que a fase de Ajuste representa a fase do *setup* onde existe uma maior diferença entre as linhas (como podemos observar pelo maior valor de desvio padrão), sendo que a E05 é a que apresenta maior número de pisos rejeitados em todos os tipos de *setup*. Relativamente às restantes fases de *setup*, não foram identificados problemas significativos sendo que já se encontrava em curso uma ação de melhoria focada na fase de Ajuste.

- Perturbações

A ocorrência de perturbações durante a produção deve-se a vários tipos de falhas. Estas foram registadas durante o período de medição, tendo sido comparado o desempenho de cada linha e efetuada a priorização e análise destas perturbações através de gráficos de Pareto para cada tipo de extrusão.

Quanto à análise por linha, podemos observar as cinco principais perturbações em cada linha na Tabela 10 e Tabela 11.

Tabela 10 - Principais perturbações na linha E03 e E04.

Linha E03		Linha E04	
Perturbação		Perturbação	
1 - Grumos	86% do total	1 - Falha de alimentação	61% do total
2 - Receita		2 - Grumos	
3 - Falha humana		3 - Risco	
4 - Risco		4 - Dimensões: largura	
5 - Dimensões: comprimento		5 - Dimensões: peso	
Total rejeitado durante produção	3,20%	Total rejeitado durante produção	6,67%

A linha que obteve uma maior percentagem de perturbações foi a E05, com um valor de 9,31% de WO gerado sobre o total produzido, e a que apresentou um melhor desempenho foi a E03, com um valor de 3,2% (ver Tabela 10). De notar que as duas linhas que apresentam pior desempenho, têm como principal perturbação a falha de alimentação de composto às tremonhas.

Tabela 11 - Principais perturbações na linha E05 e E06.

Linha E05		Linha E06	
Perturbação		Perturbação	
1 - Falha de alimentação	73% do total	1 - Risco	76% do total
2 - Balanceiros		2 - Falha humana	
3 - Falha de máquina		3 - Dimensões: comprimento	
4 - Dimensões: comprimento		4 - Falha de alimentação	
5 - Receita		5 - Grumos	
Total rejeitado durante produção	9,31%	Total rejeitado durante produção	5,55%

Quanto à análise por defeito, a falha de alimentação de composto às tremonhas constituiu a principal perturbação durante o processo de extrusão de piso (ver Figura 45), sendo que representa cerca de 21% de todo o WO gerado devido a perturbações. Analisando o gráfico, é perceptível que as perturbações devido à presença de grumos e de risco também representam uma parte importante do WO total gerado. Contudo, ainda é necessário eliminar vários defeitos (isto é, os dez principais) para conseguir eliminar 81% do WO total gerado.

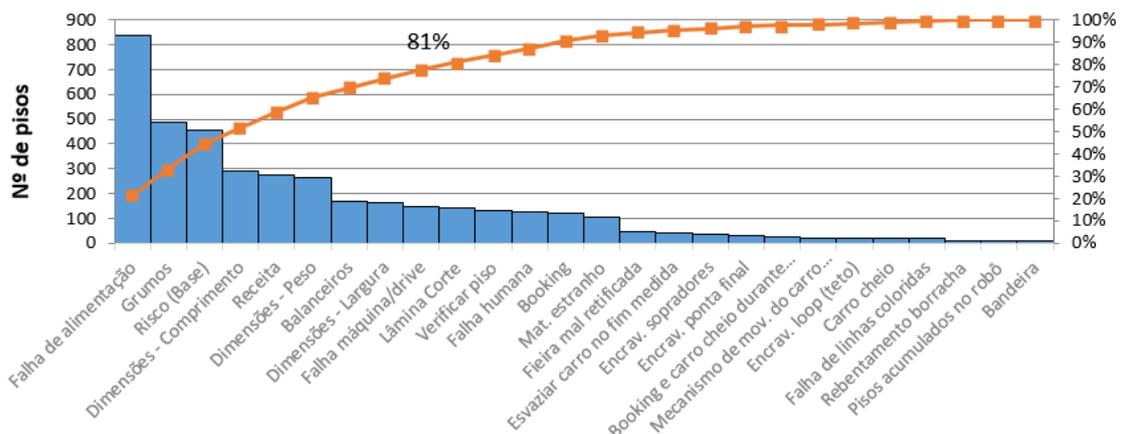


Figura 45 - Pareto de perturbações na extrusão de piso.

4.3.2 Extrusão de Parede

À semelhança da análise efetuada anteriormente na extrusão de piso, é também apresentada de seguida a análise dos dados recolhidos na extrusão de parede por *setups* e perturbações:

- *Setups*

Na extrusão de paredes, a unidade utilizada para o controlo de produção é o metro. Durante a ocorrência de *setups*, bem como perturbações, a rejeição de parede foi contabilizada através do número de cortes efetuados pela máquina, aquando da rejeição de material. Porém, constatou-se que as duas linhas (E01 e E07) apresentavam diferentes valores de comprimento de corte durante as diferentes fases do *setup*. Impôs-se então a medição de ambos (ver Tabela 12), para possibilitar a conversão dos valores anteriormente mencionados.

Tabela 12 - Valores do comprimento de corte na extrusão de parede.

Linha	Corte unitário	Comprimento de corte	
		Corte (m)	Ajuste (m)
E01	1	1,5	5
E07		4	4

Utilizando os dados da Tabela 12, e multiplicando o valor de comprimento de corte, em ambas as fases do *setup*, pelo número de cortes efetuados, foram obtidos os valores que representam o WO gerado, em número de metros. Assim, foi possível efetuar a média dos valores de rejeição por linha, como apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Geração de *work-off* durante *setup* na extrusão de parede.

Setup	Linha	Fase do setup		Total (m)
		Corte (m)	Ajuste (m)	
Fieira	E01	4	16	20
	E07	12	22	34

Segundo os dados da tabela anterior, verifica-se que a linha E07 rejeita, em média, mais 14 metros de parede por *setup*, em comparação com a linha E01. Apesar de em ambas as fases do *setup* o valor rejeitado ser superior, não existe nenhuma relação com a correta execução do processo que permita que o valor da fase de Corte seja tão elevado (22 metros). Tendo isto em conta, e visto que nesta linha são realizados cerca de 80 *setups* por dia, a redução desta diferença de 14 metros para o valor típico da linha E01, permitiria uma poupança superior a uma tonelada de WO por dia. Portanto, esta situação foi alvo de uma análise através de novas observações físicas do processo e construção de um diagrama de Ishikawa (ver Figura 46), com o intuito de determinar as causas raiz do problema. O desenvolvimento deste diagrama seguiu-se a uma sessão de *brainstorming*, em que foram lançadas várias causas possíveis para a geração de WO durante a extrusão de parede. Verificou-se a partir deste procedimento que a função de controlo de aceitação de material durante a fase de ajuste, bem como a de rejeição durante a fase do corte final, se encontravam desajustadas. Contudo, este ponto será abordado no capítulo seguinte de forma mais detalhada.

- Perturbações

Na extrusão de paredes, a linha que obteve uma maior percentagem de WO gerado devido a perturbações foi a E07, com 15,5%, sendo que a linha E01 obteve um valor de 13,5% sobre a produção total. Através da Figura 47, verifica-se que neste tipo de extrusão, a perturbação que gera maior quantidade de WO é designada por risco. As cinco principais perturbações são responsáveis por 80% do total de WO gerado, sendo que o risco representa metade desse valor (40%).

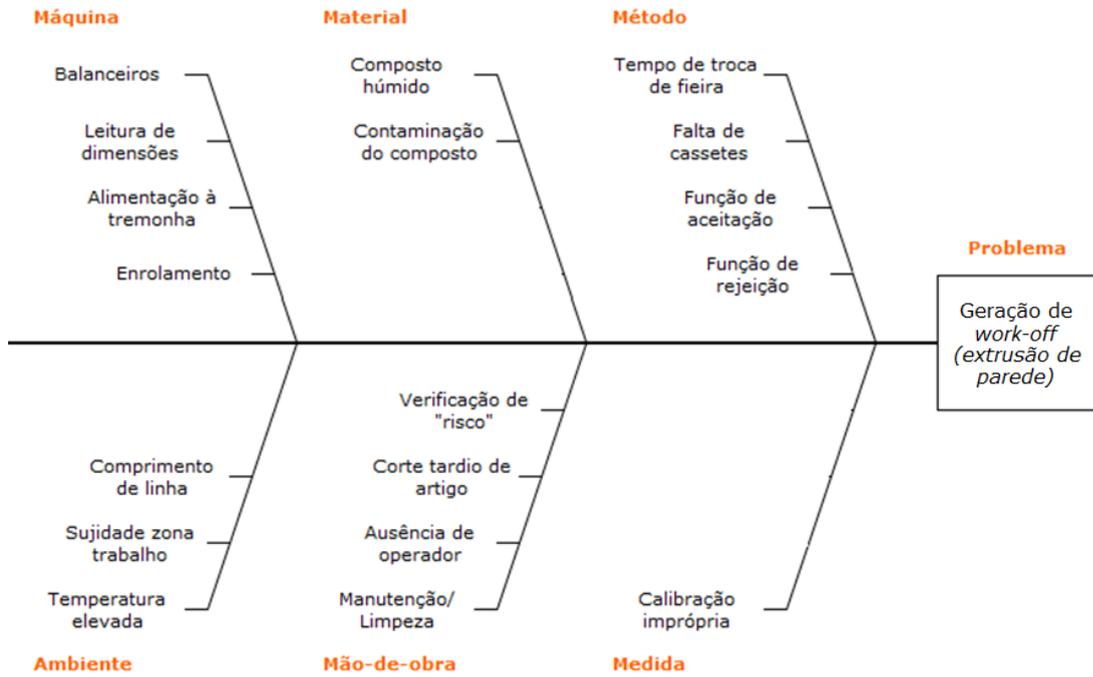


Figura 46 - Diagrama de Ishikawa relativo à extrusão de parede.

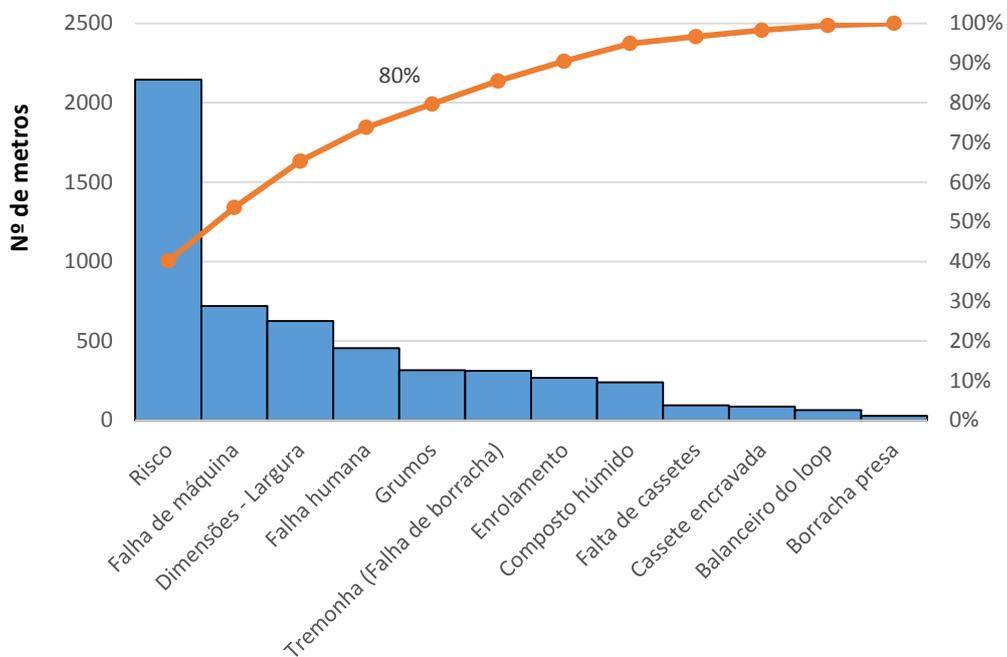


Figura 47 - Pareto de perturbações na extrusão de parede.

4.3.3 Simulação

Com o objetivo de validar as medições efetuadas, durante o mês de junho de 2016, foi construída uma tabela, em que os valores de WO registado foram convertidos em quilogramas, comparando-os com o WO médio diário pesado pela equipa de recolha de WO. Na extrusão de parede, o valor de WO médio diário pesado foi de 15 919 kg que difere em 265 kg do valor simulado pela medição efetuada (ver Tabela 14). Quanto à extrusão de piso, o valor de WO médio diário pesado, foi de 39 462 kg, que difere em 1 472 kg do valor apresentado na Tabela 15. Mediante estes resultados, admitiu-se que as diferenças de 3,7% e 1,6%, conseguidas através da simulação em ambos tipos de extrusão, são satisfatórias, na medida em que representam de forma credível a geração de WO.

Tabela 14 - Valor de *work-off* diário gerado na extrusão de parede.

Extrusão Parede	Total	
	kg	%
Setups	5 948	37
Perturbações	6 300	39
Amostras*	790	5
Desenroladoras*	3 146	19
Σ	16 184	100

Tabela 15 - Valor de *work-off* diário gerado na extrusão de piso.

Extrusão Piso	Total	
	kg	%
Setups	14 283	37
Perturbações	12 768	34
Amostras*	3 433	9
Devoluções*	7 506	20
Σ	37 990	100

4.4 Fase Improve

Nesta fase foram identificadas, discutidas e selecionadas as ações de melhoria a realizar, tendo em consideração os resultados da fase anterior. Serão então descritos os problemas abordados e a solução tomada para a sua eliminação.

4.4.1 Hierarquização de ações de melhoria

Na extrusão de piso, a análise dos resultados de desempenho das linhas de extrusão durante *setups* não motivaram qualquer ação, tendo também em conta a existência de uma intervenção em curso.

Porém, houve necessidade de intervir sobre as perturbações que se fizeram sentir durante o estudo. A falha de alimentação de composto às tremonhas revelou ser a que mais impacto causou na geração de WO, representando 21% do total. As perturbações que se seguem, como a ocorrência de Grumos ou Risco, representam problemas já conhecidos e de complexidade elevada. As perturbações relacionadas com especificações do artigo ou parâmetros de extrusão, como é o caso das dimensões (comprimento, peso e largura) e receita, que em soma com as anteriormente mencionadas representam 70% do WO total gerado, foram compiladas num documento e partilhadas com os departamentos de Qualidade e Industrialização de Produto para análise dos artigos mais críticos. Assim, tendo em conta todos estes fatores, o foco na extrusão de piso incidiu sobre a falha de alimentação de composto às tremonhas.

Na extrusão de parede, após a análise efetuada aos *setups* entre a linha E07 e E01, foi decidido intervir sobre o problema detetado na função de controlo de aceitação de material, durante a fase de ajuste, bem como a de rejeição durante a fase do corte final.

Quanto à ocorrência de perturbações, a ocorrência de Risco representou cerca de 40% do WO total gerado. Este defeito, caracterizado pela deformação do perfil do material é provocado por um bloqueio no orifício da fieira, durante a extrusão, devido à contaminação do composto. Esta contaminação pode ser formada por pequenas areias ou outro tipo de material, que devido às suas dimensões não transpõem o orifício da fieira. Este tipo de perturbação era também conhecido, e de difícil resolução. Para conter a deformação de um comprimento elevado de parede, é feita uma inspeção visual periódica pelo operador. Durante a produção, uma vez detetado o aparecimento de risco, pode ou não ser necessário efetuar a paragem da linha, no entanto, o material afetado terá sempre de ser rejeitado. Quanto à perturbação designada falha de máquina, é um defeito que se encontra em estudo pelo departamento de Manutenção. À semelhança da extrusão de piso, a perturbação relacionada com as dimensões de largura dos artigos, foi partilhado o registo da medição efetuada com outros departamentos para análise dos artigos com pior desempenho. Assim, quanto às perturbações durante a extrusão de parede, apenas se interveio sobre o corte tardio por parte dos operadores durante a fase de corte do *setup*, que se encontra incluído na falha humana durante perturbações.

4.4.2 Extrusão de Piso

4.4.2.1 Falha de Alimentação (Linha E03, E04, E05 e E06)

No processo de extrusão, a etapa correspondente à alimentação das extrusoras é determinante para que o material extrudido não apresente defeitos. Esta etapa é efetuada através da movimentação das folhas de composto pelas passadeiras de alimentação até à tremonha.

- Problema

Após a fase de análise, determinou-se que a principal causa de geração de WO na extrusão de piso, devia-se à falha de alimentação de composto às extrusoras. Este problema, foi detetado em todas as extrusoras de piso em funcionamento (E03, E04, E05 e E06). A falha ocorre durante a alimentação de composto à tremonha, através das passadeiras de alimentação, devido a dobras ou mesmo rotura das folhas de composto, o que provoca uma falha de alimentação, visto que a entrada contínua de composto na extrusora é interrompida. Esta interrupção provoca usualmente entrada de ar na extrusora e consequentemente porosidades no material.

- Solução de melhoria

Durante a análise do problema e sessões de *brainstorming*, surgiu uma proposta de solução. Esta consiste na introdução de um sensor no rolo (ver Figura 48) que auxilia a entrada do composto na tremonha, sendo que, aquando de uma falha na alimentação este rolo estará parado, sendo um aviso sonoro lançado. Se a alimentação à extrusora não for reposta ao fim de um determinado período de tempo, a extrusora é parada afim de acautelar produção de material não conforme. O procedimento previsto para a implementação desta solução de melhoria, consistiu na instalação deste tipo de sensor na linha E05, para posteriormente ser efetuada a sua replicação para as restantes linhas. Esta solução representou um custo de 100€ por cada extrusora.

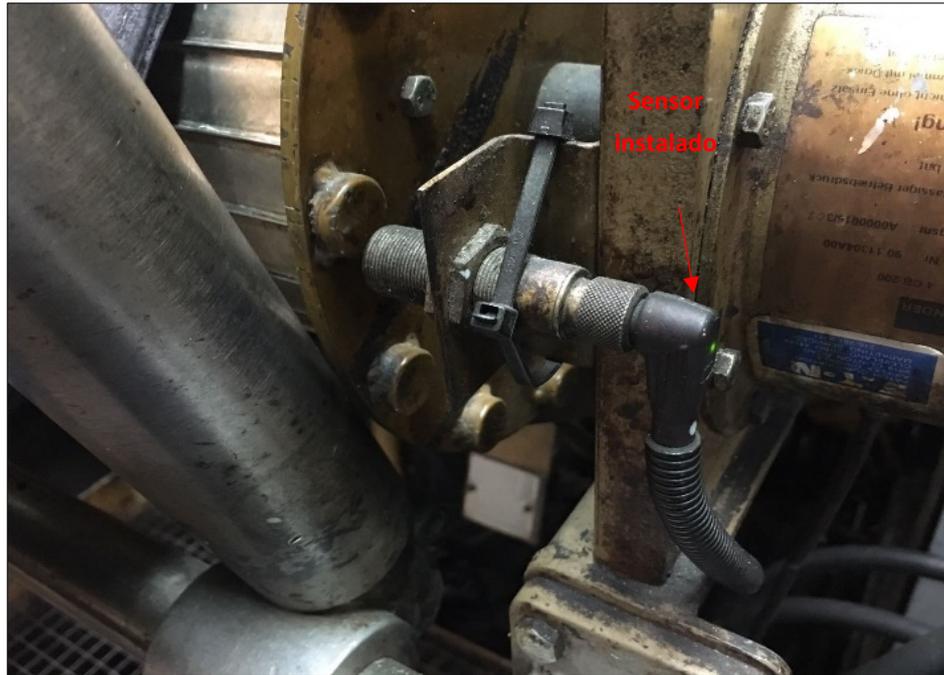


Figura 48 – Sensor instalado para prevenção de falhas de alimentação (Continental Mabor, 2016).

4.4.2.2 Encravamentos (Linha E04)

Em qualquer linha de extrusão, uma paragem de produção devido a um encravamento num qualquer ponto significa, usualmente, tempo perdido bem como geração de material não conforme.

- Problema

Durante o período de medição, verificou-se que na linha E04 sucediam-se várias paragens ao longo do dia devido a dois problemas. O primeiro, consistia na ativação de sensores de altura na zona de corte do piso. Esta extrusora era a única que possuía um fosso com uma altura mais reduzida que as restantes, onde o piso dobrava, originando este problema. O segundo problema, consistia no encravamento de pisos na passadeira onde é feita a secagem do material. Logo após o corte do piso, este entra na zona de secagem composta por vários sopradores e é transportado por uma passadeira em movimento. Devido a problemas de sincronismo de velocidade observados durante o processo, o piso dobrava-se ao entrar nesta passadeira da zona de secagem e prendia-se nesse local, fazendo com que todos os pisos que se lhe seguiam, ficassem também retidos e colados neste primeiro, forçando a uma paragem da linha.

- Solução de melhoria

As soluções encontradas, tiveram origem novamente num período de análise do problema e de sugestões de possíveis ações através de uma sessão de *brainstorming*. Quanto ao problema de ativação de sensores de altura, a proposta de melhoria, baseando-se pela comparação do sistema já implementado nas restantes linhas, passou pela análise de viabilidade e posterior aumento do fosso na zona de corte (ver Figura 49). O problema relacionado com o encravamento de pisos na passadeira onde se encontram os sopradores, teve como única solução a substituição desta passadeira. O custo de colocação da passadeira foi de 2245€ e o aumento do fosso de 1000€.



Figura 49 – Fosso da extrusora E04 após o incremento de profundidade (Continental Mabor, 2016).

4.4.3 Extrusão de Parede

4.4.3.1 Setups (Linha E07)

Os *setups* na extrusão de parede são efetuados com uma frequência elevada visto que existe uma produção de uma gama elevada de produtos. Assim, estes representam um fator importante no controlo da geração de WO.

- Problema

Nesta linha, foi verificado (conforme já referido durante a fase de análise) um valor de rejeição de parede significativamente superior ao da linha E01, durante as fases de *setup* da fieira. O problema, durante a fase de corte do artigo em produção, estava relacionado com a função de rejeição do sistema de controlo e com um atraso do operador na ordem de corte. Já na fase de ajuste, foi detetado um atraso do sistema na aceitação do material, quando este já se encontrava com as dimensões corretas. Este atraso estava relacionado com a função de aceitação do sistema de controlo. Um dos momentos em que o problema foi detetado, ocorreu quando o semáforo de

controlo dimensional mostrava a luz verde, no entanto, a linha continuava a rejeitar material durante um breve período de tempo (ver Figura 50).



Figura 50 – Semáforo verde na extrusora E07 (Continental Mabor, 2016).

- Solução de melhoria

Sendo identificado e confirmado este tipo de problema, relacionado com as funções do sistema de controlo, as ações de melhoria tiveram como foco proceder ao seu ajuste pelos responsáveis de Engenharia. Para prevenir o corte tardio pelo operador do artigo em produção, foi implementada a instalação de um sinal sonoro, alertando o operador para a proximidade do momento de corte. Foi também sugerida uma análise da implementação do corte automático numa fase posterior.

4.4.4 Outras ações não quantificadas

Durante a fase de análise de possíveis causas para a geração de WO, foram detetados outros problemas e, por conseguinte, foram executadas outras ações em que não foi possível quantificar o seu proveito.

- Problema: queixa de operadores sobre incompatibilidade de produção de determinados lotes.

Na extrusão de parede, os operadores recebiam ordens para a produção de lotes (em metros) incompatíveis com a programação da capacidade dos meios de armazenamento presentes no sistema de controlo da linha. Para resolver esta questão, o operador produzia uma quantidade de parede superior, para não produzir um valor menor do que o requerido pelo planeamento. Após uma breve colocação de hipóteses sobre o problema, verificou-se que as folhas afetas à programação de lotes existentes utilizadas pelo planeamento de produção se encontravam desatualizadas, procedendo-se à sua atualização.

4.5 Fase Control

Nesta fase foi necessário controlar as sugestões de melhoria implementadas anteriormente, de modo a garantir que não existissem desvios no processo. Foi realizado um plano de controlo para efetuar a monitorização do processo, efetuando novas medições, afim de validar o impacto das melhorias implementadas. As medições foram efetuadas nas linhas de extrusão E04 e E07.

4.5.1 Impacto e eficácia das ações de melhoria

Uma vez concluída a fase de controlo, através de novas medições, foram validadas as melhorias introduzidas. Na linha E04, os problemas relacionados com encravamentos não se voltaram a verificar durante o controlo. Quanto à linha E07, os novos valores de geração de WO por *setup* de fieira são apresentados na Tabela 16. Podemos observar que ocorreu uma diminuição de 24 metros rejeitados por *setup*, em comparação com os valores anteriores. Esta diminuição representa uma poupança de 2 toneladas de WO por dia.

Tabela 16 - Resultados da ação de melhoria na linha E07.

Setup Fieira	Linha	Fase do <i>setup</i>		Total (m)
		Corte (m)	Ajuste (m)	
Antes da melhoria	E07	12	22	34
Depois da melhoria	E07	4	6	10
Diferença				24

A sugestão de melhoria para a resolução da falha de alimentação de composto na extrusão de pisos não foi possível controlar, uma vez que não tinha sido implementada aquando do fim do estágio. No entanto, é apresentado na Tabela 17, como estimativa, o impacto previsto.

Tendo como premissa uma produção diária de 560 toneladas de composto pela área de Misturação, apurou-se que o objetivo de diminuir a geração de WO foi atingido, com uma redução estimada de 0,89% ao indicador GWO. Este valor resulta do somatório das sugestões de melhoria, o que representa uma diminuição de cinco toneladas de material não conforme por dia (ver Tabela 17). O impacto financeiro anual, tendo em conta a amortização de equipamentos e o custo laboral foi também calculado, traduzindo-se numa poupança de mais de 100 mil euros por ano para a empresa.

Tabela 17 - Quantificação de ganhos pelas sugestões de melhoria.

Problema	Linha	Redução GWO (%)	Redução de WO (t/dia)	Redução de custos (€/ano)
Encravamentos	E04	0,05	0,3	8 313
Falha de alimentação	E03, E04, E05 e E06	0,48	2,7	79 807
<i>Setups</i>	E07	0,36	2	40 103
	Σ	0,89	5	128 223

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

5.1 Conclusões

5.2 Sugestões para trabalho futuro

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

5.1 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho visou a melhoria do processo de extrusão, com o objetivo de reduzir a geração de material não conforme (WO). Este objetivo foi atingido através do uso da metodologia Seis Sigma e das ferramentas que lhe estão associadas, o que permitiu a identificação e intervenção eficaz sobre problemas como o excesso de rejeição de material durante *setups*, a falha de alimentação às extrusoras e encravamentos. As ações de melhoria realizadas contribuíram com uma redução significativa na geração de material não conforme, na ordem das cinco toneladas por dia. Por conseguinte, a realização deste projeto culminou numa diminuição estimada de 0,89% ao indicador GWO do processo produtivo.

Relativamente aos encravamentos detetados e ao excesso de rejeição de material durante *setups*, foi compreendido que ocorreu uma ineficiência nas operações de manutenção realizadas. Concluiu-se ser necessário conceder uma atenção superior a esta área, de extrema importância, para que este tipo de eventos seja evitado. Quanto à falha de alimentação, concluiu-se ser necessário um maior foco nas variáveis que influenciam esta etapa do processo de extrusão. Designadamente o aspeto das folhas de composto produzidas (na área de Misturação) e a presença de dobras durante a etapa de alimentação através das passadeiras.

A diminuição do retrabalho é uma das consequências das intervenções efetuadas, uma vez que o WO gerado é recuperado e incorporado novamente na produção. Neste sentido, é reduzido o custo acrescido deste retrabalho, bem como a utilização de recursos para o transporte do WO da área de Preparação para a Misturação. Consequentemente, o nível de stock de WO na área de Misturação diminuiu. Quanto ao impacto na produtividade, existe um aumento de produção na mesma proporção que é eliminado o WO. Tendo como referência o indicador OEE, a redução conseguida com a eliminação do desperdício afeta de forma positiva os indicadores de qualidade e eficiência, contribuindo para o aumento do indicador global.

Quanto ao custo das implementações realizadas, apurou-se um valor total de 3 645€. Este valor inclui a substituição da passadeira (2 245€) e o aumento do fosso (1 000€) na extrusora E04. Inclui também a instalação de sensores nas tremonhas de todas as extrusoras de pisos (100€ por cada extrusora). Contudo, o impacto financeiro tendo em conta as amortizações de equipamentos e custo laboral, revelou-se positivo com a geração de uma poupança anual estimada de 128 223 mil euros.

Neste sentido, o uso da metodologia DMAIC do Seis Sigma teve um papel determinante para atingir o objetivo proposto, providenciando uma abordagem sistemática e disciplinada através do ciclo DMAIC, ajudando a organização a produzir de forma mais rápida, mais económica e com menos desperdício.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

Durante a fase de medições, foi observado que o posicionamento do semáforo (de controlo final de dimensões) da linha E05, se encontrava fora do campo de visão dos operadores, quando estes se encontravam na zona de recolha de pisos no fim da linha. Este impedimento visual, originou alguns erros que conduziram a geração de *work-off*, que seria evitável pela modificação da posição deste semáforo, para uma semelhante à da linha E06.

Relativamente à extrusão de parede, durante a fase de corte em qualquer *setup*, sugere-se que seja implementado um sistema de corte automático em concordância com o sistema de medição, afim de acautelar as falhas humanas e permitir ao operador focar a sua atenção noutras operações.

Relativamente às perturbações observadas, sugere-se a avaliação da viabilidade do uso de um sistema de deteção de “risco” para ambos os sistemas de extrusão. Mesmo sendo um problema complexo, a redução deste tipo de perturbação em apenas 50% conduziria a um ganho estimado de 3 toneladas por dia e uma redução de 0,55% ao indicador GWO. Isto é possível visto, que este defeito representa a principal perturbação na extrusão de parede e a terceira principal na extrusão de piso.

Atendendo à falha relativamente ao planeamento de produção previamente referida, sugere-se a inclusão de um colaborador do planeamento nas reuniões semanais de *work-off*, ou em alternativa, a criação de um sistema integrado que permita (ao planeamento de produção) a visualização dos parâmetros reais da linha de extrusão, comuns ao operador da linha. Pretende-se assim eliminar qualquer tipo de erro resultante da possível desatualização das folhas presentemente utilizadas.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

6.1 Bibliografia

6.2 Outras fontes de informação

6 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

6.1 Bibliografia

Antony, J. (2006). *Six Sigma for service processes*. Business Process Management Journal, 12(2), pp. 234-248.

Antony, J., & Banuelas, R. (2002). *Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program*. Measuring business excellence, 6(4), pp. 20-27.

Antony, J., Gijo, E. V., & Childe, S. J. (2012). *Case study in Six Sigma methodology: manufacturing quality improvement and guidance for managers*. Production Planning & Control, 23(8), pp. 624-640.

Arumugam, V., Antony, J., & Linderman, K. (2016). *The influence of challenging goals and structured method on Six Sigma project performance: A mediated moderation analysis*. European Journal of Operational Research, 254(1), pp. 202-213.

Breyfogle III, F. W. (2003). *Implementing six-sigma: smarter solutions using statistical methods*. John Wiley & Sons, pp. 13-15.

Breyfogle III, F. W. (2003). *Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods*. John Wiley & Sons, pp. 117-119.

De Koning, H., & De Mast, J. (2006). *A rational reconstruction of Six-Sigma's breakthrough cookbook*. International Journal of Quality & Reliability Management, 23(7), pp. 766-787.

De Mast, J., & Lokkerbol, J. (2012). *An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving*. International Journal of Production Economics, 139(2), pp. 604-614.

Desai, T. N., & Shrivastava, R. L. (2008). *Six Sigma—a new direction to quality and productivity management*. In *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, pp. 22-24.

El-Haik, K. Y. B., & Yang, K. (2003). *Design for Six Sigma, A Roadmap for Product Development*. RR Donnelly, SAD, str. ISBN 079316060X, pp. 168-198.

El-Haik, K. Y. B., & Yang, K. (2003). *Design for Six Sigma, A Roadmap for Product Development*. RR Donnelly, SAD, str. ISBN 079316060X, pp. 267-268.

El-Haik, K. Y. B., & Yang, K. (2003). *Design for Six Sigma, A Roadmap for Product Development*. RR Donnelly, SAD, str. ISBN 079316060X, pp. 236-263.

El-Haik, K. Y. B., & Yang, K. (2003). *Design for Six Sigma, A Roadmap for Product Development*. RR Donnelly, SAD, str. ISBN 079316060X, pp. 287-289.

Eldridge, N. E., Woods, S. S., Bonello, R. S., Clutter, K., Ellingson, L., Harris, M. A., ... & Parlier, R. L. (2006). *Using the Six Sigma process to implement the Centers for Disease Control and Prevention Guideline for Hand Hygiene in 4 intensive care units*. *Journal of general internal medicine*, 21(S2), pp. 35-42.

Ertürk, M., Tuerdi, M., & Wujiabudula, A. (2016). *The Effects of the Six Sigma Approach on Business Performance: A Study of White Goods (Home Appliances) Sector in Turkey*. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 229, pp. 444-452.

Eslami, Y., Mohaghegh, M., & Brun, A. (2014). *DMAIC Six Sigma Definition and an Analytical Implementation: Car Industry Case Studies*. In *International Journal of Engineering Research and Technology*, 3(8), pp. 653-666.

George, M. L., Maxey, J., Rowlands, D. T., & Upton, M. (2005). *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide to 70 Tools for Improving Quality and Speed*. McGraw-Hill Professional. ISBN-10: 0071441190, pp. 282

Hung, H. C., & Sung, M. H. (2011). *Applying Six Sigma to manufacturing processes in the food industry to reduce quality cost*. *Scientific Research and Essays*, 6(3), pp. 580-591.

Juran, J., & Godfrey, A. B. (1999). *Quality handbook*. Republished McGraw-Hill, 5ª edição. ISBN 0-07-034003-X, pp. 143-165.

Juran, J., & Godfrey, A. B. (1999). *Quality handbook*. Republished McGraw-Hill, 5ª edição. ISBN 0-07-034003-X. pp. 415-417.

Kaushik, P., & Khanduja, D. (2008). *DM make up water reduction in thermal power plants using Six Sigma DMAIC methodology*, *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol.67, pp. 36-42.

Kaushik, P., & Kumar, S. (2017). *An application of Six Sigma for SMEs: A case study*. *Management Science Letters*, 7(3), pp. 145-152.

Kwak, Y. H., & Anbari, F. T. (2006). *Benefits, obstacles, and future of the Six Sigma approach*. *Technovation*, 26(5), pp. 708-715.

Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). *An overview of six sigma*. International Statistical Review, 76(3), pp. 329-346.

Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2000). *The Six Sigma way*. McGraw-Hill, ISBN 0071358064, pp. 10-34.

Park, S. H. (2003). *Six Sigma for quality and productivity promotion*. Tokyo: Asian Productivity Organization. ISBN 92-833-1722-X. pp. 5-14.

Park, S. H. (2003). *Six Sigma for quality and productivity promotion*. Tokyo: Asian Productivity Organization. ISBN 92-833-1722-X, pp. 61-74.

Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook: The Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts, and Managers at All Levels*. Revised and Expanded Edition. ISBN-10: 0071840532, pp. 3-4.

Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook: The Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts, and Managers at All Levels*. Revised and Expanded Edition. ISBN-10: 0071840532, pp. 37-38.

Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook: The Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts, and Managers at All Levels*. Revised and Expanded Edition. ISBN-10: 0071840532, pp. 238-261.

Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook: The Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts, and Managers at All Levels*. Revised and Expanded Edition. ISBN-10: 0071840532, pp. 389-391.

Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook: The Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts, and Managers at All Levels*. Revised and Expanded Edition. ISBN-10: 0071840532, pp. 538-544.

Singh, A. K., & Khanduja, D. (2014). *Defining Quality Management in the Auto Sector: A Six-Sigma Perception*. Procedia Materials Science, 5, pp. 2645-2653.

Snee, R. D. (2004). *Six-Sigma: the evolution of 100 years of business improvement methodology*. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, 1(1), pp. 4-20.

Tong, J. P. C., Tsung, F., & Yen, B. P. C. (2004). *A DMAIC approach to printed circuit board quality improvement*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 23(7-8), pp. 523-531.

Van Den Heuvel, J., Does, R. J., & Verver, J. P. (2005). *Six Sigma in healthcare: lessons learned from a hospital*. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, 1(4), pp. 380-388.

Wang, H. (2008). *A review of the Six Sigma approach: methodology, implementation and future research*. WiCOM'08. 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, IEEE, pp. 1-2.

Werkema, C. (2004). *Criando a cultura Seis Sigma*. Werkema Editora, Vol. 1. ISBN-10: 8598582018, pp. 15.

Werkema, C. (2004). *Criando a cultura Seis Sigma*. Werkema Editora, Vol. 1. ISBN-10: 8598582018, pp. 175-176.

6.2 Outras fontes de informação

CAETANO, Mário. *Ciência e Tecnologia da Borracha*. Available: (2016) [consultado a 15. Nov. 2016] [Em Linha]. Disponível em WWW: URL: <https://ctborracha.com/?page_id=6467>

CONTINENTAL MABOR – Indústria de pneus S.A. (2016). Fábrica de Lousado. Vila Nova de Famalicão. Portugal.

CONTINENTAL MABOR – Indústria de pneus S.A. (2013). Fábrica de Lousado. Vila Nova de Famalicão. Portugal.

CONTINENTAL AG. *Continental AG*. Available: (2016) [consultado a 15. Nov. 2016] [Em Linha]. Disponível em WWW: URL: <http://www.conti-online.com/generator/www/de/en/continental/automobile/themes/news/meldungen/conti_technik_forum_2010/download/99_reifenwerk_pt_en.pdf>

KRAUSS MAFFEI BERSTORFF. *Krauss Maffei Berstorff*. Available: (2016) [consultado a 30. Out. 2016] [Em Linha]. Disponível em WWW: URL: <http://www.kraussmaffeiberstorff.com/media/files/kmdownloadlocal/en/EXT_BR_Tire_extrusion_systems.pdf>

ANEXOS

7.1 ANEXO I – Template de folhas de registo

7 ANEXOS

7.1 ANEXO I – *Template* de folhas de registo

Template da folha de registo - Extrusão de parede

Setup - Mudança de feira					Nº de metros rejeitados			Medida (Total pisos)	V _{esp}	V _{enr}	Observações
Extrusora	Data	Turno	Cód. Inicial	Cód. Final	Fim de medida	Mud. Feira e/ou Pré-Feira	Início de medida				

Template da folha de registo - Extrusão de piso

Setups						Pisos Rejeitados					Medida (Total pisos)	Velocidade	Observações	
Extrusora	Data	Turno		Cód. inicial	Cód. Final	Final		Mud. Feira	Início					
						Corte	IPOC		IPOC	Acerto medida				
			Medida											
			Feira											
			Capa											