



APLICAÇÃO INDUSTRIAL DA FERRAMENTA FMEA EM NOVOS PROJETOS ? IMPLEMENTAÇÃO, APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO

RÚBEN MIGUEL OLIVEIRA CRUZ

outubro de 2019

APLICAÇÃO INDUSTRIAL DA FERRAMENTA FMEA EM NOVOS PROJETOS – IMPLEMENTAÇÃO, APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO

Rúben Miguel Oliveira Cruz
1141082

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

APLICAÇÃO INDUSTRIAL DA FERRAMENTA FMEA EM NOVOS PROJETOS – IMPLEMENTAÇÃO, APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO

Rúben Miguel Oliveira Cruz
1141082

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 Professor Doutor Luís Miguel Ciravegna Martins da Fonseca e co-orientação da Professora Luísa Maria Gaspar Morgado da Mota.

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Mestre/Especialista José Carlos Vieira Sá
Professor Adjunto Convidado, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Professor Doutor Luís Miguel Ciravegna Martins da Fonseca
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Professora Luísa Maria Gaspar Morgado da Mota
Professor Adjunto Convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Manuel Gilberto Freitas Santos
Professor Adjunto, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Luís Miguel Ciravegna Martins da Fonseca pela sua disponibilidade e apoio na realização desta dissertação. Uma pessoa com uma grande carreira já consolidada, que transmitiu todos os seus conhecimentos de forma aberta e clara.

À Professora Luísa Maria Gaspar Morgado da Mota pela sua disponibilidade de orientação nesta importante etapa, por todas as sugestões de melhoria dadas e motivação transmitida.

À Engenheira Ana Pires da Costa por toda a orientação e disponibilidade durante todo o trabalho desenvolvido na Polisport Plásticos. Agradecer também a autonomia dada durante esta etapa, e salientar a grande abertura no acesso à documentação existente, sem a qual não seria possível desenvolver esta dissertação.

A todos os colegas da Polisport que participaram na fase de implementação e aplicação do FMEA, e ações resultantes das mesmas. Agradecer a sua disponibilidade e empenho na implementação da nova sistemática.

À minha esposa Laura Meneses por todo o apoio e incentivo para continuar os meus estudos. Foi sem dúvida um grande pilar durante toda a passagem no ISEP.

A toda a minha família que sempre me apoiou em todas as etapas da vida.

A todos os meus colegas da Licenciatura e Mestrado no ISEP.

PALAVRAS CHAVE

FMEA, DFMEA, PFMEA, Modos de falha, Qualidade, novos projetos, gestão de projetos

RESUMO

A entrada no mercado com produtos de qualidade, diferenciadores, com baixo preço e num curto prazo são aspetos essenciais para o êxito de um projeto industrial. Torna-se por isso, fundamental conseguir que o desenvolvimento de novos projetos decorra de forma célere, sem imprevistos e com custos devidamente controlados e validados.

Uma ferramenta que contribuí para o êxito de um projeto é a análise FMEA pois numa fase precoce do projeto podemos analisar todo o *design* do produto (DFMEA) e processo (PFMEA), e reduzir/ controlar os possíveis modos de falha que possam ser descobertos no início da produção que impliquem atrasos na colocação do produto no mercado, níveis de qualidade inferiores, custos inesperados com rejeições ou retrabalho.

Esta dissertação incide na implementação da ferramenta FMEA (*failure mode and effect analysis*) na empresa Polisport Plásticos S.A. como contributo para uma melhor gestão de projetos. Esta ferramenta é aplicada e validada num projeto de desenvolvimento de um *jerrykan* para transporte e abastecimento de combustível em veículos de 2 rodas.

Conclui-se que, após aplicação da ferramenta, o projeto teve uma grande eficiência visto que permitiu a identificação de várias ações a desenvolver antes da fase de industrialização, evitando assim possíveis problemas futuros. A tomada de ações numa fase precoce revelaram-se fundamentais, já que, durante a fase de pré-série teste, montagem série, testes de utilização do produto final por parceiros e utilizadores finais, não foram detetadas quaisquer falhas ou anomalias do produto. Esta ausência de falhas, até ao momento, deve-se em grande parte aos ensaios e estudos efetuados em locais específicos das peças, e ao desenvolvimento de equipamentos que testam a totalidade de produtos antes de serem expedidos, permitindo assim uma maior fiabilidade do produto fabricado.

KEYWORDS

FMEA, DFMEA, PFMEA, Quality, Failure Modes, New projects, Project management

ABSTRACT

The success of an industrial project depends, mostly, on the product's quality patterns, competitive price and short reception/ delivery date. So, it is important to proceed quickly with the development of new projects, without unexpected situations or problems, apart from having controlled costs and validated budgets.

FMEA is a crucial tool that greatly contributes to the project's success, since it allows the team involved to deeply analyse the product's design (DFMEA) and process (PFMEA), identifying and minimizing potential failures that could imply/ cause production delays, at short term, because of lower quality levels and, consequently, unexpected costs with rejections or reworks.

This dissertation focus on FMEA's implementation in a Portuguese company called Polisport Plásticos, S.A. as a contribute to improve project management's performance. This tool was applied and validated in the following project – the development of a “jerrycan” for fuel supply and transport on two-wheeled vehicles.

So, based on the work performed, we can conclude that FMEA's analysis is a crucial tool that contributes to the success of any project, once it promotes a close approach to the product's design and process, foreseeing potential failures that could origin delays, due to lower quality levels and unexpected costs with rejections or reworks. After FMEA's practice we can also conclude that, at the end, the project was much more efficient and sustained, because of early actions taken (i.e., before serial production), anticipating and avoiding future barriers. During the pre-series and serial assembly, tests were performed by partners and any failure was detected. It is, obviously, a result of the trials and studies handled, in addition to the equipment used that assure the product's quality patterns, before its final release to the market.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

FMEA	Análise do Modo e Efeito de Falha
DFMEA	<i>Design FMEA</i>
PFMEA	<i>Process FMEA</i>
CFMEA	<i>Concept FMEA</i>
CA	Análise Crítica
FMECA	Análise do Modo, Efeito e Criticidade de Falha
RPN / NPR	Número Prioritário de Risco
ISO	<i>Organização Internacional de Normalização</i>
IATF	<i>International Automotive Task Force</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
VDA	<i>Verband de Automobil-industrie</i>
SMMT	<i>Society of Motor Manufacturers and Traders</i>
ASQ	<i>American Society for Quality</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
AP	Prioridade da Ação
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
PP	Polipropileno
PA	Poliamida
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PMMA	Polimetilmetacrilato
TPE	Elastómero termoplástico
TPU	Poliuretano termoplástico
ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
IMDA	<i>In-Mold Decorating Association</i>
IPD	<i>In-mold Plastic Decals</i>
DGP	<i>Durable Gloss Polypropylene</i>
DI	<i>Dual Injection</i>
PD+	<i>Plastic Decor Plus</i>
SWOT	<i>Strengths (Forças), Weaknesses (Fraquezas), Opportunities (Oportunidades) e Threats (Ameaças)</i>
CAD	Desenho assistido por computador
UV	Raios Ultravioletas
F	Força
PEIP	Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros

Lista de Unidades

€	Euro
h	hora
g	grama
L	litro
°	graus
m	metro
s	segundo
°C	Grau <i>Celsius</i>
Pa	Pascal

Lista de Símbolos

%	Porcentagem
---	-------------

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - RELAÇÃO ENTRE CAUSA, MODO DE FALHA E EFEITO (SOARES, 2014)	27
FIGURA 2 - ANÁLISE DE CRITICIDADE (SOARES,2014)	28
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DE ANÁLISE FMEA, (RAHM, MANGER, YOCK & KIM, 2016)	45
FIGURA 4 - PRIMEIRA INSTALAÇÃO DA POLISPORT (1978)	53
FIGURA 5 – PRIMEIRAS PEÇAS PLÁSTICAS PARA MOTOCICLO (EM 1982).....	53
FIGURA 6 – PRIMEIROS GUARDA-LAMAS E CADEIRAS PARA BICICLETA	54
FIGURA 7 - EMPRESA E INSTALAÇÕES DO GRUPO POLISPORT, S.A.....	54
FIGURA 8 - LOGOTIPO POLISPORT PLÁSTICOS, S.A.	55
FIGURA 9 - LOGOTIPO POLISPORT <i>CYCLE</i>	55
FIGURA 10 - LOGOTIPO POLISPORT <i>OFF-ROAD</i>	55
FIGURA 11 - INSTALAÇÕES DA POLISPORT PLÁSTICOS, S.A. (SEDE GRUPO POLISPORT).....	56
FIGURA 12 - PARQUE DE MÁQUINAS POLINTER E SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE MATÉRIA PRIMA ...	57
FIGURA 13 - ROBOTS DE 6 EIXOS "KUKA"	57
FIGURA 14 - INSTALAÇÕES DA EMPRESA POLINTER PLÁSTICOS, S.A.	58
FIGURA 15 - INSTALAÇÕES DA POLISPORT MOLDS	58
FIGURA 16 - ÁREA PRODUTIVA POLISPORT MOLDS.....	59
FIGURA 17 - INSTALAÇÕES DA HEADGY HELMETS	59
FIGURA 18 - MÁQUINA DE SERIGRAFIA DA HEADGY HELMETS	60
FIGURA 19 - LINHA DE MONTAGEM DE CAPACETES HEADGY HELMETS	60
FIGURA 20 - INSTALAÇÕES DA POLISTAR (BRASIL)	60
FIGURA 21 - INSTALAÇÕES E PRODUTO POLIPROMOTION	61
FIGURA 22 - MISSÃO, VISÃO, ESTRATÉGIA E VALORES DO GRUPO POLISPORT	61
FIGURA 23 - ORGANOGRAMA DO GRUPO POLISPORT.....	62
FIGURA 24 - CRESCIMENTO GRUPO POLISPORT (2015-2025).....	63
FIGURA 25 - CRESCIMENTO DO SEGMENTO MOTO POLISPORT (2015-2025)	63
FIGURA 26 - EXEMPLOS PRODUTOS BICICLETA POLISPORT	64
FIGURA 27 - EXEMPLO DE PRODUTOS POLISPORT OFF-ROAD.....	65
FIGURA 28 - EXEMPLO DE PEÇAS OEM COM TECNOLOGIA IPD	66
FIGURA 29 - EXEMPLOS DAS TECNOLOGIAS DGP, DI E PD+	66
FIGURA 30 - PRODUTOS MOTO OEM E CADEIRAS AUTOMÓVEL.....	67
FIGURA 31 - PRINCIPAIS CLIENTES OEM.....	67
FIGURA 32 – PROPOSTAS INICIAIS DESIGN DO CORPO <i>JERRYCAN</i> POLISPORT	70
FIGURA 33 - PROPOSTAS DESIGN TAMPA CONVENCIONAL <i>JERRYCAN</i> POLISPORT.....	71
FIGURA 34 - PROPOSTAS DESIGN TAMPA COM MANGUEIRA E DE ENCHIMENTO RÁPIDO <i>JERRYCAN</i> POLISPORT	71
FIGURA 35 - CONCEITO FINAL <i>JERRYCAN</i> POLISPORT	71
FIGURA 36 - CONCEITOS CAD FINAIS (CORPO <i>JERRYCAN</i> E TAMPAS).....	72
FIGURA 37 - CALENDARIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DO PROJETO.....	75
FIGURA 38 - RESULTADO DE TESTE DE RESISTÊNCIA DOS VEDANTES A COMBUSTÍVEIS	93

FIGURA 39 - RESULTADO DE TESTE DE RESISTÊNCIA DA MANGUEIRA A COMBUSTÍVEIS.....	94
FIGURA 40 - RESULTADO DE TESTE DE RESISTÊNCIA DA MASSA LUBRIFICANTE A COMBUSTÍVEIS.....	94
FIGURA 41 - ESTUDO DIMENSIONAL AOS CORPOS DE <i>JERRYCAN</i>	95
FIGURA 42 - SIMULAÇÃO INFORMÁTICA DE QUEDA DO CORPO DO <i>JERRYCAN</i> POLISPORT	95
FIGURA 43 - TESTE DE ESTANQUICIDADE E RESISTÊNCIA À PRESSÃO DO CONJUNTO COMPLETO	96
FIGURA 44 - SIMULAÇÃO INFORMÁTICA DE PRESSURIZAÇÃO INTERNA DO <i>JERRYCAN</i> POLISPORT	96
FIGURA 45 - SIMULAÇÃO INFORMÁTICA DE ESFORÇO MÁXIMO APLICÁVEL À PEGA DO <i>JERRYCAN</i>	97
FIGURA 46 - EQUIPAMENTO DE TESTE PARA TAMPAS (USO DURANTE MONTAGEM DE PRODUTO)	98
FIGURA 47 - INFORMAÇÃO SOBRE CORTE DO TUBO NA INSTRUÇÃO DE TRABALHO	99
FIGURA 48 - SISTEMA ANTI ERRO APLICADO NOS COMPONENTES DO SISTEMA DE ENCHIMENTO RÁPIDO	100
FIGURA 49 - DESENHO COM COTAS CRÍTICAS IDENTIFICADAS (CMD565).....	101
FIGURA 50 - RESULTADO DO TESTE DE RESISTÊNCIA E ADESIVIDADE DA SERIGRAFIA.....	101
FIGURA 51 - OCORRÊNCIA POR ÍNDICE (SEVERIDADE, OCORRÊNCIA E DETEÇÃO) - DFMEA	104
FIGURA 52 - COMPARAÇÃO DA SEVERIDADE ANTES E DEPOIS DE AÇÕES.....	104
FIGURA 53 - COMPARAÇÃO DA OCORRÊNCIA ANTES E DEPOIS DE AÇÕES	105
FIGURA 54 - COMPARAÇÃO DA DETEÇÃO ANTES E DEPOIS DE AÇÕES.....	105
FIGURA 55 - OCORRÊNCIA POR ÍNDICE (SEVERIDADE, OCORRÊNCIA E DETEÇÃO) - PFMEA.....	106

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - TABELA CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE SEVERIDADE (MOURA, 2000).....	40
TABELA 2 - TABELA CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE OCORRÊNCIA (MOURA, 2000)	41
TABELA 3 - TABELA CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE DETEÇÃO (MOURA, 2000).....	42
TABELA 4 - MATRIZ DE RISCO. SEVERIDADE – OCORRÊNCIA (HARTWELL, JOHN).....	46
TABELA 5 - MATRIZ DE RISCO. SEVERIDADE – NPR (HARTWELL, JOHN).....	47
TABELA 6 - ANÁLISE SWOT	68
TABELA 7 - IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS PARA EQUIPA PROJETO	69
TABELA 8 - LISTA DE MATERIAIS DO <i>JERRYCAN</i> POLISPORT.....	72

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Motivação e Objetivo	23
1.2	Organização da dissertação	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	Introdução ao FMEA.....	27
2.2	Análise Histórica.....	31
2.3	Tipos de FMEA.....	33
2.4	Metodologia do FMEA	36
2.4.1	Formulário FMEA.....	37
2.4.2	Sequência de preenchimento do formulário FMEA	38
2.4.3	Fluxograma de análise FMEA	45
2.4.4	Determinação de prioridades.....	46
2.5	Benefícios e Limitações do FMEA.....	47
2.6	Erros comuns e recomendações de melhoria na análise FMEA	48
3	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, PROJETO, PRODUTO E PROCESSO.....	53
3.1	Apresentação da Empresa	53
3.1.1	– Apresentação das empresas do Grupo Polisport.....	56
3.1.2	– Missão, Visão, Estratégia e Valores do Grupo Polisport	61
3.1.3	– Organograma Grupo Polisport.....	62
3.1.4	– Análise Financeira do Grupo Polisport.....	63
3.2	Caracterização dos Produtos e principais clientes.....	64
3.2.1	- Produtos bicicleta Polisport.....	64
3.2.2	- Produtos moto Polisport	65
3.2.3	– Produtos OEM.....	66
3.3	Apresentação do Projeto em estudo	68
3.4	Cronograma do Projeto.....	74

4	DESENVOLVIMENTO	79
4.1	Aplicação DFMEA	79
4.2	Aplicação PFMEA.....	85
5	ANÁLISE DE AÇÕES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	93
5.1	Análise de Ações provenientes do <i>Design</i> FMEA.....	93
5.2	Análise de Ações provenientes do <i>Process</i> FMEA.....	102
5.3	Apresentação e Análise dos Resultados Obtidos	103
5.3.1	Resultado das ações desenvolvidas com o <i>Design</i> FMEA.....	103
5.3.2	Resultado das ações desenvolvidas com o <i>Process</i> FMEA	106
6	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	109
6.1	CONCLUSÕES.....	109
6.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	111
7	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	115
7.1	ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS.....	115
7.2	Outros.....	116

INTRODUÇÃO

1.1 Motivação e Objetivo

1.2 Estrutura

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação e Objetivo

A globalização e a crescente competitividade internacional levaram a alterações no método de abordagem das organizações ao desenvolvimento de novos projetos. A gestão de projetos é constituída por processos focados no planeamento, na organização, no controlo das tarefas, na motivação e liderança da equipa envolvida, com o intuito de alcançar eficazmente e dentro do prazo acordado, os objetivos previamente estabelecidos para o projeto (APOGEP, 2019).

Na tentativa de responder à crescente competitividade é necessário minimizar o prazo e risco no desenvolvimento dos projetos, integrar diversas atividades do projeto em simultâneo, gerir o investimento em ferramentas e atingir níveis superiores de qualidade.

Cada uma das tarefas do projeto está sujeita à tomada de decisões que estão associadas a um risco de falha inevitável, que deverá ser minimizado e controlado, tanto quanto possível. O controlo do risco influencia diretamente a competitividade e sustentabilidade da organização.

Torna-se então evidente a necessidade da utilização de ferramentas que auxiliem a gestão do projeto e minimizem o risco de falha.

A gestão do risco pode ser controlada através de diversos métodos, sendo uma opção a Análise do Modo e Efeito de Falha, FMEA (do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*), o objeto de estudo desta dissertação.

A análise FMEA é um estudo estruturado para determinar possíveis falhas que possam existir num *design*, processo ou serviço. Nos modos de falha é possível antecipar as formas de falha do produto ou processo. Nos efeitos de falha determinam-se as consequências. A conjugação destas duas vertentes identificam, priorizam e limitam os modos de falha. A formação de uma equipa multidisciplinar é um ponto muito importante, porque trará conhecimento e experiência em diversas áreas, aumentando assim a eficiência da análise (Quality One, 2019).

A presente dissertação tem como objetivo principal a aplicação da ferramenta FMEA, na vertente de *Design* e Processo, durante o desenvolvimento de um novo projeto industrial no setor da injeção de plásticos.

1.2 Organização da dissertação

A presente dissertação está dividida em seis grandes capítulos.

O primeiro capítulo destina-se à contextualização inicial e introdutória da presente dissertação, descrevendo as motivações, os objetivos principais e a organização estrutural da mesma.

O segundo, que reflete o estado da arte, onde será feita a revisão bibliográfica para enquadrar a ferramenta em estudo ao nível teórico e histórico. Inicialmente, será enquadrada a análise FMEA, na sua generalidade e descritas todas as suas vertentes. Seguidamente, com maior detalhe e incidência, as vertentes desenvolvidas neste trabalho, nomeadamente *Design* FMEA e *Process* FMEA. Será exposta toda a metodologia de aplicação da ferramenta, as suas vantagens, limitações e apresentados alguns dos erros comuns na aplicação do FMEA.

O terceiro capítulo, destina-se à apresentação da empresa Polisport Plásticos S.A., especificamente, a sua história, missão, visão, valores, âmbito, produtos, contexto de atuação, mercado e o método de abordagem no desenvolvimento de novos projetos.

A apresentação da aplicação prática do FMEA num projeto da Polisport Plásticos, S.A., que faz parte da nova sistemática de abordagem de projetos, será reservada ao quarto capítulo.

O quinto capítulo, destina-se à apresentação dos resultados obtidos e análise ações identificadas no FMEA.

Por fim, o sexto capítulo, procura refletir as principais conclusões do projeto e apresentar algumas propostas de estudos futuros nesta área.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Introdução ao FMEA
- 2.2 Análise Histórica
- 2.3 Tipos de FMEA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução ao FMEA

A metodologia FMEA é uma técnica de engenharia utilizada pelas organizações que tem como objetivo definir, identificar e eliminar potenciais modos de falha, e erros do sistema, design, processo ou produto antes de chegada ao consumidor (Stamatis, 1995). O método FMEA é uma avaliação qualitativa do risco, baseando-se predominantemente no julgamento de especialistas (Moubray, 1992).

Para que a metodologia atinga resultados de excelência, torna-se essencial a constituição de uma equipa multidisciplinar (Liu et al., 2015). A integração das diferentes áreas de conhecimento e níveis organizacionais permite à equipa uma análise global do produto ou processo. Dessa forma, será menos provável a ocorrência de imprevistos como problemas de qualidade, atrasos e custos, invertendo para melhoria da satisfação do cliente, eficácia dos projetos, redução do tempo de desenvolvimento e número de falhas (FMEA Reference Manual, 2011).

O modo de falha é classificado de acordo com a criticidade dos efeitos e da ocorrência, uma vez que está diretamente relacionado com a causa e efeito de falha, conforme demonstrado na figura 1 (Soares, 2014).

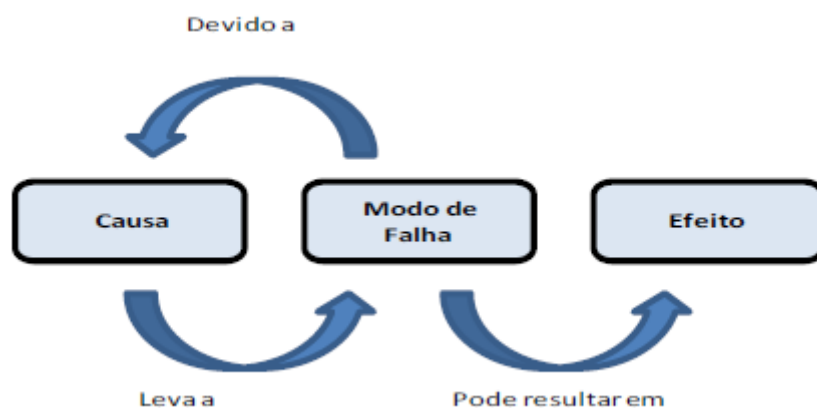


Figura 1 - Relação entre causa, modo de falha e efeito (Soares, 2014)

A metodologia FMEA incide na identificação de modos de falha e efeitos, no entanto, há uma metodologia de análise de risco - CA (*Critical Analysis*) que pode ser realizada em conjunto, a qual se denomina de Análise FMECA (*Failure Mode and Effects and Criticaly Analysis*).

Ao longo do tempo a análise FMEA assumiu a estrutura da FMECA, ou seja, a estrutura FMEA adaptou a metodologia FMECA, passando a designar-se genericamente por FMEA (Soares, 2014).

Cada falha potencial é analisada quanto à criticidade segundo fatores de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) (Dieter 2000, Stamatis 2003). Os fatores de risco (S, O e D) são estimados de acordo com o conhecimento de especialistas (Braaksma, Klingenberg, Veldman 2012), e são convertidos num único índice chamado Número de Prioridade de Risco (NPR ou RPN, do inglês *Risk Priority Number*) (Chen, 2013). Uma lista de NPRs mostra prioridades de risco de falhas. A figura 2, vem demonstrar a importância do cálculo dos fatores de risco para a análise de criticidade de cada potencial modo de falha identificado, já que todos os índices são fundamentais para o cálculo do NPR, e a não identificação de algum fator implica a impossibilidade de obtenção do NPR.



Figura 2 - Análise de criticidade (Soares,2014)

Os fatores de risco (S, O e D) têm escalas para determinação dos seus valores, que são apresentadas detalhadamente no subcapítulo 2.4.

Desde a sua introdução, que o FMEA é amplamente utilizado na indústria mecânica, química, eletrônica, médica (Liu, Liu, e Liu, 2013) e aeroespacial (Bowles e Peláez, 1995).

Esta metodologia tem sido implementada e validada com sucesso em diversos tipos de indústrias, produtos e serviços, sendo que atualmente há sistemas de qualidade que exigem a implementação e documentação da análise FMEA, como por exemplo a indústria automóvel. Neste caso particular da indústria automóvel, o setor tem-se apoiado no norma internacional ISO 9001:2015, na ISO TS 16949:2009 (com validade expirada a 14 de setembro de 2018) e na IATF 16949:2016 que sucede a anterior e está mais focada nos produtores OEM (Original Equipment Manufacturer) (Fonseca e Domingues, 2017), visando a implementação de Sistemas de gestão da Qualidade que proporcionem a satisfação dos clientes, enfatizando a prevenção de defeitos e a redução da variação e do desperdício na cadeia de fornecimento. A IATF 16949:2016 deverá serve de complemento e deve ser usada em conjunto com ISO 9001:2015. Na indústria automóvel, por exemplo através dos requisitos da IATF 16949:2016, há uma ênfase adicional na aplicação de técnicas e ferramentas da qualidade, tais como a FMEA de produto e processo, de modo a aumentar a prevenção de defeitos de qualidade e reduzir a variação e desperdícios na cadeia produtiva (Fonseca e Domingues, 2017).

A ISO TS 16949:2009 (atual IATF 16949:2016), é uma norma automotiva elaborada em conjunto pelos membros da IATF (*International Automotive Task Force*) como *General Motors, Ford, PSA Citroen, Renault, BMW, Fiat, Volkswagen e Daimler Chrysler* (Oliveira, Paiva & Almeida, 2010).

Algumas das restantes organizações têm adotado esta ferramenta na gestão de projetos para corresponder à ISO 9001:2015, que na última revisão introduziu o conceito de “pensamento baseado no risco”, conforme passo a citar: “o pensamento baseado em risco permite a uma organização determinar os fatores suscetíveis de provocar desvios nos seus processos e no seu sistema de gestão da qualidade em relação aos resultados planeados, implementar controlos preventivos para minimizar efeitos negativos e aproveitar ao máximo as oportunidades que vão surgindo” (NP EN ISO 9001:2015).

Com este novo conceito mais implícito, as organizações tendem a analisar os riscos envolvidos nos seus produtos e processos, incrementando assim a eficiência dos seus projetos. É, portanto, uma ferramenta preventiva, de melhoria contínua e de maximização de qualidade integrada em grandes filosofias de gestão como a *Lean* e *Kaizen*.

Um estudo internacional sobre a aplicação da ISO 9001:2015 constatou que o pensamento baseado no risco representa, ao nível das novas abordagens, simultaneamente a maior dificuldade e a que mais benefícios potencia com a sua correta utilização (Fonseca et al., 2019).

Esta estratégia de melhoria contínua quando aplicada de forma correta tem um grande impacto financeiro na organização, porque desde uma fase precoce do projeto, permite identificar e minimizar ou eliminar potenciais modos de falha que coloquem a qualidade do produto em dúvida. Garantir o lançamento de um novo produto fiável para mercado, com o mínimo de falhas possíveis, e no menor espaço temporal de desenvolvimento torna-se essencial para o sucesso desse produto e da marca, já que aumenta a confiança no produto/ serviço prestado e aumenta a satisfação do cliente.

Uma questão importante a clarificar é a diferença entre problema e risco, porque normalmente há alguma dúvida na sua interpretação. Problema é uma dificuldade que aconteceu ou está a acontecer no presente, enquanto que risco é uma probabilidade de acontecer algum problema no futuro. Risco está definido como “a probabilidade de que um fator de risco venha a assumir um valor que possa prejudicar, total ou parcialmente, as chances de sucesso de um projeto”, onde fator de risco é “qualquer evento que possa prejudicar, total ou parcialmente, as chances de sucesso do projeto” (Alencar & Schmitz, 2005).

Outra definição importante a abordar é projeto, onde segundo Gido e Clements “projeto é o esforço para se atingir um objetivo específico por meio de um conjunto único de tarefas inter-relacionadas e da utilização eficaz de recursos” (Gido e Clements, 2007).

Todos os projetos começam por objetivos, sendo o objetivo principal do projeto alcançar e satisfazer todos os objetivos que os *stakeholders* definiram no arranque de projeto (Heldman, 2005). A gestão de projeto pressupõe o desenvolvimento de um plano e a sua implementação para atingir os objetivos previstos (Gido e Clements, 2007).

Estudos anteriores de Fonseca e Lima (2015), Sousa et al. (2004) e Fotopoulos e Psomas (2009), concluíram que a aplicação da metodologia FMEA é ainda escassa, especialmente ao nível das pequenas e médias empresas, pelo que se pretende com esta dissertação contribuir para a divulgação desta metodologia e potenciar os benefícios da sua utilização.

2.2 Análise Histórica

Não há uma data específica para a origem do FMEA, no entanto após a segunda guerra mundial, há registo a 9 de novembro de 1949, com origem nos Estados Unidos, da primeira abordagem ao FMECA. Conforme referido acima, poderemos interpretar FMEA e FMECA como sendo metodologias similares atualmente, e, portanto, considerar esta data de 1949 como a origem do FMEA. Este foi desenvolvido pelo Exército Americano para avaliar a impacto das falhas do sistema e equipamento no sucesso da missão e na segurança do pessoal e do equipamento (Teoh e Case, 2005).

O método FMEA é uma avaliação qualitativa do risco, baseando-se predominantemente no julgamento de especialistas (Moubray, 1992) e em equipas de trabalho multifuncionais (Liu et al., 2015).

Esta referência surge na norma internacional MIL-P 1629A (DoD, 1980), designado *Procedures for Performing a Failure Mode Effects and Criticality Analysis* e é usada na indústria da defesa nos Estados Unidos. Foi criada pelo exército para determinação das falhas nos equipamentos, análise dos efeitos nos sistemas e classificação do seu impacto no sucesso da missão, segurança de pessoas e equipamentos (August, CQA). É também referenciado pelas normas IEC 60812 (IEC, 1985), na BS EN 60812 (BSI, 2006) e na SAE-J1739 (SAE, 2002).

Fora do setor militar, a primeira aplicação industrial da metodologia FMEA ocorreu na indústria aeroespacial, pela NASA em 1966, como método de avaliação do projeto *Apollo*. O grande objetivo da aplicação desta metodologia era garantir as exigências de segurança relacionadas com os modos de falha e análise de efeitos nos componentes do programa aeroespacial que levou o Homem à lua (Ćatić, Arsovski, Jeremić, & Glišović, 2011).

Em 1971, a *Ford Motor Company* introduziu o primeiro padrão interno sobre FMEA, para analisar a “conceção de produtos e serviços, após uma desastrosa *performance* da *Ford Pinto*, que em situações de colisão traseira rompia com extrema facilidade o tanque de combustível e ao mesmo tempo prendia os ocupantes no seu interior devido à deformação das portas” (Pedrosa, 2014).

Mais tarde em 1974, o procedimento militar US MIL-P 1629 viria a dar origem à norma militar MIL-STD1629A que descrevem a metodologia FMEA e a análise de criticidade quantitativa e qualitativa (Lipol & Haq, 2011).

Com o início do grande desenvolvimento da indústria automóvel, em 1980 as empresas americanas começaram a aplicar formalmente o FMEA para

desenvolvimento de novos produtos e processos. A primeira empresa foi a *Ford Motor Company*, com objetivo de melhorar a área de projeto e processo (Ćatić et al., 2011).

Algumas das primeiras normas europeias a abordar a aplicação do FMEA foram a VDA 4.2 (*Verband de Automobil-industrie*) em 1986, a “Guidelines to FMEA” pela SMMT (*Society of Motor Manufacturers and Traders*), normas internas da *BMW* e *Renault* em 1987, e normas internas da *Volkswagen* em 1988 (Ćatić et al., 2011).

Entretanto também em 1988, a Organização Internacional de Normalização (ISO), desenvolveu a ISO 9000 com o objetivo de forçar as organizações a desenvolver o sistema de gestão da qualidade focado nas necessidades, exigências e expectativas dos consumidores. Paralelamente, uma equipa composta por elementos da *Ford Motor Company*, *Chrysler Corporation* e *General Motors Corporation*, desenvolveram a QS 9000, que se foca na normalização do sistema de gestão de qualidade de fornecedores da indústria automóvel. De acordo com a QS 9000, os fornecedores do setor automóvel devem usar o planeamento avançado da qualidade do produto (APQP) e FMEA de projeto e produto (August, CQA).

Alguns anos mais tarde, em 1993 a AIAG (*Automotive Industry Action Group*) e a ASQ (*American Society for Quality*) publicaram a norma para setor automóvel no manual FMEA “*Potencial Failure Mode and Effects Analysis*” tem como base o manual FMEA dos três fabricantes nacionais, criado em 1988 (FMEA Reference Manual, 2011).

No ano seguinte, em 1994, a SAE (*Society of Automotive Engineers*) publicou a norma SAE J-1739 “*Potencial Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potencial Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA)*” que indica a metodologia FMEA (Ćatić et al., 2011).

Em 1995, numa procura de uniformizar os requisitos exigidos pelos vários fabricantes, o IATF (*International Automotive Task Force*) iniciou o desenvolvimento de um novo referencial que é aceite por todos os fabricantes. Assim, em 1999, surgiu a especificação técnica ISO TS 16949:1999 (Soares, 2014).

Ao analisar o percurso histórico da metodologia FMEA acima apresentado, verifica-se que a ferramenta foi ganhando importância simultaneamente com a necessidade de maior qualidade no processo e produto, e com o aparecimento de normalização poderosa que acompanha a ferramenta FMEA em busca de processos mais robustos e eficientes. Esta metodologia está presente nas grandes empresas mundiais e apresenta-se como um forte instrumento para organizações que queiram competir por excelentes resultados (Pedrosa, 2014).

Em outubro de 2016, a IATF publicou a IATF 16949:2016 que se identifica como um documento padrão atualizado com os novos requisitos específicos do setor automóvel. Esta atualização surge após o lançamento da nova versão da ISO 9001:2015, e substituiu a ISO/TS 16949:2009. Pressupõe-se a utilização conjunta destas duas novas normas (Bureau Veritas, 2019).

Em maio de 2018, foi publicado o novo manual FMEA, 5ª edição, desenvolvido pela AIAG e VDA em equipa. Neste manual todos os fabricantes OEM da indústria automóvel, têm agora como base o mesmo referencial e os mesmos critérios de avaliação de modos de falha, já que ocorreu a padronização dos critérios (S, O e D), com maior detalhe nas tabelas de pontuação.

Neste manual, a classificação NPR passou a designar-se de Prioridade da ação, AP (Action Priority), e antes da análise de falhas existe agora a análise de estrutura e a análise funcional. Na análise da estrutura, é preenchido o nome, a etapa e a tarefa elementar do processo, já na análise funcional é descrita a função do processo, a função da etapa e a função da tarefa. Assim antes da análise de falhas são preenchidos 6 campos, o que conferem maior detalhe do produto ou processo para uma melhor FMEA (Manual AIAG-VDA FMEA).

2.3 Tipos de FMEA

A metodologia FMEA tem algumas vertentes diferentes, que poderão ser aplicadas dependendo do âmbito de estudo. O número de tipos de FMEA não está padronizado, já que há literatura indicando quatro tipos, outras apenas três tipos. Segundo Stamatis (1995), existem quatro tipos de FMEA como, Sistema, Design, Processo e Serviço. Por outro lado, segundo Ford (2011), o FMEA pode ser dividido em três tipos, como Sistema, Produto/Projeto/Design e Processo, excluindo o FMEA de Serviço.

1. FMEA de Sistema – Este tipo de FMEA é também conhecido por FMEA de Conceção (CFMEA), é adequado para analisar sistemas e subsistemas em fases preliminares. Esta vertente foca-se nos potenciais modos de falha entre as funções do sistema causadas por deficiências do mesmo. Isto inclui as interações o sistema e os seus elementos.
Listas de potenciais falhas classificadas quanto à criticidade, de potenciais funções do sistema que podem detetar falhas e de ações de design para eliminar os modos de falha, problemas de segurança e reduzir a ocorrência, são os principais *outputs* desta vertente. Deste modo, é possível identificar potenciais falhas e as suas interações com outros sistemas e subsistemas,

contribuindo para o diagnóstico, para a seleção de um sistema de design e determinar a redundância.

Este fica concluído quando as especificações de design e lista de funções estão definidas e aprovadas.

2. FMEA de *Design* – Este tipo de FMEA, também conhecido por FMEA de Projeto/ Produto, é usado para análise aos produtos antes de serem produzidos. Foca-se nas falhas causadas pelas deficiências de *Design* e tem como *outputs* listas de potenciais falhas quanto à criticidade; características críticas e/ ou significativas; ações para eliminar modos de falha, problemas de segurança e reduzir a ocorrência e, por fim, listas com parâmetros para metodologia de testes.

Como principais vantagens temos a identificação precoce de possíveis falhas, listando as características críticas e/ ou significativas e a definição de prioridades nas ações de melhoria do *design*.

A vertente de FMEA *Design* (DFMEA) deverá detetar potenciais falhas associadas com o produto que levem a:

- Avarias, defeitos, paragens, mau funcionamento;
- Falhas no cumprimento dos objetivos da sua utilização;
- Problemas de segurança durante a utilização do produto;
- Não cumprimento com requisitos regulamentares;
- Redução do tempo de vida útil.

O FMEA de *Design* fica concluído quando o *design* final do produto é enviado para produção (FMEA Reference Manual, 2011).

3. FMEA de Processo - Este tipo de FMEA é adequado para analisar processos produtivos e de montagem. Este permite listar as potenciais falhas quanto à criticidade, características críticas e/ ou significativas e as ações recomendadas. As principais vantagens passam pela identificação de deficiências no processo e ações corretivas, bem como a hierarquização destas ações. Permite, ainda, auxiliar o processo produtivo e/ ou de montagem.

O FMEA de Processo deverá detetar potenciais falhas durante o processo, que levem a:

- Problemas de qualidade;
- Incapacidade de cumprimento da função;

- Redução da capacidade do processo, em termos de quantidade e robustez;
- Paragens e micro-paragens;
- Insatisfação do cliente;
- Problemas de segurança ou ambientais.

Este é considerado concluído quando todas as operações foram analisadas, todas as características significativas do processo estão garantidas e o plano de controlo do produto está finalizado e aprovado (FMEA Reference Manual, 2011).

4. FMEA de Serviço – Esta vertente é usada para analisar o serviço da organização. Como **outputs** tem uma lista de potenciais falhas analisadas quanto à criticidade, de tarefas ou processos críticos e/ ou significativos e uma lista de ações corretivas. Para além disto, identifica os processos que reduzem a capacidade do sistema e fornece, também, uma lista de funções que permitem monitorizar o sistema e processo. Deste modo, beneficia o sistema e/ ou processo ao analisar o fluxo produtivo, identificar tarefas deficitárias e desenvolver de planos de controlo.

Os tipos de FMEA mais utilizados são o FMEA de *Design/* Produto e o FMEA de Processo e, por isso, estes serão o foco deste trabalho.

Importa também referir que, independentemente do tipo de FMEA aplicado, o objetivo da metodologia é minimizar as falhas possíveis, promovendo a melhoria contínua.

O FMEA deve ser realizado sempre que se enquadre num dos seguintes casos (FMEA Reference Manual, 2011):

- Caso 1 – Criação de novo design, nova tecnologia ou novo processo;
- Caso 2 – Modificação no projeto ou processo existente;
- Caso 3 – Alteração do local ou *layout/* fluxo produtivo.

2.4 Metodologia do FMEA

A fase inicial do desenvolvimento de um produto constitui-se como a fase mais importante para aplicação do FMEA, uma vez que é neste momento que podem ser analisados modos de falhas que poderiam ser incorporados no produto final, resultando em efeitos de falhas que colocam o produto menos fiável. A ferramenta deve ser aplicada antes da falha e nunca após a falha, como resposta para a falha. Ainda assim, é crucial avaliar qual o momento certo para implementação desta metodologia, dependendo da tipologia de cada projeto específico (FMEA Reference Manual, 2011).

Teoricamente, se aplicado de forma correta, o FMEA constitui um processo iterativo sem fim, já que deve ser revisto e atualizado sempre que ocorrer qualquer alteração no produto ou processo já existente, criação de novos tipos de produto, sistema ou processo, uma modificação no projeto ou produto que desencadeie um impacto indireto e não propositado, a introdução de novos requisitos normativos ou legais, identificação de falha por via de reclamação de cliente ou introdução do produto ou processo num ambiente ou aplicação diferente do inicialmente projetado.

É necessário referir que a análise FMEA também pode ser realizada em produtos/processos que já se encontram em produção, por forma a identificar oportunidades de melhoria.

Caso ainda esteja numa fase inicial, as ações definidas no FMEA, podem implicar alterações no produto/ processo mais simples e que impliquem menores custos, face às alterações necessárias numa fase mais tardia (Pedrosa, 2014; Soares, 2015).

2.4.2 Sequência de preenchimento do formulário FMEA

De acordo com o Manual de Referência FMEA, são necessárias 22 etapas para o preenchimento do FMEA, que serão sumariamente descritas. Todos os tipos de FMEA seguem o mesmo formulário e devem seguir os mesmos passos identificados (FMEA Reference Manual, 2011).

1. Código de Rastreabilidade

O documento deverá ter um código identificativo, para facilitar a rastreabilidade e pesquisa para utilizações futuras.

2. Identificação do produto/ processo em análise

Neste ponto, no caso de FMEA de Produto deverá ser estudado cada componente em particular. Quanto maior detalhe, mais informação resultará do FMEA. No caso de FMEA de Processo, deverá também ser detalhado tanto quanto possível, e deverá ter como *inputs* o FMEA de *Design* e o fluxograma de processo previamente definido.

3. Identificação do responsável do Projeto

A indicação do responsável de projeto, colocada neste ponto, deverá ser o nome do gestor do projeto, ou seja, deverá ser o responsável máximo pelo desenvolvimento e cumprimento do projeto. Este deve ser um elemento chave na presença da equipa FMEA.

4. Identificação do responsável pelo FMEA

Deverá ser colocado nesta secção o nome do responsável/ líder do FMEA a desenvolver. Este é responsável por agendar, reunir a equipa e liderar as sessões definidas para o FMEA. A seleção do responsável pela liderança do FMEA deverá ser decidida pela organização, não havendo qualquer regra pré-definida à partida.

5. Identificação do Produto/ Processo

A identificação do produto ou processo a estudar, deverá ser colocada nesta secção, por forma a facilitar a perceção do produto/ processo estudado.

6. Data Chave

Definição da data prevista de conclusão do FMEA.

7. Data de Revisão

Deverá ser colocado nesta seção, a data da última alteração, e alterado a codificação para refletir a versão mais recente.

8. Definição da equipa responsável pelo FMEA

Deverão ser definidos quais os responsáveis por departamento a integrar a equipa de realização FMEA, e gestão das tarefas identificadas neste. A equipa deverá integrar colaboradores experientes de diversos setores como engenharia de projeto, produção, montagem, manutenção, compras, logística, qualidade, comerciais e fornecedores quando se pretende utilizar uma nova tecnologia desconhecida internamente. Desta forma, a integração de colaboradores de quadros técnicos e quadros operacionais permite a identificação de maior número de modos de falha no início do projeto, devido às diversas experiências e perspetivas pessoais. É importante garantir que no início do FMEA, toda a equipa tem o mesmo nível de conhecimento sobre funções e requisitos do produto/ processo.

9. Identificação de elementos ou processos sujeitos a falhas

A função de cada componente do produto ou etapa do processo deve ser indicada, podendo ser adicionada mais que uma função por componente ou etapa. Quanto maior for o detalhe nas funções descritas, maior será a facilidade de organização da informação e análise das potenciais falhas.

10. Identificação dos possíveis modos de falha

O modo de falha potencial é definido como a maneira que um componente, sistema ou subsistema, falha no cumprimento das suas funções inicialmente previstas (objetivos do projeto/processo). A identificação dos modos de falha deve ser feita através de uma análise crítica, recorrendo à consulta de problemas passados e à discussão em equipa.

11. Identificação dos potenciais efeitos de falha

No preenchimento deste campo, devem ser identificados todos potenciais efeitos de falha por cada modo de falha. É recomendável usar dados históricos internos, documentos de garantia, estatísticas de reclamações de cliente, dados de fiabilidade, entre outros.

12. Classificação do índice Severidade

A severidade (S) é definida pela gravidade do impacto negativo provocado pelo modo de falha. Este índice está classificado na tabela 1, onde os valores podem variar de 1 a 10, consoante o grau de severidade da falha, sendo 1 uma gravidade impercetível e 10 a pior classificação a nível de gravidade relativamente ao nível de risco da segurança do utilizador.

A determinação do índice de severidade envolve diversos fatores como efeitos possíveis no utilizador e meio envolvente, o desempenho funcional do produto ou processo, o cumprimento de exigências contratuais impostas pelo cliente e cumprimento de requisitos legais. A severidade só pode ser reduzida com uma alteração ao produto ou processo (Cruz, 2012).

Tabela 1 - Tabela classificação do índice de Severidade (Moura, 2000)

Efeito	Critério - SEVERIDADE	Índice de Severidade
Perigoso sem aviso prévio	Nível de gravidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do produto e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Nível de gravidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do produto e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	9
Muito alto	Produto não funcional, com perda das funções primárias.	8
Alto	Produto funcional, mas com nível de desempenho reduzido. Cliente insatisfeito.	7
Moderado	Produto funcional, mas com nível de conforto baixo. Cliente sente desconforto.	6
Baixo	Produto funcional, mas com nível de conforto e desempenho reduzido. O cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito baixo	Forma e acabamentos não conformes. Defeitos notado pela maioria dos clientes.	4
Menor	Forma e acabamentos não conformes. Defeitos notado por alguns clientes.	3
Muito Menor	Forma e acabamentos não conformes. Defeitos notado por clientes acurados.	2
Nenhum	Sem efeito no produto ou processo	1

13. Classificação das características críticas

Aqui, deverá ser classificada qualquer característica especial de alguns componentes e que necessitem de controlos adicionais.

14. Causas potenciais

Para determinação da causa, a equipa deve indagar o motivo do desvio relativamente ao objetivo de projeto. A elaboração de diagrama causa-efeito pode ajudar na perceção das diversas causas e respetivas falhas.

Algumas das causas típicas são consequência de especificações de material incorretas ou manutenção de equipamentos inadequadas. É muito importante identificar claramente o motivo da causa, quer seja humano ou um equipamento.

15. Classificação do índice Ocorrência

A ocorrência (O) é definida como a probabilidade de aparecimento de um modo de falha no produto ou processo. Este índice está classificado na tabela 2, onde os valores podem variar de 1 a 10, consoante o grau de probabilidade de ocorrência do modo de falha, sendo 1 uma ocorrência muito remota e 10 uma ocorrência quase certa.

Para a determinação do índice de ocorrência devem ser incluídos dados de ensaios do tempo de vida do componente, taxas de falha disponíveis em bases de dados, falhas ocorridas durante o desenvolvimento do produto/ processo e o histórico de falhas de produtos semelhantes (Soares, 2014).

A ocorrência pode ser reduzida através de melhorias nas especificações técnicas e requisitos do processo, com objetivo de prevenir as causas e reduzir a taxa de falhas (Cruz, 2012; Soares, 2015).

Tabela 2 - Tabela classificação do índice de Ocorrência (Moura, 2000)

Critério - OCORRÊNCIA	Taxa de falha	Índice de Ocorrência
Muito alta: A falha é quase inevitável	1/2	10
	1/3	9
Alta: Geralmente associada a processos similares aos anteriores que apresentaram falhas frequentes	1/8	8
	1/20	7
Moderada: Geralmente associada a processos similares aos anteriores que apresentaram falhas ocasionais, mas não em maiores proporções	1/80	6
	1/400	5
	1/2000	4
Baixa: Associada a processos similares que apresentaram poucas falhas	1/15000	3
Muito baixas: Associada a processos quase idênticos que apresentaram apenas falhas isoladas	1/150000	2
Improvável: Falha é improvável. Processos quase idênticos nunca apresentaram falhas	1/1500000	1

16. Controlo ou Prevenção do atual projeto/ processo

Neste ponto do formulário FMEA, devem ser indicadas as ações que previnem e/ ou minimizam a ocorrência de falha, a sua causa e controlo do efeito. Prioritariamente devem ser determinadas medidas de controlo que reduzam o índice de ocorrência (O) para evitar que o modo de falha ocorra, e depois destas, implementadas medidas de controlo que possibilitam a deteção das causas e modos de falha, como forma de prevenir os impactos no produto/ processo.

17. Classificação do índice Deteção

A Deteção (D) é definida como a probabilidade de um procedimento de controlo detetar a causa ou o modo de falha no produto/ processo, por forma a impedir a produção de componentes fora de especificação. Este índice está classificado na tabela 3, e tem a escala invertida relativamente aos índices de Severidade e Ocorrência, pois neste quanto maior for o índice atribuído, mais difícil é a sua deteção. Os valores podem variar de 1 a 10, consoante a probabilidade de deteção da causa ou modo de falha, sendo 1 uma deteção quase certa e 10 uma deteção quase impossível (Soares, 2014; Soares, 2015).

A deteção pode ser reduzida através da melhoria das técnicas de inspeção ao produto, aumento do tamanho das amostras de controlo ou pela adição de equipamentos de controlo. Como resultado teremos um aumento da capacidade de deteção de falhas antes de expedição para clientes (Cruz, 2012).

Tabela 3 - Tabela classificação do índice de Deteção (Moura, 2000)

Deteção	Critério - DETEÇÃO	Índice de Deteção
Quase impossível	Não é conhecido controlo disponível para detetar o modo de falha.	10
Muito remota	Probabilidade muito remota que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	9
Remota	Probabilidade remota que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	8
Muito baixa	Probabilidade muito baixa que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	7
Baixa	Probabilidade baixa que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada que o controlo de projeto irá detetar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	5
Moderadamente alta	Probabilidade moderadamente alta que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	4

Alta	Probabilidade alta que o controlo atual irá detetar o modo de falha.	3
Muito alta	Probabilidade muito alta que o controlo irá detetar o modo de falha.	2
Quase certamente	Controlo atual quase certamente irá detetar o modo de falha. A confiança nos controlos de deteção é conhecida em processos similares	1

18. Cálculo de NPR (Número Prioritário de Risco)

Para determinação do risco associado ao produto/ projeto, o método utilizado é o cálculo do Número Prioritário de Risco (NPR), que representa o produto dos três índices severidade (S), ocorrência (O) e deteção (D).

$$NPR = S * O * D$$

Este avalia a ordem de prioridade de implementação de ações de melhoria, com base na severidade com que afeta o objetivo do produto/ processo, a probabilidade de ocorrência e a facilidade de deteção de cada modo de falha.

Os valores de NPR variam entre 1000 ($NPR=10*10*10$) e 1 ($NPR=1*1*1$). Para valores de NPR superiores a 100, recomenda-se que sejam implementadas ações imediatas. Devem ser implementadas ações prioritárias para valores parciais cujo índice de severidade seja igual ou superior a 9 e aos valores de NPR por ordem decrescente. A análise do valor NPR exige alguma precaução e ponderação no ato de classificação do índice de severidade, ocorrência e deteção, visto que demasiado otimismo na classificação poderá desviar a atenção de alguma função/ componente crítico do produto/ processo.

19. Definição de ações recomendadas

Após classificação dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Deteção (D) para cálculo do Número Prioritário de Risco devem ser definidas ações corretivas e/ ou de melhoria para os tópicos com maior índice NPR. Essas ações têm como principal objetivo, a redução dos índices de severidade, ocorrência e deteção.

Todos os valores de NPR deverão ter ações associadas, baseando-se na metodologia de melhoria contínua, no entanto, a equipa deve iniciar pelas ações consideradas prioritárias, como aquelas que tenham maior índice de severidade, uma vez que estas podem pôr em causa a segurança dos operadores e/ ou utilizadores e pelas que tenham valores NPR maior (Soares, 2015).

20. Identificação dos responsáveis e datas

No preenchimento deste campo, devem ser identificados quais responsáveis pela realização das ações corretivas recomendadas e os prazos definidos para implementação.

21. Medidas de Correção

Aqui devem ser descritas todas as ações realizadas e a data em que foram implementadas as ações de melhoria. Todas as ações que não foram executadas, não deverão estar descritas, ficando apenas na data de realização efetiva.

22. Cálculo de NPR Final após implementação de ações

Após a realização das ações definidas na primeira fase, procede-se à reavaliação do risco, aplicando novamente a fórmula do Número Prioritário de Risco obtida com o produto dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D). O NPR revisto deve ser sempre inferior à NPR inicial, já que após a implementação de ações, as causas das falhas deverão ter sido reduzidas e/ ou eliminadas e meios de detenção implementados. Caso não se verifique a redução, as ações de melhoria realizadas não foram eficazes.

Sempre que existirem alterações ao produto, processo, local ou ambiente de produção, o FMEA deve ser revisto e NPR avaliado.

2.4.3 Fluxograma de análise FMEA

Na figura 3, é apresentado um exemplo de fluxograma a seguir numa análise FMEA. Nele estão descritas todas as etapas a percorrer até à emissão de um relatório final validado.

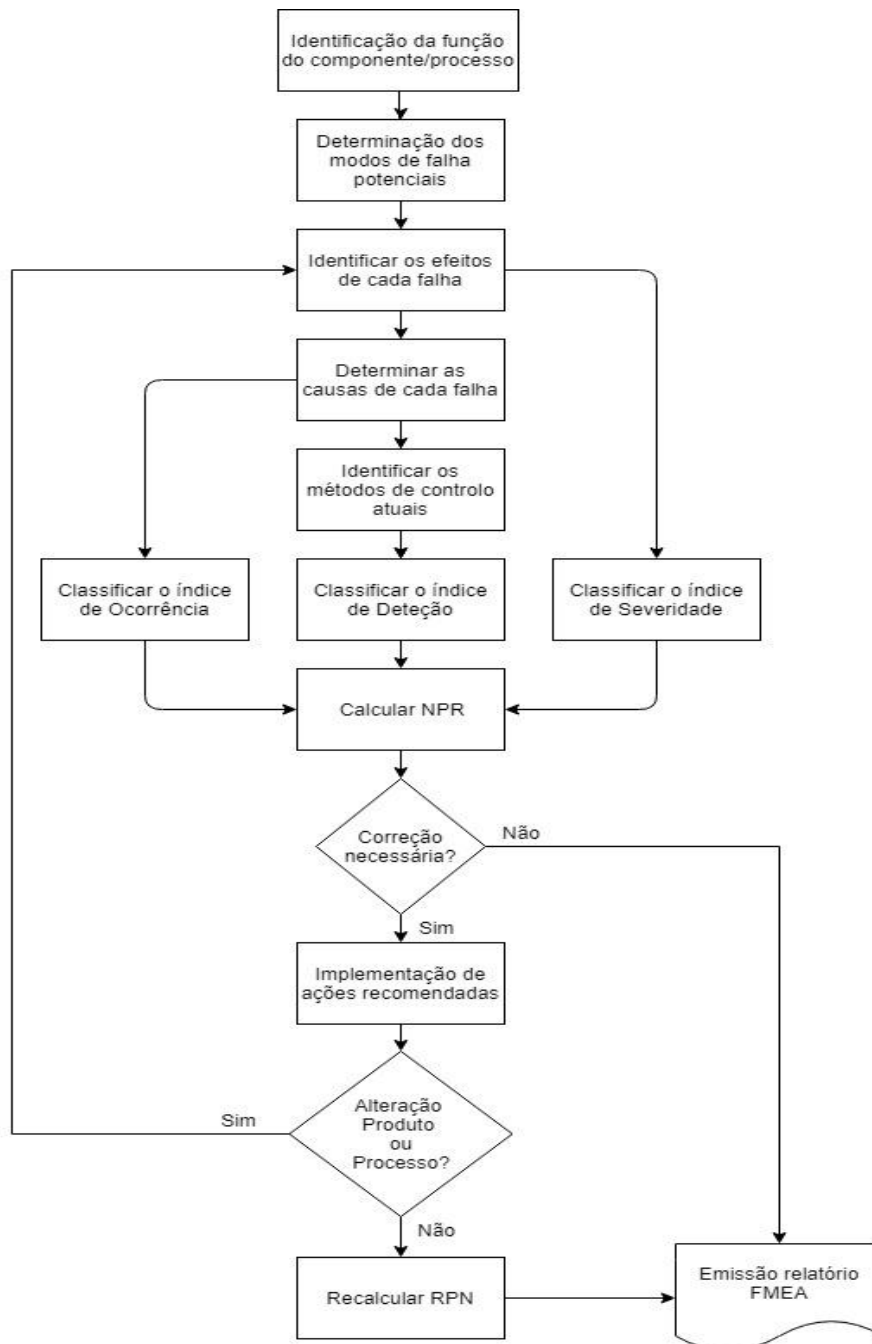
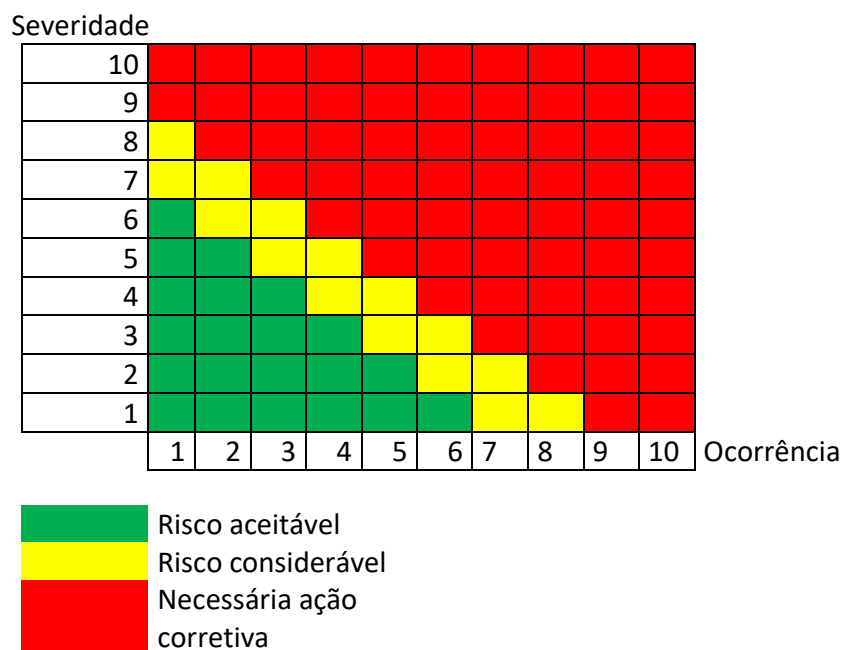


Figura 3 - Fluxograma de análise FMEA, (Rahm, Manger, Yock & Kim, 2016)

2.4.4 Determinação de prioridades

Após a realização do cálculo de NPR, deve ser dada prioridade às falhas com maior classificação de severidade e de ocorrência, independentemente do NPR associado. Para tal, como apresentado na tabela 4, pode ser elaborado um gráfico usando as escalas de severidade e ocorrência, ambas de igual comprimento, sendo a severidade (S) no eixo vertical e a ocorrência (O) no eixo horizontal. Todas as falhas que se posicionem na zona vermelha devem ser alvo de ações corretivas, as falhas que estejam na zona amarela, deverão ser melhoradas e as falhas que se situem na zona verde devem ser as últimas a ser analisadas devido ao nível de risco ser aceitável.

Tabela 4 - Matriz de Risco. Severidade – Ocorrência (Hartwell, John)



A organização pode também avaliar o índice de severidade duma falha, conjugado com o NPR, conforme apresentado na tabela 5, sendo facilmente identificadas quais as falhas que devem ser alvo de ações corretivas imediatas.

No eixo vertical está o índice da severidade, e no eixo horizontal está o NPR calculado anteriormente. As falhas que se situem na zona vermelha merecem toda a atenção no sentido de serem melhoradas assim que possível.

Tabela 5 - Matriz de Risco. Severidade – NPR (Hartwell, John)

Severidade

10	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
9	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
8	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
7	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
6	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
5	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
4	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
3	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
2	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
1	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

NPR (x100)

Red	Risco aceitável
Red	Necessária ação corretiva

2.5 Benefícios e Limitações do FMEA

A principal vantagem da análise FMEA é a identificação dos problemas nos produtos e/ou processos. Mas para além desta, existem outras vantagens (Lipol & Haq, 2011; Ford, 2011):

- Redução ao nível dos tempos e custos de desenvolvimento;
- Melhorias ao nível da qualidade, fiabilidade e segurança dos produtos e processos;
- Identificação antecipada e eliminação de potenciais não conformidades;
- Ênfase na prevenção e eliminação de erros sistemáticos;
- Minimizar alterações, bem como respetivos custos, antes e depois de entrada em produção;
- Redução de reclamações em período de garantia;
- Conhecimento para futura redução de falhas e vantagem técnica;
- Catalisador de trabalho em equipa multidisciplinar;
- Melhoria a nível da imagem da organização e vantagem competitiva;
- Melhoria da satisfação do cliente;
- Desenvolvimento de planos de controlo.

Anteriormente foram analisadas as vantagens da análise FMEA, contudo existem algumas limitações que devem ser refletidas, nomeadamente (Soares, 2014):

- Dificuldade em conseguir reunir uma equipa multidisciplinar;
- Pouca relevância atribuída à ferramenta, por exigir muito tempo, concentração, interação e entendimento quanto à forma de preenchimento do formulário;
- Dificuldade em rever a documentação após conclusão do FMEA inicial;
- Subjetividade na pontuação de Severidade, Ocorrência e Detecção;
- Na fórmula de calculo de risco, os índices de Severidade e Ocorrência têm a mesma importância, embora a Severidade necessite de uma intervenção prioritária;
- As falhas ocorridas nos equipamentos são analisadas uma a uma. A análise é, deste modo, direcionada para um único evento do problema. As combinações importantes entre as múltiplas possíveis falhas não são consideradas;
- Valores de NPR iguais, obtidos pelo produto dos índices $S * O * D$, podem ter consequências dos riscos completamente diferentes (Ex: duas situações com 1,4,3 e 4,1,3 que representam S, O, D respetivamente, resultam num NPR igual, mas com implicações ao nível de severidade do modo de falha bastante dispares.

2.6 Erros comuns e recomendações de melhoria na análise FMEA

A par das limitações existem erros comuns durante a aplicação da ferramenta, tais como (Soares, 2014):

- Incorreta definição do âmbito;
- Falha na definição da função do sistema ou subsistema (DFMEA);
- Falha na definição do requisito da função do processo (PFMEA);
- Falha na definição do requisito de desempenho relativo à função;
- Não identificação de todos os potenciais modos de falha;

- Incorreta identificação do cliente;
- Incorreta interpretação das classificações;
- Confundir modos de falha com efeitos ou com causas da falha;
- Incapacidade de implementação de ações recomendadas;
- Definição de ações não exequíveis;
- Demasiado otimismo na classificação da ocorrência ou detecção;
- Falha no reconhecimento da severidade da falha, efeito ou causa;
- Permitir que o FMEA se transforme numa revisão da concepção;
- Pouca interação do DFMEA com o PFMEA;
- Realização do PFMEA tardiamente, com poucos outputs visto que algumas decisões importantes possam já ter sido tomadas.

No seguimento das limitações e erros comuns enumerados, seguem-se algumas recomendações de melhoria:

- Um índice elevado de severidade deveria ter um NPR elevado, mesmo com índices de detecção e ocorrência baixos;
- Não tomar ações baseadas apenas no NPR, importa reduzir a Ocorrência e Severidade;
- Desenvolvimento de um software específico e certificado para FMEA;
- Evitar que o produto de Severidade, Ocorrência e Detecção seja obtido por forma a conseguir um NPR baixo. Este deve ser um valor real e o menos importante durante a realização do FMEA. Apenas deve ser considerado na fase de análise e toda de ações prioritárias;
- Uso de FMEA como uma base de conhecimento e lições aprendidas para futuros projetos;
- Implementação do controlo estatístico avançado em todos os processos, para que em novos projetos sejam obtidos valores corretos de ocorrência e detecção.

A EMPRESA

- 3.1 Apresentação da Empresa
- 3.2 Caracterização dos Produtos
- 3.3 Apresentação do Projeto
- 3.4 Caracterização do Processo

3 Caracterização da Empresa, Projeto, Produto e Processo

3.1 Apresentação da Empresa

Na década de 70, a eterna paixão pelas duas rodas e o enorme entusiasmo pelo motocross, levaram o atual CEO do Grupo Polisport, Pedro Araújo com seu irmão Paulo Araújo, a fabricar, de forma artesanal em fibra de vidro, na garagem da sua casa (figura 4) e ainda em tenra idade, os primeiros guarda-lamas para motociclos. Em 1978, apresentou-os ao mercado local que demonstraram desde logo muito interesse nas peças, numa altura em que conseguir novas peças de substituição para as motos era um enorme desafio e demoravam mais tempo a chegar do que aquilo que as pessoas estavam dispostas a esperar. Estava, deste modo, o negócio da Polisport estabelecido.

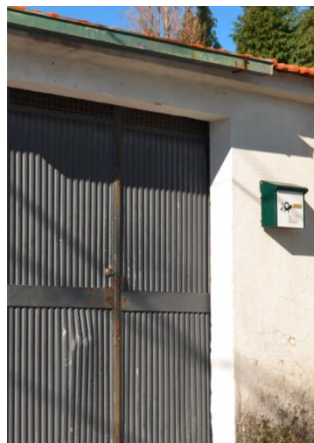


Figura 4 - Primeira instalação da Polisport (1978)

Em 1982 a Polisport começa a produzir as primeiras peças plásticas para motociclos, apresentadas na figura 5, e estas deram logo visibilidade internacional à Polisport.

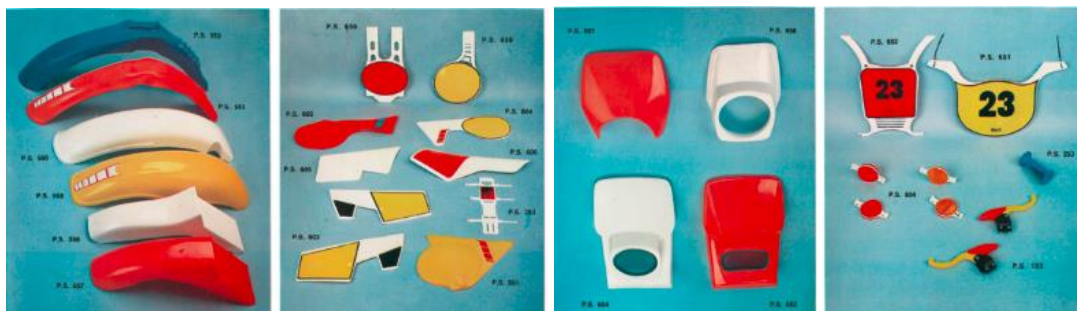


Figura 5 – Primeiras peças plásticas para motociclo (em 1982)

Até 1985, a produção da Polisport centrava-se apenas em acessórios plásticos para motos, no entanto, devido à abertura de mercados novos e à integração de Portugal na União Europeia (em 1986), a Polisport teve a necessidade de diversificar a sua gama de produtos, iniciando a produção de acessórios plásticos para bicicletas como guarda-lamas e porta-bebés, apresentados abaixo na figura 6.



Figura 6 – Primeiros guarda-lamas e cadeiras para bicicleta

Atualmente, passado mais de 40 anos, o Grupo Polisport, exporta 95% da sua produção, marcando presença em mais de 60 países dispersos por 5 continentes. O processo produtivo do grupo é distribuído por 6 empresas – Polisport Plásticos, S.A., Polinter Plásticos, S. A., Polisport Molds, Lda, Polipromotion, S. A., Headgy Helmets, S. A. e Polistar (Brasil) - e 7 instalações nacionais (figura 7). O grupo emprega 355 colaboradores, e todo o grupo está instalado no distrito de Aveiro, nos concelhos de Oliveira de Azeméis, Vale de Cambra e Arouca.

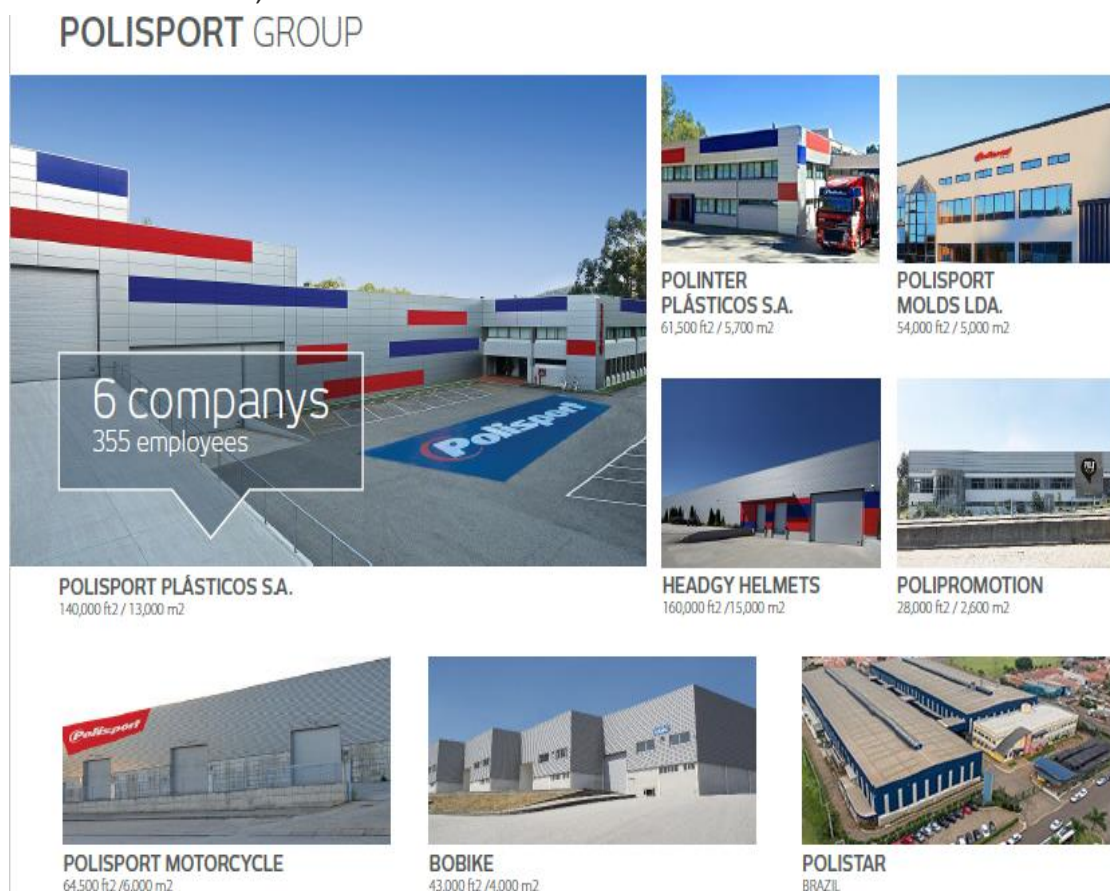


Figura 7 - Empresa e Instalações do Grupo Polisport, S.A.

A marca Polisport (logotipo da figura 8), referência no campo da inovação e da tecnologia, tem uma notoriedade mundial pelo prestígio, alicerçado na inovação, qualidade dos produtos, assim como pela diferenciação dos produtos desenvolvidos. A empresa Polisport, tem presente uma divisão interna entre produtos bicicleta e produtos moto. A Polisport *Cycle* (logotipo da figura 9) destina-se totalmente ao desenvolvimento e produção de artigos específicos para bicicleta, já a Polisport *Off-Road* (logotipo da figura 10) dedica-se ao desenvolvimento e produção de artigos específicos para motocicletas.



Figura 8 - Logotipo Polisport Plásticos, S.A.



Figura 9 - Logotipo Polisport Cycle



Figura 10 - Logotipo Polisport Off-Road

Esta divisão interna, permite às equipas de desenvolvimento maior foco e experiência em cada setor, contribuindo assim para o aumento da eficácia dos projetos e qualidade dos produtos desenvolvidos.

“Várias vezes ao longo da sua história,
a Polisport inovou, aprendeu, competiu e alcançou”
Pedro Araújo.

3.1.1 – Apresentação das empresas do Grupo Polisport

Polisport Plásticos

A Polisport Plásticos, S.A., sede de todas as empresas do grupo, visível na figura 11, deu início à atividade em 1978, ganhando durante este percurso um lugar de destaque nos cinco continentes, não só pela qualidade já anteriormente referida, mas também pelo know-how, flexibilidade e experiência. A empresa dá prioridade à investigação, ao desenvolvimento e às soluções tecnológicas próprias, com o intuito de criar produtos inovadores, fabricando sobretudo peças em polipropileno (PP) sempre adequadas às necessidades de cada mercado-alvo no que respeita à estética, resistência, qualidade dos acabamentos e durabilidade.

O Grupo Polisport tem o privilégio de reunir vários parceiros e fornecedores nacionais destacando-se as parcerias desenvolvidas na área do fabrico dos moldes e prototipagem. No entanto, todo o processo de gestão, validação e monitorização são feitos pela Polisport.

Todos os anos são lançados novos produtos inovadores pela empresa, sendo a contribuição destes novos produtos manifestamente relevante para o crescimento do volume de negócios. Com efeito, a disponibilização de produtos pioneiros tem permitido à Polisport conquistar novos segmentos de mercado e mesmo criar novos mercados. A responsabilidade social, agregada ao enquadramento local da Polisport, baseia-se também na disponibilidade da mesma em apoiar, em âmbito local e nacional, variadas atividades desportivas. No âmbito profissional, patrocina ainda o Campeonato Nacional de Motocross, Super Cross e Enduro, contribuindo para o desenvolvimento das modalidades no território nacional.

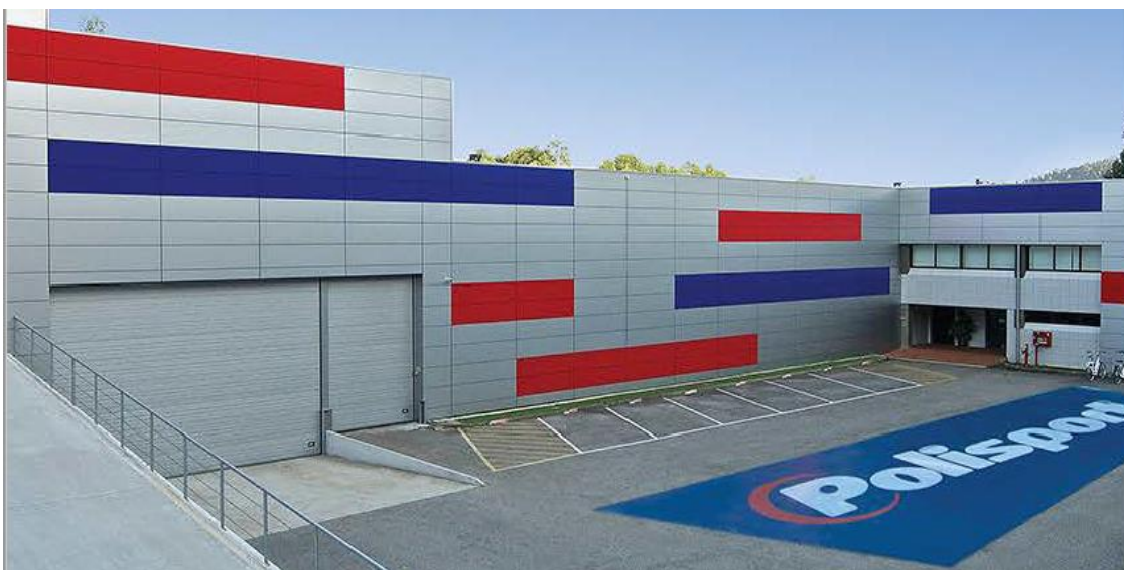


Figura 11 - Instalações da Polisport Plásticos, S.A. (sede Grupo Polisport)

Polinter Plásticos

A Polinter Plásticos, foi adquirida na totalidade pela Polisport em 2004, tornando-se então a unidade de injeção de peças plásticas do grupo. Nesta unidade, são injetadas as peças mais complexas, peças críticas (são aquelas que têm impacto direto na segurança do produto, já que em caso de falha, colocam em causa a integridade física do utilizador) e as peças OEM. Paralelamente, existem vários outros fornecedores de injeção, que fornecem peças menos técnicas de menor relevância.

Nesta unidade, estão instaladas 11 máquinas de injeção com capacidade de injeção de 68000h/ano, com massas que variam entre 1g e 4000g e com força de fecho de molde a variar entre 90 e 1000 toneladas.



Figura 12 - Parque de máquinas Polinter e sistema de abastecimento de matéria prima

Aqui são processadas algumas matérias primas, como: Polipropileno (PP), Poliamida (PA), Policarbonato (PC), Polietileno (PE), PMMA, TPE, TPU, ABS, entre outras. Os materiais mais utilizados são abastecidos às máquinas de forma automática por um circuito de aspiração centralizado. Apenas, para produções pequenas ou materiais específicos, são abastecidos junto à máquina. Mensalmente, a quantidade de matéria prima processada ronda as 30 toneladas.

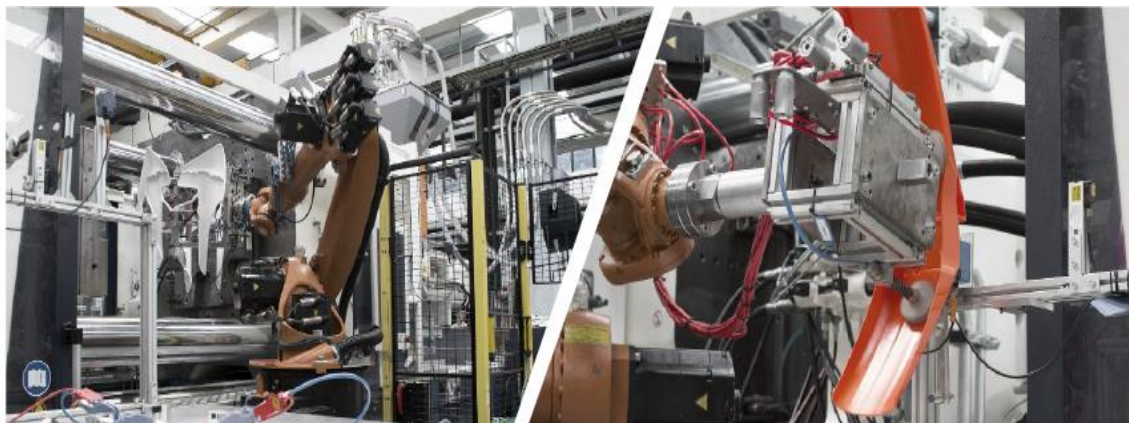


Figura 13 - Robots de 6 eixos "KUKA"

Todas as máquinas trabalham de forma automática, com recurso a robots cartesianos “Sepro” ou de 6 eixos “KUKA”, conforme visíveis na figura 13. Todas têm também doseadores de pigmento (corante) gravimétricos ou volumétricos. Existem também nesta unidades 6 deshumidificadores de matéria-prima.



Figura 14 - Instalações da empresa Polinter Plásticos, S.A.

A Polinter, cujo as instalações são visíveis na figura 14, labora durante 6 dias por semana, em 3 turnos de 8 horas por dia, e dispõe duma equipa própria de manutenção de moldes para rápidas intervenções, de modo a garantir curtas paragens produtivas, caso existam. Em caso de intervenções mais profundas, a Polinter recorre à Polisport Molds. A Polinter dispõe também dum sistema de gestão do parque de moldes existentes internamente.

Polisport Molds

A Polisport Molds (figura 15) foi fundada em 2012, para responder à necessidade de desenvolvimento e construção de moldes dentro do grupo.



Figura 15 - Instalações da Polisport Molds

Esta unidade trabalha durante 5 dias por semana, em 2 turnos de 8 horas por dia. Tem capacidade de produção de moldes até 16 toneladas, trabalhando com software CATIA V5. Esta empresa é especializada na construção de moldes (internos e de clientes externos), em protótipagem, ensaios de moldes, pré-série de validação de molde, manutenção aos moldes internos e externos e controlo dimensional.



Figura 16 - Área produtiva Polisport Molds

Headgy Helmets

A Headgy Helmets, apresentada na figura 17, foi criada em 2013, com o objetivo de fornecer o mercado europeu de capacetes de ciclismo, com uma estratégia inovadora na produção de capacetes de alta qualidade. A localização desta empresa, é um ponto forte comparativamente às empresas concorrentes maioritariamente chinesas. A empresa é detida em parte por uma empresa chinesa, líder mundial na produção de capacetes para ciclismo. A enorme redução do tempo de entrega aos clientes europeus, comparativamente às empresas chinesas, constitui-se como um ponto forte da empresa.



Figura 17 - Instalações da Headgy Helmets

A empresa tem como principais processos produtivos a serigrafia, a termoformação, o corte do microshell e a montagem do capacete. Relativamente à serigrafia, a Headgy Helmets tem 1 máquina (visível na figura 18) e trabalha com 1 turno de 8 horas diárias, tendo a capacidade de serigrafar 3000 capacetes por dia.



Figura 18 - Máquina de serigrafia da Headgy Helmets

Para a termoformação existem duas máquinas, que permitem produzir 2000 capacetes por dia. Já no processo de corte existe atualmente 1 máquina que produz 3200 capacetes por dia 2 linhas de montagem (apresentado na figura 19) que têm capacidade de produção de 5000 capacetes por dia.



Figura 19 - Linha de montagem de capacetes Headgy Helmets

Polistar

A Polistar, apresentada na figura 20, foi criada em 2014 com o objetivo de fornecer o mercado brasileiro e também todo o mercado sul americano. Esta empresa está situada no Brasil e faz montagem e distribuição de alguns artigos, reduzindo assim os custos de transporte entre a Europa e a América do Sul. Os produtos seguem em componentes e saem desta empresa já completamente montados em produto final.



Figura 20 - Instalações da Polistar (Brasil)

Polipromotion

Em 2018, surgiu a última empresa do grupo (figura 21), designada de Polipromotion, com o objetivo de produzir e customizar bidões desportivos. Desta forma, qualquer cliente poderá criar o seu próprio design, visualizar o efeito virtualmente e avançar para a compra de produtos personalizados.



Figura 21 - Instalações e produto Polipromotion

3.1.2 – Missão, Visão, Estratégia e Valores do Grupo Polisport

A missão da Polisport é conceber e produzir produtos inovadores para veículos de duas rodas, distinguindo-se pela performance, segurança e qualidade e tem como visão ser líder pela notoriedade da marca através da inovação, qualidade, diferenciação tecnológica e design dos produtos. A figura 22 situada abaixo, é apresentada a política de gestão do grupo quantos às áreas de missão, visão, estratégia e valores.

MISSÃO, VISÃO, ESTRATÉGIA E VALORES

política de gestão



MISSÃO

Conceber e produzir produtos inovadores para veículos de duas rodas, distinguindo-se pela performance, segurança e qualidade.



VISÃO

Ser líder pela notoriedade da marca através da inovação, qualidade, diferenciação de tecnologia e design dos produtos.



ESTRATÉGIA

Acreditamos que o sucesso do Grupo Polisport passará pelos seguintes desafios:

- A Inovação, através do lançamento contínuo de novos produtos, novas tecnologias e processos de promoção da imagem de marca;
- O Serviço, pela criação de parcerias com clientes e fornecedores.



VALORES

Apostamos internamente nas competências dos nossos colaboradores e das nossas capacidades tecnológicas fomentando uma cultura interna que privilegie:

- Orientação para o cliente;
- Inovação e Criatividade;
- Ética;
- Flexibilidade e Polivalência.

Garantimos o compromisso de melhoria contínua do nosso Sistema de Gestão.

Figura 22 - Missão, Visão, Estratégia e Valores do Grupo Polisport

A estratégia do Grupo passa por alguns desafios como a inovação, através do lançamento contínuo de novos produtos, novas tecnologias e processos de promoção da imagem de marca e o desafio do Serviço, pela criação de parcerias com clientes e fornecedores, assente em valores como a aposta interna nas competências dos colaboradores e nas capacidades tecnológicas fomentando, deste modo, uma cultura interna que privilegie a orientação para o cliente, inovação e criatividade, ética, flexibilidade e polivalência.

3.1.3 – Organograma Grupo Polisport

Até 2005 o modelo de negócio da Polisport baseava-se em apenas três departamentos, sendo eles a produção, vendas e financeiro. Todavia, com a necessidade da empresa se adaptar às novas exigências do mercado, houve necessidade de reestruturação interna. Conforme visível na figura 23, atualmente o Grupo Polisport, estruturalmente e hierarquicamente, está organizado da seguinte forma:

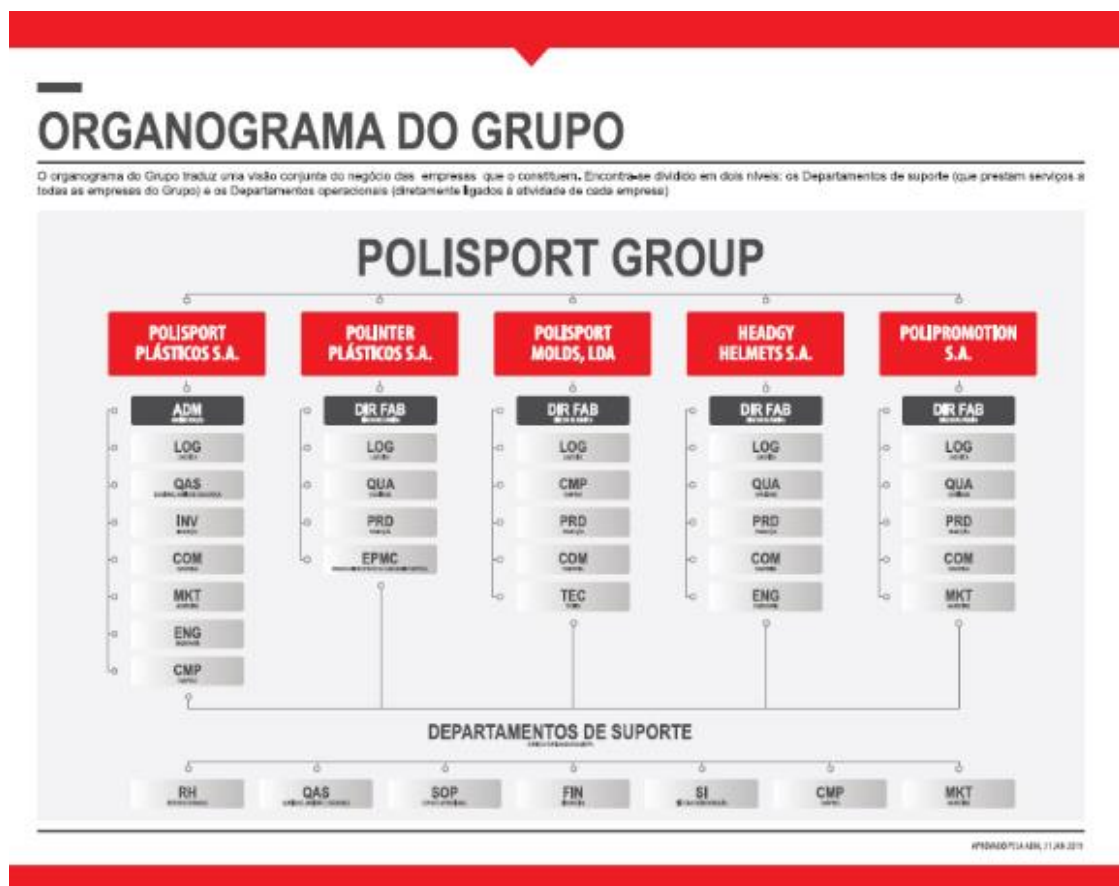


Figura 23 - Organograma do Grupo Polisport

Cada empresa labora de forma independente, onde têm os seus próprios departamentos, e são auxiliados por departamentos de suporte gerais a todo o grupo, em todos os departamentos que não existam internamente por decisão estratégica. Cada empresa, responde diretamente ao Grupo Polisport.

3.1.4 – Análise Financeira do Grupo Polisport

O grupo Polisport está em constante crescimento e desenvolvimento, com diversos projetos em curso, 50 patentes, 84 design registados e patenteados, 8 marcas registadas, 2 prémios IMDA (*In-Mold Decorating Association*), entre outros nobres reconhecimentos.



Figura 24 - Crescimento Grupo Polisport (2015-2025)

O Grupo Polisport, conforme visível na figura 24, caracteriza-se pelo foco de crescimento anual acima de 10%. De acordo com o gráfico acima, é notória a tendência de crescimento nos últimos anos, e a expectativa nos próximos anos. Este crescimento deve-se essencialmente ao foco em projetos inovadores e à exportação da sua produção quase na totalidade.

Analisando a tendência apenas no setor de moto, marca Polisport, visível na figura 25, acompanha o crescimento obtido e o esperado pelo Grupo Polisport. O objetivo traçado está de acordo com a tendência dos últimos anos, e espera-se em 2025 quase duplicar a faturação neste segmento. Este crescimento deverá ser sustentado no desenvolvimento de novos projetos, projetos inovadores, altos níveis de qualidade de produto e serviço, e ampla variedade de produtos que atendam às necessidades dos clientes.

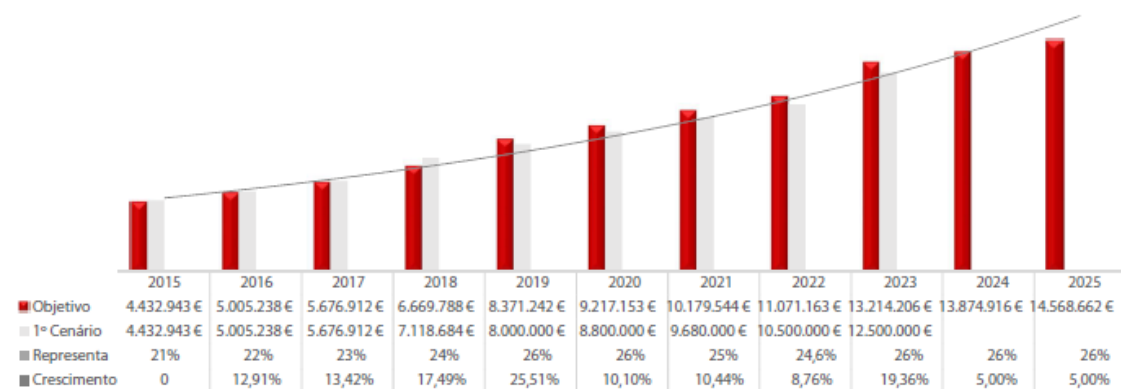


Figura 25 - Crescimento do segmento MOTO Polisport (2015-2025)

3.2 Caracterização dos Produtos e principais clientes

A Polisport encontra-se dividida em três segmentos de mercado: acessórios para as bicicletas; acessórios para motos e produtos OEM, sendo que o *core business* da Polisport são produtos plásticos para veículos de duas rodas: bicicleta e moto.

3.2.1 - Produtos bicicleta Polisport

Para o ramo de bicicleta a Polisport dispõe de um vasto leque de produtos. A oferta contempla produtos como capacetes, bidões, guarda-lamas e porta-bebés, sendo líder europeia neste último produto. A enorme variedade de produtos dentro de cada gama, dá à Polisport um lugar de destaque junto do mercado mundial. Em todos os produtos, existem sempre vários modelos com pequenas diferenças, adaptados às necessidades dos clientes, de modo a satisfazer as necessidades de qualquer cliente, em qualquer parte do mundo, com garantia dum produto de excelência.

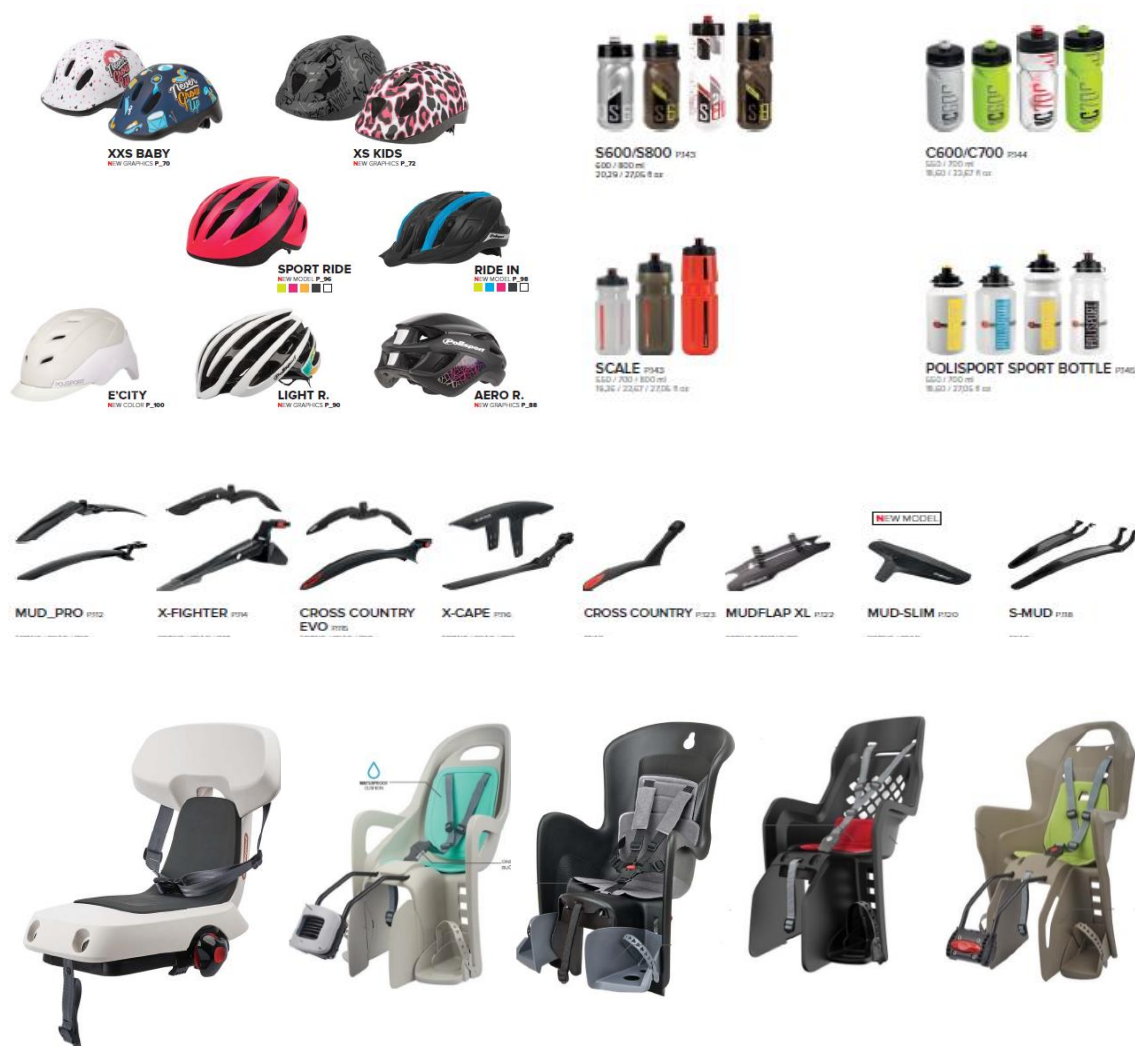


Figura 26 - Exemplos produtos bicicleta Polisport

3.2.2 - Produtos moto Polisport

Para o sector das motos, a Polisport produz diversos componentes e acessórios plásticos destacando-se as carenagens, porta-faróis, protetores de mão, cavaletes, e proteções individuais, conforme visível na figura 27. A empresa tem inúmeros projetos de produtos inovadores em desenvolvimento atualmente, de modo a estar sempre a responder às necessidades dos clientes. A ampla oferta de acessórios de proteção das motos *Off-Road*, traz à empresa uma grande notoriedade mundial.

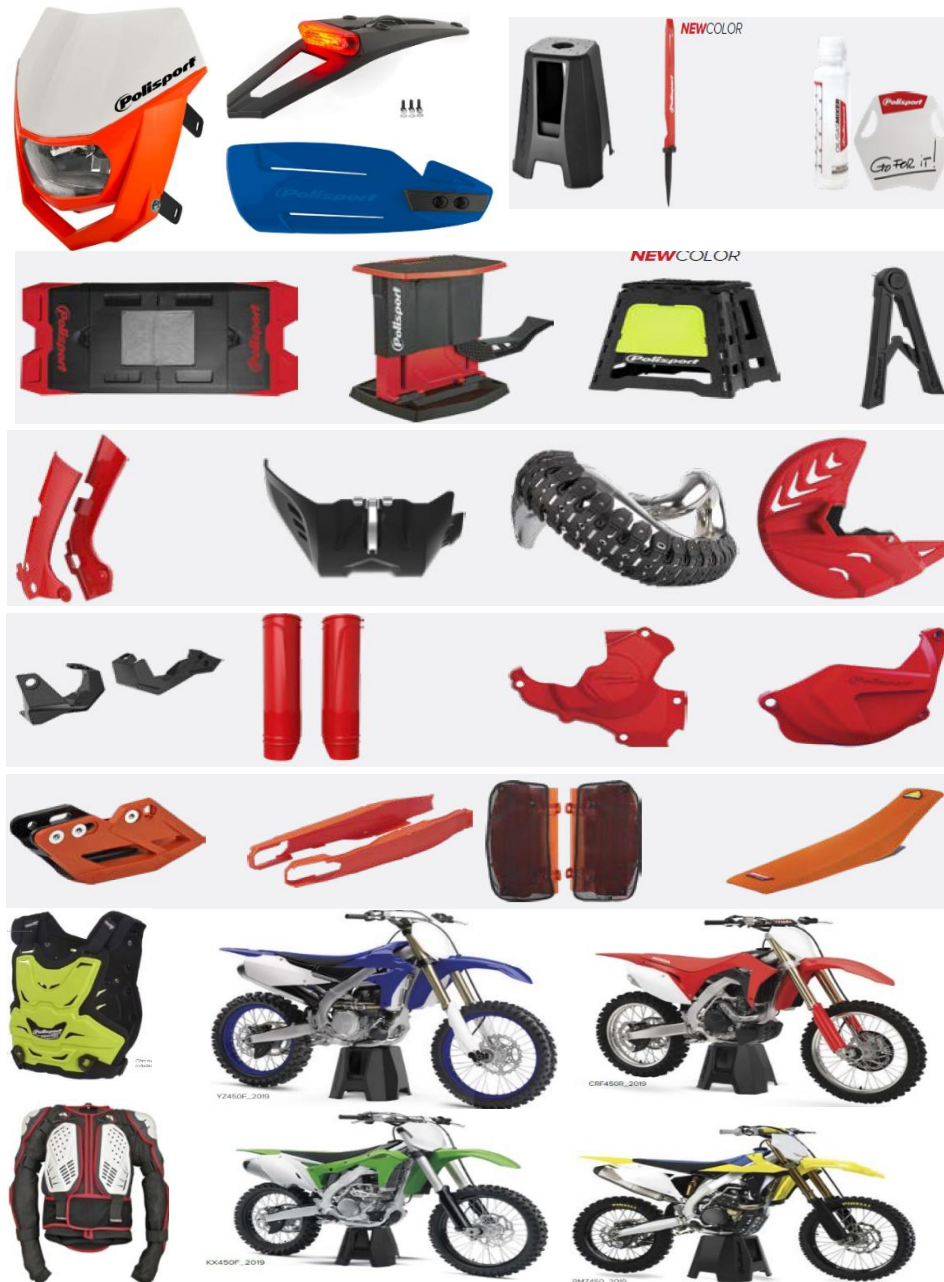


Figura 27 - Exemplo de produtos Polisport Off-Road

3.2.3 – Produtos OEM

A Polisport tem inserido no seu processo produtivo de injeção plástica, algumas tecnologias como, a tecnologia IPD (*In-mold Plastic Decals*) patenteada em 2005, que funde películas gráficas com peças plásticas como alternativa aos tradicionais autocolantes gráficos, conforme visível na figura 28.



Figura 28 - Exemplo de peças OEM com tecnologia IPD

As outras tecnologias internas, referentes à figura 29, são a tecnologia DGP (*Durable Gloss Polypropylene*) que permite produzir peças em alto brilho, alta flexibilidade e longa durabilidade através da combinação de dois polímeros diferentes, a tecnologia DI (*Dual Injection*) que injeta dois tipos diferentes de material na peça (polipropileno (PP) e borracha) e a tecnologia PD+ (*Plastic Decor Plus*) que se considera é o nível seguinte à IPD pois permite oferecer a oportunidade de efeitos especiais com películas personalizadas, em maiores áreas que a tecnologia IPD.



Figura 29 - Exemplos das tecnologias DGP, DI e PD+

Estas tecnologias permitiram assegurar o contato com outros mercados mais exigentes, como o setor OEM.



Figura 30 - Produtos moto OEM e cadeiras automóvel

Na figura 31 são apresentadas algumas marcas conceituadas na área das motos para as quais o Grupo Polisport fabrica peças OEM.

Na área das bicicletas, a Polisport fabrica produto OEM essencialmente para a conhecida marca DECATHLON e na área automóvel, fabrica para a marca norueguesa BeSafe, que vende cadeiras para transporte de bebés no automóvel.



Figura 31 - Principais clientes OEM

3.3 Apresentação do Projeto em estudo

A empresa Polisport Plásticos destaca-se pela grande diversidade de acessórios plásticos para veículos de 2 rodas. A ausência de um *jerrycan* para transporte e abastecimento de combustíveis em veículos *Off-Road*, revelou-se como uma oportunidade de desenvolvimento de um produto inovador para a empresa, permitindo assim aumentar a sua variedade de acessórios e notoriedade da marca no mercado.

A empresa tem por sistemática, no início de cada projeto, a realização de uma reunião de *briefing* para lançamento de novo produto, onde esta é previamente preparada pelo departamento de *Marketing*, e apresentado um relatório de enquadramento à equipa projeto. Com base na análise de mercado, é definida a estratégia de desenvolvimento do produto, enquadrados o preços de custo de produção e preço de venda objetivo.

Com base nesse estudo de mercado, verificou-se que toda a oferta é bastante similar em termos de *design* e funcionamento, e que os clientes demonstram alguma insatisfação perante estas características. Neste sentido, surge a oportunidade de explorar um produto inovador com um *design* e funcionamento apelativo.

A próxima fase consiste, deste modo, foi desenvolvida a *SWOT*, presente na tabela 6, que permite à organização perceber qual o seu posicionamento numa fase inicial.

Tabela 6 - Análise SWOT

	Ajuda	Atrapalha
Internas	<p>Forças</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Design Interno 2. Possibilidade de inovar ao nível do design e funcionalidade do produto 3. Aproveitar linha de acessórios existentes e tentar criar um design coerente – Bikestand/tripod 4. Alargamento de gama 	<p>Fraquezas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pouca experiência a desenvolver este género de produto 2. Preço target – pode impedir a apresentação de produto diferenciado
Externas	<p>Oportunidades</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Apresentar um produto inovador com features diferentes das que existem actualmente no mercado 2. Tentar integrar o bidão com os acessórios existentes de forma funcional – vantagem para o consumidor ter “pack” 	<p>Ameaças</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Procura de parceria para fornecer o produto – (Fará mais sentido encontrar parceiro e comprar)

No Grupo Polisport, a definição de equipa projeto está automaticamente definida, isto é, como o setor de atividade está claramente separado da área de bicicleta, a equipa projeto transitou para este projeto. Portanto, na tabela 7 está definida a equipa projeto e qual a função de cada elemento.

Tabela 7 - Identificação dos elementos para equipa projeto

Sigla	Nome	Departamento	Função
FIMAG	Filipe Magalhães	ENG - Engenharia	Gestor Projeto
AVFER	Avelino Ferreira	ENG - Engenharia	Gestor Projeto
RUCRU	Rúben Cruz	QAS - Qualidade, Ambiente e Segurança	Gestor Qualidade Projeto MOTO
ANVIN	António Vinha	COM - Comercial	Gestor de Clientes
RUFER	Rui Fernandes	COM - Comercial	Gestor de Clientes
HETAV	Hélder Tavares	MKT - Marketing	Técnico de Marketing <i>Off-Road</i>
MIPIIN	Miguel Pinto	INV - Inovação	Técnico de Inovação
PAGOM	Paula Gomes	LOG - Logística	Gestor de Encomendas
ANPAI	André Paiva	CMP - Compras	Comprador
LIFER	Liliana Fernandes	LOG - Logística	Gestora de Produção

Após a definição da estratégia e definição da equipa projeto é realizada uma reunião de entrada de requisitos, em que está presente toda a equipa projeto (multidisciplinar) e aí são definidos os requisitos que o produto deve cumprir, tais como:

- Cumprimento de toda a legislação obrigatória no país de venda;
- Não interferência com registos de patentes já existentes;
- Facilidade de uso (abastecimento do veículo) e mobilidade (transporte);
- Resistência e durabilidade;
- Todos os componentes devem ser resistentes quimicamente a combustíveis;
- Desenvolvimento de versão de 10 e 20 litros de capacidade, com a respetiva escala gravada;
- Existência de tampa para transporte, sistema de abastecimento com manqueira e sistema de abastecimento rápido;
- Sistemas de abastecimentos compatíveis com os diversos modelos e marcas de depósitos;
- Garantia de total estanquicidade em todo o corpo depósito e acessórios;
- Utilização ergonómica, com diferentes pontos de apoio;
- Existência de sistema auto-stop para não derramar de combustível no veículo;
- Tampas universais compatíveis com outros *jerry cans*;
- Existência de um frasco de óleo com escala para mistura na gasolina;
- Tampas com possibilidade de seleção da percentagem de óleo incluída.

Após a definição de todos os requisitos que o produto terá de cumprir inicia-se a fase de desenvolvimento do produto. Iniciou-se então o desenvolvimento de conceito design, desenvolvimento *jerrycan*, desenvolvimento da tampa convencional, tampa com mangueira, e desenvolvimento da tampa de enchimento rápido. Durante este desenvolvimento foi criada uma parceria com o PIEP – Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros que é uma associação privada sem fins lucrativos de matriz marcadamente tecnológica e científica. A experiência e conhecimento de elevado nível no desenvolvimento de produtos plásticos inovadores desta associação, demonstra-se com peça chave neste projeto.

Com o decorrer do desenvolvimento foram sendo criados alguns conceitos, conforme a foto 32, apresentada abaixo, tendo sido selecionada a proposta mais consensual pela equipa projeto e outros participantes.



Figura 32 – Propostas Iniciais Design do Corpo *Jerrycan* Polispport

De todas as propostas apresentadas, o conceito que mais se salientou foi o número 2. Esta decisão foi suportada pela equipa projeto e por uma avaliação de diversas pessoas fora da equipa projeto, por forma a obter desde cedo uma avaliação externa. Concluiu-se que este conceito tem um impacto positivo sobre a escolha do utilizador. Alguns dos restantes conceitos, além das possíveis complicações na industrialização resultantes da geometria, podem ser alvo de suspeitas sobre funcionalidade por parte do utilizador durante a sua compra.

Relativamente às tampas também foram apresentados dois conceitos, tendo sido selecionado o conceito 1, com algumas preferências pontuais do conceito 2. Neste conceito foi também solicitada a gravação de vários valores percentuais de mistura de combustível e óleo (*NO OIL*, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, 3%, 3,5% e 4%) e a criação de fixação para vedante interior.



Figura 33 - Propostas Design Tampa Convencional *Jerrycan Polisport*



Figura 34 - Propostas Design Tampa com Mangueira e de Enchimento Rápido *Jerrycan Polisport*

Após conclusão das ações de melhorias indicadas em cada conceito escolhido, podemos analisar o CAD quase final, abaixo apresentado na figura 35, onde já incluí o local de transporte do frasco do óleo.



Figura 35 - Conceito final *Jerrycan Polisport*

Neste conceito apenas foram trabalhados alguns aspetos como a gravação “Polisport”, “*performance plastics*”, a inserção da escala invertida em galões e litros, e a alteração da zona de inclusão do frasco misturador (branco) por forma a facilitar a extração do mesmo.

Após todas as melhorias indicadas pela equipa projeto, temos o CAD final abaixo apresentado com os 3 diferentes tipos de tampas.



Figura 36 - Conceitos CAD finais (Corpo *Jerrycan* e Tampas)

A escolha do conceito final a seguir neste projeto, permite à equipa avançar com o desenvolvimento de cada componente. O desenvolvimento de cada componente envolve as etapas de seleção de matérias-primas, criação de documentação técnica, definição de planos de inspeção e ensaio individuais e ao conjunto final, entre outros. A conclusão destas etapas permite então avançar com consultas de mercado à procura de possíveis fornecedores e entrega de primeiras amostras.

Na tabela abaixo está presente toda a lista de materiais necessários à produção deste conjunto.

Tabela 8 - Lista de materiais do *Jerrycan* Polisport

Produto	Subproduto	Componente	Quant.	U/M	Designação
84646 <i>Jerrycan</i> Polisport 10L	346000003 Tampa transporte	PP19950VQ	1	UN	corpo <i>jerrycan</i> 10L
		PP20099PR	1	UN	tampa convencional <i>jerrycan</i> pr
		PP1985122	1	UN	disco seletor <i>jerrycan</i> 22
		PP19951PR	1	UN	bujão <i>Jerrycan</i> 28x14 pr
		PP20038	1	UN	oring acessório mangueira 20x3
		PP19991PR	1	UN	anilha tampa 70x80x5

84646 <i>Jerrycan</i> Polisport 10L	3152700001 mangueira + <i>bender</i> proOctane	PP19873	1	UN	tubo respiro 8x670
		PP20038	2	UN	oring acessório mangueira 20x3
		PP19852PR	2	UN	acessório mangueira <i>jerrycan</i> pr
		PP19920	1	UN	mangueira enchimen.20x2,5x240
		PP19853PR	1	UN	tampa mangueira <i>jerrycan</i> pr
		CMD567	2	UN	<i>hose clamp</i> 24/8-W4
		PP19854PR	1	UN	<i>hose bender jerrycan</i> pr
	3152800001 Tampa de enchimento rápido	PP19855PR	1	UN	corpo válvula <i>jerrycan</i> pr
		PP1985122	1	UN	disco seletor <i>jerrycan</i> 22
		CMD566	1	UN	mola 37x2x53 3espiras to
		PP19921	1	UN	oring encosto depos.32*2,50
		PP19879PR	1	UN	encosto depósito <i>jerrycan</i> universal pr
		PP1985622	1	UN	direcionador fluxo <i>jerrycan</i> 22
		PP19922	1	UN	oring direcionador de fluxo 28x2,5
		PP19991PR	1	UN	anilha tampa 70x80x5
		PP19873	1	UN	tubo respiro 8x670
		CMD565	1	UN	aro metálico 38x33x2
		COL00005	0,0005	Kg	massa mult. silicone OKS1110
		3460000001	1	UN	oil/gas mixer 125ml
		ACA4527	1	UN	aut. <i>warning jerrycan</i>
		MAN0441	1	UN	manual ProOctane- Utility Can
		EBC1562	1	UN	caixa <i>jerrycan</i> 10L
		ACA3788	1	UN	Autocolante caixa 100x75mm
		ACA3858	1,58	m	fita cola Polisport

A Polisport Plásticos, durante o desenvolvimento de cada componente necessário ao produto final, recorreu a parcerias com alguns fornecedores específicos e especialistas. Estes componentes são, por exemplo, o corpo *jerrycan* (injeção por sopro de grandes dimensões), os vedantes, as abraçadeiras metálicas, a mangueira, o tubo de respiro, o frasco de óleo com serigrafia, entre outros.

Os restantes componentes são obtidos por injeção plástica em molde, e foram adjudicados a uma empresa de injeção externa ao grupo. Esta decisão, bem beneficiar a capacidade de resposta a empresa de injeção do grupo em outras necessidades do setor OEM ou peças consideradas críticas. Neste sentido, o *Process FMEA* está focado nos processos realizados internamente, sendo estes a receção técnica de materiais, o abastecimento da linha de montagem, a montagem, a inspeção de qualidade pós montagem e o embalamento.

3.4 Cronograma do Projeto

O arranque do projeto envolve inúmeras atividades de desenvolvimento. Devido ao elevado número de atividades a desenvolver, sendo algumas tarefas dependentes da conclusão de outras, torna-se essencial a construção de um cronograma. A realização deste, permite avaliar à partida todas as atividades, recursos, tempo e custos envolvidos.

Na figura 37, seguidamente apresentada, é possível verificar que foram realizadas 147 tarefas (tarefa 137 engloba 10 atividades), teve uma duração de aproximadamente 600 dias, um custo de 300.000€ e 5365 horas de trabalho associadas.

A realização da análise DFMEA recorreu nos meses de abril e maio de 2018, com revisão de conclusão de tarefas em julho. Esta análise decorreu após conclusão da atividade de geração de conceitos, onde ficou fechado o conceito final, e decorreu durante a atividade de Engenharia do Produto. Esta atividade foi acompanhada paralelamente pela atividade de análise de legislação.

A realização do PFMEA decorreu no mês de março e revisão em maio de 2019. Nesta fase já estavam construídos os moldes e em realização de testes com amostras iniciais. Foram avaliados todos os processos internos envolvidos na produção deste artigo e todas as ações necessárias para o bom desempenho produtivo deste artigo, na fase de produção série.

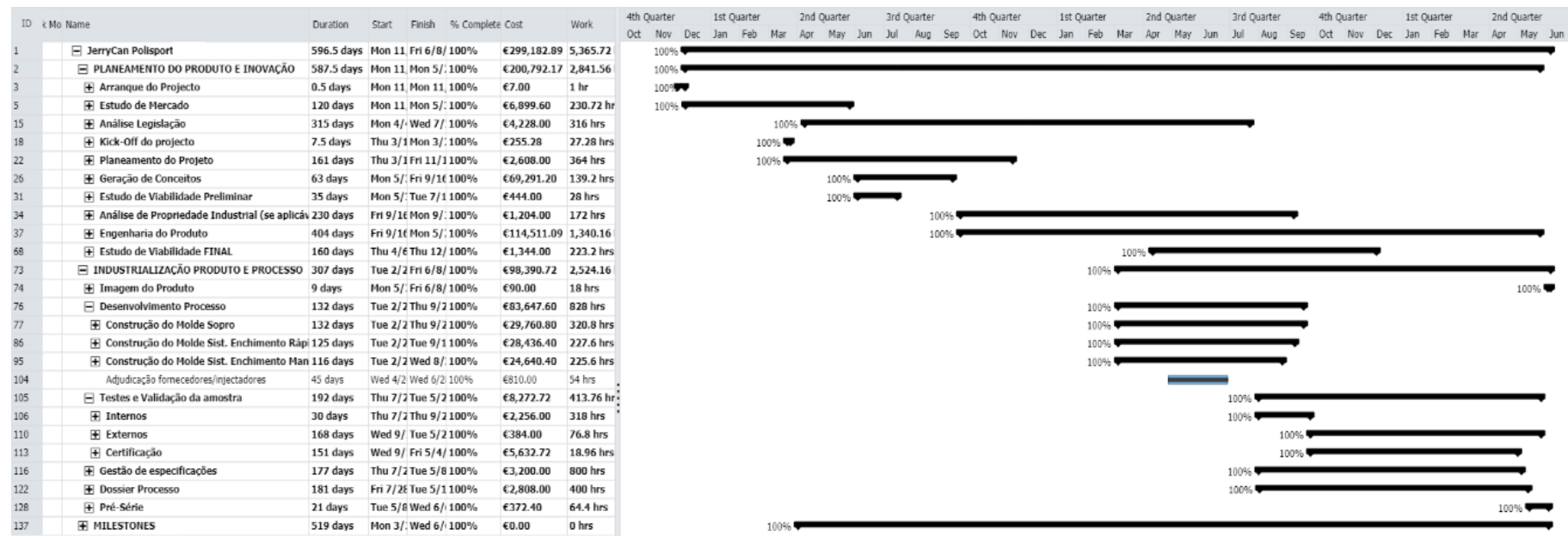


Figura 37 - Calendarização das atividades do projeto

DESENVOLVIMENTO

4.1 Aplicação DFMEA

4.2 Aplicação PFMEA

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Aplicação DFMEA



POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS -> FMEA Design FMEA ->DFMEA

- Polisport
- Polinter
- Polisport Molds
- Polipromotion
- Headgy Helmets

MP2815 - Jerrycan Polisport

Responsável Projeto: Filipe Magalhães FMEA leader: Filipe Magalhães N.º _____

Produto: 84646_Jerrycan Polisport Data-chave: 30-04-2018 / 08-05-2018 / 21-05-2018 / 29-05-2018 Data revisão: 31-07-2018

Equipa: FIMAG, RUCRU, AVFER, RUFER, LIFER, ANPAI, PAGOM, HETAV, ANVIN, MIPIN Página: 1 de 6

Nº Falha	Sistema/ Processo	Função	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito de Falha	Severidade	Classificação	Potenciais Causas de Falha	Ocorrência	Projeto/ Processo(s) de controlo atual Ação Preventiva	Projeto/ Processo(s) de controlo atual Ação de Detecção	Detecção	RPN	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Resultados da Ação				
															Ações Tomadas e Data Efetiva	Severidade	Ocorrência	Detecção	RPN
1	PP19950VQ Corpo Jerrycan 10L	Armazenar combustível	Baixa resistência química a combustíveis	Derrame de combustível	9	-	Incorreta definição da matéria prima	3	-	-	4	108	Realizar testes de resistência a diversos tipos de combustíveis	RUCRU 23/Jul/2018	13-jul-2018	9	2	2	36
2			-			Zonas com grandes diferenças de espessuras	3	-	-	3	81	Estudo de espessuras reais do componente	FIMAG 30/Jul/2018	Já realizado 20-fev-2018	9	3	3	81	
3			Falta de estanquicidade			-	Linha de solda de material pouco resistente	2	-	Teste em equipamento específico a cada lote fornecido (por amostragem)	6	108	Desenvolvimento de equipamento de teste / Realizar testes de pressão em laboratório	RUCRU 23/Jul/2018	Equipamento criação e testado 5-jul-2019	9	2	2	36
4			Falta de estabilidade do produto	Queda do produto	3	-	Deficiente análise das propostas CAD apresentadas	4	-	-	3	36							
5			Permite trocas gasosas	Contaminação atmosférica	9	-	Irregularidade no gargalho	4	Inspeção Qualidade Receção	-	2	72	Inclusão de informação na ficha técnica de componente	FIMAG 30/Jul/2018	26-jul-2018	9	2	2	36

6						-	Ausência do volume de expansão	3	-	-	1	9							
7			Dilatação do produto	Deformação do jerrycan	3	-	Matéria prima selecionada incapaz de garantir forma devido a aumento de pressão	5		Teste em equipamento específico a cada lote fornecido (por amostragem)	4	60	Desenvolvimento de equipamento de teste / Realizar testes de pressão em laboratório	RUCRU 23/Jul/2018	Equipamento criação e testado 5-jul-2019	3	2	2	12
8		Transportar combustível	Falta de resistência da pega	Pega partir	8	-	Falta de resistência da matéria prima	3	-	-	2	48	Realizar ensaio de esforço em laboratório	RUCRU 23/Jul/2018	13-jul-2018	8	2	2	32
9	Pega deformar			5	-	Espessura demasiado estreita	4	-	-	4	80	Realizar ensaio de esforço em laboratório	RUCRU 23/Jul/2018	13-jul-2018	5	2	3	30	
10			Rebarba/ apara no interior da pega	Lesão nos membros do utilizador	9	-	Incumprimento da tarefa de remoção de aparas	3	Inspeção Qualidade Receção	-	2	54	Inclusão de informação na ficha técnica de componente	FIMAG 30/Jul/2018	26-jul-2018	9	3	2	54
11			Produto abrir fenda em caso de queda	Derrame de combustível	9	-	Espessura demasiado estreita	4	-	-	4	144	Estudo de espessuras reais do componente	FIMAG 30/Jul/2018	27-jul-18	9	2	3	54
12			Ausência de gravação do código de homologação	Incumprimento legal	9	-	Não colocação / atualização do postigo com gravação	3			2	54	Inclusão de informação na ficha técnica de componente	FIMAG 30/Jul/2018	26-jul-2018	9	3	2	54
13		Trasfegar combustível	Incompatibilidade tampas	Impossibilidade montagem	8	-	Deficiente análise das propostas CAD apresentadas	2			2	32							
14			Permite fugas entre gargalo e tampa	Derrame de combustível	9	-	Ausência de vedante	5			5	225	Desenvolvimento de equipamento de teste a 100%	FIMAG / RUCRU 26/Jul/2018	24-jul-2018	9	2	2	36
15						-	Não apertado na totalidade	5			2	90	Inclusão de informação na ficha técnica de componente	FIMAG 30/Jul/2018	26-jul-2018	9	1	2	18
16		Fixar frasco do óleo	Não fixa o frasco do óleo	Perca do frasco	6	-	Incorreto dimensionamento do distanciamento entre apoios do frasco	1			4	24							
17	PP20099PR tampa convencional jerrycan pr	Bloquear saída de combustível	Ausência de estanquicidade entre gargalo e tampa	Derrame de combustível	9	-	Ausência de vedante interior devido a queda	4			4	144	Incluir agarras no CAD peça	MIPIN 23/Jul/2018	19-dez-2019	9	3	3	81
18			Ausência de estanquicidade entre tampa e bujão/acessório mangueira			-	Ausência de <i>orings</i>	5			7	315	Desenvolvimento de equipamento de teste a 100%	FIMAG / RUCRU 26/Jul/2018	24-jul-2018	9	2	2	36
19		Permitir acoplamento	Aperto insuficiente	Derrame de combustível	9	-	Não apertado na totalidade	5				2	90	Inclusão de informação na ficha técnica de componente	FIMAG 30/Jul/2018	26-jul-2018	9	1	2

20			Incompatibilidade dos acessórios	Impossibilidade montagem	8	-	Deficiente análise das propostas CAD apresentadas	2			2	32								
21		Indicação da percentagem de mistura	Ausência da numeração sobre percentagens	Desconhecimento sobre percentagem mistura óleo/combustível	3	-	Deficiente análise das propostas CAD apresentadas	2			2	12								
22			Dificuldade / Demasiada facilidade de rotação do disco seletor	Não rotação	8	-	Incorreta programação da cinemática do molde	5	Inspeção Qualidade Receção		4	160	Desenvolvimento de gabarit de controlo	FIMAG 30/Jul/2018	28-jun-2018	8	3	3	72	
23				Rotação difícil	6	-					4	120				6	3	3	54	
24				Rotação livre	5	-					4	100				5	3	3	45	
25		Selecionar percentagem	Não rotação / Demasiada facilidade de rotação	Rebarbas	3	-	Parametrização de injeção incorreta	3			2	18								
26	PP1985122 disco seletor jerrycan 22			Sobre-espessura (Rotação difícil ou não rotação)	6	-				4	72	Inclusão de informação na ficha técnica de componente	FIMAG 30/Jul/2018	26-jul-2018	6	2	3	36		
27	PP19951PR bujão Jerrycan 28x14 POM pr	Bloquear saída de combustível	Falta de estanquicidade	Derrame de combustível	9	-	Ausência de <i>orings</i>	5			5	225	Desenvolvimento de equipamento de teste a 100%	FIMAG / RUCRU 26/Jul/2018	24-jul-2018	9	2	2	36	
28						-	Não apertado na totalidade	4			2	72	Inclusão de informação na ficha técnica de componente	FIMAG 30/Jul/2018	26-jul-2018	9	2	2	36	
29	PP20038 PP19921 PP19922 Orings	Garantir estanquicidade	Baixa resistência química a combustíveis	Degradação do componente	9	-	Incorreta definição da matéria prima	2			4	72	Realizar testes de resistência a diversos tipos de combustíveis	RUCRU 23/Jul/2018	13-jul-2018	4	2	2	16	
30				-					4	72	9	2				36				
31			Ausência <i>orings</i>	Derrame de combustível	9	-	Erro humano na montagem	4			2	72	Desenvolvimento de equipamento de teste a 100%	FIMAG / RUCRU 26/Jul/2018	24-jul-2018	9	2	2	36	
32			Colocação incorreta			-		4			3	108	Desenvolvimento de equipamento de teste a 100%	FIMAG / RUCRU 26/Jul/2018	24-jul-2018	9	2	2	36	
33	PP19991PR anilha tampa 70x80x5 FKM 50 SH	Garantir estanquicidade	Baixa resistência química a combustíveis	Degradação do componente	9	-	Incorreta definição da matéria prima	5			5	225	Realizar testes de resistência a diversos tipos de combustíveis	RUCRU 23/Jul/2018	13-jul-2018	9	3	3	81	
34			Ausência vedante	Derrame de combustível		9	-	Erro humano na montagem	3			5	135	Desenvolvimento de equipamento de teste a 100%	FIMAG / RUCRU 26/Jul/2018	24-jul-2018	9	2	2	36
35			-				Tampa não garante fixação do vedante	5			3	135	Incluir agarras no CAD peça	MIPIN 23/Jul/2018	28-jun-2018	9	3	3	81	
36	PP19873 tubo respiro 8x670	Garantir fluxo de ar	Ausência de componente	Perca de componente	6	-	Erro humano de utilizador	4			3	72	Incluir agarras no direcionador de fluxo. No acessório de mangueira não é necessário	MIPIN 23/Jul/2018	28-jun-2018	6	2	3	36	

37				Produto solta-se	3	-	Dimensionamento de componentes	4			3	36	Incluir agarras no direcionador de fluxo. No acessório de mangueira não é necessário	MIPIN 23/Jul/2018	28-jun-2018	6	2	3	36
38			Passagem de ar inexistente	Fluxo de ar interrompido	2	-	Não realização de operação de corte a 45º no tubo	3		Processo de montagem de produto - interno	2	12	Colocar informação na instrução de trabalho	FIMAG 30/Jul/2018	26-jul-2018	2	3	2	12
39	PP19852PR acessório mangueira jerrycan pr	Trasfegar combustível	Não acoplar na tampa jerrycan	Impossibilidade montagem	8	-	Dimensionamento de componentes	2		Processo de montagem de produto - interno	1	16							
40			Não acoplar tampa de vedação			-						16							
41			Não acoplar mangueira			-						16							
42	PP19920 mangueira enchimento	Trasfegar combustível	Baixa resistência química a combustíveis	Derrame de combustível	9	-	Incorreta definição da matéria prima	5			5	225	Realizar testes de resistência a diversos tipos de combustíveis	RUCRU 23/Jul/2018	13-jul-2018	9	3	3	81
43			Impossibilidade de orientar mangueira	Dificuldade de utilização do produto	3	-	Matéria prima selecionada pouco flexível	4			2	24							
44	PP19853PR tampa mangueira	Bloquear saída de combustível	Baixa resistência química a combustíveis	Derrame de combustível	9	-	Incorreta definição da matéria prima	5			5	225	Realizar testes de resistência a diversos tipos de combustíveis	RUCRU 23/Jul/2018	13-jul-2018	9	2	3	54
45			Vedação deficiente			-		Rosca não conforme	2		1	18							
46			Tampa partir	Perca de componente	6	-	Incorreta definição da matéria prima	5			3	90	Realizar teste de envelhecimento artificial (UV)	RUCRU 23/Jul/2018	16-jul-2018	6	3	2	36
47	CMD567 hose clamp inox	Fixar mangueira nos restantes componentes	Abraçadeira com baixa resistência de aperto	Derrame de combustível	9	-	Dimensionamento de componentes	3			4	108	Desenvolvimento de equipamento de teste a 100%	FIMAG / RUCRU 26/Jul/2018	24-jul-2018	9	2	2	36
48				Perca de componente	6	-					3	54	Desenvolvimento de equipamento de teste a 100%	FIMAG / RUCRU 26/Jul/2018	24-jul-2018	6	2	2	24
49	PP19854PR hose bender jerrycan	Orientar mangueira	Componente partir	Perda de função principal (orientação mangueira)	8	-	Incorreta definição da matéria prima	2			3	48							
50				Perda de função secundária (desapertar bujão)	3	-	Desenvolvimento de CAD incorreto	2		3	18								
51	PP19855PR corpo válvula jerrycan (Enchimento rápido)	Trasfegar combustível	Ausência de estanquicidade entre gargalo e tampa	Derrame de combustível	9	-	Ausência de vedante interior devido a queda	4			5	180	Incluir agarras no CAD peça	MIPIN 23/Jul/2018	28-jun-2018	9	3	3	81
52			Ausência de estanquicidade entre tampa e direcionar de fluxo			-	Ausência de orings	5		7	315	Desenvolvimento de equipamento de teste a 100%	FIMAG / RUCRU 26/Jul/2018	24-jul-2018	9	2	2	36	

53		Permitir acoplamento	Incompatibilidade dos acessórios	Impossibilidade montagem	8	-	Deficiente análise das propostas CAD apresentadas	2			2	32								
54		Indicação da percentagem de mistura	Ausência da numeração sobre percentagens	Desconhecimento sobre percentagem mistura óleo/combustível	3	-	Deficiente análise das propostas CAD apresentadas	2			1	6								
55			Dificuldade / Demasiada facilidade de rotação do disco seletor	Não rotação	8	-	Incorreta programação da cinemática do molde	5	Inspeção Qualidade Receção		4	160	Desenvolvimento de gabarit de controlo	FIMAG 30/Jul/2018	28-06-2018	8	3	3	72	
56				Rotação difícil	6	-					4	120				6	3	3	54	
57				Rotação livre	5	-					4	100				5	3	3	45	
58	CMD566 mola	Fechar automaticamente a tampa	Fecho de sistema deficitário	Derrame de combustível	9	-	Baixa resistência à compressão	3			3	81	Análise dimensionamento da mola	FIMAG 30/Jul/2018	28-jun-2018	9	2	2	36	
59			Distribuição da força de fecho não uniforme			-	Falta de desbaste nos terminais da mola	4			2	72	Inclusão de informação na ficha técnica de componente	FIMAG 30/Jul/2018	26-jul-2018	9	3	2	54	
60	PP19879PR encosto depósito universal	Orientar combustível para depósito	Incompatibilidade com aberturas depósito combustível	Impossibilidade de utilização em alguns veículos	8	-	Estudo de mercado deficiente	3			2	48								
61			Acionar sistema de enchimento	Impossibilidade de efetuar movimento de abertura	7	-	Concentricidade da peça deficiente	2			2	28								
62			Bloquear/ Desbloquear sistema de enchimento	Impossibilidade de bloquear sistema	Perca de função requisito	8	-	Não rotação do componente	3		Processo de montagem de produto - interno	2	48							
63			Garantir estanquicidade na ligação com vedante	Vincos/ zonas partidas no topo na interface com vedante	Derrame de combustível	9	-	Extração da peça descuidada	5			2	90	Inclusão de informação na ficha técnica de componente	FIMAG 30/Jul/2018	26-jul-2018	9	2	2	36
64			Direcionar combustível	Peça sair durante enchimento	Peça entra no depósito veículo	7	-	Peça mal clipada no sistema	3		Montagem interna	4	84	Criar marca Poka-Yoke na tampa e direcionador (CAD)	MIPIN 23/Jul/2018	28-jun-2018	7	2	2	28
65		Derrame de combustível			9	-						108	Desenvolvimento de equipamento de teste a 100%	FIMAG / RUCRU 26/Jul/2018	24-jul-2018	9	2	2	36	
66		Fixar tubo de respiro	Peça solta-se dentro do jerrycan	Fluxo de combustível intermitente	3	-	Inexistência de agarras de fixação	4			3	36	Incluir agarras no CAD peça	MIPIN 23/Jul/2018	28-jun-2018	3	3	3	27	
67		Garantir estanquicidade na ligação com vedante	Vincos/ zonas partidas no topo na interface com vedante	Derrame de combustível	9	-	Extração da peça descuidada	5			2	90	Inclusão de informação na ficha técnica de componente	FIMAG 30/Jul/2018	26-jul-2018	9	2	2	36	
68		CMD565 aro metálico	Impedir contacto entre mola e vedante	Distribuição da força de fecho não uniforme	Derrame de combustível	9	-	Perpendicularidade de produto não garantida	2		5	90	Inclusão de informação na ficha técnica de componente	FIMAG 30/Jul/2018	26-jul-2018	9	2	2	36	

69			Impedir movimento do sistema	Impossibilidade de utilização	8	-	Não cumprimento das tolerâncias	3			2	48	Indicar no desenho as cotas críticas	FIMAG 30/Jul/2018	2-jul-2018	8	3	2	48	
70	COL00005 massa mult. silicone	Garantir lubrificação do sistema	Baixa resistência química a combustíveis	Maior dificuldade de abertura do sistema	3	-	Incorreta seleção do lubrificante	5			3	45	Realizar testes de resistência a diversos tipos de combustíveis	RUCRU 23/Jul/2018	13-jul-2018	3	3	3	27	
71	3460000001 oil/gas mixer 125ml	Medir óleo colocado / existente no frasco	Ausência de escala	Impossibilidade de identificação da quantidade de óleo	8	-	Baixa resistência da tinta utilizada na escala	2			2	32	Teste de resistência e adesividade da escala	RUCRU 23/Jul/2018	27-jul-2018	8	2	2	32	
72			Escala deslocada	Erro na informação	3	-	Distanciamento entre início da serigrafia ao fundo do frasco incorreto	4	Controlo Qualidade Receção			3	36	Inclusão de informação na ficha técnica de componente	RUCRU 23/Jul/2018	26-jul-2018	3	3	2	18
73	ACA4527 aut.warning	Transmitir informações sobre perigos	Ausência / Omissão de informação	Utilizador pode usar o produto de forma errada	5	-	Falta de conhecimento em novo setor de negócio	4			5	100	Analisar normas exigidas e produtos concorrentes já existentes no mercado	FIMAG 30/Jul/2018	30-jul-2018	2	3	3	18	
74			Presença de informação incorreta			-	Incorreta análise de normas ou produtos concorrentes	3			3	45								
75	MAN0441 manual ProOctane	Transmitir informações sobre utilização	Ausência / Omissão de informação	Utilizador pode usar o produto de forma errada	2	-	Falta de conhecimento em novo setor de negócio	4			5	40	Analisar normas exigidas e produtos concorrentes já existentes no mercado	FIMAG 30/Jul/2018	30-jul-2018	2	3	3	18	
76			Presença de informação incorreta			-	Incorreta análise de normas ou produtos concorrentes	3			3	18								
77	EBC1562 caixa jerrycan	Transportar Jerrycan	Erro de impressões exigidas	Incumprimento legal	9	-	Não atualização das gravações necessárias	5			3	135	Garantir que o produto e a caixa têm o mesmo código de homologação	FIMAG 30/Jul/2018	30-jul-2018	9	3	3	81	
78			Cartão com baixa resistência	Produto chega ao cliente com embalagem danificado	3	-	Falha na especificação	3			3	27								
79							-	Falha no processo produtivo fornecedor	4	Controlo Qualidade Receção			2	24						
80	ACA3788 aut. caixa	Identificar produto	Código de barras não legíveis no picking	Não leitura do código	5	-	Qualidade de impressora	2	Controlo Qualidade Montagem			2	20							
81			Ausência	Falta de etiqueta identificativa	5	-	Erro humano	5					2	50						
82	ACA3858 fita cola Polisport	Selar produto	Baixa adesividade	Caixa abre / Entra sujidade	6	-	Falha processo produtivo fornecedor	3					36							
83			Serigrafia de baixa qualidade	Baixo nível de satisfação do cliente	6	-								2	36					

9				Atrasos nas encomendas de cliente	7		Fornecedor sem capacidade	3	alternativo			84									
10			Produto com identificação errada	Paragem de linha	8		Procedimento de identificação pouco claro	2	Revisão periódica de procedimentos		2	32									
11		Atraso tempo de ciclo		7						2	28										
12		Atrasos nas encomendas de cliente		7						2	28										
13		Retrabalho		5						2	20										
14		Paragem de linha		8		Material incorretamente identificado				2	Auditoria de fornecedores		2	32							
15		Atraso tempo de ciclo	7				2	28													
16		Atrasos nas encomendas de cliente	7				2	28													
17		Retrabalho	5		Erro de entrega fornecedor		3	Procedimento de receção				5	75								
18	Abastecimento linha	Abastecer componentes para montagem	Abastecimento de material errado	Paragem de linha	8		Material incorretamente identificado	2			4	64									
19				Atraso tempo de ciclo	7		Localizações incorretas (armazém)	4	Procedimento de armazém		3	84									
20				Retrabalho	5				3	60											
21			Quantidade inferior à ordem de fabrico	Atraso tempo de ciclo	7		Leitura incorreta do plano de materiais (humano)	2				4	56								
22				Atrasos nas encomendas de cliente	7					4	56										
23				Atraso no abastecimento	Atraso tempo de ciclo	7						56									
24			Montagem tampa de transporte	Colocar <i>oring</i> PP20038 no bujão PP19951PR	Falta de componente	Derrame de combustível	9		Não leitura da instrução de montagem	2	Equipamento de teste de tampas a 100%		2	36							
25	Retrabalho	5						3				30									
26	Atraso tempo de ciclo	7						3				42									
27	3460000003	Colocar <i>oring</i> + bujão na tampa PP20099PR	Falta de aperto	Derrame de combustível	9		Aparafusadora não calibrada	2	Plano anual de calibração de equipamento		5	90									
28							Não uso de aparafusadora calibrada	1		5	45										
29						<i>Oring</i> mal posicionado	Mau posicionamento da peça	3		Equipamento de teste de tampas a 100%	2	54									
30		Colocar disco seletor	Dificuldade de rotação	Não rotação	6		Não colocado lubrificante	3			2	36									

31		PP1985122 na tampa					Tampa com centro côncavo - Não efetuada pré-abertura do molde (fornecedor)	6	Gabarit de controlo receção		4	144	Incluir alerta na ficha técnica do molde	FIMAG 22/4/2019	17-04-2019	6	3	4	72	
32		Colocar anilha PP19991PR no interior da tampa	Ausência de anilha	Derrame de combustível	9		Não leitura da instrução de montagem	4		Equipamento de teste de tampas a 100%	2	72								
33	Incorretamente colocado		Formação ao operador e Instrução de trabalho									72								
34	Montagem mangueira + bender proOctane 3152700001	Colocar <i>oring</i> PP20038 no acessório mangueira PP19852PR	Falta de componente	Derrame de combustível	9		Não leitura da instrução de montagem	2		Equipamento de teste de tampas a 100%	2	36								
35												Retrabalho	5	30						
36												Atraso tempo de ciclo	7	42						
37		Colocar acessórios mangueira na mangueira PP19920 e abraçadeiras metálicas CMD567	Falta de componentes	Derrame de combustível	9		Não leitura da instrução de montagem	2		Equipamento de teste de tampas a 100%	2	36								
38												Retrabalho	5	30						
39												Atraso tempo de ciclo	7	42						
40			Abraçadeiras mal aplicadas	Derrame de combustível	9		Inexperiência operador	4	Formação ao operador e Instrução de trabalho	Equipamento de teste de tampas a 100%	2	72								
41			Colocar na mangueira a tampa PP19853PR	Falta de componentes	Derrame de combustível	9		Não leitura da instrução de montagem	2		Equipamento de teste de tampas a 100%	2	36							
42													Retrabalho	5	30					
43													Atraso tempo de ciclo	7	42					
44		Colocar <i>Hose bender</i> PP19854PR	Falta de componentes	Retrabalho	5		Não leitura da instrução de montagem	2			3	30								
45												Atraso tempo de ciclo	7	42						
46		Cortar e colocar tubo de respiro PP19873	Corta a 45° não efetuado	Retrabalho	5		Não leitura da instrução de montagem	2			4	40								
47				Saída de combustível intermitente	4	Fim do tubo de respiro paralelo ao fundo do <i>jerrycan</i>	3	Instrução de Montagem	4	48										
48			Falta de componentes	Retrabalho	5	Não leitura da instrução de montagem	2		4	40										
49				Atraso tempo de ciclo	7					56										
50	Montagem tampa de Enchimento Rápido 3152800001	Colocar disco seletor PP1985122 na tampa PP19855PR	Dificuldade de rotação	Não rotação	6		Ausência de lubrificante	3			2	36								
51							Tampa com centro côncavo - Não efetuada pré-abertura do molde (fornecedor)	6	Gabarit de controlo receção		4	144	Incluir alerta na ficha técnica do molde	FIMAG 22/4/2019	03-05-2019	6	3	4	72	

52	Colocar massa lubrificante COL00005 na tampa	Falta de lubrificante	Dificuldade de movimentação do sistema	6	Não leitura da instrução de montagem	2	Instrução de montagem	Inspeção visual	4	48							
53			Ruído ao movimentar	4				Audição	2	16							
54			Possíveis dificuldades de vedação de estanquicidade	9				Equipamento de teste de tampas a 100%	2	36							
55	Colocar mola CMD566, <i>oring</i> PP19922 e aro metálico CMD565 na tampa	Falta de componentes	Derrame de combustível	9	Não leitura da instrução de montagem	2	Instrução de montagem	Equipamento de teste de tampas a 100%	2	36							
56			Retrabalho	5						20							
57			Atraso tempo de ciclo	7						28							
58	Ordem de colocação de componentes incorreta	Derrame de combustível	9	Não leitura da instrução de montagem	2	Instrução de montagem	Equipamento de teste de tampas a 100%	2	36								
59			Retrabalho						5	20							
60			Atraso tempo de ciclo						7	28							
61	Colocar <i>oring</i> PP19921 no direcionador de fluxo PP1985622	Falta de componentes	Derrame de combustível	9	Não leitura da instrução de montagem	2	Instrução de montagem	Equipamento de teste de tampas a 100%	2	36							
62			Retrabalho	5						20							
63			Atraso tempo de ciclo	7						28							
64	Colocar encosto depósito PP19879PR na tampa	Orientação incorreta	Retrabalho	5	Não leitura da instrução de montagem	2		Visual	1	10							
65			Atraso tempo de ciclo	7						14							
66	Montar direcionador de fluxo + <i>oring</i> na tampa	Tampa partida	Derrame de combustível	9	Uso de martelo na montagem	6		Equipamento de teste de tampas a 100%	2	108	Desenvolver equipamento de montagem tampa	FIMAG 22/4/2019	23-05-2019	9	2	2	36
67			Rejeição	8						96							
68			Atraso tempo de ciclo	7						84							
69	Montagem incompleta	Derrame de combustível	9	Operador não consegue montar produto sem equipamento de apoio	7		Equipamento de teste de tampas a 100%	2	126	Desenvolver equipamento de montagem tampa	FIMAG 22/4/2019	23-05-2019	9	2	2	36	
70			Retrabalho						5	70							
71			Atraso tempo de ciclo						7	98							
72	Cortar e colocar tubo de respiro PP19873	Corta a 45° não efetuado	Retrabalho	5	Não leitura da instrução de montagem	2			4	40							
73			Saída de combustível intermitente	4						Fim do tubo de respiro paralelo ao fundo do <i>jerrycan</i>	3	Instrução de Montagem	4	48			
74		Falta de componentes	Retrabalho	5	Não leitura da instrução de montagem	2			4	40							
75			Atraso tempo de ciclo	7						56							

76		Colocar anilha PP19991PR no interior da tampa	Ausência de anilha									72									
77			Incorretamente colocado	Derrame de combustível	9		Não leitura da instrução de montagem	4	Formação ao operador e Instrução de trabalho	Equipamento de teste de tampas a 100%	2	72									
78	Montagem produto final 84646	Colocar tampa de transporte no corpo PP19950VQ	Falta de componentes	Produto não funcional	8		Erro operador linha montagem	2		Visual	1	16									
79				Implicações legais	9							18									
80		Colocar manual MAN0441 e oil mixer 3460000001 junto do corpo do jerrycan	Falta de componentes	Retrabalho	5		Não leitura da instrução de montagem	2			4	40									
81				Atraso tempo de ciclo	7							56									
82		Colar autocolante warning ACA4527 no corpo jerrycan	Falta de componentes	Retrabalho	5		Não leitura da instrução de montagem	2			4	40									
83				Atraso tempo de ciclo	7							56									
84	Inspeção final de linha	Efetuar controlo de qualidade ao produto	Falta de inspeção	Rejeição	8		Incumprimento da tarefa de inspeção	2	Instrução de Qualidade	Inspeção visual	3	48									
85				Retrabalho	5							30									
86				Retrabalho no cliente	8							48									
87				Atraso nas encomendas de cliente	7							42									
88			Incumprimento do plano de controlo		Rejeição	8		Não leitura do plano de controlo qualidade	2		Inspeção visual	3	48								
89					Retrabalho	5							30								
90					Retrabalho no cliente	8							48								
91					Atraso nas encomendas de cliente	7							42								
92			Embalamento	Colocar jerrycan com tampa de transporte + mangueira + tampa de enchimento rápido dentro da caixa EBC1562	Falta de componentes	Retrabalho	5		Não leitura da instrução de montagem	2		Inspeção visual	4	40							
93						Atraso tempo de ciclo	7							56							
94		Instrução de embalagem não respeitada		Retrabalho	5		Não leitura da instrução de embalagem	2	Instrução de Embalamento	Inspeção visual	4	40									
95	Proceder ao fecho da caixa com fita cola ACA3858	Fita-cola mal aplicada		Retrabalho	5		Não leitura da instrução de montagem	2		Inspeção visual	4	40									
96				Atraso tempo de ciclo	7							56									
97	Colar etiqueta identificativa ACA3788 na caixa	Falta de etiqueta		Atraso na expedição	6		Não leitura da instrução de embalagem	2	Auditoria de processo	Inspeção visual	4	48									
98				Retrabalho	5							40									
99		Troca de etiqueta		Atraso na expedição	6		Incorreta leitura da ordem de fabrico	2				48									
100				Retrabalho	5							40									
101				Retrabalho no cliente	8							64									

Análise de Ações e Apresentação dos Resultados

- 5.1 Análise de Ações
- 5.2 Apresentação e Análise de Resultados Obtidos

5 Análise de Ações e Apresentação dos Resultados

5.1 Análise de Ações provenientes do *Design* FMEA

Ação Nº 1 – *Design* FMEA

Referente à falha nº 1, 29, 30, 33, 42, 44, 70

Descrição: Realização de testes de resistência a diversos tipos de combustíveis

Método: Para a realização desta ação, foram adquiridos diversos tipos de combustíveis, com vários níveis de qualidade e destinos de utilização diferentes, por forma a simular os diversos mercados onde o produto será vendido e utilizado. Os produtos estiveram submergidos em combustível durante 300 horas contínuas.

Ao nível do corpo do depósito, tampas e tampa da mangueira, não foram visíveis quaisquer danos relativos ao contacto com o combustível. Desse modo as respetivas matérias-primas foram aprovadas e constam da ficha técnica do componente (figura 38).

Nos testes realizados a todos os vedantes, foram identificados alguns desvios de resistência, tais como a perda do formato, da dimensão inicial e da rigidez especificada. Após repetição de vários testes iguais, com novas soluções, foi determinada a matéria-prima aprovada.



Figura 38 - Resultado de teste de resistência dos vedantes a combustíveis

Na mangueira, com o objetivo de obter maior transparência possível, foram usados dois materiais diferentes, sendo que, conforme é visível na figura 39, um dos materiais alterou a transparência e a rigidez da mangueira. Nesse sentido, tendo uma das amostras passado no teste, foi aprovada como matéria-prima indicada para ficha técnica de componente.

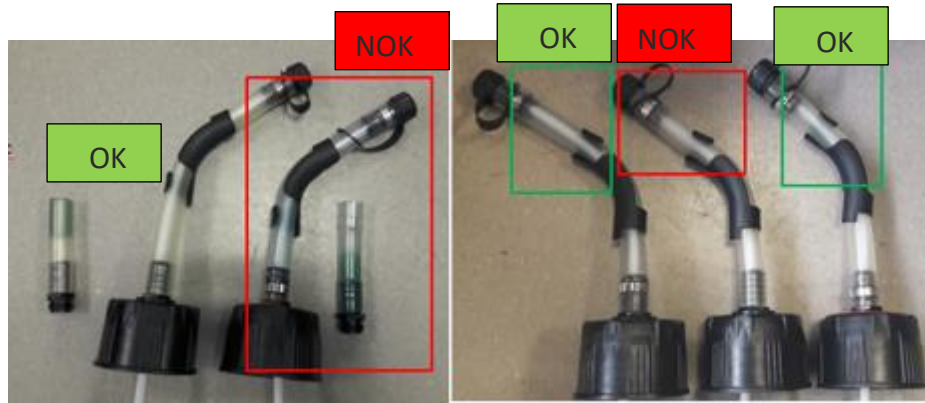


Figura 39 - Resultado de teste de resistência da mangueira a combustíveis

No teste de contacto entre a massa de lubrificação e o combustível (figura 40), foram também ensaiadas diversas amostras. Algumas amostras secaram após período de teste sendo consideradas rejeitadas. Após conclusão de teste em que amostra continua conforme, esta foi considerada válida para uso no produto.



Figura 40 - Resultado de teste de resistência da massa lubrificante a combustíveis

Ação Nº 2 – Design FMEA

Referente à falha nº 2, 11

Descrição: Estudo de espessuras reais do corpo *jerrycan*

Método: Uma amostra do corpo do depósito foi cortada em diversos pontos para aferir a conformidade da produção real comparativamente com o previsto

informaticamente no CAD (Desenho assistido por computador). Os valores obtidos estavam dentro da especificação nas zonas avaliadas. Paralelamente foram também analisados alguns produtos concorrentes (figura 41), para aferir a espessura nos mesmo pontos avaliados anteriormente, e verificou-se que as espessuras apresentam mínimas variações.



Figura 41 - Estudo dimensional aos corpos de *jerrycan*

Foi também realizado um estudo sobre o comportamento do corpo *jerrycan*, em caso de queda, com velocidade $V=4.85\text{m/s}$, conforme observado na figura 42. Este informaticamente forneceu dados (Tensão máxima no ponto de impacto igual a 28.29MPa) que foram validados fisicamente com sucesso.

O teste de queda real foi realizado com o *jerrycan* cheio com 11,5 litros de anticongelante à temperatura de $-18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, com altura igual a 1,2 metros. Verificou-se que é expectável que ocorra deformação plástica do material em caso de queda, não sendo provável a ocorrência de rutura.

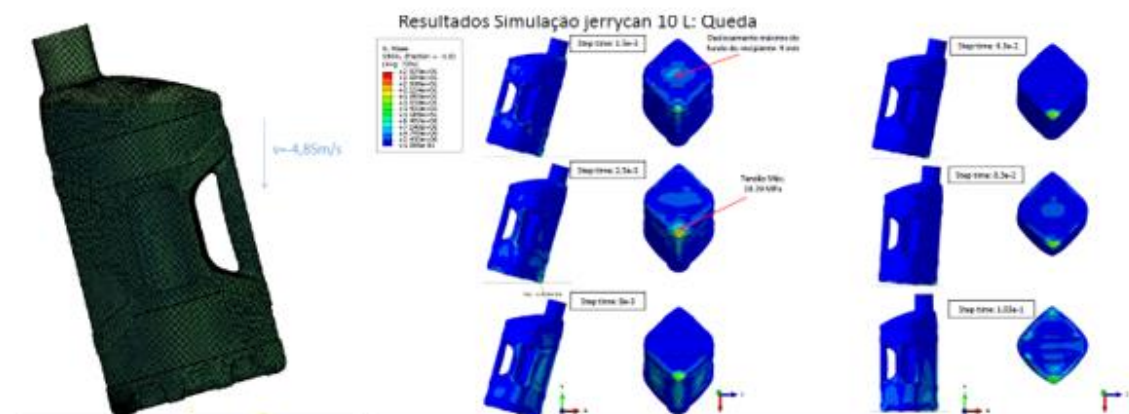


Figura 42 - Simulação informática de queda do corpo do *jerrycan* Polisport

Ação Nº 3 – Design FMEA

Referente à falha nº 3, 7

Descrição: Desenvolvimento de equipamento de teste / Realizar testes de pressão ao corpo *jerrycan*

Método: O desenvolvimento e construção deste equipamento foi realizado internamente e permite perceber se existem quaisquer fugas de pressão no corpo do *jerrycan*, na tampa que estiver acoplada e na interface destes. É um equipamento simples que permite regular a pressão, colocando-a em 2 bar e verificar de seguida o comportamento do *jerrycan* (figura 43).

Este equipamento permite realizar 3 testes diferentes, ou seja, um teste trata-se de encher o *jerrycan* com água à temperatura ambiente, e após pressurizar, verifica se existem fugas de água. Outro teste possível, é pressurizar o *jerrycan* vazio e mergulhar todo o conjunto numa tina com água para verificar se são visíveis bolhas de ar em algum ponto. Este equipamento permite ainda verificar a deformação máxima do conjunto quando pressurizado com 2 bar.

Apesar da deformação visível abaixo, nunca foi possível observar qualquer fuga. Todas as tampas são testadas a 100% no equipamento descrito na ação nº 6, e todos os corpos de *jerrycan* são testados ao nível da estanquicidade à saída de máquina durante produção. Assim é de esperar que todos os conjuntos continuem sempre conformes, tal como observado.

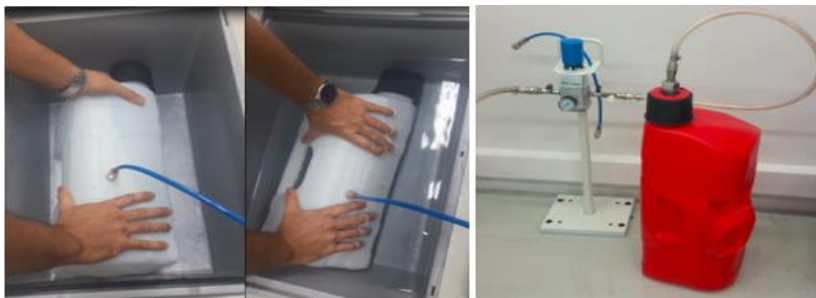


Figura 43 - Teste de estanquicidade e resistência à pressão do conjunto completo

Foi também simulado o aumento de pressão informaticamente (figura 44), por forma a verificar a compatibilidade dos resultados obtidos. Como era espectável, o produto encontra-se dimensionado com um grande fator de segurança.

Resultados Simulação 1: Pressão interna

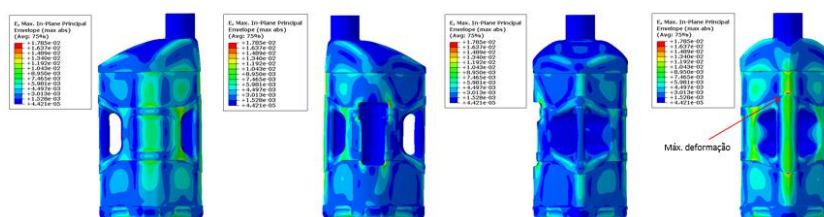


Figura 44 - Simulação informática de pressurização interna do *Jerrycan* Polisport

Ação Nº 4 – Design FMEA

Referente à falha nº 5, 10, 12, 15, 19, 26, 28, 59, 63, 67, 68, 72

Descrição: Inclusão de informação na ficha técnica de componente

Método: Nesta ação, foram verificadas todas as fichas técnicas para aferir a presença da informação indicada em cada modo de falha. Nos casos em que já existia, apenas foi verificado, nos casos em que a informação não estava presente, foi adicionado por forma a melhorar a informação de futuro.

Ação Nº 5 – Design FMEA

Referente à falha nº 8, 9

Descrição: Realizar ensaio de esforço na pega

Método: Foi realizado uma simulação informática (figura 45) sobre o esforço possível de aplicar na pega, e perceber qual a tensão máxima aplicada quando sujeito a uma situação limite. Este teste foi simulado de acordo com a norma AS NZS 2906:2001 que nos indica que o corpo deve completo à capacidade nominal com água, fixo apenas pela pega em encastre e libertado à altura de 305mm, sendo depois suspenso apenas pela pega. Fisicamente foi também testado com resultado positivo, conforme previsto.

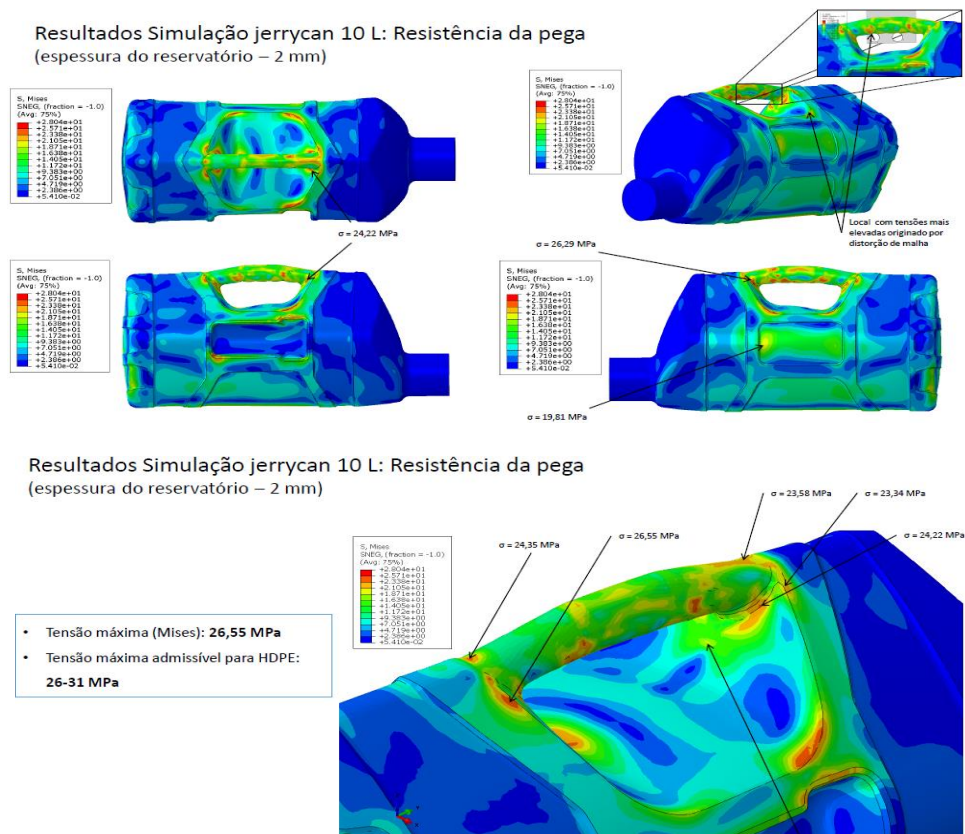


Figura 45 - Simulação informática de esforço máximo aplicável à pega do *jerrycan*

Ação Nº 6 – Design FMEA

Referente à falha nº 14, 18, 27, 31, 32, 34, 47, 48, 52, 65

Descrição: Desenvolvimento de equipamento de teste a 100% para tampas

Método: No seguimento desta ação, foi desenvolvido e construído um equipamento (figura 46) que testa qualquer sistema de tampa existentes (3 sistemas diferentes). O operador deve colocar a tampa no local, fechar os apoios de fixação da tampa, e seguidamente acionar o sistema que pressuriza a tampa com 165KPa durante 15 segundos, medindo após esse período a diferença de pressão entre início e fim desse período. Caso a queda de pressão seja inferior a 25KPa, o sistema considera o produto apto e faz umas marcações laterais indicando a conformidade. Após a gravação da marca de conformidade, sistema desarma e o operador pode dar seguimento às tarefas seguintes. Desta forma, todas as tampas produzidas são testadas validando se a tampa está completamente estanque. Todas as tampas que forem consideradas não conformes pelo equipamento, deverão ser retrabalhadas visto que alguma etapa de montagem decorreu de forma errada.



Figura 46 - Equipamento de teste para tampas (uso durante montagem de produto)

Com este teste, a probabilidade de falha do produto é muito baixa uma vez que irá permitir detetar ausência de componentes, colocação de componentes por ordem incorreta, vedantes trilhados, peças partidas acidentalmente, etc. É um equipamento extremamente importante para o aumento da fiabilidade do produto.

Ação Nº 7 – Design FMEA

Referente à falha nº 17, 35, 36, 37, 51, 66

Descrição: Incluir agarras no CAD peça

Método: Esta ação foi concluída através da intervenção nos CAD das peças correspondentes. Tratou-se de pequenas intervenções numa fase precoce, que traz bastantes benefícios em termos de qualidade e custos do produto para a organização.

Ação Nº 8 – Design FMEA

Referente à falha nº 22, 23, 24, 55, 56, 57

Descrição: Desenvolvimento de *gabarit* de controlo tampa

Método: Para a realização desta ação foram criadas duas peças em aço, exatamente iguais ao disco seletor de modo a que durante a injeção das tampas plásticas seja colocado, simulando a colocação do disco seletor real. Este *gabarit* deverá rodar facilmente, mas não livremente. Um *gabarit* deverá ser entregue ao fornecedor das tampas, o outro ficará na receção Polisport para controlo à chegada de cada lote.

Ação Nº 9 – Design FMEA

Referente à falha nº 38

Descrição: Colocar informação na instrução de trabalho (corte tubo de respiro com ângulo de 45°)

Método: Informação colocada no passo 13 da instrução de montagem associada



13° Com uma ferramenta cortante, cortar o término do tubo de respiro com um ângulo de 45° proximalmente, conforme foto.

Figura 47 - Informação sobre corte do tubo na Instrução de Trabalho

Ação Nº 10 – Design FMEA

Referente à falha nº 46

Descrição: Realizar teste de envelhecimento artificial (UV)

Método: Foi realizado o teste de envelhecimento artificial no equipamento SolarBox3000e RH durante 200h contínuas. Não se observou qualquer degradação do aspeto nem resistência do material. Neste sentido, o teste foi considerado positivo.

Ação Nº 11 – Design FMEA

Referente à falha nº 58

Descrição: Análise dimensionamento da mola

Método: Nesta ação, foram realizados vários testes de simulação de utilização com a mola inicialmente definida, no entanto, verificou-se que esta não garantia a força necessária para o fecho completo do sistema de enchimento rápido. Após retirada do sistema do depósito em teste, este continuou a verter.

Pela Lei de Hooke, ($F = K \cdot x$) verificamos a necessidade de aumentar a constante elástica da mola, para garantir maior força atuante. Ao testar nova amostra, o sistema ficou completamente fechado após utilização.

Ação Nº 12 – Design FMEA

Referente à falha nº 64

Descrição: Criar marca *Poka-Yoke* na tampa e direcionador (CAD)

Método: Foi criada uma marca no topo da tampa e na parte inferior do direcionador vermelho (figura 48), para que durante a etapa de montagem o operador consiga identificar a única posição possível de encaixe da peça. Caso seja mal aplicada, o sistema não passará no equipamento de teste de tampas a 100%, visto que não aguentará a pressão interna da tampa.



Figura 48 - Sistema anti erro aplicado nos componentes do sistema de enchimento rápido

Ação Nº 13 – Design FMEA

Referente à falha nº 69

Descrição: Indicar no desenho as cotas críticas no aro metálico

Método: Desenho alterado, tendo sido adicionada uma caixa a circundar as cotas consideradas críticas para o funcionamento do produto.

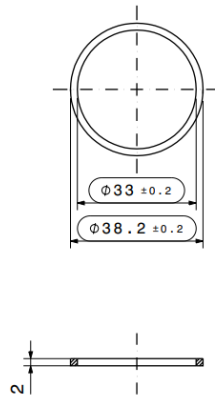


Figura 49 - Desenho com cotas críticas identificadas (CMD565).

Ação Nº 14 – Design FMEA

Referente à falha nº 71

Descrição: Teste de resistência e adesividade da escala

Método: Este ação consistiu em analisar as primeiras amostras, e verificar se a impressão está resistente a combustível e ao arrancamento (figura 50). As primeiras amostras foram rejeitadas, no entanto, após troca do produto utilizado na etapa de serigrafia, as amostras ficaram validadas, passando a matéria-prima conforme para a informação da ficha técnica.

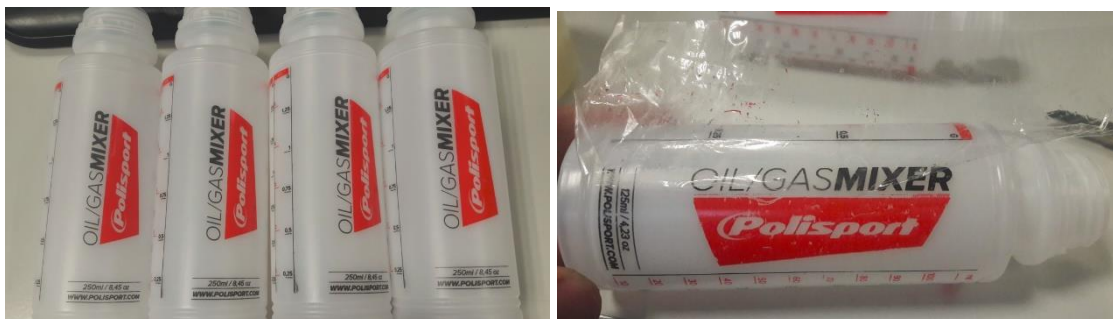


Figura 50 - Resultado do teste de resistência e adesividade da serigrafia

Ação Nº 15 – Design FMEA

Referente à falha nº 73, 75

Descrição: Analisar normas exigidas e produtos concorrentes já existentes no mercado

Método: Esta ação consistiu na reanálise de toda a normalização exigida para a venda deste produto e comparação com as informações constantes nos produtos vendidos pela concorrência.

Ação Nº 16 – Design FMEA

Referente à falha nº 77

Descrição: Garantir que o produto e a caixa têm o mesmo código de homologação

Método: Esta ação passa por gerir as encomendas do corpo *jerrycan* e caixas de transporte em simultâneo, para promover que todas os produtos saiam com o mesmo código na caixa e *jerrycan*.

Informação adicionada também às fichas técnicas e instrução de montagem do produto.

5.2 Análise de Ações provenientes do *Process FMEA*

Ação Nº 1 – Process FMEA

Referente à falha nº 31, 51

Descrição: Incluir alerta para pré-abertura de molde ZP4600 na ficha técnica do molde

Método: Esta ação foi realizada com o intuito de garantir que a pré-abertura do molde das tampas é sempre realizada, caso contrário, a tampa irá ficar com o topo côncavo e as agarras que impedem o disco seletor de sair, irão provocar prisão neste impedindo-o de rodar. Esta ação foi concluída com sucesso, e demonstra-se se extremamente importante, uma vez que em primeiras amostras este problema aconteceu e provocou a rejeição da totalidade das amostras.

Ação Nº 2 – *Process FMEA*

Referente à falha nº 31, 51

Descrição: Desenvolver equipamento de montagem tampa

Método: Nesta ação, foi desenvolvido e criado um equipamento que coloca o direcionador de fluxo PP1985622 na tampa de enchimento rápido PP19855PR. Este tem uma colocação realizada manualmente, mas com um sistema multiplicador de força exercida, por forma que o operador responsável por esta etapa tenha de exercer um menor esforço. Esta atenção relativamente ao esforço desenvolvido, torna-se fundamental para a saúde no trabalho do colaborador, já que pode repetir a mesma operação centenas de vezes por dia.

5.3 Apresentação e Análise dos Resultados Obtidos

5.3.1 Resultado das ações desenvolvidas com o *Design FMEA*

A análise DFMEA culminou com a identificação de 83 modos de falha. Desses 83 modos de falha identificados, conforme visível na figura 51, verifica-se que segundo o índice de severidade, 34 estão relacionadas com questões de segurança, 14 com não funcionalidade do produto, 18 com insatisfação do cliente, mas produto funcional e 17 relacionados com defeitos nos acabamentos. Segundo o índice da ocorrência 41 estão relacionadas com falhas moderadas, 41 com baixa ou muito baixa probabilidade de ocorrência e 1 com ocorrência improvável. Por fim, no índice da deteção, 3 estão relacionados com baixa probabilidade de deteção, 28 com probabilidade moderada, 46 com probabilidade alta e 6 com probabilidade de deteção quase certa.

Destes 83 modos de falha, a equipa projeto decidiu analisar 56, já que 25 apresentam número de risco prioritário igual ou superior a 100 e 16 que não têm NPR superior a 100, estão diretamente relacionados com a segurança do cliente (classificação de severidade igual ou superior a 9). As restantes falhas identificadas com ações implementadas, resultaram de um esforço adicional para melhoria do produto.

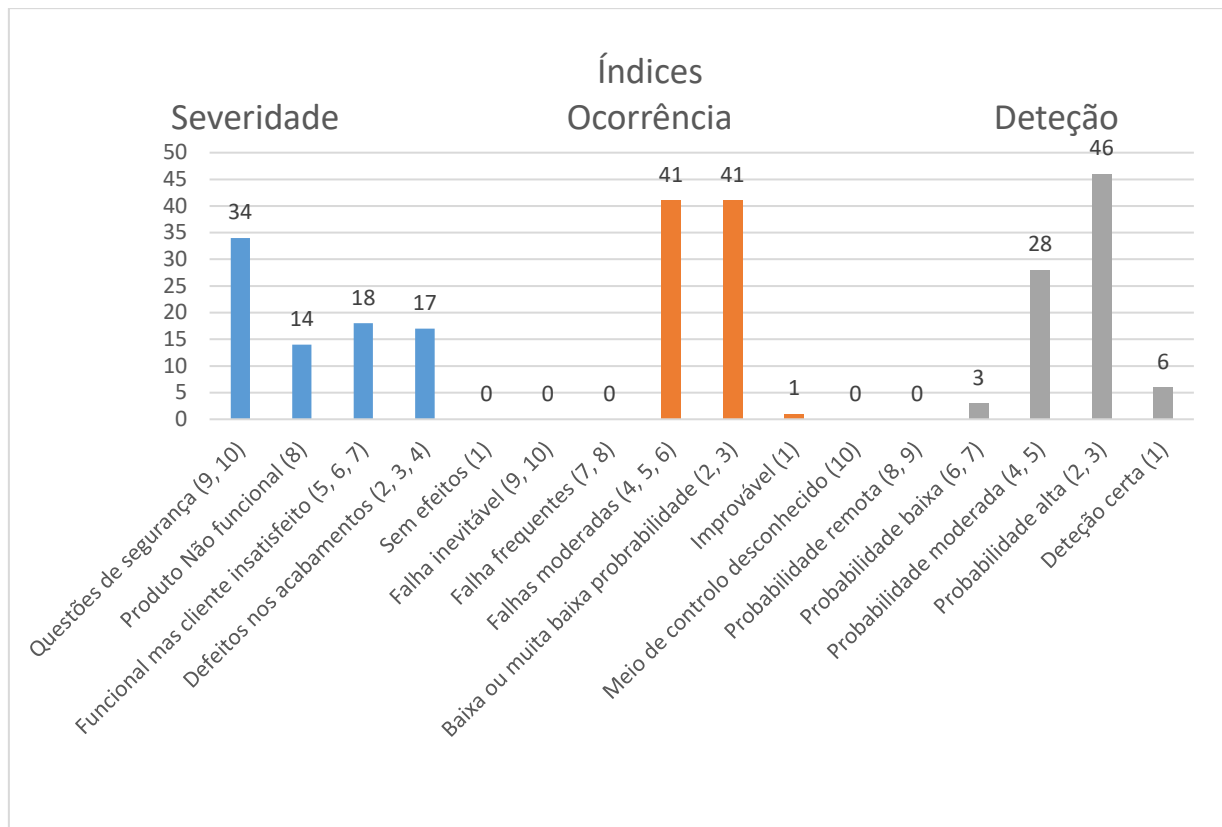


Figura 51 - Ocorrência por índice (Severidade, Ocorrência e Detecção) - DFMEA

Conforme já referido anteriormente, foram tomadas ações para 56 possíveis modos de falha, sendo que no índice da severidade, representado na figura 52, não se observou uma grande redução dos valores atribuídos antes das ações. Esta redução curta é motivada pelo facto de ser um produto que contém combustível, e qualquer derrame de combustível é sempre perigoso e prejudicial à saúde dos utilizadores.

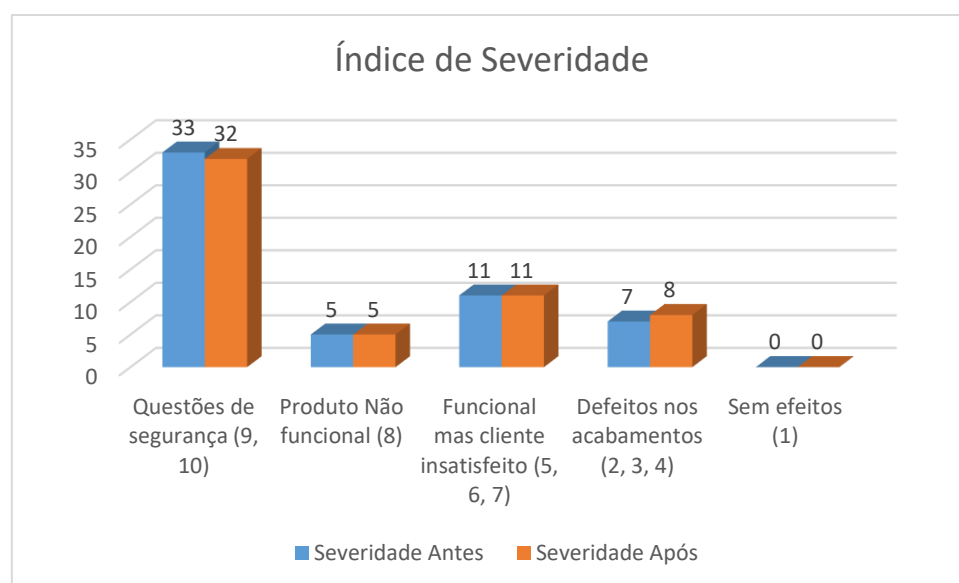


Figura 52 - Comparação da Severidade antes e depois de ações

A tomada de ações para os modos de falha identificados tiveram bastante impacto nos obtidos no índice da ocorrência, visto que todas as ações têm como objetivo reduzir ao mínimo a probabilidade de ocorrência de determinado modo de falha. Conforme na figura 53, a probabilidade de falha moderada foi completamente eliminada, passando a uma baixa probabilidade.

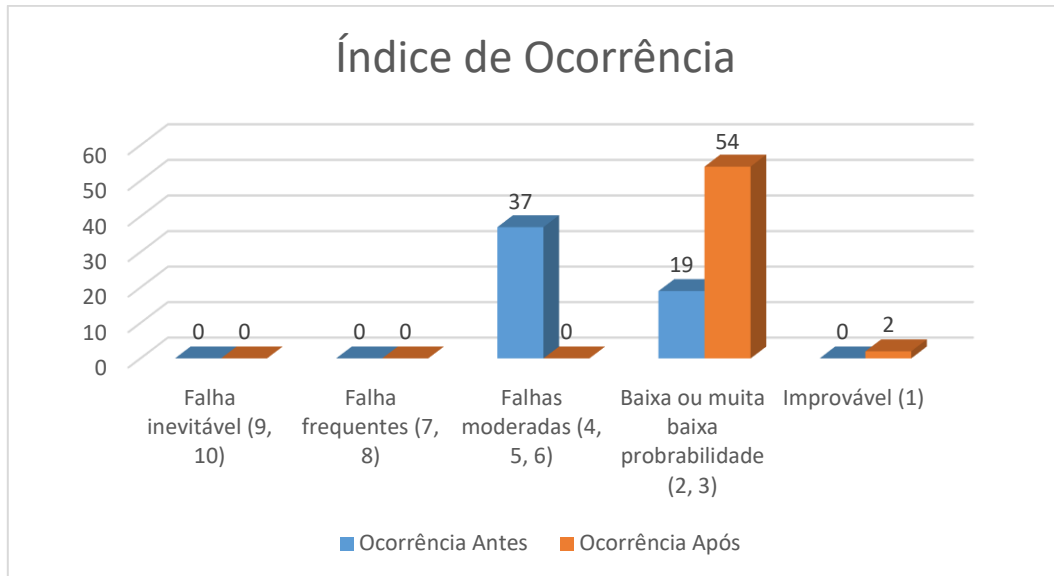


Figura 53 - Comparação da Ocorrência **antes** e depois de ações

No índice da detecção, após tomada de ações, todos modos de falha passam a ser detetáveis. Grande parte desta redução é devida à criação de equipamentos de teste, ao controlo da totalidade dos produtos vendidos, às análises efetuadas aos desenhos das peças antes de início de produção de ferramentas, à inserção de informação de controlos críticos nas fichas técnicas de componentes e aos testes laboratoriais realizados em primeiras amostras.

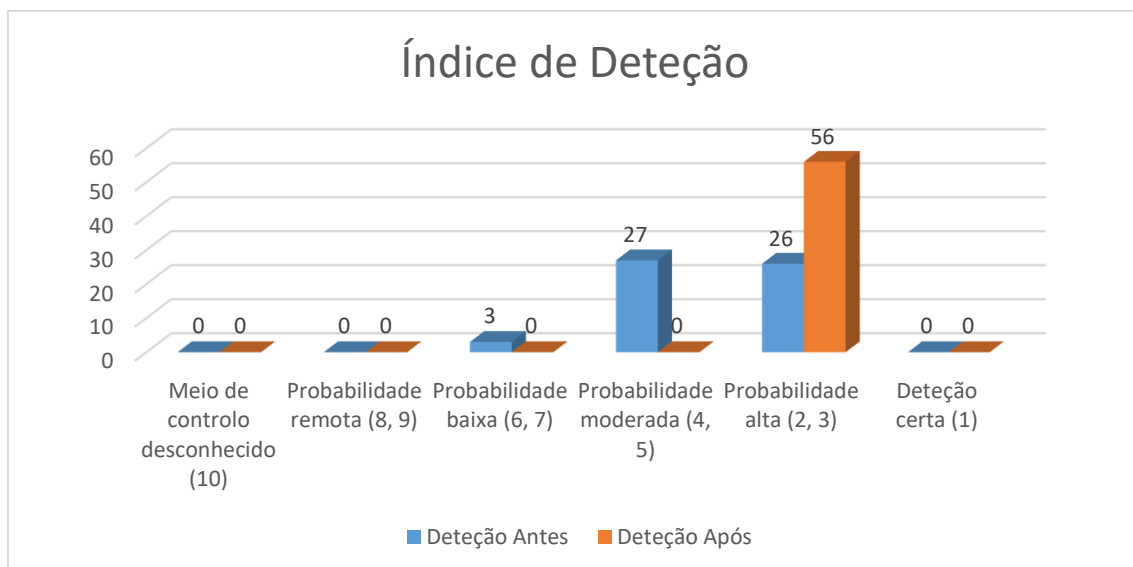


Figura 54 - Comparação da Detecção antes e depois de ações

5.3.2 Resultado das ações desenvolvidas com o *Process FMEA*

A análise PFMEA culminou com a identificação de 101 modos de falha, visíveis na figura 55. Desses 101 modos de falha identificados, verifica-se que segundo o índice de severidade, 19 estão relacionadas com questões de segurança, 14 com não funcionalidade do produto, 65 com insatisfação do cliente, mas produto funcional e 3 relacionados com defeitos nos acabamentos. Segundo o índice da ocorrência 3 estão relacionadas com falhas inevitáveis, 13 com falhas moderadas, 83 com baixa ou muito baixa probabilidade de ocorrência e 1 com ocorrência improvável. Por fim, no índice da deteção 35 estão relacionados com probabilidade moderada de deteção da falha, 61 com probabilidade alta e 4 com probabilidade de deteção quase certa.

Destes 101 modos de falha, a equipa projeto decidiu analisar 4, já que estes modos de falha apresentam número de risco prioritário igual ou superior a 100.

De referir que apenas 4 modos de falha apresentam este valor porque vários beneficiam da já existência de equipamento de testes de tampas a 100%. A existência desse equipamento permite reduzir a pontuação atribuída na deteção, evitando assim valor NPR elevados que necessitem de novas ações.

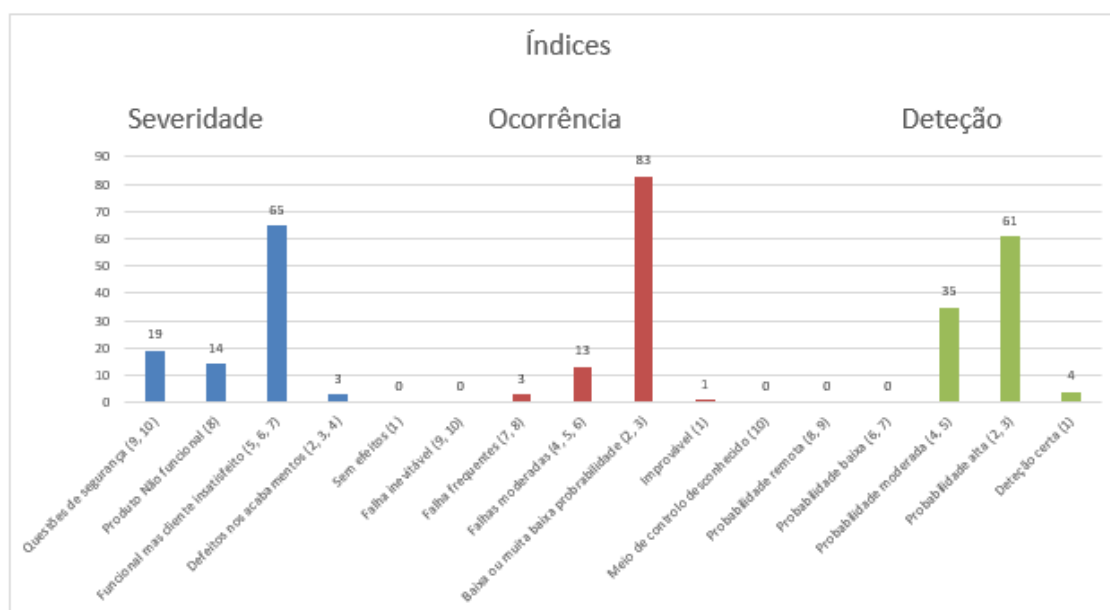


Figura 55 - Ocorrência por índice (Severidade, Ocorrência e Deteção) - PFMEA

Após a implementação das ações previstas no PFMEA, verificou-se uma redução na probabilidade de ocorrência de falha frequente (1) e falha moderada (3), para baixa ou muito baixa probabilidade de ocorrência (4). Todos os restantes índices mantiveram os seus valores. A equipa atuou no sentido de reduzir a ocorrência, mantendo os meios de severidade e deteção.

CONCLUSÕES

- 6.1 CONCLUSÕES
- 6.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

6 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

A indústria mundial tem sofrido grandes alterações nas últimas décadas, em parte relacionado com a facilidade de comunicação e transporte entre as diversas partes do mundo. É agora essencial para o sucesso da gestão de projeto em qualquer organização, a avaliação dos riscos envolvidos, antes de qualquer investimento. Quando a avaliação de riscos não ocorre em tempo útil, pode implicar custos desnecessários com rejeições ou retrabalho, atrasos no projeto, diversas falhas do produto ou até o cancelamento do projeto.

A presente dissertação incidiu na aplicação da análise FMEA, nas vertentes de *design* e processo, no desenvolvimento de um produto inovador para organização Polisport Plásticos, S.A.. A aplicação desta ferramenta no projeto de desenvolvimento de um *jerrycan* para transporte de combustível, demonstrou ser muito importante para identificar vários modos de falha e meios de deteção a desenvolver para controlo durante a produção.

A ferramenta demonstrou ser bastante versátil, não estando limitada por regras rígidas e não tolerantes. No entanto, a aplicação da mesma é bastante exigente, já que a necessidade de uma equipa multidisciplinar envolve muitos recursos simultaneamente. Foi também notado durante a aplicação da ferramenta que parte da equipa necessária, não atribuí a devida importância às reuniões de desenvolvimento FMEA. Este é um ponto negativo, que apenas com a regularidade de aplicação em novos projetos e a perceção da excelência dos resultados obtidos, será alterado.

A implementação do FMEA permitiu à equipa a aquisição de conhecimento mais detalhado sobre cada componente do produto estudado. Este conhecimento mostra ser bastante útil na eliminação dos modos de falha ou mesmo para a identificação de novos modos de falha, que estavam completamente ocultos antes da análise. Esta ferramenta permite também a identificação da lista prioritária de desenvolvimento de ações de melhoria, para que a equipa consiga identificar quais as prioridades e gerir o tempo disponível.

Com a correta aplicação desta ferramenta, foi conseguido que o funcionamento/ interação dos diversos componentes fosse melhor conseguido em fases mais precoces do desenvolvimento, reduzindo assim cerca de 20000€ ao custo objetivo inicial do projeto, o que representa uma poupança aproximadamente de 7%.

Com o desenvolvimento do equipamento de teste de estanquicidade a 100% nas tampas, a realização de teste de estanquicidade a cada corpo de *jerrycan*, por parte do fornecedor e realização de todas as restantes ações desenvolvidas é possível assegurar que as previsões de vendas do produto serão largamente superadas, já que se trata dum produto funcionalmente muito bom e um design muito apelativo para o setor *Off-Road*, ao qual se destina.

Ao nível das ações desenvolvidas no DFMEA, no índice da severidade não foi obtida uma grande redução, já que a severidade de qualquer falha ligada derrame de combustíveis, implica a segurança do utilizador e requisitos legais. Problemas relacionados com questões de segurança afetam agora 57,1% das 56 ações desenvolvidas.

Já no índice da ocorrência, a probabilidade de falha moderada que representava 66,1% das ações foi reduzido em 100%, tendo aumentado a probabilidade baixa ou muito baixa de ocorrência. A probabilidade baixa ou muito baixa de ocorrência de algum problema, passou de 33,9% para 96,4%, verificando-se neste índice um grande controlo ao nível da ocorrência.

Já no índice da deteção, a probabilidade moderada de encontrar o defeito, passou de 48,2% para 0%, e a probabilidade alta passou de 46,4% para 100%.

Verifica-se então, que ao nível do produto, foram tomadas ações que reduzem a quantidade de ocorrências e aumentam a probabilidade de deteção de forma bastante assertiva. Espera-se então, que em produção série, o produto e processo se mantenham estáveis, garantindo assim baixa variação ao estudo já efetuado.

Ao nível do PFMEA, os resultados obtidos não foram tão expressivos, devido ao baixo número de ações necessárias a desenvolver. Como o DFMEA já previu a necessidade de controlo dos produtos e da montagem a 100%, o filtro do produto não conforme do PFMEA já estava implícito.

6.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Após a realização desta dissertação, são notórias as enormes vantagens da utilização do FMEA. Assim sendo propõe-se como perspectivas futuras a realização do FMEA segundo o novo formato do AIAG-VDA FMEA, desenvolvido em 2018. Nesta nova versão de análise, existem alterações que proporcionam a pormenorização da análise da estrutura e análise das falhas e a clarificação das tabelas de seleção dos índices severidade, ocorrência e deteção.

Sugere-se ainda, a realização de um *Reverse* FMEA após um período em produção série, para validação da eficácia deste FMEA. Essa reavaliação do FMEA atual irá verificar se todos os modos de falha foram determinados e se os índices de severidade, ocorrência e deteção foram bem determinados. Assim, se necessário, os produtos, os meios de prevenção, os meios de deteção e o processo deverão ser ajustados por forma a refletir a realidade e o melhor funcionamento com objetivo de maior qualidade para o produto e para o nosso cliente.

Por fim, a última proposta será a inclusão na análise FMEA de estudos sobre os custos associados a cada falha identificada e não identificada.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

7.1 ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS

7.2 Outros

7 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

7.1 ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS

- Braaksma, A. J. J., Klingenberg, W. & Veldman, J., 2012a. Failure Mode and Effects Analysis in asset maintenance: a multiple case study in the process industry. *International Journal of Production Research*, in press.
- Ćatić, D., Arsovski, S., Jeremić, B., & Glišović, J. (2011). *FMEA in Product Development Phase*. Paper presented at the 5th International Quality Conference, Serbia.
- Chen, C. C. 2013. "A Developed Autonomous Preventive Maintenance Programme Using RCA and FMEA." *International Journal of Production Research* 51 (18): 5404–5412.
- Fonseca, L.M., Lima, V.M. and Silva, M.M. (2015). Utilization of Quality Tools: does sector and size matter? *International Journal for Quality Research*, 9 (4), 605-620; <http://www.ijqr.net/journal/v9-n4/4.pdf>.
- Fonseca L.M, and Domingues J.P. (2017). Reliable and flexible Quality Management Systems in the automotive industry: monitor the context and change effectively. *Procedia Manufacturing* 11C (2017) pp. 1200-1206. DOI information: 10.1016/j.promfg.2017.07.245.
- Fonseca. L.C.M., Domingues, J.P., Machado, P.B. and Harder, D. 2019. ISO 9001:2015 Adoption: A Multi-Country Empirical Research. *JiEM*, 12(1, 27-50, DOI: 10.3926/jiem.2745.
- Fotopoulos, C, & Psomas, E. (2009). The use of quality management tools and techniques in ISO 9001:2000 certified companies: the Greek case. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 58(6), 564-580.
- Lipol, L. S. & Haq, J. (2011). Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations. *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 11(5).

- Liu, H. C., P. Li, J. X. You, and Y. Z. Chen. 2015. "A Novel Approach for FMEA: Combination of Interval 2-Tuple Linguistic Variables and Gray Relational Analysis." *Quality and Reliability Engineering International* 31 (5): 761–772.
- Teoh, P.C. and Case, K., 2005. An evaluation of Failure Modes and Effects Analysis Generation Method for conceptual design. *International Journal Computer Integrated Manufacturing*, 18 (4), 279–293.

7.2 Outros

- Alencar, A., & Schmitz, E. (2005). *Análise de Risco em Gerência de Projetos*. Brasport: Rio de Janeiro.
- August, J. (CQA), American Biltrite Inc. Tape Products Division, Moorestown, NJ USA
- Bureau Veritas (2019). Sobre a IATF 16949:2016. 14/09/2019 – Retrieved from <https://br.lead.bureauveritas.com/sobre-iatf-16949-2016>
- Associação Portuguesa de Gestão de Projetos (2019). Sobre Gestão de Projetos. 02/05/2019 - Retrieved from <http://www.apogep.pt/questoes-frequentes/62-sobre-gestao-de-projectos>
- Bowles, J. B., and C. E. Peláez. 1995. "Fuzzy Logic Prioritization of Failures in a System Failure Mode, Effects and Criticality Analysis." *Reliability Engineering & System Safety* 50 (2): 203–213.
- BSI, 2006. BS EN 60812:2006. Analysis techniques for system reliability. Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). BSI.
- Cruz, P. M. V. A. (2012). Aplicação do "Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)" na demolição, movimento de terras e execução da estrutura em edifícios. Retrieved from <https://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/4058>
- Dieter, G., 2000. *Engineering design a materials and processing approach*. New York: McGraw-Hill.
- DoD, 1980. MIL-STD 1629A. Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis. Washington, Department of Defense.

- FMEA Reference Manual (2011), Potential Failure Mode and Effects Analysis, Fourth Edition, Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation
- Ford (2011). Failure Mode and Effects Analysis: FMEA Handbook (with Robustness Linkages). Ford Company
- Gido, J.; Clements, J. P. Gestão de Projetos: Tradução da 3a edição norteamericana. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- Hartwell, J., Risk Priority Number: Calculation and use. Retrieved from to <https://www.iqasystem.com/news/risk-priority-number/>
- Heldman, Kim. Project Manager's Spotlight on Risk Management. Alameda: Harbor Light Press, 2005.
- IEC, 1985. IEC 60812. Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). Geneva: International Electrotechnical Commission.
- ISO - International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001 – Quality management systems – Requirements. Vernier, Geneva.
- Liu, H. C., L. Liu, and N. Liu. 2013. “Risk Evaluation Approaches in Failure Mode and Effects Analysis: A Literature Review.” Expert Systems with Applications 40 (2): 828–838.
- Moubray, J., 1992. Reliability-centered maintenance. New York: Industrial Press, Inc.
- Moura, C. (2000). Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA) Manual de Referência SAE J-1739. ASQC.
- Oliveira, U. R., Paiva, J. E., & Almeida, D. A. (2010). Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas. Produção, 24(1), 77-91. doi: 10.1590/S0103-65132010005000004

- Pedrosa, B. M. M. (2014). Análise dos Modos de Falha e Seus Efeitos (FMEA) aplicada a um Secador Industrial. (Master's thesis). Retrieved from <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/4151/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- Quality One (2019). FMEA. 11/5/2019 - Retrieved from <https://quality-one.com/fmea/>
- Rah, J.-E., Manger, R. P., Yock, A. D. & Kim, G.-Y. (2016). A comparison of two prospective risk analysis methods: Traditional FMEA and a modified healthcare FMEA. Medical Physics. Retrieved from <https://doi.org/10.1118/1.4966129>
- SAE, 2002. Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA).
- Soares, J. C. C. (2015). Aplicação do método FMEA na análise de riscos potenciais para o utilizador em equipamentos e postos de trabalho (Master's thesis). Retrieved from <https://iconline.ipl.leiria.pt/bitstream/10400.8/3074/1/Jo%C3%A3o%20Carlos%20Cordeiro%20Soares-%20Mestrado%20em%20Eng.%20de%20Conce%C3%A7%C3%A3o%20e%20desenvolvimento%20do%20produto.pdf>
- Soares, T. M. C. Q. (2014). Análise da eficácia da aplicação da Metodologia FMEA do Processo: Caso de estudo numa empresa certificada (Master's thesis). Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/47141303.pdf>
- Sousa, S.D., Aspinwall, E., Sampaio, P., & Guimarães, A.R. (2005). Performance measures and quality tools in Portuguese small and medium enterprises: survey results. Total Quality Management & Business Excellence, 16(2), 277-307
- Stamatis, D. H. (1995). Failure mode and effect analysis FMEA from theory to execution. ASQC: Milwaukee
- Stamatis, D.H., 2003. Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution. Quality Press.