



A MELHORIA DO FMEA ? DO PROJETO À INDUSTRIALIZAÇÃO NO SETOR AUTOMÓVEL

INÊS DO CARMO DUARTE CARREIRAS

julho de 2023

A MELHORIA DO FMEA – DO PROJETO À INDUSTRIALIZAÇÃO NO SETOR AUTOMÓVEL

Inês do Carmo Duarte Carreiras

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

A MELHORIA DO FMEA – DO PROJETO À INDUSTRIALIZAÇÃO NO SETOR AUTOMÓVEL

Inês do Carmo Duarte Carreiras

1180824

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 da Professora Luísa Maria Gaspar Morgado da Mota e coorientação da Doutora Sandra Cristina de Faria Ramos.

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

Não podia deixar de começar por agradecer à minha família, principalmente aos meus pais e irmão, que sempre me apoiaram e desejaram o melhor para mim. Porque sem eles e a sua contribuição, nada disto teria sido possível. E agradeço todos os valores que me transmitiram e que fizeram de mim aquilo que sou hoje. Ao meu namorado, por nunca me ter deixado ir abaixo nos momentos mais difíceis, por depositar sempre em mim toda a confiança, força de vontade e coragem para atingir os meus objetivos.

Quero agradecer à minha orientadora do Instituto Superior de Engenharia do Porto, a professora Luísa Maria Gaspar Morgado da Mota, pela sua disponibilidade, orientação e partilha de conhecimento, que permitiu, desde sempre, que este estágio se desenvolvesse e alcançasse o sucesso. Adicionalmente agradeço também à minha coorientadora, a Doutora Sandra Cristina de Faria Ramos, que também foi uma peça fundamental para a finalização deste estágio com sucesso. Foram sem dúvida duas figuras importantíssimas no meu percurso académico.

Um agradecimento especial a toda a equipa da Hutchinson Porto, especialmente ao Departamento da Qualidade, por me ter recebido de braços abertos e por todos os valores que me emitiram, podendo ser assim uma melhor pessoa e profissional. À minha orientadora, Sónia Canelhas, e à Daniela Martins um “obrigada” pela experiência e conhecimento transmitidos durante o período de estágio bem como pela disponibilidade e auxílio prestado sempre que era necessário. À Dra. da Qualidade, Susana Almeida, que com a sua prontidão me acolheu no seu departamento, demonstrando sempre preocupação e carinho ao longo do estágio. Agradeço também por isso à Dra. Anabela Matos pela oportunidade de estagiar numa empresa de renome e pela simpatia e cuidado que teve comigo desde o início.

Por último, e não menos importante, não podia deixar de reconhecer a motivação e ajuda que os meus colegas de mestrado sempre me deram e que me incentivaram a que terminasse esta etapa da minha vida com sucesso.

RESUMO

Num mercado cada vez mais competitivo, as organizações da indústria automóvel necessitam de soluções inovadoras e diferenciadoras para ganharem vantagem competitiva. Para isso, torna-se necessário a automatização e digitalização de processos que visam influenciar a operacionalização de novos projetos, diminuindo assim a produção de não conformes e o aparecimento de potenciais modos de falha. Neste contexto, o relatório apresentado insere-se no âmbito de um estágio curricular numa empresa da indústria de componentes para o setor automóvel e, que teve como objetivo, a melhoria de um processo transversal à gestão do risco – a Análise do Modo e Efeito de Falha (FMEA). Esta ferramenta apresentava algumas falhas no que diz respeito ao seu modo de conceção, não apresentando assim toda a informação desejada e ao nível de detalhe requerido pelo cliente. Logo, e sendo um caso de estudo único e exclusivo a uma empresa pertencente à indústria automóvel, este trabalho exigiu um tipo de metodologia com um comportamento indutivo apoiado por variadas ferramentas de análise quantitativa e qualitativa. Numa primeira fase do trabalho proposto, foi essencial perceber os processos produtivos associados ao tipo de produto comercializado na empresa. Concluída essa fase, procedeu-se à revisão bibliográfica, que foi fundamental para contextualizar a indústria automóvel e a sua ligação à qualidade e à ferramenta FMEA. No que diz respeito à conceção da ferramenta de risco na empresa, foi imperatório compreender o seu funcionamento. Isto foi possível através de várias presenças em reuniões de diferentes processos, de modo a assimilar o ambiente estratégico, operacional e tecnológico por detrás deste procedimento. Após isso, foi feito um levantamento, através de um inquérito, das perceções dos profissionais responsáveis pelo desenvolvimento da ferramenta da qualidade, em relação a oportunidades e ameaças implícitas no processo do FMEA. No sentido de eliminar a falta de compromisso das pessoas, a falta de um *software* capaz e de tempo, pontos negativos concluídos através do questionário, foi implementado um novo *software* na empresa. Um projeto-teste e um processo-piloto foram desenvolvidos para avaliar a eficiência e eficácia desta solução. A passagem do projeto foi imperatória para testar a aplicação desta solução, que serviria também de controlo obrigatório em futuras auditorias. O processo-piloto teve como grande objetivo a atualização do FMEA de um processo transversal à produção de tubagens de ar-condicionado diretamente através da ferramenta, visando assim o novo procedimento de criação e atualização de FMEA na empresa. Posteriormente, uma nova sondagem foi realizada, através de um novo inquérito, para extrair impactos após a transformação digital do processo. Entre as demais estatísticas, comprovou-se que todos os elementos pertencentes às equipas de FMEA concordaram com a substituição do Excel. Auxiliarmente, afirmam que este é melhor que o Excel, o que significa que esta medida aplicada foi bem-encarada e sucedida. Além disso, a implementação deste *software* refletiu-se em efeitos bastante positivos, atingindo assim os níveis pretendidos de eficácia e eficiência através da redução do tempo de desenvolvimento na conceção de um FMEA e da diminuição da probabilidade de ocultar informação pertinente e detalhada.

PALAVRAS-CHAVE

falha; metodologia FMEA; risco; setor automóvel; *software*.

ABSTRACT

In an increasingly competitive market, automotive organizations need innovative and differentiating solutions to gain competitive advantage. For this, it becomes necessary the automation and digitalization of processes that aim to influence the operationalization of new projects, thus reducing the production of non-compliant and the emergence of potential failure modes. In this context, the report presented is part of a curricular internship in a company in the automotive components industry, which aimed to improve a process transversal to risk management - the Failure Mode and Effect Analysis. This tool had some issues regarding its conception, thus not presenting all the desired information and the level of detail required by the client. Therefore, and being a unique and exclusive case study to a company belonging to the automotive industry, this work required a type of methodology with an inductive behavior supported by various quantitative and qualitative analysis tools. In a first phase of the proposed work, it was essential to understand the production processes associated with the type of product commercialized in the company. Once this phase was completed, a literature review was carried out, which was fundamental to contextualize the automotive industry and its connection to quality and the FMEA tool. Regarding the design of the risk tool in the company, it was imperative to understand its operation. This was possible through several attendances at meetings of different processes, in order to assimilate the strategic, operational and technological environment behind this procedure. After that, a survey was carried out on the perceptions of the professionals responsible for the development of the quality tool, regarding the opportunities and threats implicit in the FMEA process. In order to eliminate the lack of commitment from people, the lack of a capable software and time, negative points concluded through the questionnaire, a new software was implemented in the company. A test project and a pilot process were developed to evaluate the efficiency and effectiveness of this solution. The passage of the project was imperative to test the application of this solution, which would also serve as a mandatory control in future audits. The pilot process had as a major objective the update of the FMEA of a process transversal to the production of air conditioning pipes directly through the tool, thus aiming at the new procedure of creation and update of FMEA in the company. Subsequently, a new survey was conducted to extract impacts after the digital transformation of the process. Among the other statistics, it was found that all the members of the FMEA teams agreed with the replacement of Excel. Additionally, they stated that it is better than Excel, which means that this applied measure was well appreciated and successful. Moreover, the implementation of this software has reflected in very positive effects, thus achieving the desired levels of effectiveness and efficiency by reducing the development time in develop an FMEA and decreasing the probability of hiding pertinent and detailed information.

KEYWORDS

automotive sector; failure; FMEA methodology; risk; software.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	XI
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Contextualização	15
1.2. Objetivos	16
1.3. Metodologia	16
1.4. Estrutura do relatório	17
1.5. Empresa de acolhimento	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. Atualidade na indústria automóvel	19
2.1.1. Setor automóvel em Portugal	19
2.2. Qualidade	20
2.2.1. Qualidade no setor automóvel	21
2.3. FMEA	22
2.3.1. Origem do FMEA	24
2.3.2. Tipos de FMEA	25
2.3.3. Implementação do FMEA	26
2.3.4. Benefícios e limitações do FMEA	30
2.3.5. Soluções de <i>software</i> do FMEA	31
3. ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE CONCEÇÃO DO PFMEA NA EMPRESA (AS-IS)	33
3.1. Compreensão dos produtos e processos produtivos da empresa	33
3.2. Questionário inicial e resultados	36
3.3. Ameaças e oportunidades do processo	51
4. IMPLEMENTAÇÃO DO <i>SOFTWARE</i> DO PFMEA NA EMPRESA (TO-BE)	55
4.1. Caracterização e formação no <i>software</i>	55
4.2. Desenvolvimento do projeto-teste	57
4.2.1. Compreensão e análise do projeto-teste	57
4.2.2. PFMEA do projeto-teste	63
4.3. Desenvolvimento do processo-piloto	74
4.3.1. Compreensão e análise do processo-piloto	74
4.3.2. PFMEA do processo-piloto	78
4.4. Questionário final e resultados	86
5. CONCLUSÃO	97
5.1. Conclusões finais	97
5.2. Limitações e trabalhos futuros	98

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
APÊNDICE A – Inquérito inicial sobre o PFMEA.....	103
APÊNDICE B – Manual de instrução do <i>software</i>	107
APÊNDICE C – Excerto do PFMEA do projeto HHN	137
APÊNDICE D – Excerto do PFMEA do processo de embutição.....	139
APÊNDICE E – Inquérito final sobre o PFMEA	141
ANEXO A – Classificação dos índices do PFMEA	145
ANEXO B – <i>Template</i> PFMEA.....	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Gantt chart</i> do estágio curricular	17
Figura 2 – Volume de negócios por atividade na indústria de componentes de automóveis, em 2021 (AFIA, 2021).....	20
Figura 3 – Modelo teórico da cadeia de falhas (AIAG & VDA, 2019)	22
Figura 4 – Sistema de classificação do risco para potenciais modos de falha (Palady, 1998)	23
Figura 5 – <i>Layout</i> da fábrica do Porto 1 de Ar Condicionado	33
Figura 6 – Fluxograma de um processo produtivo geral.....	35
Figura 7 – Exemplo de sistema de ar condicionado	36
Figura 8 – Distribuição do número de reclamações oficiais por ano	36
Figura 9 – Distribuição dos defeitos mais frequentes por tipo de defeito e por ano	37
Figura 10 – Escala ordinal do questionário inicial	39
Figura 11 – Base de dados no Excel do questionário inicial.....	39
Figura 12 – Base de dados no R do questionário inicial.....	39
Figura 13 – Distribuição dos participantes por classes etárias	40
Figura 14 – Distribuição dos participantes segundo a classe de anos de trabalho na empresa.....	41
Figura 15 – Importância dos motivos para se usar o PFMEA.....	41
Figura 16 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção B do questionário inicial.....	42
Figura 17 – Importância dos aspetos de gestão do PFMEA	42
Figura 18 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção C do questionário inicial.....	42
Figura 19 – Importância dos aspetos de gestão do processo do PFMEA.....	43
Figura 20 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção D do questionário inicial	43
Figura 21 – Importância dos aspetos de equipa do PFMEA.....	44
Figura 22 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção E do questionário inicial.....	44
Figura 23 – Importância dos aspetos técnicos do PFMEA	44
Figura 24 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção F do questionário inicial	45
Figura 25 – Importância dos aspetos de formação do PFMEA	45
Figura 26 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção G do questionário inicial	45
Figura 27 – Participação em formação de PFMEA	46
Figura 28 – Importância dos aspetos de recursos do PFMEA	46
Figura 29 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção H do questionário inicial	46
Figura 30 – Benefícios e eficácia do PFMEA.....	47
Figura 31 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção I do questionário inicial.....	47
Figura 32 – Dificuldades no PFMEA.....	48
Figura 33 – Priorização das dificuldades no PFMEA.....	48
Figura 34 – Utilidade e usabilidade do Microsoft Excel para o PFMEA	49
Figura 35 – Sugestão e conhecimento do novo <i>software</i>	49
Figura 36 – Importância dos possíveis benefícios do novo <i>software</i> de PFMEA	50
Figura 37 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção K do questionário inicial.....	50
Figura 38 – Matriz de correlação de <i>Spearman</i> entre secções do questionário inicial	51
Figura 39 – Diagrama de <i>Ishikawa</i>	52
Figura 40 – 5 porquês para a causa-raiz.....	53
Figura 41 – Sete passos da metodologia AIAG-VDA (TRIGO, 2022)	56

Figura 42 – <i>Renault Kadjar</i>	57
Figura 43 – Desenho 3D das peças ICE e HEV	57
Figura 44 – Montagem de proteção de alumínio na AA29	58
Figura 45 – Tubo prensado na AA29	58
Figura 46 – Montagem de <i>bracket</i> na AA29.....	58
Figura 47 – Montagem de <i>o’ring</i> na AA29	59
Figura 48 – Colocação de fita de cor na AA29.....	59
Figura 49 – Montagem de tampões na AA29.....	59
Figura 50 – Colocação de etiqueta de identificação na AA29.....	59
Figura 51 – Montagem do mecanismo de válvula na AA31.....	60
Figura 52 – Tubo não curvado na AA31	60
Figura 53 – Tubo curvado na AA31	60
Figura 54 – Montagem de <i>bracket</i> na AA31.....	61
Figura 55 – Montagem de <i>o’ring</i> na AA31	61
Figura 56 – Montagem de tampões na AA31.....	61
Figura 57 – Colocação de etiqueta de identificação na AA31.....	61
Figura 58 – Estrutura em árvore do projeto HHN.....	63
Figura 59 – Excerto da estrutura em árvore no <i>software</i> do projeto HHN.....	64
Figura 60 – Funções do item e dos passos do processo do projeto HHN	64
Figura 61 – Funções da [OP-323] do projeto HHN	65
Figura 62 – Efeitos nos diferentes níveis do HHN	65
Figura 63 – Modos de falha para cada operação-foco do HHN	66
Figura 64 – Causas para os 6M do HHN	66
Figura 65 – Análise das falhas da [OP-088] do projeto HHN.....	67
Figura 66 – Controlos atuais de prevenção e de deteção do HHN	67
Figura 67 – Símbolo de característica crítica de qualidade no posto de trabalho	68
Figura 68 – Análise do risco da [OP-340] do projeto HHN	69
Figura 69 – Otimização do risco da [OP-345] do projeto HHN.....	69
Figura 70 – Sensor na máquina de prensar proteções de alumínio.....	70
Figura 71 – Lança na máquina de perno roscado	70
Figura 72 – “Passa” para verificar a altura da broca	71
Figura 73 – Ligação entre a máquina de obstrução e MPP	71
Figura 74 – Sensor para detetar o furo	72
Figura 75 – Distribuição da prioridade de ação (PA, PA’ e PA Final) do projeto HHN	73
Figura 76 – Distribuição do estado e do tipo de ações do projeto HHN.....	73
Figura 77 – Bibliotecas de operações, modos e causas de falha	73
Figura 78 – Bibliotecas de controlos atuais de prevenção e de deteção.....	74
Figura 79 – Célula Automática de Embutição (CAE)	75
Figura 80 – Célula Robotizada Automática (CRA)	75
Figura 81 – Alimentador de tubos de uma célula de embutição	76
Figura 82 – Casquilho e brida	76
Figura 83 – Alimentador de componentes de uma célula de embutição	76
Figura 84 – <i>Binpicking</i> de uma célula de embutição.....	77
Figura 85 – Carro de saída de tubos embutidos	77
Figura 86 – Tubo normal e tubo embutido	78

Figura 87 – Estrutura em árvore do processo de embutição.....	78
Figura 88 – Excerto da estrutura em árvore no <i>software</i> do processo de embutição	79
Figura 89 – Funções do item e dos passos do processo de embutição	79
Figura 90 – Excerto da estrutura em árvore com funções do processo de embutição	80
Figura 91 – <i>Network</i> das funções das CRA	80
Figura 92 – Funções das CRA no processo de embutição	80
Figura 93 – Efeitos nos diferentes níveis do processo de embutição	81
Figura 94 – Modos de falha para cada passo do processo de embutição	81
Figura 95 – Causas para os 4M do processo de embutição	82
Figura 96 – Excerto da estrutura em árvore da análise da falha para o processo de embutição....	82
Figura 97 – <i>Network</i> dos efeitos, modos de falha e causas das CAE	83
Figura 98 – Análise das falhas das CAE do processo de embutição	83
Figura 99 – Controlos atuais de prevenção e de deteção do processo de embutição	83
Figura 100 – Análise do risco de um modo de falha das CRA do processo de embutição	84
Figura 101 – Otimização do risco de um modo de falha das CRA do processo de embutição	84
Figura 102 – Proteção de borracha no PT12	85
Figura 103 – Distribuição da prioridade de ação (PA, PA' e PA Final) do processo de embutição ..	86
Figura 104 – Distribuição do estado e do tipo de ações do processo de embutição	86
Figura 105 – Escala <i>likert</i> do questionário final	87
Figura 106 – Base de dados no Excel do questionário final	88
Figura 107 – Base de dados no R do questionário final	88
Figura 108 – Importância do desempenho do <i>software</i>	89
Figura 109 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção B do questionário final	89
Figura 110 – Importância dos benefícios do novo <i>software</i> de PFMEA	90
Figura 111 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção C do questionário final	90
Figura 112 – Comparação de respostas da secção: Eficácia e eficiência do <i>software</i>	91
Figura 113 – Concordância quanto à usabilidade do novo <i>software</i>	91
Figura 114 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção D do questionário final.....	92
Figura 115 – Concordância quanto à utilidade do novo <i>software</i>	92
Figura 116 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção E do questionário final	93
Figura 117 – Concordância quanto à facilidade de uso do novo <i>software</i>	93
Figura 118 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção F do questionário final	94
Figura 119 – Concordância quanto à fiabilidade do <i>software</i>	94
Figura 120 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção G do questionário final.....	94
Figura 121 – Concordância quanto à avaliação final do <i>software</i>	95
Figura 122 – Correlação de <i>Spearman</i> da secção H do questionário final.....	95
Figura 123 – Matriz de correlação de <i>Spearman</i> entre secções do questionário final.....	96
Figura 124 – <i>Template</i> PFMEA (AIAG & VDA, 2019)	153

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Benefícios do FMEA	30
Tabela 2 – Limitações do FMEA	31
Tabela 3 – Escala do alfa de <i>Cronbach</i>	40
Tabela 4 – Fiabilidade das secções do questionário inicial	40
Tabela 5 – Interpretação do coeficiente de correlação de <i>Spearman</i>	41
Tabela 6 – Operações inerentes à AA29	58
Tabela 7 – Operações inerentes à AA31	60
Tabela 8 – N.º de referências do HHN por operação	62
Tabela 9 – Atribuição de deteção conforme controlos atuais de deteção	68
Tabela 10 – Características críticas da Hutchinson Porto	68
Tabela 11 – Ações do PFMEA do HHN.....	69
Tabela 12 – Ações do PFMEA do processo de embutição	84
Tabela 13 – Tipos de questionários para avaliar novos <i>softwares</i>	87
Tabela 14 – Fiabilidade das secções do questionário final	88
Tabela 15 – Comparação de respostas entre usabilidade e utilidade de <i>softwares</i>	95
Tabela 17 – Classificação do índice de Severidade (Adaptado de (AIAG & VDA, 2019))	145
Tabela 18 – Classificação do índice de Ocorrência (Adaptado de (AIAG & VDA, 2019))	147
Tabela 19 – Classificação do índice de Deteção (Adaptado de (AIAG & VDA, 2019)).....	148
Tabela 20 – Prioridade de Ação para PFMEA (Adaptado de (AIAG & VDA, 2019)).....	150

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

4M	Mão de Obra, Máquina, Material e Meio
5T	<i>Team, Timing, Tool, inTent e Task</i>
6M	Mão de Obra, Máquina, Material, Meio, Medição e Método
AC	Ar Condicionado
AFIA	Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel
AIAG	<i>Automotive Industry Action Group</i>
PA	Prioridade de Ação
APQP	<i>Advance Product Quality Planning</i>
ASQ	<i>After Scenario Questionnaire</i>
CAE	Célula Automática de Embutição
CEP	Controlo Estatístico do Processo
CRA	Célula Robotizada Automática
CSUQ	<i>Computer System Usability Questionnaire</i>
D	Deteção
DA	Direção Assistida
DMEA	FMEA de <i>Design</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
FMECA	<i>Failure Mode, Effect and Criticality Analysis</i>
GCC	<i>Gabarit de Controlo do Curvado</i>
GCF	<i>Gabarit de Controlo Final</i>
GM	<i>General Motors</i>
H	Prioridade de Ação Elevada
IATF	<i>International Automotive Task Force</i>
IPS	Instrução de Preparação <i>Standard</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITS	Instrução de Trabalho <i>Standard</i>
L	Prioridade de Ação Baixa
M	Prioridade de Ação Média
MP	Matéria-Prima
MTO	<i>Make To Order</i>
MTS	<i>Make To Stock</i>
N/A	Não Aplicável
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NPR/RPN	Número de Prioridade de Risco/ <i>Risk Priority Number</i>
O	Ocorrência

OEM	<i>Original Equipment Manufacturers</i>
OICA	<i>Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles</i>
OIT	Organização Internacional do Trabalho
PA	Produto Acabado
PDCA	<i>Plan, Do, Check and Act</i>
PFMEA	FMEA de Processo
PPAP	<i>Production Part Approval Process</i>
PPM	Partes Por Milhão
PSSUQ	<i>Post-Study System Usability Questionnaire</i>
PT	Posto de Trabalho
PUEU	<i>Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use</i>
QFD	<i>Quality Function Development</i>
S	Severidade
SGQ	Sistemas de Gestão da Qualidade
SUS	<i>System Usability Scale</i>
UAP	Unidade Autónoma de Produção
USE	<i>Usefulness, Satisfaction and Ease of Use</i>
VDA	<i>Verband der Automobilindustrie</i>

Lista de Símbolos

r	Coeficiente de correlação de <i>Pearson</i>
ρ	Coeficiente de correlação de <i>Spearman</i>
$\emptyset$	Diâmetro
€	Euro
%	Porcentagem

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo introdutório está dividido em cinco subtópicos que permitem sobretudo contextualizar e enunciar os objetivos propostos do estágio curricular e do tema de relatório de trabalho em que se enquadra o mesmo. Adicionalmente, é referida a metodologia a que se recorreu durante o trabalho, bem como a estrutura deste documento. Por fim, é feita uma apresentação da empresa de acolhimento durante os nove meses de estágio, incluindo a sua história e área de negócio em que se insere.

1.1. Contextualização

Num ambiente de constante procura e competitividade, as empresas têm de reagir e alterar a forma como respondem aos pedidos dos seus clientes, nomeadamente a indústria automóvel. Esta indústria tem sido particularmente desafiada no que toca à complexidade dos automóveis, requisitos regulamentares e à necessidade de gerir a cadeia de abastecimento num curto espaço de tempo (Fonseca & Domingues, 2017). Desta forma, e para melhorar continuamente a sua *performance*, a indústria automóvel deve encarar os novos projetos como cruciais na estratégia da empresa. Segundo o PMBOK, a gestão de projetos encarrega-se do conhecimento, ferramentas e técnicas com o propósito de entregar valor para as pessoas, sendo que um projeto é “um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único” (Project Management Institute, 2021).

Aliado à gestão de projetos, as empresas têm dado uso às ferramentas e técnicas da qualidade como a análise FMEA, CEP (Controlo Estatístico do Processo), APQP (*Advance Product Quality Planning*) e PPAP (*Production Part Approval Process*) (Fonseca & Domingues, 2017). Contudo, a literatura refere que a gestão de projetos no setor automóvel tem vindo a evoluir, dado que transitou de uma orientação técnica para uma mais estratégica e organizacional, de forma a acompanhar os novos processos e estruturas (Midler & Navarre, 2007).

A indústria automóvel é uma das mais afetadas pela revolução da tecnologia, desde a segurança dos veículos à redução do consumo de combustível (Grimm, 2003). Assim, torna-se evidente o investimento na automatização e digitalização dos processos de gestão, contribuindo para o controlo e minimização do risco.

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do estágio curricular do Mestrado de Engenharia Mecânica, no ramo de Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), no ano escolar de 2022/23. Este estágio foi realizado em ambiente organizacional, entre os meses de setembro de 2022 e junho de 2023, numa empresa inserida na indústria de componentes automóveis, a Hutchinson Porto. Esta empresa, localizada no concelho de Valongo, distrito do Porto, tem como incidência a produção de tubagens para sistemas de ar condicionado e direção assistida para veículos ligeiros (passageiros e mercadorias) dos mais diversos e prestigiados fabricantes de automóveis a nível global.

Este estágio veio responder à necessidade de melhoria da ferramenta FMEA de Processo, para novos projetos, que porventura não era eficiente e eficaz, devido principalmente à não dedicação do tempo preciso para o desenvolvimento da ferramenta e à não disponibilidade e descrição pormenorizada de toda a informação.

1.2. Objetivos

De forma a progredir, uma empresa deve, diariamente, assegurar níveis exigentes de eficácia, qualidade e inovação para dar resposta aos requisitos impostos pelo cliente.

Logo, e considerando a grande lacuna na eficácia e eficiência da aplicação da ferramenta FMEA de Processo (PFMEA) na empresa de estágio, foram elaboradas as seguintes questões de investigação:

1. De que forma se pode melhorar o PFMEA para reduzir as limitações subjacentes ao processo manual, no sentido de atingir os níveis pretendidos de eficiência e eficácia?
2. Quais os benefícios da implementação de um *software* para substituir o processo manual de conceção do PFMEA? Qual é o impacto da automatização desta ferramenta nas pessoas responsáveis por este processo?

Posto isto, o principal objetivo deste trabalho passa pela implementação de um novo *software*, reduzindo ao mínimo as falhas associadas ao processo atual de conceção da ferramenta e assegurando a adequada interligação entre os documentos resultantes (por exemplo: plano de controlo, pautas de controlo, documentação do posto de trabalho, etc.). Para responder às questões de investigação e, tendo em conta a necessidade de automatizar o PFMEA na empresa, definiram-se os seguintes objetivos individuais:

- Análise da *performance* atual do processo manual (*AS-IS*);
- Identificação de riscos e pontos críticos no processo;
- Implementação do *software* proposto pela empresa (*TO-BE*);
- Elaboração de um manual de utilizador com a documentação detalhada do processo automatizado;
- Comparação entre os processos *AS-IS* e *TO-BE*;
- Análise dos benefícios conseguidos com a automatização do PFMEA.

1.3. Metodologia

O tema deste trabalho carece de uma abordagem sistemática e disciplinada para avaliar e melhorar a eficiência e eficácia do processo, contribuindo para a maximização da sua *performance* e mitigação dos riscos associados. Segundo Saunders et al., 2019, quando um trabalho de investigação requer recolher dados e desenvolver uma teoria como resultado da análise dos dados, estamos perante um comportamento indutivo. Deste modo, ao longo deste trabalho, foi adotada uma metodologia, Figura 1, com este tipo de abordagem constituída pelas seguintes etapas:

1. Formação na empresa, de modo a compreender todos os processos produtivos e as áreas envolventes na criação de valor da empresa;
2. Revisão bibliográfica exaustiva acerca da ferramenta PFMEA, nomeadamente na:
 - Identificação de potenciais benefícios e limitações aquando da utilização desta ferramenta nas empresas;
 - Enumeração de soluções automatizadas já implementadas anteriormente.

3. Compreensão do ambiente a nível estratégico, operacional e tecnológico do processo atual de conceção do PFMEA na empresa:
 - Reconhecimento de ameaças e oportunidades de melhoria no processo, através de um inquérito efetuado à equipa responsável pela elaboração desta ferramenta;
4. Transformação do processo com a implementação do novo *software*, substituindo assim o Excel:
 - Formação na solução de *software* proposta pela empresa;
 - Elaboração do manual de utilizador que suporte todo o procedimento envolvido aquando de um novo PFMEA;
 - Desenvolvimento do projeto-teste e processo-piloto PFMEA através da nova solução;
 - Extração e perceção do impacto do novo *software* nas pessoas por meio de outro inquérito.
5. Apresentação de um resumo das conclusões obtidas, sugerindo possíveis desenvolvimentos futuros.



Figura 1 – Gantt chart do estágio curricular

Pelo facto de ser uma investigação única e útil para responder a várias questões, este trabalho tem como estratégia um estudo de caso com um comportamento metódico misto, isto é, utilizam-se ferramentas de análise quantitativa e qualitativa. Esta escolha advertiu do facto de o trabalho ser desenvolvido e detalhado para uma e exclusiva empresa da indústria automóvel, podendo este estudo ser, posteriormente, adequado a empresas com características idênticas.

1.4. Estrutura do relatório

O presente documento é constituído essencialmente por cinco capítulos, sendo que o primeiro contextualiza o trabalho, bem como enuncia os objetivos propostos para o tema em causa, a metodologia utilizada com as devidas fases de desenvolvimento e a estrutura do documento. É também elaborada uma breve apresentação da empresa que possibilitou a elaboração do estágio curricular.

No segundo capítulo, prossegue-se com a revisão bibliográfica que expõe informação pertinente e validade sob diferentes pontos de vista sobre o assunto da proposta de estágio, particularmente a atualidade na indústria automóvel, qualidade e FMEA. É um capítulo que permite assim apoiar o que será descrito na componente prática do trabalho.

O terceiro capítulo submete-se à análise e caracterização do processo de conceção do PFMEA na empresa (AS-IS). Para isso, um questionário foi entregue às pessoas das variadas equipas multifuncionais do PFMEA para perceber as principais dificuldades, mas também possíveis oportunidades de melhoria no processo.

O quarto capítulo contém a implementação do *software* na empresa, bem como os casos práticos escolhidos como projeto-teste e processo-piloto para esta melhoria do processo (TO-BE). Um questionário final foi novamente elaborado para identificar melhorias em relação ao questionário inicial. Também neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados, nomeadamente com a comparação dos dois questionários e com o desenvolvimento do projeto-piloto no *software*.

As conclusões encontram-se no quinto capítulo onde se sumariza a metodologia adotada para melhoria do PFMEA na empresa, com uma apresentação sintética dos resultados conseguidos com a automatização da ferramenta. São ainda enumeradas limitações e propostas para trabalhos futuros. E, por fim, estão fixados apêndices e anexos que complementam o trabalho elaborado.

1.5. Empresa de acolhimento

A empresa que acolheu o estágio curricular com uma duração de nove meses tem a designação de HUTCHINSON (PORTO) – TUBOS FLEXÍVEIS, SOCIEDADE UNIPESSOAL LDA, localizada no distrito do Porto, concelho de Valongo. Esta empresa, pertencente ao Grupo Hutchinson, com sede em *Châlette-sur-Loing*, França, foi fundada no século XIX por um americano, Hiram Hutchinson, com o propósito de comercializar exclusivamente calçado impermeável de borracha (Hutchinson, 2021a). Contudo, e com o desenrolar dos anos seguintes, este Grupo foi crescendo e expandindo o seu negócio até à indústria automóvel, aeroespacial, ferroviária, defesa e energia (Hutchinson, 2021c). No ano em que o Grupo perfaz 170 anos, a Hutchinson é líder global no controlo de vibração, gestão de fluidos e tecnologias de vedação, estando presente em 25 países, empregando cerca de 38 000 funcionários e com uma faturação de 3 900 bilhões de euros, em 2021 (Hutchinson, 2021b).

Em Portugal, existem três unidades fabris: Campo Maior, Portalegre e Porto. A unidade do Porto tem como foco a produção de tubos do sistema de ar condicionado (AC) e direção assistida (DA). Contudo, e apesar desta unidade fabril, que integra a Divisão de Transferência de Fluidos do Grupo, ser exclusiva a estes dois tipos de produtos, as tubagens de ar condicionado são a grande fatia das vendas. A área de negócio da Hutchinson Porto resume-se pela sua complexidade e diversidade de modelos, motivada pela diferenciação entre construtores automóveis. Atualmente os principais clientes a que a Hutchinson fornece os seus produtos são nomeadamente o Grupo *Stellantis*, *Renault-Nissan*, *Mercedes-Benz/Daimler* e *Ford*. A Hutchinson Porto, com cerca de 900 trabalhadores, compromete-se a entregar produtos de elevada qualidade, garantindo assim a satisfação e o cumprimento dos requisitos impostos pelo cliente final. Para isso, o departamento da Qualidade, área da empresa que acolheu o estágio, impõe que a qualidade depende de todos os colaboradores, porque “a Qualidade é a satisfação do Cliente e a garantia da sustentabilidade do negócio” (Canelhas, 2018).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este segundo capítulo suporta toda a literatura bibliográfica que serve como apoio e fundamento para o que se segue nos próximos capítulos, relativamente à componente prática do trabalho. Posto isto, começa-se por enquadrar a indústria automóvel, a nível global e nacional, bem como o segmento da indústria de componentes, área de negócio à qual se insere a empresa do estágio. Prontamente, segue-se para o ramo da Qualidade e seus princípios, que por sua vez irá interagir com a ferramenta FMEA. Estas vertentes serão posteriormente analisadas em relação ao setor automóvel.

2.1. Atualidade na indústria automóvel

A nível global, a indústria automóvel representa uma grande percentagem de vendas, sendo que em 2022 se prevê uma receita de 2.95 triliões de dólares americanos (Carlier, 2022). Este número é bastante animador, visto que em 2021, era de 2.86 triliões (cerca de 82 milhões de automóveis) (OICA, 2021). Contudo, comparando estes valores com 2019, pré-pandemia, está-se a falar de uma redução de 26,0% em vendas de automóveis num espaço temporal de três anos. O ano de 2022 foi particularmente difícil, uma vez que se estava a combater a saída de uma pandemia mundial, mas também de uma carência de semicondutores. A acrescentar iniciou-se uma guerra que muito prejudicou na economia (principalmente europeia) e na disponibilidade de energia (ACEA, 2022).

As novas tendências na tecnologia estão a fazer com que tudo seja repensado, desde os processos de produção aos próprios equipamentos. Estas medidas influenciam muito as indústrias, na medida em que a automação e a eletrificação começam a ganhar espaço no mercado. A mudança enaltece-se também no perfil do consumidor e nas restrições ambientais (por exemplo a emissão de gases), que acabam por afetar a estrutura e a estratégia deste setor (Deloitte, 2021). Parte destas alterações foram aceleradas pela pandemia do COVID-19, que apesar da quebra nas vendas, os automóveis que foram vendidos eram sobretudo elétricos (International Labour Organization, 2022). A crise derivada da COVID-19 causou uma revolução na indústria da mobilidade, levando a que o objetivo, nos próximos anos, seja de atingir os 0,0% de emissões de CO₂. Cabe às organizações saírem da sua zona de conforto e focarem-se num futuro próximo composto por veículos elétricos, autónomos e digitalizados (Neves & Alçada, 2020). Para isso, a indústria necessita de melhorar a sua *performance* e, de igual modo, garantir qualidade ao longo de toda a cadeia de abastecimento desde a matéria-prima ao produto final.

2.1.1. Setor automóvel em Portugal

Em Portugal, o setor automóvel tem um grande contributo na empregabilidade (cerca de 90 000 postos), tendo criado em 2019 um retorno de 15 900 milhões de euros para a economia portuguesa. A pandemia do COVID-19 refletiu-se na quebra destes valores, tendo bastante influência na riqueza gerada e emprego. Desta situação, outros desafios surgiram como as alterações na procura, a volatilidade dos preços e a pressão da inflação, que por sua vez, originaram perturbações no modo de operação das empresas (International Labour Organization, 2022).

O grande foco do setor automóvel, em Portugal, é a fabricação de componentes e acessórios, estando presente em 350 empresas (62 000 trabalhadores) e representando um volume de

negócios de 11,1 mil milhões de euros (AFIA, 2021). Porém, esta secção apresenta uma grande distância perante as grandes OEM – *Original Equipment Manufacturers* situadas em países como China, Coreia do Sul, Estados Unidos ou Japão e também europeias como Alemanha, Espanha, França, Itália e Reino Unido. Adicionalmente, os produtores de componentes caracterizam-se por serem pequenas e médias empresas (PME), o que limita ainda mais o crescimento financeiro da indústria automóvel portuguesa (S. Santos & Dore, 2018). Em relação ao que é produzido, 14,2% é exportado (dados de 2021), sendo que desta fatia, 88,3% é para a Europa (29,0% Espanha, 20,6% Alemanha, 11,6% França, 4,7% Reino Unido e 22,4% outros). Algumas das grandes organizações do top 100 ranking mundial e que possuem unidades de produção em Portugal são a *Bosch*, *Renault*, *Cacia*, *Yazaki*, *Continental* e *Faurecia* (AFIA, 2021).

Os componentes elétricos/eletrónicos e metalúrgicos são os líderes no volume de negócios desta indústria no país, facto que é demonstrado na Figura 2.

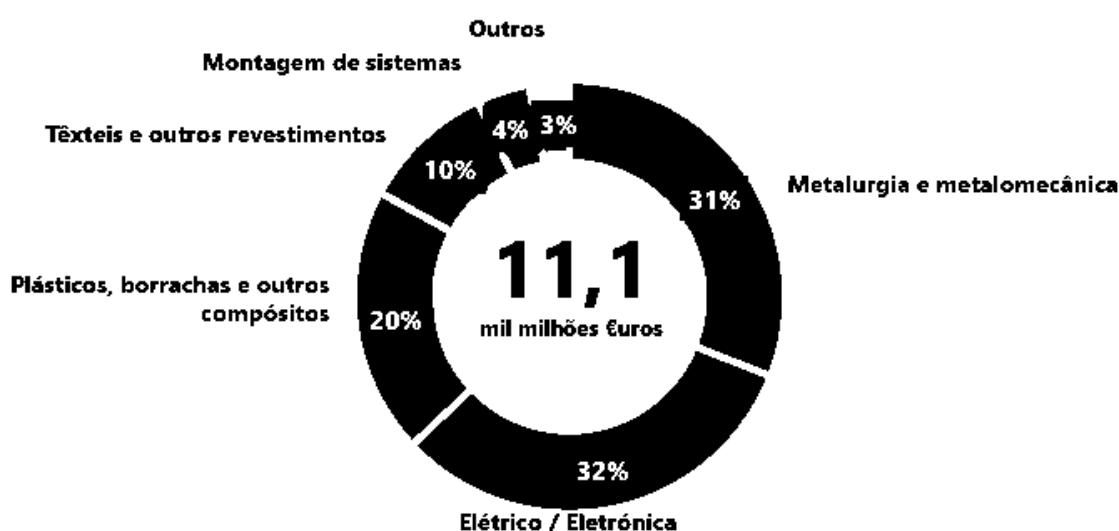


Figura 2 – Volume de negócios por atividade na indústria de componentes de automóveis, em 2021 (AFIA, 2021)

2.2. Qualidade

As organizações que recorrem a práticas de gestão da qualidade, normalmente, pretendem melhorar a eficiência dos seus processos e a criação de valor para o cliente. A melhoria contínua dos processos e produtos causa retorno de investimentos e custos reduzidos (Tarí et al., 2012).

Neste contexto, e com o propósito de assegurar a inovação, segurança, *performance* e qualidade, de acordo com a ISO Survey 2021 (*International Organization for Standardization*), mais de 1 milhão de organizações dos diversos setores mundiais já são certificadas na ISO 9001:2015 (*International Organization for Standardization*, 2021). A ISO, que surgiu em 1947, é uma federação mundial que normaliza as organizações por *standardização* dos processos envolventes das mesmas (*International Organization for Standardization*, 2015a). Existe uma variedade de normas que englobam diferentes sistemas de gestão como a qualidade, ambiente, segurança, entre outros. Especificamente, a ISO 9001:2015 é uma norma internacional criada em 1987 e revista nos anos de 1994, 2000 e 2008, que abrange o sistema de gestão da qualidade.

De acordo com a ISO 9000:2015, que estabelece os conceitos e princípios subjacentes às normas dos Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ), a qualidade é “o grau de satisfação de requisitos dado por um conjunto de características intrínsecas de um objeto”. As empresas que querem ser certificadas na ISO 9001 procuram assim o seu sucesso, sustentado na satisfação e confiança por parte dos clientes, fornecedores e partes interessadas (International Organization for Standardization, 2015a). Os autores Tarí et al. (2012) estudaram a diversidade de benefícios que a norma pode contrair nas empresas, realçando que estes concernem principalmente na melhoria da eficiência e rentabilidade e no *marketing* (imagem de marca e relações). Outros benefícios, mas não tão destacados, são a qualidade do produto e as vendas.

Uma das alterações implementadas na versão mais recente da ISO 9001 foi o pensamento baseado no risco, onde as organizações precisam de identificar e avaliar os riscos (e oportunidades) associados à sua atividade e implementar medidas que permitam antecipar e gerir esses mesmos riscos (International Organization for Standardization, 2015b). A ISO 9000:2015 define o risco como o “efeito da incerteza”, sendo que a incerteza é “o estado parcial de deficiência de informação, relacionado com a compreensão ou conhecimento de um evento, sua consequência ou verosimilhança” (International Organization for Standardization, 2015a).

De acordo com um estudo, a adoção do pensamento baseado no risco foi o maior benefício conseguido através da implementação da ISO 9001:2015. Outros benefícios como o compromisso da gestão de topo e a identificação de riscos e oportunidades foram também muito valorizados. Sumariamente, o estudo confirma a relevância das novas alterações efetuadas na norma, contudo fornecer tempo e dedicação é essencial para o sucesso da sua implementação (Ciravegna Martins da Fonseca et al., 2019).

2.2.1. Qualidade no setor automóvel

Considerando que o setor automóvel é um dos mais complexos e desafiantes da atualidade, houve a necessidade de criar uma norma para garantir que os requisitos do cliente fossem atendidos em toda a cadeia de abastecimento (M. Santos & Neto, 2016). A ISO/TS 16949, agora IATF 16949 (*International Automotive Task Force*), surgiu assim, em 1999, com o intuito de desenvolver um SGQ para reduzir defeitos, variabilidades e desperdícios (International Automotive Task Force, 2016). Os membros que fazem parte do grupo da IATF são algumas das grandes construtoras de automóveis como a *BMW*, *Ford Motor Company*, *General Motors*, *IVECO*, *Mercedes-Benz AG*, *Renault*, entre outras e as suas respetivas associações nacionais de indústria automóvel – AIAG (Estados Unidos), ANFIA (Itália), FIEV (França), SMMT (Reino Unido) e VDA (Alemanha) (International Automotive Task Force, 2022).

A norma IATF 16949 é suportada pela ISO 9001:2015. Enquanto a ISO 9001:2015 diz respeito à própria organização, às suas partes interessadas e aos seus clientes, a IATF 16949 assegura, às OEM, o atendimento dos requisitos de qualidade internacionais, no ramo automobilístico (Fonseca & Domingues, 2017). De modo a haver uma constante evolução na produtividade, competitividade e qualidade do produto, as construtoras de automóveis requerem que os seus fornecedores também sejam certificados na norma da IATF (M. Santos & Neto, 2016). Para isso, ambos necessitam de monitorizar o seu contexto interno e externo e identificar possíveis riscos. Estas abordagens permitem às OEM e fornecedores uma preparação mais segura e confiante no desempenho dos seus processos produtivos (Fonseca & Domingues, 2017).

O ciclo PDCA e o pensamento baseado no risco são também metodologias impostas por ambas as normas: IATF 16949:2016 e ISO 9001:2015. Relativamente ao ciclo PDCA, este assegura que os processos sejam geridos de maneira a encontrar novas oportunidades de melhoria e ações para as concretizar. O pensamento baseado no risco mostra a capacidade de antecipar desvios que comprometam os resultados planeados com o intuito de minimizar desvios e maximizar oportunidades. Em termos de análise do risco, o FMEA é a ferramenta indicada pela norma IATF 16949:2016. Conforme a norma, esta ferramenta insere-se nas fases de *design*, desenvolvimento e revisão do produto, ajudando assim a definir e avaliar ações para reduzir potenciais riscos (International Automotive Task Force, 2016).

2.3. FMEA

Durante um novo projeto de uma indústria automóvel, é frequente verificarem-se problemas nas fases de *design*, planeamento, produção e lançamento. Para isso, torna-se crucial detetar e resolver estes possíveis riscos, que podem provocar um colapso do projeto. As técnicas e ferramentas da qualidade são exemplos de métodos de resolução de problemas, que usadas em conjunto, permitem uma análise global ao projeto em si.

A Análise do Modo e Efeito de Falha, em inglês, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) é uma ferramenta de apoio à gestão do risco que define, identifica e elimina potenciais modos de falha que podem ocorrer em qualquer produto, processo, sistema ou serviço antes da chegada ao cliente (Stamatis, 2003). O modo de falha é descrito como sendo a forma em que o produto ou processo não funciona de acordo com os requisitos ou expectativas do cliente (Ford Motor Company, 2011). A falha pode ser derivada a desvios e variabilidades das condições *standard* de uma determinada máquina, ferramenta, método, material ou força de trabalho que acabam assim por afetar a qualidade do produto ou processo (Baynal et al., 2018). Na Figura 3, constata-se que o modo de falha é o elemento foco e que este é classificado consoante o seu efeito e a sua probabilidade de ocorrência, sendo acompanhado pela causa.

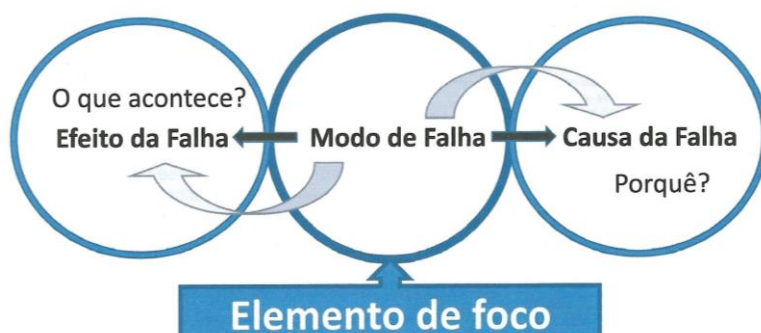


Figura 3 – Modelo teórico da cadeia de falhas (AIAG & VDA, 2019)

Segundo a 1ª edição de 2019 do manual desenhado pela AIAG (*Automotive Industry Action Group*) em colaboração com a VDA (*Verband der Automobilindustrie*), o FMEA é um método analítico, qualitativo, sistemático e orientado para equipas multidisciplinares que tem como objetivo avaliar os potenciais riscos técnicos de falha de um produto ou processo, analisar as causas e efeitos dessas falhas, documentar ações preventivas e de deteção e recomendar ações para reduzir o risco.

São três os casos identificados em que o FMEA pode ser aplicado, sendo que apresentam diferentes âmbitos e focos:

1. Novos produtos, nova tecnologia ou novo processo;
2. Nova aplicação de produto ou processo existente;
3. Alterações de engenharia a um produto ou processo existentes.

O sucesso do FMEA depende totalmente da participação ativa dos membros multifuncionais que integram a equipa, visto que todos têm de contribuir de acordo com as suas competências e conhecimentos (AIAG & VDA, 2019). Outra designação para FMEA é FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), que acrescentada à análise tradicional, é estendida para uma análise crítica dos riscos. Após a identificação de cada falha potencial, é efetuada uma avaliação crítica e quantitativa de três fatores para cada uma delas: Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D). A prática tradicional é multiplicar estes fatores de risco formando o NPR, Número de Prioridade de Risco (em inglês RPN, *Risk Priority Number*) como se verifica na Equação (1) (Dieter, 2000; Ford Motor Company, 2011; Stamatis, 2003).

$$NPR = S \times O \times D \quad (1)$$

Onde O é a probabilidade de o modo de falha ocorrer, S é a severidade da falha e D é a probabilidade de o modo de falha não ser detetado. Os três fatores de risco e o NPR seguem as tabelas *standard* da indústria automóvel. A severidade, ocorrência e deteção possuem uma escala numerada de 1 a 10, conforme ilustrado no subcapítulo 2.3.3.

Os valores do NPR variam num intervalo de 1 a 1000 e, geralmente, os números derivados dos fatores são usados para levantar as falhas em que é necessário focar. Obviamente que um valor mais alto de NPR significa que deve ser dada maior prioridade àquele modo de falha (Dieter, 2000). Por outro lado, como no gráfico da Figura 4, valores altos de severidade e ocorrência podem ser considerados riscos altos (Palady, 1998).

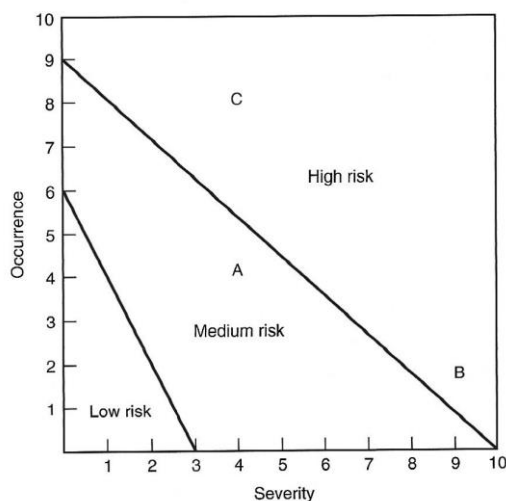


Figura 4 – Sistema de classificação do risco para potenciais modos de falha (Palady, 1998)

O método tradicional tem gerado muitas controvérsias no que diz respeito ao cálculo do NPR e à priorização de medidas corretivas. Problemas como a equidade dos índices (severidade e ocorrência terem o mesmo peso de importância), a subjetividade na atribuição de valores e a possibilidade de obter valores iguais de NPR com diferentes combinações de índices, fazem com que diversos autores tenham estudado diferentes abordagens para o FMEA. No entanto, em 2019,

com a colaboração entre AIAG e VDA surgiu um FMEA com um diferente tipo de avaliação que vem dar resposta às limitações anteriores.

Contudo, esta ferramenta da qualidade, implementada corretamente, impacta muito a indústria automóvel, na medida em que para novos projetos, existe a garantia de que o produto é lançado no prazo previsto e com o mínimo de falhas possíveis. Consequentemente, o cliente fica satisfeito e a marca em questão é reconhecida no mercado pela sua qualidade e confiança.

2.3.1. Origem do FMEA

De acordo com a literatura, o primeiro uso do FMECA foi nos anos 40 com o intuito de melhorar a fiabilidade e segurança dos sistemas e equipamentos militares do exército dos Estados Unidos (Baynal et al., 2018). Como referido anteriormente, FMEA e FMECA são metodologias idênticas, logo podemos considerar este período como a origem do FMEA. Este procedimento é ainda utilizado nos dias de hoje, intitulado em 1949 de “*MIL-P-1629: Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*” e agora de “*MIL-STD1629*” ou “*MIL-STD1629A*”.

Nos anos seguintes, grandes empresas como a fabricante de aviões *Boeing* e a agência governamental de exploração espacial NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) com a missão Apollo desenvolveram, formalmente, o FMEA nos seus procedimentos para garantir a segurança face às falhas dos componentes e seus efeitos (NASA, 1966). A aplicação do FMEA reforçou-se a partir de 1971, quando a *Ford Motor Company* introduziu a ferramenta nos seus *standards*. Foi a partir desse momento que o uso do FMEA foi acelerado na indústria automóvel norte-americana com o propósito de melhorar a fiabilidade e qualidade dos processos.

Uma *taskforce* constituída pelas três maiores e prestigiadas fabricantes de automóveis dos Estados Unidos, *Chrysler Corporation*, *Ford Motor Company* e *General Motors Corporation*, criou a norma QS 9000, agora ISO 9000, para formalizar um SGQ na sua cadeia de abastecimento. Esta norma baseou-se sobretudo no planeamento avançado da qualidade do produto (APQP) e no FMEA, que identificava e ajudava a eliminar potenciais constrangimentos (Chrysler Corporation et al., 1993). Na Europa, os primeiros passos foram dados em 1986 pela VDA 4.2., em 1987 pela *BMW* e *Renault* e, em 1988, pela *Volkswagen* (Dobriboje et al., 2011).

Em 1993, a AIAG e a VDA integraram as diferentes versões do FMEA num manual único e uniforme, resultando assim num guia de referência a nível global. Atualmente, este manual é muito popular sendo a 1ª versão de 2019 a mais recente (Banduka et al., 2016). O manual tem como destinatários as OEM e “destina-se a clarificar os passos, atividades e ferramentas relacionados com o desenvolvimento técnico do FMEA”.

Esta nova edição assegura que todos os fornecedores da indústria automóvel utilizem os mesmos critérios revistos de atribuição dos fatores (severidade, ocorrência e deteção) e a nova sistemática para priorização de ações de melhoria, que substitui o NPR pela PA (Prioridade de Ação). Adicionalmente, foram elaboradas novas abordagens como a análise da estrutura e a análise da função que antecedem a análise da falha. Estas análises permitem que os processos sejam decompostos e detalhados ao nível do âmbito e da função, conferindo assim um maior detalhe ao produto ou serviço (AIAG & VDA, 2019).

Ao longo do tempo, o FMEA foi ganhando reconhecimento pelas várias normas existentes nas diversas indústrias à medida que estas sentiam a necessidade de melhorar a qualidade dos

processos e produtos. Tem assim uma aplicabilidade bastante versátil, estando presente nas temáticas da aeronáutica, automóvel, defesa, nuclear, eletrônica, química, mecânica e medicinal (H.-C. Liu et al., 2013; Sharma & Srivastava, 2018). O FMEA tornou-se assim numa ferramenta poderosa que faz parte do comportamento organizacional de empresas que queiram ser reconhecidas e valorizadas pelo mercado.

2.3.2. Tipos de FMEA

No que diz respeito às diferentes tipologias do FMEA, não existe um consenso total entre os autores. Stamatis (2003) refere que existem quatro tipos de FMEA (Sistema/Conceção, Produto/Projeto, Processo e de Serviço) e a Ford indica três tipos (*Design*, Processo e Sistema/Conceção), ou seja, a divergência assenta no FMEA de Serviço (Ford Motor Company, 2011). Muito resumidamente, os quatro tipos de FMEA que Stamatis (2003) refere têm como aplicabilidade:

- FMEA de Sistema/Conceção: validar e verificar os requisitos funcionais do cliente. Fornece especificações de *design* do sistema;
- FMEA de Produto/Projeto: identificar e prevenir modos de falha nas fases iniciais do *design* para assim minimizar riscos antes da chegada da peça à produção;
- FMEA de Processo: identificar potenciais modos de falha dos processos de fabricação ou montagem;
- FMEA de Serviço: analisar o serviço da organização.

Contudo e mais recentemente, as duas abordagens mais adotadas são o FMEA de *Design* (DFMEA) e o FMEA de Processo (PFMEA). Segue-se uma definição destas duas tipologias, para assim compreender as diferenças existentes entre elas.

FMEA de *Design* (DFMEA)

O FMEA de *Design* tem como objetivo identificar falhas cujas causas sejam derivadas do *design* do produto (Dobriboje et al., 2011). Este tipo de FMEA é destinado a analisar todos os sistemas, subsistemas ou componentes, antes que o produto seja produzido. O DFMEA deverá suportar toda a documentação que incorpore informação acerca do *design* do produto ou projeto para, posteriormente, servir de exemplar em futuros *designs* (Sharma & Srivastava, 2018).

O desenvolvimento desta ferramenta foca-se na listagem daquilo que é suposto acontecer e não acontecer a nível de *design*. Como forma de ajuda, poderão ser utilizadas algumas fontes de informação tais como o QFD (*Quality Function Development*), requisitos do veículo, entre outras. O DFMEA é um documento que deverá ser sempre atualizado aquando de novas alterações no produto ou projeto. Para que o *layout* da fábrica seja implementado, é necessário que o DFMEA termine antes da fase final de desenho, isto porque os custos de alterações na produção são superiores aos custos de alterações na conceção.

Para concluir, o sucesso da elaboração deste FMEA está dependente do nível de detalhe a que esta ferramenta está sujeita, ou seja, quanto mais detalhe tiverem as características de *design*, mais fácil é de identificar as ações corretivas dos potenciais modos de falha (Ford Motor Company, 2011).

Fatores como o tempo e custos podem impactar bastante o projeto, dado que o DFMEA é o antecessor do sucesso do PFMEA.

FMEA de Processo (PFMEA)

O propósito deste tipo de FMEA é identificar falhas que podem ocorrer durante os processos de fabrico de peças ou de conjuntos. A documentação de suporte ao PFMEA é sobretudo técnica (Dobriboje et al., 2011).

Geralmente, o PFMEA subdivide-se em dois, para peças e para conjuntos, sendo que os modos de falha das peças são dimensionais e visuais (Sharma & Srivastava, 2018). Os modos de falha de conjuntos estão mais relacionados com dimensões, falta de peças e montagens incorretas que levam 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.

A equipa principal do PFMEA deverá ser composta por um moderador, um engenheiro de produção, um engenheiro de ergonomia, um engenheiro de validação de processos, um engenheiro de qualidade/fiabilidade e outros responsáveis pelo desenvolvimento do processo (AIAG & VDA, 2019).

O FMEA de processo tem como objetivo prevenir a produção de peças não conformes, ou seja, peças que não estejam de acordo com a conceção ou *design* previamente estudadas na DFMEA. O foco é tomar medidas cautelares e melhorar os controlos, a fim de evitar efeitos indesejáveis na produção e montagem.

O fim do PFMEA é ditado quando todas as operações e processos produtivos tiverem sido analisados, bem como o plano de controlo pronto e validado (Ford Motor Company, 2011). É imperatório que este tipo de FMEA esteja concluído antes do início da primeira produção, excluindo protótipos e testes. Tal como o DFMEA, o PFMEA é um processo iterativo, sendo que nunca possui uma versão definitiva. Este deverá reter sempre alterações e mudanças dos processos (Stamatis, 2003).

2.3.3. Implementação do FMEA

Independentemente do tipo de FMEA a desenvolver, a metodologia é sempre idêntica, ou seja, é centrada na identificação dos potenciais modos de falha, causas e efeitos associados nos produtos e processos funcionais através dos índices de severidade, ocorrência e deteção. A fase seguinte é definir controlos de deteção e ações preventivas dependendo do índice de prioridade de ação.

Para isso, torna-se crucial uma implementação devidamente planeada e preparada desta ferramenta, de modo a ser eficaz. O FMEA deve ser aplicado sempre e obrigatoriamente antes da falha e nunca depois, de modo a evitar o seu aparecimento.

A equipa responsável da empresa pelo FMEA tem o dever de realizar o FMEA com clareza, verdade, realismo e integralidade. A participação ativa da equipa e o compromisso da gestão de topo são também fundamentais para o desenvolvimento bem-sucedido do FMEA. A gestão de topo é “responsável pela aceitação dos riscos e pelas ações de minimização de riscos identificadas no FMEA”.

Outra consideração é que o FMEA é uma ferramenta em constante mudança, isto é, devem verificar-se alterações sempre que haja uma evolução do produto ou processo. Toda a informação indispensável deverá ser partilhada e estar à disposição através de procedimentos, instruções de trabalho, indicadores de trabalho e de falhas, planos de controlo, fluxogramas de processos, desenhos, especificações do produto, *layouts*, etc.

Em suma, a implementação do FMEA permite reduzir o tempo e o custo de um novo desenvolvimento de um produto, no entanto é um processo demorado e requer investimento e compromisso da equipa.

De seguida, será exposta a metodologia do PFMEA (foco deste trabalho) seguida pelo manual FMEA da AIAG e VDA, que é atualmente abordada pela empresa de estágio. É de referir que esta metodologia não é equivalente à metodologia tradicional do FMEA, visto que se substituiu o NPR pela PA e o número de procedimentos difere. Esta metodologia segue assim sete passos, divididos por três grupos:

Análise do Sistema

1. Planeamento e Preparação

O primeiro passo serve para analisar quais os processos da empresa a incluir no processo objetivo do FMEA. As fases subjacentes a este passo incluem a identificação do projeto do FMEA, o seu plano e preparação. Na identificação, é relevante que haja um entendimento claro, entre toda a equipa, relativamente aquilo que irá ser o objeto de estudo para o PFMEA. De forma a limitar, poderão ser usadas algumas referências como requisitos legais e técnicos, diagramas, esquemas, desenhos e modelos em 3D, FMEA de processos similares, QFD, entre outras.

Os processos que podem ser incorporados no PFMEA são, geralmente: processos de receção, armazenamento e entrega de peças e material, produção, montagem, embalagem, etiquetagem, transporte do produto acabado, processos de manutenção, processos de deteção, processos de retrabalho e reparação, etc. O plano para o FMEA baseia-se na recolha de toda a informação disponível que pode apoiar o seu desenvolvimento. Na preparação, o cabeçalho do documento do PFMEA deverá ser preenchido, que inclui informação como o nome da empresa, a localização da produção, o nome do cliente, data de início do PFMEA, equipa multifuncional, entre outras.

2. Análise da Estrutura

A Análise da Estrutura tem como foco a identificação e desdobramento do processo produtivo em itens, passos e elementos de trabalho, para assim ser perceptível o âmbito do PFMEA. Para este passo, ferramentas como fluxogramas de processos e estruturas em árvore são muito úteis. O item de processo caracteriza-se por ser o elemento-raiz (exemplo: uma linha de produção), o passo do processo é o elemento central como uma estação ou operação e o elemento de trabalho pode ser uma máquina, um operador (mão de obra), o material, o ambiente/meio, o método ou uma medição (6M).

3. Análise da Função

No último passo da Análise do Sistema, delineiam-se as funções para o processo em estudo através da associação de requisitos e expectativas do cliente. A função de um processo é o cargo a que se destina determinado item, passo do processo e elemento de trabalho. Um requisito está diretamente relacionado com o desempenho da função do processo, ou seja, uma função gera uma característica/requisito. O nível de detalhe das funções dita, posteriormente, a facilidade em enumerar potenciais falhas.

Análise da Falha e Mitigação do Risco

4. Análise da Falha

O propósito desta etapa é identificar causas, modos e efeitos das falhas, de maneira que uma falha possa ser uma não-conformidade, uma tarefa inconsistente, não intencional ou desnecessária. Esta etapa deve ser elaborada e discutida em equipa, sendo recomendável consultar o histórico de reclamações dos clientes, documentos de garantia, estatísticas e dados de fiabilidade.

O modo de falha é a forma indesejada em como o produto cumpre as suas funções. Perda e degradação da função, função intermitente, função não pretendida, função atrasada, peça mal colocada são exemplos de modo de falha. Logo, o modo de falha é direcionado ao passo do processo.

Uma causa da falha é o motivo que levou à ocorrência do modo de falha, onde se pode responder utilizando os 4M (Mão de Obra, Máquina, Material e Meio) ou 6M (Medição e Método). Uma falha pode ter várias causas, sendo que é necessário apontar todas as possibilidades. As causas podem ser algoritmos incorretos, tensões excessivas ou condições de funcionamento impróprias. O elemento de trabalho está associado à causa da falha.

O efeito da falha é a consequência da ocorrência do modo de falha, ou seja, é o possível impacto no cliente, seja ele interno (processo seguinte), externo (fornecedor), entidade legislativa ou o utilizador final. Exemplos de efeitos são o mau desempenho, ruído, entre outros. O item do processo associa-se ao efeito da falha.

A recolha das falhas é importante para o que se segue, visto que se quantifica o risco com os indicadores de severidade, ocorrência e deteção. A comparticipação com clientes e fornecedores poderá ser benéfica para garantir que todos os possíveis modos de falha foram levantados e analisados, para além de experiências laboratoriais e opiniões de entendedores.

5. Análise do Risco

Na Análise do Risco, faz-se a atribuição de 1 a 10 dos critérios de Severidade, Ocorrência e Deteção para cada modo de falha e, consequentemente, atribuem-se controlos de prevenção e deteção para minimizar o risco. Um controlo de prevenção planeia medidas de contingência para minimizar a probabilidade de ocorrência de falha (e.g. *poka-yoke*), enquanto um controlo de deteção deteta a falha e a sua causa (e.g. inspeção visual).

Severidade (S)

A severidade quantifica o impacto que resulta do efeito do modo de falha para um dado passo do processo. Este fator está indiciado de 1 a 10, de acordo com os critérios estabelecidos na Tabela 16 do ANEXO A, em que 1 corresponde a um efeito indiscernível e 10 o pior impacto possível,

colocando o utilizador final em sério risco de segurança. A classificação deve ter em conta os efeitos no utilizador final (segurança, desempenho funcional), nas instalações de origem e de destino (regulamentos e requisitos contratuais impostos pelo cliente).

Ocorrência (O)

Este indicador designa a probabilidade de um modo de falha se poder desenrolar, de acordo com os controlos de prevenção atualmente impostos. No ANEXO A, Tabela 17, a classificação é feita de 1 a 10, onde 1 corresponde a uma frequência extremamente baixa e 10, extremamente elevada. Durante a determinação deste índice, deverá ser considerado o histórico do ambiente de trabalho e de produtos/processos similares.

Deteção (D)

Em relação ao preenchimento do indicador de deteção, este consiste na avaliação da eficácia dos controlos de deteção implementados que previnem a ocorrência de modos de falha, antes da entrega ao cliente final. A avaliação é feita de modo inverso em relação aos outros indicadores, ou seja, 1 representa uma probabilidade muito elevada de deteção e 10 muito baixa, conforme a Tabela 18 do ANEXO A. Para ajudar na atribuição de valores, deverá ser analisada a eficácia dos testes e tamanho das amostras atualmente em procedimento.

Prioridade de Ação (PA)

De modo a determinar o risco final associado ao processo, o método da Prioridade de Ação vem dar resposta à ineficiência da utilização do Número de Prioridade de Risco, visto que este apenas avaliava os índices S, O e D de forma equivalente. Esta situação originava incertezas aquando da recomendação de ações prioritárias e assim um método auxiliar seria avaliar, numa segunda fase, S x O. No manual da AIAG e VDA, a prioridade de ação veio dar resposta à necessidade de tratar as 1000 combinações possíveis de severidade, ocorrência e deteção. A Tabela 19 do ANEXO A privilegia, em primeiro lugar, a severidade, seguida da ocorrência e, por fim, deteção. Numa prioridade elevada (H), a equipa tem a obrigatoriedade de impor ações de melhoria dos controlos de prevenção e deteção. Se a prioridade for média (M) já tem de ser uma necessidade e se for baixa (L) é aceite apenas uma possibilidade.

6. Otimização

No sexto passo da realização do PFMEA apontam-se ações para mitigar o risco e avaliam-se essas mesmas ações, de forma que se aperfeiçoem os controlos de deteção e prevenção. Todas as ações deverão ser devidamente atribuídas, ter uma data de conclusão realista e ainda o estado, para assegurar que a ação é levada no tempo previsto. Após o término da ação, uma reavaliação deverá ser efetuada nos índices de ocorrência e deteção. Essa reavaliação deverá refletir a eficácia da ação, logo é esperada uma diminuição dos dois índices ou de apenas de um.

A versão anterior do PFMEA não deve ser eliminada, sendo recomendada a utilização de um repositório acessível a todos, a qualquer momento. Este repositório serve como registo e observação das melhorias conseguidas no processo.

Comunicação do Risco

7. Documentação dos Resultados

O objetivo do último passo da metodologia do PFMEA entende-se pela comunicação dos resultados e conclusões da análise de modos de falhas e efeitos. Todas as ações tomadas, assim como a avaliação da sua eficácia e reavaliação do risco devem ser documentadas e comunicadas ao cliente e partes interessadas. Um relatório final deverá ser produzido para resumir o âmbito e os resultados do PFMEA. Na Figura 124 do ANEXO B exemplifica-se um *template standard* do PFMEA seguido pelo manual da AIAG e VDA.

2.3.4. Benefícios e limitações do FMEA

Realçando que o principal proveito do FMEA é a análise dos riscos, de modo a reduzir falhas e a melhorar a segurança dos produtos e processos antes que estes sejam operacionalizados, isto é, antes da produção ou da chegada ao cliente, outros autores retiram benefícios desta ferramenta em vários aspetos, como observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Benefícios do FMEA

Autor	Descrição
(Palady, 1998)	O autor enumera vários benefícios durante o desenvolvimento e a manutenção do FMEA como: a salvaguarda de custos e tempo de desenvolvimento em relação a novos produtos, a eficiência no planeamento e o auxílio nas manutenções preventivas. Refere ainda a visão que fornece para um <i>design</i> robusto, a minimização de eventos imprevisíveis, alterações de engenharia e custos desnecessários de controlo, a melhoria da satisfação do cliente, a garantia de não cometer os mesmos erros no futuro e, por último, a captação de conhecimento do produto e/ou processo na organização em questão.
(Huang et al., 1999)	Os benefícios do FMEA, segundo este artigo, podem ser tangíveis ou intangíveis. Melhorias na qualidade, redução de custos e redução do tempo de comercialização são exemplos tangíveis. A nível de benefícios intangíveis, Huang et al. (1999) refere a racionalização dos produtos e dos seus processos, acrescentando ainda o facto de o FMEA ser uma ferramenta para ser desenvolvida em equipa. A facilidade de trabalhar com outros profissionais e a criação de um espírito de equipa são duas dessas grandes vantagens.
(Braglia, 2000)	O autor explica que as principais vantagens retiradas do FMEA são: a visibilidade de informação que é facilmente perceptível para todos da organização, a facilidade do procedimento que pode ser auxiliado por uma base de dados e a comparação possível entre <i>designs</i> idênticos.
(Sharma & Srivastava, 2018)	Neste artigo foi salientada a redução de custos, que impacta no retorno das garantias, e a redução do tempo necessário desde o início do projeto até ao lançamento do produto no mercado. A complementar, destaca as melhorias na qualidade e fiabilidade dos produtos, e o aumento da segurança nas operações. Os autores identificam ainda que o aumento da satisfação do cliente é a grande vantagem do FMEA, que acaba por transmitir um crescimento da empresa em relação à concorrência e uma melhor imagem no mercado.

Apesar de os benefícios serem muitos, também existe uma série de limitações subjacentes ao desenvolvimento do FMEA nas organizações. Na Tabela 2, verificam-se alguns artigos em que os autores sugeriram mudanças no método tradicional do FMEA, tendo em conta algumas contrariedades encontradas ao longo do tempo.

Tabela 2 – Limitações do FMEA

Autor	Descrição
(Johnson & Khan, 2003)	Neste artigo particular, o autor chega à conclusão de que não há de todo benefícios (em termos de custos, fiabilidade e prevenção de falhas) em implementar o FMEA na indústria automotiva e, se houver, são poucas as organizações que exemplificam tais casos. Johnson & Khan (2003) justifica esta afirmação, dizendo que o FMEA é mais visto como uma imposição pelas normas e que não passa tudo de formalizações em papel, para ficar tudo documentado e à vista em auditorias. Acrescenta ainda que existe muita confusão nas definições de severidade, ocorrência e deteção e que a informação raramente se encontra atualizada.
(Pillay & Wang, 2003)	Este artigo aborda os problemas de a informação ser por vezes inviável e imprecisa e a expressão de opiniões não ser realista. Para isso, Pillay & Wang (2003) adotaram uma solução que permitiu uma melhor representação da informação recolhida para classificação dos modos de falha.
(Banduka et al., 2016)	Este autor adotou uma abordagem integrada do FMEA com o <i>Lean</i> . O <i>Lean</i> é uma filosofia, que surgiu em 1992 por Womack et al. (1990), que defende menos desperdício nas empresas (custos, tempo, recursos, espaço, etc.) e que incorporado com o FMEA permite responder a uma série de insuficiências por parte deste último. Essas insuficiências transmitem-se sobretudo na abordagem errada aquando da deteção da causa da falha (solucionado através dos 5 porquês), na repetição dos modos de falha (standardização do trabalho), no <i>brainstorming</i> que se torna demorado e cansativo (<i>Genchi Genbutsu</i> , que significa compreender o problema no terreno ou chão de fábrica), na impossibilidade de usar uma versão do FMEA quando elaborado em papel (adotar uma solução em <i>software</i>) e ainda no tempo gasto no preenchimento de toda a informação requerida no FMEA (<i>standardização</i> das falhas significa menos falhas para analisar, logo o desenvolvimento torna-se mais rápido).
(Banduka et al., 2018)	De acordo com este autor, uma das principais desvantagens do FMEA é a não consideração dos custos durante a priorização dos riscos. Este enaltece que os custos deveriam ser um fator a considerar pelo simples parecer de que os custos externos estão ligados diretamente à insatisfação do cliente. Contudo, a segurança também é excluída na avaliação dos riscos, logo o autor apresentou um modelo que integra custos, qualidade e segurança na metodologia imposta pela AIAG e VDA. Outros autores como Zammori & Gabbrielli (2012), dividiram o índice da severidade em três fatores: danos, produção e custos de manutenção.

2.3.5. Soluções de *software* do FMEA

Para fazer face a algumas limitações do FMEA referidas no subcapítulo anterior, autores como Johnson & Khan (2003) sublinham algumas tendências para aperfeiçoar o desenvolvimento do FMEA. Uma dessas melhorias referidas é a automatização desta ferramenta para um *software* integrado com uma base de dados central. No entanto, existe uma carência de literatura neste tema que pode ser combatida, porque Liu et al. (2013) prevê que o foco em FMEA vai aumentar no futuro devido à procura constante das empresas em melhorarem a fiabilidade de um sistema.

Atualmente, existem diversos produtos de *software* que desenvolvem o FMEA, recorrendo a uma interface *user-friendly*. Toda a informação fica disponível para todos (incluindo o cliente) numa base de dados que, adicionalmente, permite uma análise hierárquica por componentes e/ou conjuntos do produto em questão. Estes programas permitem ainda o cálculo automático dos índices e a criação de diagramas e/ou documentos úteis como a árvore de análise de falhas. Futuramente, espera-se que estes programas consigam identificar informação lógica entre componentes relacionais, permitindo assim concentrar mais tempo noutros passos do processo (Reliability

Analysis Center, 1993). A maioria das empresas do setor automóvel utiliza o *Microsoft Excel* como ferramenta de desenvolvimento do FMEA, contudo esta ferramenta começa a demonstrar algumas fraquezas devido ao número excessivo de linhas necessárias na folha de cálculo (uma linha representa um modo de falha com diferentes causas) e de ficheiros (um ficheiro por cada projeto novo).

Atualmente, empresas especialistas em *software* têm vindo a desenvolver soluções inovadoras para ajudar à transformação digital da Gestão de Risco e da Qualidade. Um exemplo disso é a própria AIAG que, em parceria com a *Ford*, *GM (General Motors)*, *Honda*, *Nissan*, *Stellantis* e *Toyota*, desenvolveu uma solução *cloud* (acesso remoto por via internet) para gerir FMEA, planos de controlo e documentação PPAP. Segundo a AIAG, “mais de 90,0% das folhas de cálculo de FMEA e planos de controlo contêm erros. Estes erros não só custam tempo e dinheiro, mas também podem prejudicar a reputação das empresas.” O *software AIAG Core Tools Support (CTS)* beneficia assim uma empresa, na medida em que atualiza, em tempo real, os componentes da mesma família de produto no FMEA, disponibiliza uma conexão automática entre fluxograma de processo, FMEA e plano de controlo, etc. (AIAG, 2022).

Outro *software* que possibilita a digitalização do FMEA é o *XFMEA* da *ReliaSoft* que estabelece consistência ao longo do processo de realização do FMEA, suporta as diferentes normas da indústria automóvel e ainda fornece suporte na tomada de decisão de ações corretivas, tendo em vista a implementação de gráficos, relatórios e outros recursos. Um exemplo de sucesso da implementação deste *software* foi na *Rolls-Royce* que teve como principal consequência a redução de 40,0 a 50,0% de volume em FMEA (ReliaSoft, 2022).

O *software* escolhido pelo Grupo da empresa de estágio e que irá ser objeto de estudo deste trabalho pertence à empresa *Knowllence*, uma empresa francesa especializada em programas de *software* de Gestão de Risco e de Segurança e Saúde Ocupacional. Esta ferramenta comporta DFMEA, PFMEA, fluxogramas, planos de controlo, planos de ação, etc. Entre outras vantagens, este *software* permite a criação de bibliotecas que permitem armazenar efeitos, modos, causas e medidas de prevenção. Deste modo, o desenvolvimento do FMEA torna-se mais fácil e dinâmico, reduzindo assim tempo e custo (Knowllence, 2022).

3. ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE CONCEÇÃO DO PFMEA NA EMPRESA (AS-IS)

Primeiramente, e após início do estágio, foi necessária uma formação de *onboarding* na empresa, onde se deu a conhecer o seu modelo de negócio, nomeadamente o tipo de produtos que se fabrica e os processos produtivos associados aos mesmos.

Prontamente, foi dado a conhecer o processo de desenvolvimento do PFMEA através da integração em reuniões de diferentes processos. Nestas reuniões foi analisado principalmente o comportamento da equipa multifuncional, bem como o próprio envolvimento e conhecimento dos elementos e ainda o cumprimento da metodologia de desenvolvimento da ferramenta. Daqui, partiu-se para a elaboração e entrega de um questionário com vista a recolher e avaliar perceções, para assim perceber as principais ameaças e oportunidades implícitas no processo. Adicionalmente, o inquérito foi elaborado com o intuito de perceber se os membros das diferentes equipas de PFMEA estão assentes sobre a melhoria do *software* a desenvolver o PFMEA e qual a importância dos possíveis benefícios identificados com esta alteração.

3.1. Compreensão dos produtos e processos produtivos da empresa

O processo de *onboarding* na empresa foi constituído por diversas formações nas diferentes áreas da empresa, nomeadamente na produção, logística, qualidade e manutenção. Esta aprendizagem foi fundamental para compreender o ambiente produtivo na organização. Na Figura 5, encontra-se o *layout* da fábrica do Porto 1 (referente à produção de tubagens do sistema de ar condicionado).

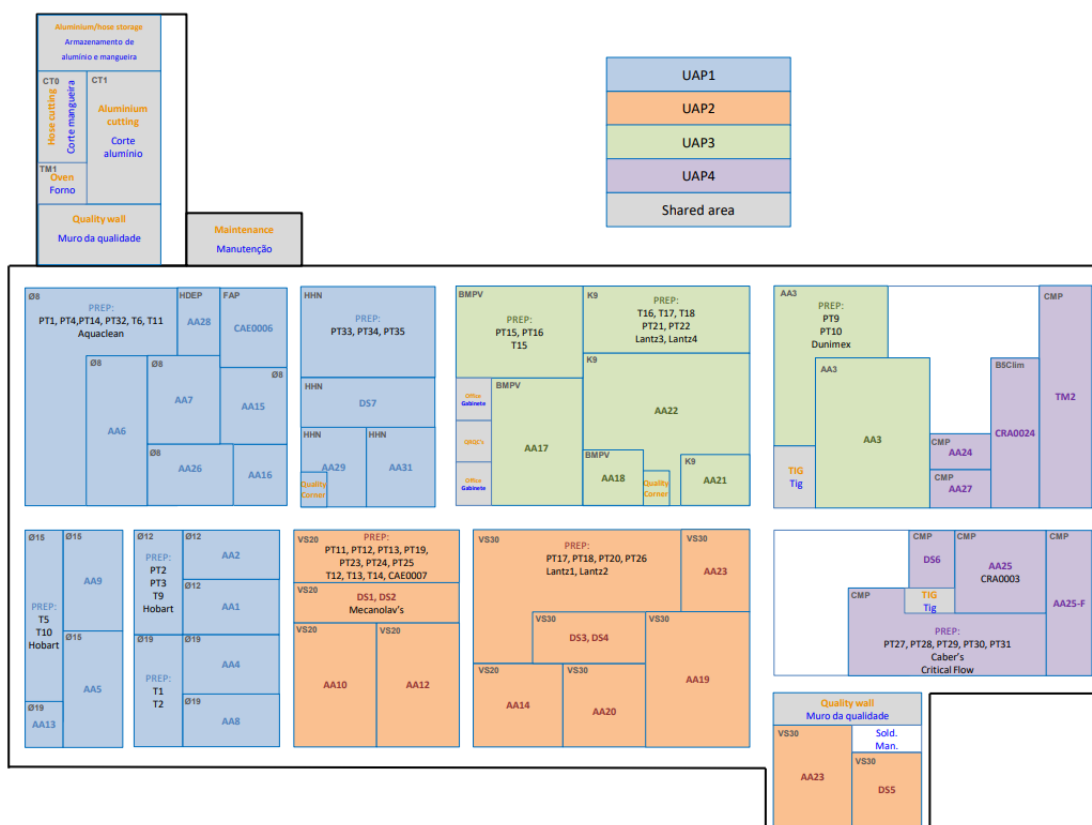


Figura 5 – *Layout* da fábrica do Porto 1 de Ar Condicionado

Através do *layout*, e analisando de cima para baixo, observa-se a cinzento o armazém de matéria-prima (MP), bem como a zona de corte de alumínio e mangueira. O Muro da Qualidade está também presente, que permite o controlo de qualidade de determinadas referências de produtos antes da expedição para o cliente.

Seguidamente, é possível identificar claramente quatro UAP (Unidades Autónomas de Produção) na fábrica, sendo que correspondem à produção de artigos para diferentes clientes. Cada UAP incorpora uma ou várias áreas PREP destinadas à preparação dos tubos para as diferentes linhas de produção (AA).

Existem três tipologias diferentes de produção, dependendo da cadência de procura de cada cliente:

- *Make to Stock* (MTS) ou Produção em Série – referências com elevados pedidos por parte do cliente, sendo necessário produzir para *stock* para garantir entregas em períodos de menor ou de maior procura;
- *Make to Order* (MTO) – apenas é necessário produzir quando existe pedido por parte do cliente, ou seja, a cadência de pedidos é baixa;
- Recâmbios – referências que já não são produzidas, mas que podem existir eventuais pedidos do cliente para reposição em veículos antigos.

De uma forma geral, o processo produtivo pode começar com duas operações distintas. A primeira possibilidade é a MP (tubagem/mangueira) ter como origem o armazém de MP que, após a sua receção, prossegue para a zona do corte para ser dimensionada, sendo depois transportada para as linhas através do comboio logístico (por sistema *kanban*). A outra alternativa é a MP ser abastecida diretamente através de fornecedores já com as dimensões pretendidas.

De seguida, as áreas PREP recebem os tubos de alumínio que são submetidos a uma série de operações, pela seguinte ordem: embutição, lavagem e soldadura. Existem referências que contêm válvulas, parafusos e cavilhas, sendo, por vezes, necessário as operações de furar, cravar e aparafusar. A embutição permite deformar o tubo de alumínio e, em certos casos, colocar componentes como bridas ou casquilhos, onde a lavagem prossegue para remoção de óleo em excesso e, por fim, a soldadura (por chama ou por indução) solda os componentes ao tubo principal.

As operações posteriores vão depender do tipo de referência a produzir, contudo as operações mais comuns são curvar e prensar (união do tubo de alumínio com a mangueira). A operação de curvar sujeita a que a peça seja controlada no GCC (*Gabarit* de Controlo do Curvado). Adicionalmente, determinadas referências podem requerer a introdução de espumas ou de outro tipo de componentes (por exemplo *o'ring*).

Após a produção estar finalizada, a geometria do produto é verificada no GCF (*Gabarit* de Controlo Final) e são feitos testes de obstrução e estanquicidade. O teste de obstrução permite inspecionar o interior do tubo e o de estanquicidade testa, em cabines, a existência de fugas. Finalmente, são colocados cliques e *brackets* que permitem conectar a peça ao carro e ainda as etiquetas de identificação e tampões.

A peça final é enviada para o armazém de produto acabado (PA), podendo ainda existir um controlo final no Muro da Qualidade.

A Figura 6 representa um fluxograma geral do processo produtivo das tubagens de ar condicionado fabricadas na empresa e um resumo ilustrativo daquilo que foi descrito anteriormente.

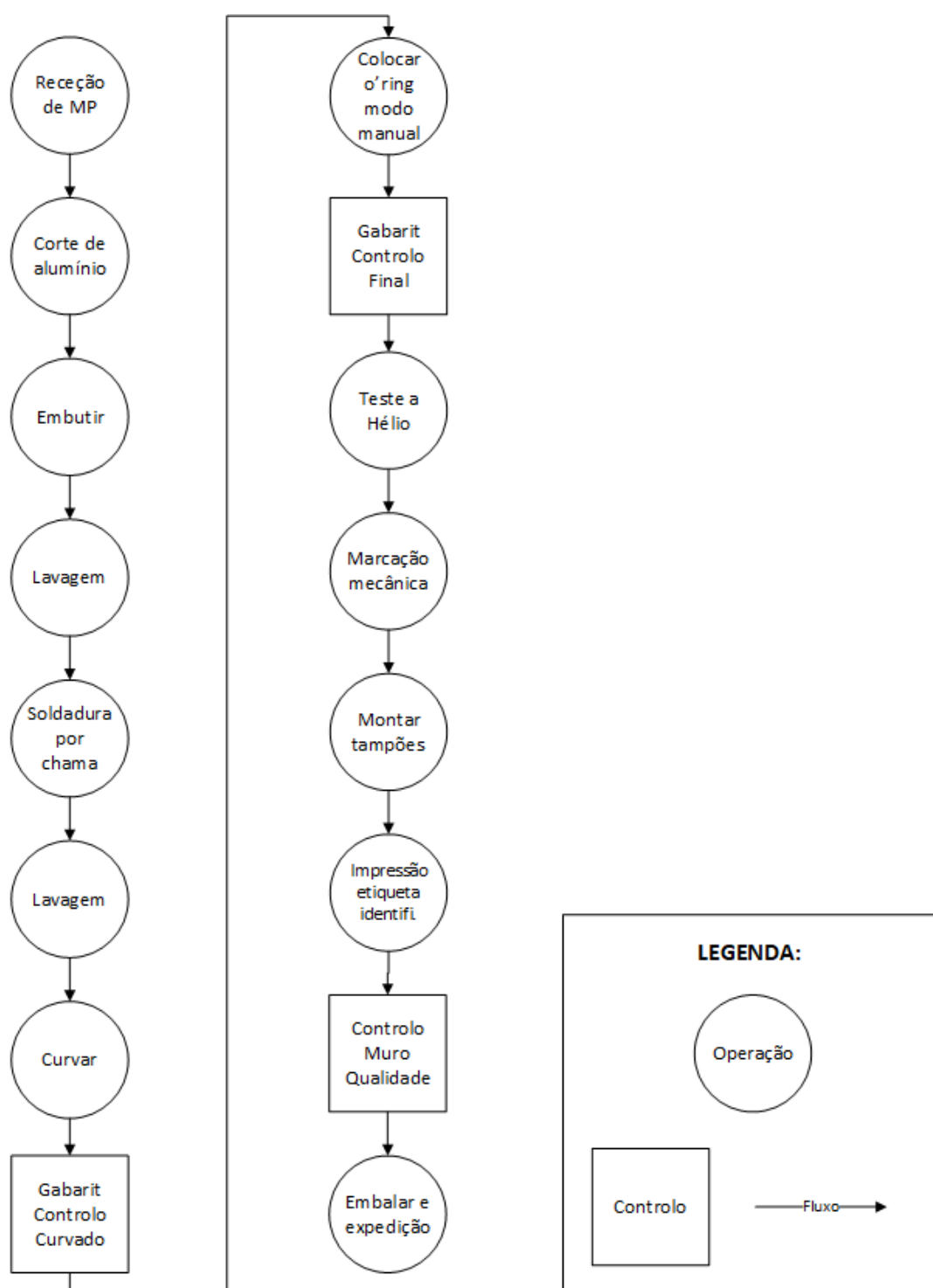


Figura 6 – Fluxograma de um processo produtivo geral

Na Figura 7, exemplifica-se um sistema de ar condicionado da carrinha comercial *Viano/Vito* da *Mercedes-Benz*, onde os tubos foram produzidos na Hutchinson Porto.



Figura 7 – Exemplo de sistema de ar condicionado

3.2. Questionário inicial e resultados

Tal como já referido, uma das funcionalidades do PFMEA é reconhecer possíveis modos de falha nos processos produtivos de um produto antes de este ser expedido e entregue ao cliente final, evitando assim reclamações por parte do mesmo. Posto isto, foram analisados os números de reclamações na empresa, nos últimos seis anos, conforme a Figura 8. Apesar da empresa estar assente sobre os níveis estipulados de qualidade, verifica-se pelo gráfico que não existe uma tendência decrescente das reclamações, havendo anos com picos altos, como é o caso de 2019.

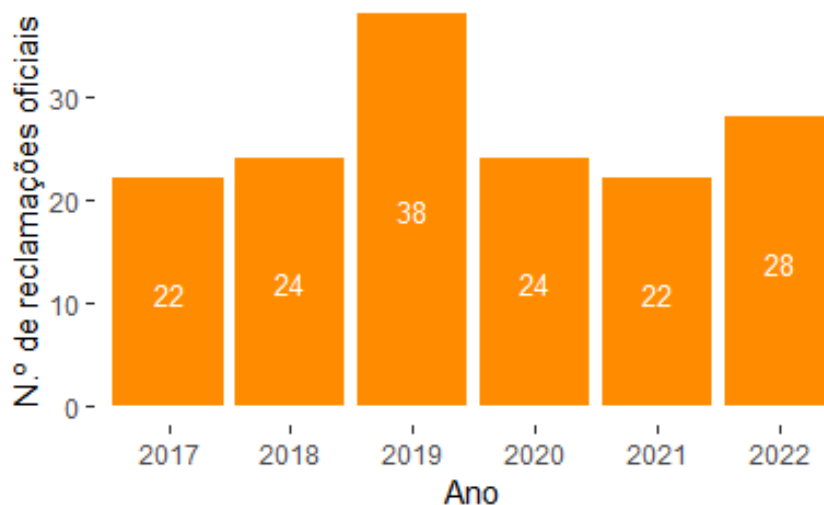


Figura 8 – Distribuição do número de reclamações oficiais por ano

Complementarmente, foram analisados os tipos de defeitos que mais surgem das reclamações oficiais e não oficiais da empresa (Figura 9). As falhas mais preocupantes são de facto a fuga nas tubagens, representando cerca de 24,0% do total de defeitos e as dimensões das peças estarem incorretas (NOK), correspondendo a 22,0%. Contudo, é importante referir que não existe qualquer tipo de padrão em defeitos por ano, ou seja, o número de tipos de defeitos por ano pode divergir de ano para ano. Consta-se ainda que grande parte dos defeitos são problemas internos associados ao próprio processo produtivo, reforçando assim a necessidade do estudo da ferramenta PFMEA, de modo a minimizar o risco de entregar peças não conformes ao cliente.

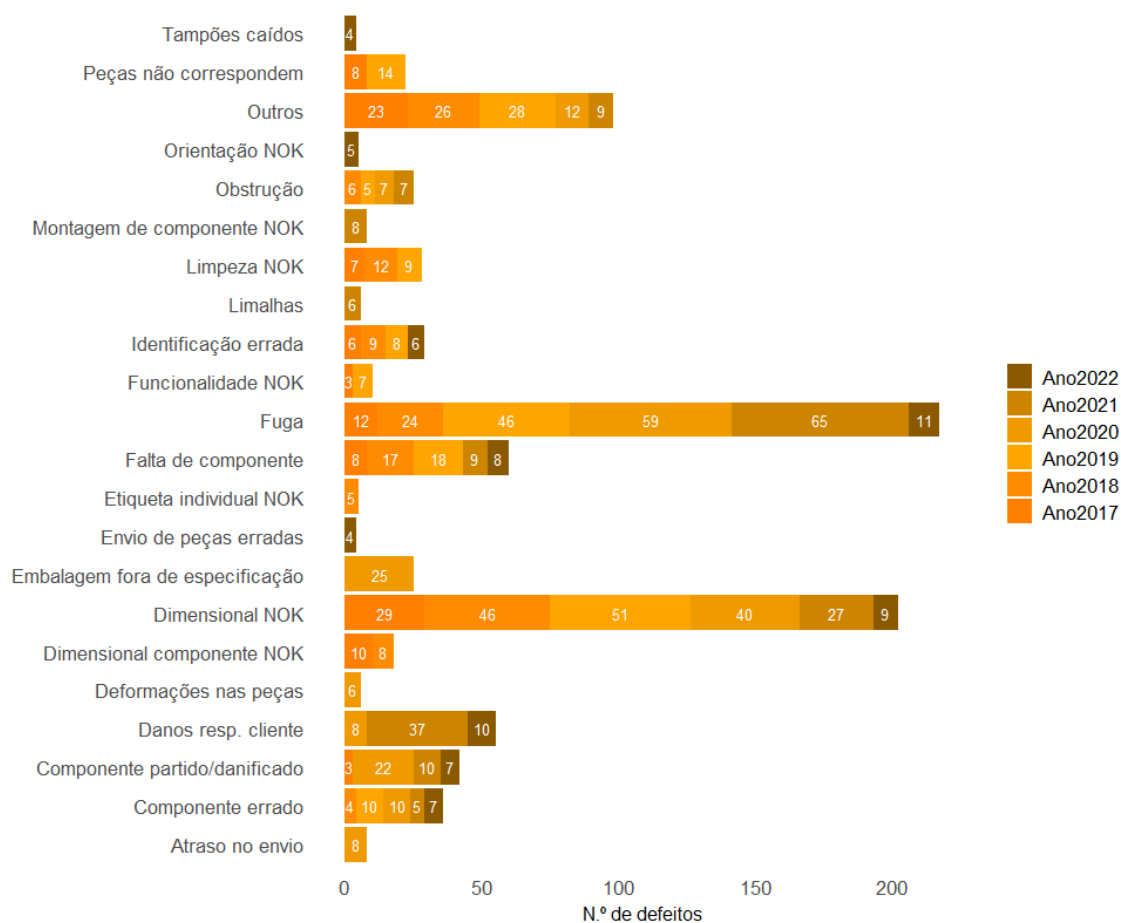


Figura 9 – Distribuição dos defeitos mais frequentes por tipo de defeito e por ano

Posto isto, e antes do desenvolvimento do questionário inicial, foi importante a integração em reuniões do PFMEA de dois processos. Na empresa, as reuniões de PFMEA acontecem em duas ocasiões: quando surge um novo projeto/processo ou quando um projeto/processo existente sofre alterações. Também é feita a distinção entre dois tipos de PFMEA: os de projetos, quando um novo projeto de um cliente é implementado na empresa (desde a receção da matéria-prima até à expedição do produto final) e os transversais, que complementam os de projetos e que são processos geralmente comuns à produção de tubagens de AC. Esta distinção tem a conveniência de evitar duplicação de informação e, consequentemente, desperdício de tempo.

Neste caso, foram duas modificações que ocorreram em dois postos de trabalho transversais, PT32 e DS7, da UAP1. As modificações foram sobretudo de automatização (robô e *binpicking*) de uma embutidora e de uma curvadora, respetivamente. As reuniões aconteceram durante os meses de janeiro e fevereiro de 2023, sendo atribuídas três semanas para o PT32 e três semanas para o DS7, com duas reuniões a ocorrerem por semana de duração de noventa minutos. O agendamento das reuniões é elaborado pela diretora do departamento de Engenharia. A equipa multidisciplinar alocada a estas reuniões era composta por uma pessoa da Qualidade de Projeto e de Série (*team-leader*/piloto da reunião que, neste caso, tinha os dois papéis), uma pessoa da Engenharia, uma pessoa da Melhoria Contínua e uma pessoa da Produção (responsável de UAP). Em relação aos pontos positivos a destacar durante as reuniões, destaca-se:

- O uso adequado da técnica de dinâmica de grupo, *brainstorming*, onde todos os elementos da equipa multidisciplinar propõem e discutem as ideias em grupo, utilizando a sua experiência e conhecimento;
- O piloto da reunião conhecer bem a metodologia do FMEA, distinguindo claramente modo de falha, causa e efeito e ainda as tabelas de atribuição dos índices;
- A utilização devida do tempo da reunião para o desenvolvimento da ferramenta, não havendo qualquer tipo de paragem ou fuga ao tema, exceto num caso particular mencionado abaixo;
- A enumeração de todos os possíveis modos de falha que podem ocorrer em todos os momentos da operação em questão;
- A atribuição e data de conclusão das ações abertas é logo comunicada ao respetivo responsável via email.

Durante estas reuniões também foram ressaltados alguns incumprimentos/pontos negativos, nomeadamente:

- O adiamento constante das reuniões, porque inicialmente as reuniões estavam previstas para acontecer entre os meses de novembro e dezembro de 2022;
- Alguns membros da equipa reforçam a necessidade de o *team-leader* a pilotar os PFMEA pertencer ao departamento de Engenharia e não da Qualidade;
- A não concordância de alguns conceitos como modo de falha e causa e ainda na atribuição dos índices (severidade, ocorrência e deteção);
- Interrupção da reunião, após um dos elementos fundamentais ser chamado a outra tarefa no departamento;
- Ausência de alguns elementos da equipa em certas reuniões;
- E o atraso no desenvolvimento do PFMEA que causa atrasos na abertura de ações que já deveriam ter sido estudadas e fechadas.

Pode-se afirmar que os pontos acima referidos foram um ponto de partida para a elaboração do questionário inicial que visa retirar e estudar perceções das diferentes equipas de PFMEA relativamente ao processo de conceção da ferramenta na empresa.

Para isso, foi essencial captar a população que seria objeto de estudo deste questionário. A população a que se dirige tem assim uma dimensão de 16 pessoas, distribuídas pelos diferentes departamentos (7 da Qualidade, 4 da Produção, 4 da Engenharia e 1 da Melhoria Contínua).

O questionário, que foi inspirado em Johnson & Khan, 2003, encontra-se dividido em onze secções com diferentes temas a estudar: Geral, Importância do PFMEA, Gestão do PFMEA, Gestão do processo, Equipa do PFMEA, Aspetos Técnicos, Formação em PFMEA, Recursos para o PFMEA, Benefícios e eficácia do PFMEA, Dificuldades no PFMEA e *Software* para o PFMEA. A maioria das questões eram de resposta qualitativa, onde se pediu ao participante para utilizar a escala ordinal numérica da Figura 10: 0-Nada Importante, 1-Pouco Importante, 2-Não Muito Importante, 3-Importante, 4-Muito Importante e 5-Muitíssimo Importante. Outras questões, mas em minoria, eram de seleção múltipla e de escrita.

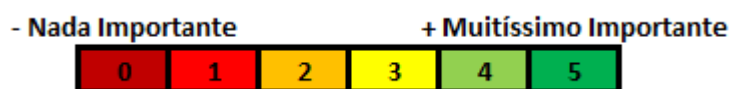


Figura 10 – Escala ordinal do questionário inicial

O *milestone* de entrega do primeiro questionário foi no dia 3 de fevereiro de 2023, dando uma semana a todos os participantes para completarem e entregarem o mesmo. Este questionário está disponível no fim deste documento, no APÊNDICE A. O facto de se ter utilizado o papel como meio de recolha de respostas pode justificar a não omissão a qualquer uma das perguntas do questionário e a uma maior proximidade com o respondente. Antes da entrega do questionário, procedeu-se à sua validação a nível matemático/estatístico e de conteúdo propriamente dito. Uma vez que os participantes objetos de estudo deste questionário são a população, a validação com sujeitos idênticos e com as mesmas características não foi de todo possível.

Após se terem recolhido todos os questionários, procedeu-se à organização e análise dos dados científicos para posteriormente se apresentarem e interpretarem estatísticas descritivas. O *software* utilizado para estes devidos efeitos foi o R, versão 4.2.2. Primeiro que tudo foi necessário criar todas as variáveis e dados numa base de dados em Excel. No total existe 1 variável qualitativa nominal, 42 variáveis quantitativas e 75 variáveis qualitativas ordinais, que perfazem um total de 118 variáveis. Um excerto da visualização dos dados encontra-se na Figura 11.

Sexo	Idade	Departamento	Anos na empresa	Requisito da indústria automóvel	Garante eficiência no planeamento	Garante a qualidade dos produtos	Estabelece a ligação entre a gestão do projeto e a qualidade	Previne a produção de não conformes	Não existe outra ferramenta	Requisito do cliente	Auxilia as manutenções preventivas	Redução de custos	Redução do tempo de produção	Informação visível a todos	Auxilia a melhoria contínua
Feminino	47	Qualidade	27	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Importante	Importante	Importante	Muito Importante	Muito Importante
Feminino	41	Qualidade	20	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante
Feminino	39	Produção	14	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante
Feminino	34	Qualidade	5	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Não Muito Importante	Muitíssimo Importante	Não Muito Importante	Não Muito Importante	Não Muito Importante	Não Muito Importante	Não Muito Importante
Masculino	30	Engenharia	3	Muitíssimo Importante	Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Importante	Muitíssimo Importante	Pouco Importante	Muito Importante	Pouco Importante	Pouco Importante	Muito Importante
Masculino	47	Qualidade	27	Muitíssimo Importante	Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Importante	Importante	Muito Importante	Importante	Muito Importante
Feminino	56	Produção	29	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante	Importante	Nada Importante	Muitíssimo Importante	Importante	Importante	Importante	Importante	Importante

Figura 11 – Base de dados no Excel do questionário inicial

De seguida, e após todas as variáveis e dados estarem replicados, passou-se à compilação dos mesmos para o R, Figura 12.

	Sexo	Idade	Departamento	Anos na empresa	Requisito da indústria automóvel	Garante eficiência no planeamento	Garante a qualidade dos produtos	Estabelece a ligação entre a gestão do projeto e a qualidade	Previne a produção de não conformes	Não existe outra ferramenta
1	Feminino	47	Qualidade	27.0	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Importante	Muito Importante	Muito Importante
2	Feminino	41	Qualidade	20.0	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Nada Importante
3	Feminino	39	Produção	14.0	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante
4	Feminino	34	Qualidade	5.0	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Não Muito Importante
5	Masculino	30	Engenharia	3.0	Muitíssimo Importante	Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Importante
6	Masculino	47	Qualidade	27.0	Muitíssimo Importante	Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante
7	Feminino	56	Produção	29.0	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante	Importante	Nada Importante
8	Masculino	35	Melhoria Contínua	5.0	Muitíssimo Importante	Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Não Muito Importante
9	Masculino	28	Engenharia	3.5	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante
10	Masculino	47	Engenharia	10.0	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante

Figura 12 – Base de dados no R do questionário inicial

Antes da análise aos dados obtidos, avaliou-se a fiabilidade de cada secção (com variáveis ordinais) através do alfa de *Cronbach*. A interpretação dos valores foi seguida através da escala descrita pelo artigo de Gliem & Gliem, 2003, Tabela 3.

Tabela 3 – Escala do alfa de *Cronbach*

Valor do alfa de <i>Cronbach</i>	> 0,9	0,8 – 0,9	0,7 – 0,8	0,6 – 0,7	0,5 – 0,6	< 0,5
Fiabilidade	Excelente	Boa	Aceitável	Questionável	Fraca	Inaceitável

Na Tabela 4, verifica-se que a única secção menos conseguida foi a secção E, Equipa do PFMEA. Para isso recomenda-se, como trabalho futuro, a melhoria desta secção, de forma a aumentar o alfa de *Cronbach* para um nível, pelo menos, aceitável.

Tabela 4 – Fiabilidade das secções do questionário inicial

Secção	B	C	D	E	F	G	H	I	K
Alfa de <i>Cronbach</i>	0,71	0,72	0,88	0,70	0,79	0,86	0,75	0,84	0,81
Fiabilidade	Aceitável	Aceitável	Boa	Questionável	Aceitável	Boa	Aceitável	Boa	Boa

O estudo dos dados será elaborado por cada secção do questionário, para permitir que a análise não seja extensa e demorada.

Começando por uma descrição dos participantes envolvidos, a repartição em termos de sexo foi equitativa (50,0% para feminino e masculino).

Relativamente à idade, a população, com idades compreendidas entre os 27 e os 56 anos, apresenta uma média de 39,3 anos com um desvio-padrão de 8,3 anos. Na Figura 13, encontra-se a distribuição dos participantes por classes etárias.

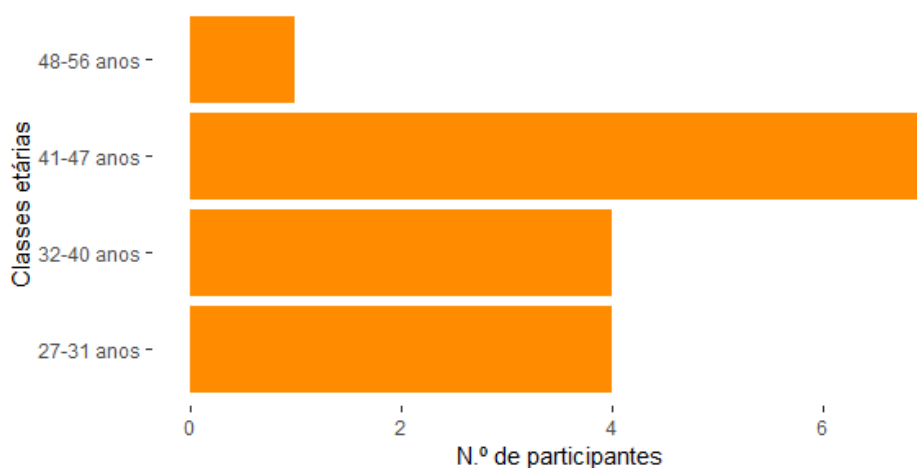


Figura 13 – Distribuição dos participantes por classes etárias

Relativamente aos anos de trabalho na empresa, o participante mais recente trabalha há 3 anos e o mais “antigo” há 29 anos, representando uma média de 12,3 anos com um desvio-padrão de 8,7 anos. Através da Figura 14, observa-se que a maioria dos participantes trabalham há menos de 6 anos na empresa, contudo uma boa fatia, 7 trabalhadores, trabalha na empresa há mais de 11 anos.

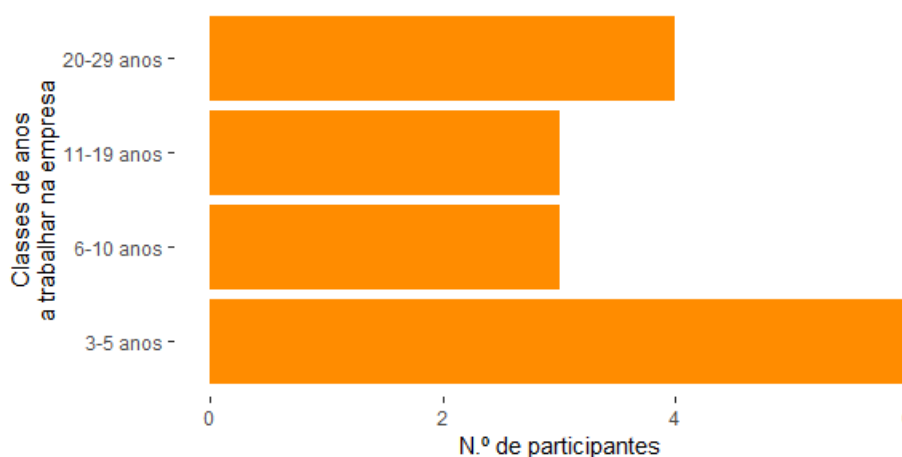


Figura 14 – Distribuição dos participantes segundo a classe de anos de trabalho na empresa

No que diz respeito à Secção B, pediu-se aos participantes que classificassem alguns motivos para se usar o PFMEA. Através da Figura 15, constata-se que o motivo mais importante para se usar o PFMEA é o facto de ser um requisito da indústria automóvel (81,2% indica como muitíssimo importante). Outras das razões mais votadas são: ser requisito de cliente (75,0%), a garantia da qualidade dos produtos (56,2%) e a prevenção de produção de não conformes (43,8%). Já os motivos menos importantes para os participantes foram a não existência de outra ferramenta (18,8% votaram como nada importante) e o auxílio nas manutenções preventivas (12,5% pouco importante e não muito importante, respetivamente).

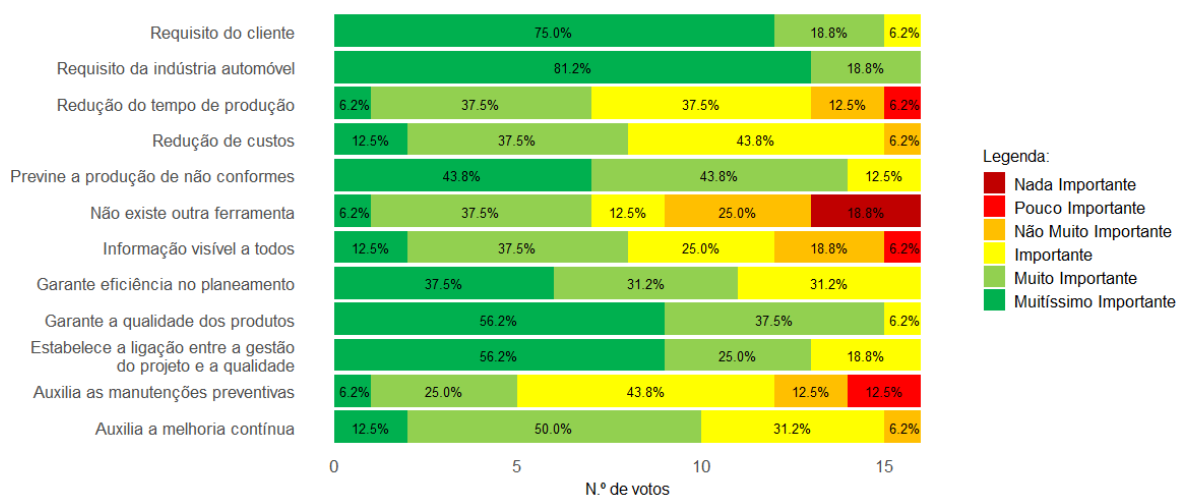


Figura 15 – Importância dos motivos para se usar o PFMEA

Posteriormente, foi analisada a correlação de respostas obtidas para as diferentes questões pedidas da secção B, de forma a descobrir possíveis associações de respostas. Segundo Xiao et al., 2016, a correlação de *Spearman* (ρ) é a mais indicada para variáveis ordinais, enquanto a correlação de *Pearson* (r) é utilizada para variáveis quantitativas contínuas. Na Tabela 5, encontra-se tabelada a escala proposta para os valores do coeficiente de *Spearman*.

Tabela 5 – Interpretação do coeficiente de correlação de *Spearman*
(Adaptado de Dancey & Reidy, 2004)

Valor do ρ	1 – 0,90	0,89 – 0,70	0,69 – 0,40	0,39 – 0,20	0,19 – 0
Correlação	Muito Forte	Forte	Moderada	Fraca	Muito Fraca

Observa-se pela Figura 16 uma única correlação forte positiva ($\rho=0,73$) entre a redução de custos e o auxílio na melhoria contínua. Esta relação é logicamente perceptível, uma vez que a melhoria contínua tem como função encontrar oportunidades de melhoria para reduzir desperdício.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
B1		0,04	-0,12	0,49	-0,25	0,45	0,07	-0,18	0,30	0,15	0,34	0,38
B2			0,41	0,12	-0,04	0,14	0,21	0,12	-0,13	-0,01	0,59	-0,24
B3				0,23	0,63	0,05	-0,13	0,15	0,10	0,38	0,41	0,30
B4					0,36	0,26	0,49	0,04	0,41	0,35	0,41	0,12
B5						0,12	-0,02	0,19	0,30	0,08	-0,06	0,40
B6							0,06	0,08	0,04	0,03	0,48	0,36
B7								0,04	0,01	0,15	0,02	-0,27
B8									0,11	0,32	0,39	0,09
B9										0,41	0,08	0,73
B10											0,42	0,34
B11												0,09
B12												

Figura 16 – Correlação de *Spearman* da secção B do questionário inicial

Partindo para a próxima secção, gestão do PFMEA, pela Figura 17, constata-se uma certa unanimidade em relação aos aspetos de gestão que podem impactar a correta utilização do PFMEA. As opiniões focam a importância sobretudo na compreensão do processo (62,5% muitíssimo importante), o compromisso (43,8% muitíssimo importante e muito importante) e o não considerar “perda de tempo” (56,2% muito importante). Os aspetos com uma maior percentagem de “amarelos” foi a revisão regular do processo (25,0%), a alocação correta dos recursos e ainda a compreensão dos requisitos (com uma percentagem de votos igual a 18,8%).

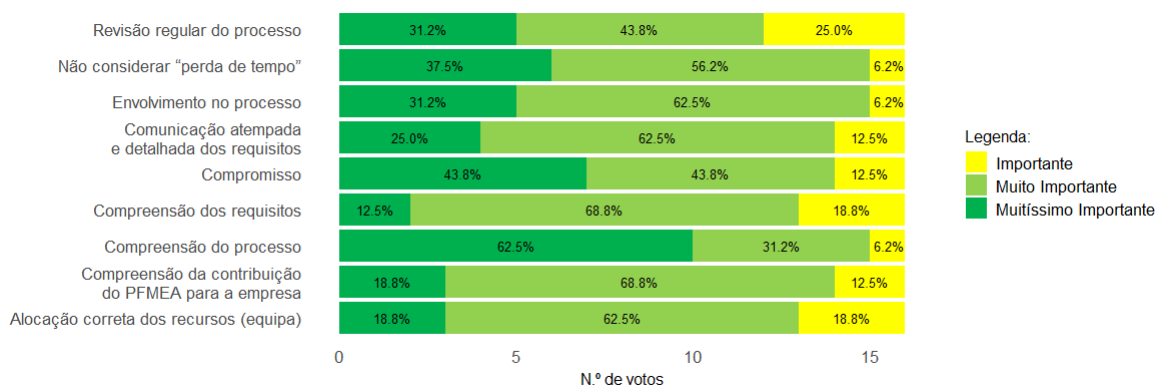


Figura 17 – Importância dos aspetos de gestão do PFMEA

A análise de correlação da Figura 18 mostra que não existe nenhuma correlação muito forte nem forte entre quaisquer aspetos de gestão, sobressaindo-se correlações muito fracas e fracas.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1		0,11	0,39	0,03	0,10	-0,10	0,16	0,47	-0,30
C2			0,29	0,08	0,50	0,26	0,32	-0,17	-0,01
C3				0,35	0,53	0,42	0,29	0,58	0,23
C4					0,01	-0,15	-0,06	0,38	0,00
C5						0,62	0,54	0,19	0,58
C6							0,19	0,16	0,16
C7								0,36	0,57
C8									0,28
C9									

Figura 18 – Correlação de *Spearman* da secção C do questionário inicial

Quanto à gestão do processo do PFMEA, Figura 19, já não existe um consenso no que concerne aos diferentes aspetos. Existe uma certa dispersão de opiniões, por exemplo, em relação à importância da definição clara dos papéis e responsabilidades (31,2% definem como muitíssimo importante e 37,5% apenas como importante) e à priorização de ações (25,0% muitíssimo importante, 43,8% muito importante e 31,2% importante). Este setor é, por isso, muito controverso entre os participantes do questionário.

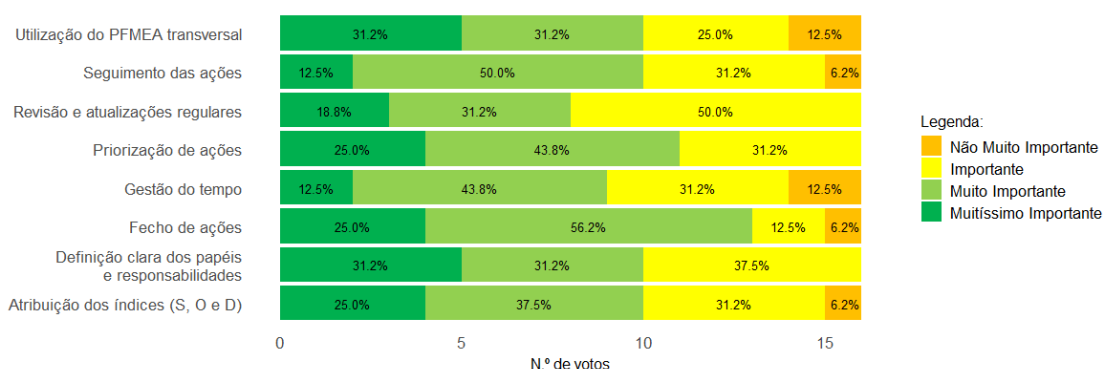


Figura 19 – Importância dos aspetos de gestão do processo do PFMEA

Relativamente às correlações, Figura 20, esta é a secção que mais correlações fortes transmitiu. Com $p=0,78$, tem-se a atribuição dos índices e a gestão do tempo. A utilização do PFMEA transversal tem correlações fortes com a atribuição dos índices ($p=0,70$), a gestão do tempo ($p=0,70$) e a priorização de ações ($p=0,76$). Adicionalmente, a priorização de ações apresenta uma forte correlação com a definição clara dos papéis e responsabilidades ($p=0,70$) e a gestão do tempo ($p=0,76$).

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
D1		0,69	0,48	0,49	0,70	0,48	0,46	0,35
D2			0,70	0,70	0,76	0,38	0,31	0,47
D3				0,78	0,55	0,62	0,07	0,16
D4					0,76	0,49	0,15	0,36
D5						0,51	0,50	0,62
D6							0,34	0,61
D7								0,52
D8								

Figura 20 – Correlação de *Spearman* da secção D do questionário inicial

Na Secção E, Figura 21, podemos verificar um gráfico maioritariamente verde, o que significa que todos os aspetos de equipa são, globalmente, muitíssimo/muito importantes para o PFMEA. Os destaques são a partilha de conhecimento, com 68,8% do total dos respondentes a votarem como muitíssimo importante e ainda os líderes de equipa especializados e o uso de uma equipa multifuncional com 62,5% dos participantes a responderem muitíssimo importante. Apenas a inclusão de todos os departamentos e a partilha de conhecimento apresentam uma percentagem baixa de votos como “Importante”, com 25,0% e 6,2%, respetivamente.

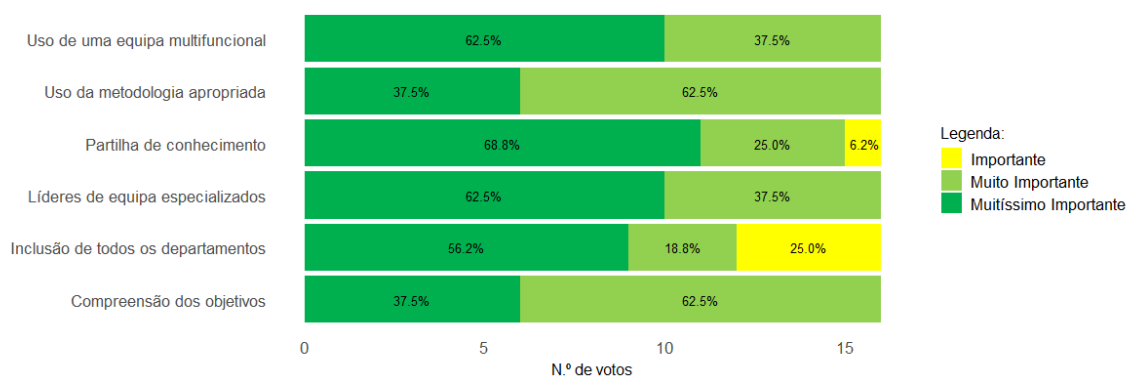


Figura 21 – Importância dos aspetos de equipa do PFMEA

Pela Figura 22, não existe nenhuma associação estatisticamente significativa entre as variáveis da secção E, atendendo ao coeficiente de correlação de *Spearman*.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1		0,33	0,07	0,52	0,20	0,06
E2			0,20	0,60	0,60	0,31
E3				0,26	0,07	0,61
E4					0,52	0,27
E5						0,36
E6						

Figura 22 – Correlação de *Spearman* da secção E do questionário inicial

Seguidamente, os aspetos técnicos, a Figura 23 capta-se a consideração de todos os modos de falha (68,8% muitíssimo importante). A compreensão e cumprimento dos requisitos do cliente, a identificação clara dos controlos atuais, a definição clara das causas de falha e o fluxograma e descrição do processo claros são os únicos aspetos que apenas têm votos “verdes”. Já a compreensão das diferenças entre DFMEA e PFMEA e o DFMEA estar disponível foram muito controversos, dado que apresentam uma pequena percentagem de 6,2% para nada importantes. Esta percentagem pode ser explicada talvez por desconhecimento do que é o DFMEA e da própria metodologia em si, que indica que o PFMEA deve ser desenvolvido a partir do DFMEA.

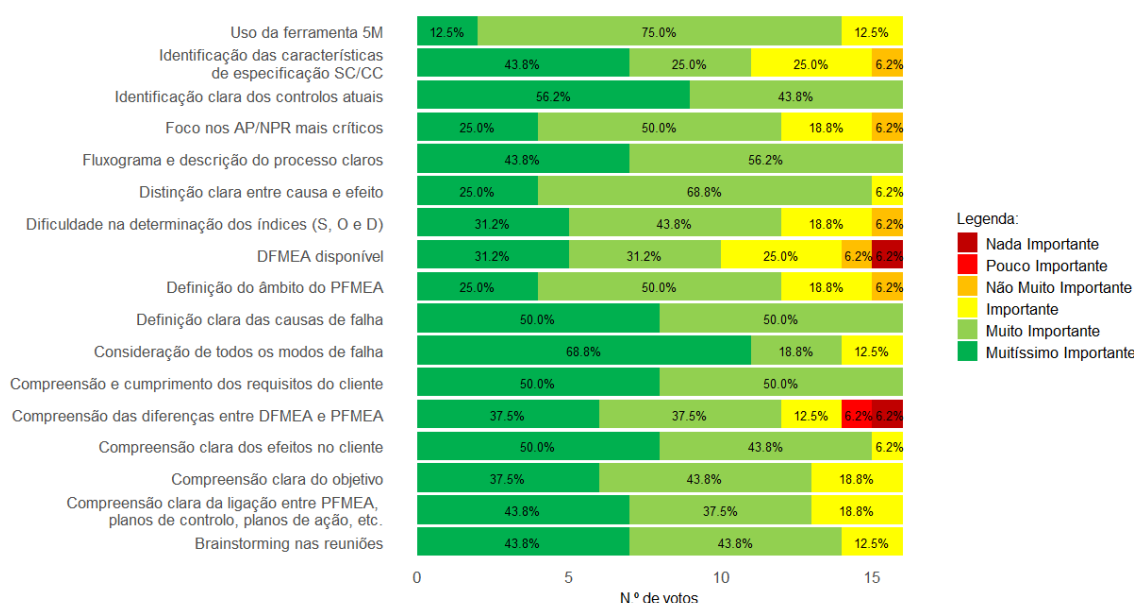


Figura 23 – Importância dos aspetos técnicos do PFMEA

Abordando as correlações demonstradas na Figura 24, o coeficiente de *Spearman* indica que existe uma relação bastante positiva entre o DFMEA estar disponível e a compreensão das diferenças que existe entre este e o PFMEA ($p=0,83$). Já a compreensão destes dois conceitos com a definição do âmbito do PFMEA representa um coeficiente de 0,82. Outras correlações fortes encontradas são entre a consideração de todos os modos de falha e a compreensão clara dos efeitos no cliente ($p=0,72$) que, por sua vez, os efeitos estão altamente correlacionados com a definição clara das causas de falha ($p=0,75$) e com a compreensão e cumprimento dos requisitos do cliente ($p=0,75$). Estas associações demonstram que as pessoas têm a noção do correto desenvolvimento de um PFMEA e de que todos os dados devem ser recolhidos de modo a minimizar o impacto no cliente.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17
F1		0,83	0,61	0,31	0,13	0,14	0,07	0,01	0,38	0,00	0,36	0,01	0,21	0,46	0,23	0,21	0,06
F2			0,82	0,57	0,32	0,26	0,24	0,17	0,20	0,00	0,29	-0,03	0,39	0,55	0,38	0,24	0,27
F3				0,52	0,37	0,13	0,09	0,19	0,01	-0,18	0,19	-0,18	0,38	0,42	0,24	-0,07	0,03
F4					0,31	0,55	0,51	0,26	0,04	0,34	-0,21	-0,07	0,50	0,14	0,23	0,09	0,45
F5						0,59	0,40	0,38	-0,03	0,00	0,15	0,02	0,07	0,25	0,13	0,03	0,38
F6							0,72	0,35	0,26	0,32	-0,05	-0,03	0,05	0,06	-0,01	0,06	0,43
F7								0,75	0,51	0,58	0,04	-0,17	-0,07	0,03	0,13	0,26	0,75
F8									0,52	0,25	0,35	-0,38	-0,26	-0,17	0,15	0,03	0,50
F9										0,42	0,22	-0,18	0,09	0,17	0,36	0,03	0,31
F10											-0,20	0,00	0,17	0,00	0,18	0,32	0,50
F11												0,10	-0,21	0,26	0,35	0,42	0,15
F12													0,22	0,28	-0,03	0,49	0,13
F13														0,57	0,68	0,06	0,23
F14															0,65	0,39	0,37
F15																0,32	0,48
F16																	0,67
F17																	

Figura 24 – Correlação de *Spearman* da secção F do questionário inicial

A Figura 25 retrata, ainda que pequena, uma certa discordância no que respeita ao valor que a formação tem para o correto funcionamento do PFMEA, visto que temos uma percentagem pequena de importância nula (6,2%). Contudo, a maioria ganha (62,5% muitíssimo importante para formação dada por uma organização externa e 37,5% muitíssimo importante para formação aos operadores) e, por isso, é um tema a ser estudado pela empresa.

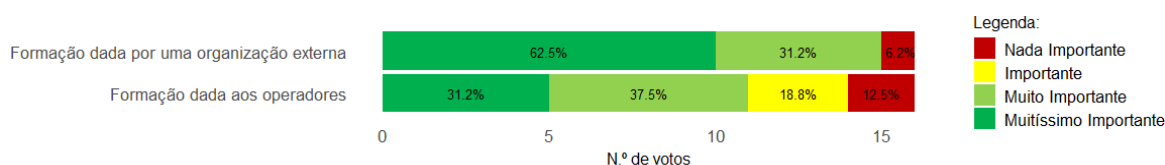


Figura 25 – Importância dos aspetos de formação do PFMEA

No que concerne à correlação entre as variáveis de importância da formação dada por uma organização externa e da formação dada aos operadores, não existe qualquer tipo de relação possível (Figura 26).

	G1	G2
G1		0,12
G2		

Figura 26 – Correlação de *Spearman* da secção G do questionário inicial

Uma questão da Secção G pedia aos participantes que respondessem se já tinham participado alguma vez nalgum tipo de formação sobre PFMEA. Pela Figura 27, conclui-se que 81,25% respondeu afirmativamente e 18,75% negativamente.

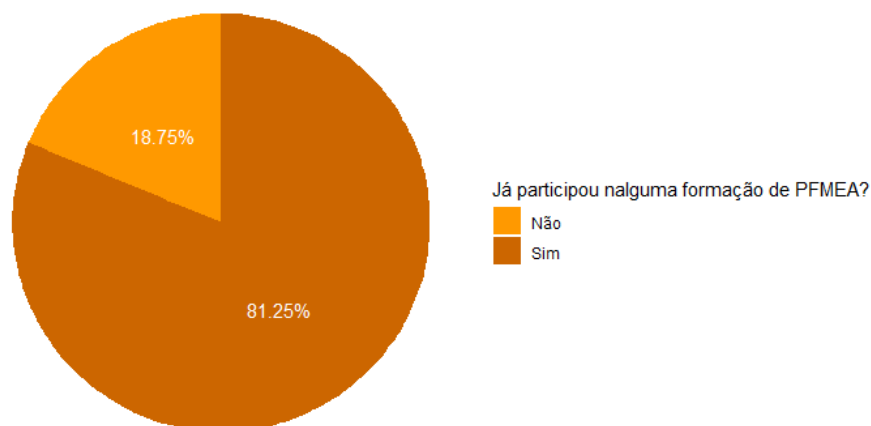


Figura 27 – Participação em formação de PFMEA

Dos que já participaram numa formação, todos responderam ter sido através de uma organização externa, sendo que a duração foi repartida pelas seguintes proporções de respostas: ½-1 dia (15,38%), 2-3 dias (61,54%) e mais de 3 dias (23,08%). Os 18,75% da Figura 27 responderam todos que seria útil a participação numa formação, visto que ainda não tiveram essa instrução.

No que se refere aos recursos do PFMEA, Figura 28, os pontos melhores votados foi a quantidade de tempo despendido (43,8% muitíssimo importante e muito importante), a falta de *back-up* (25,0% muitíssimo importante e 50,0% muito importante) e de informação (25,0% muitíssimo importante e 50,0% muito importante). A região amarela é predominante no custo de desenvolvimento e manutenção do PFMEA, 50,0%, e na falta de um *software user-friendly*, 37,5%.

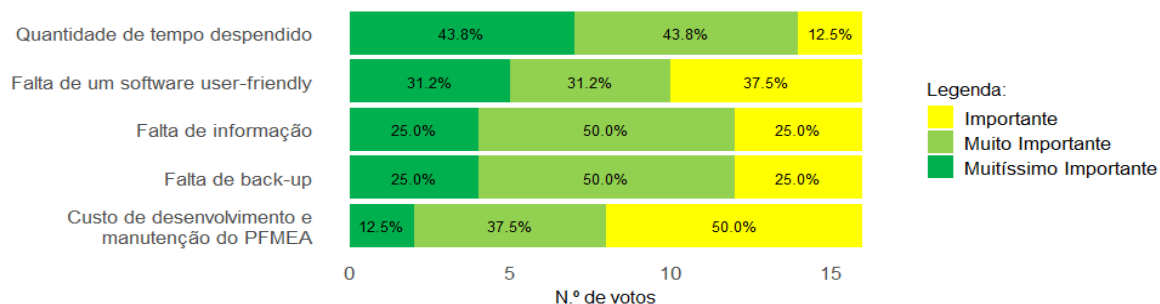


Figura 28 – Importância dos aspetos de recursos do PFMEA

Tendo em conta a Figura 29, a análise de correlação realizada na secção H indica a não presença de relações fortes.

	H1	H2	H3	H4	H5
H1		0,45	0,54	0,15	0,04
H2			0,21	0,43	0,60
H3				0,38	0,23
H4					0,61
H5					

Figura 29 – Correlação de *Spearman* da secção H do questionário inicial

O tempo dedicado ao PFMEA é repartido igualmente pelos 16 participantes, 8 responderam menos de 1h/semana e 8 responderam 1-5 horas/semana. Em termos de participação nas reuniões, a generalidade respondeu 4-6 pessoas, sendo que todos só analisam um PFMEA por reunião.

Sendo uma das questões mais importantes do questionário, pediu-se a avaliação dos possíveis benefícios conseguidos com o PFMEA. Da Figura 30 retira-se principalmente a redução de reclamações (50,0% muitíssimo importante e 43,8% muito importante), garantias (43,8% acha muitíssimo importante e 50,0% muito importante), de ppm (31,2% muitíssimo importante e 50,0% muito importante) e de sucata interna (25,0% muitíssimo importante e 37,5% muito importante). Salienta-se a percentagem de vermelho, pouco importante, de 6,2%, para a melhoria da frequência de manutenção.

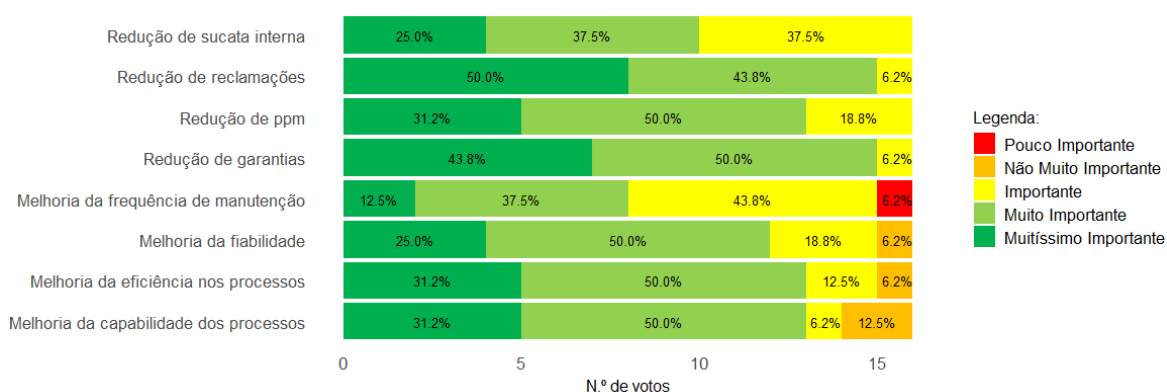


Figura 30 – Benefícios e eficácia do PFMEA

Atendendo ao coeficiente de correlação de *Spearman*, Figura 31, verifica-se uma correlação muito forte positiva entre a redução de reclamações e a redução de garantias ($p=0,90$). Existem três correlações fortes das quais entre a melhoria da capacidade e a melhoria da eficiência dos processos ($p=0,75$), entre a redução de ppm e a redução de reclamações ($p=0,61$) e, por último, entre a melhoria da frequência de manutenção e a melhoria da fiabilidade ($p=0,80$).

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
I1		0,75	0,02	0,65	0,34	0,19	0,32	0,56
I2			-0,02	0,39	0,50	0,35	0,46	0,57
I3				0,27	0,49	0,63	0,21	0,31
I4					0,61	0,47	0,28	0,40
I5						0,90	0,28	0,41
I6							0,20	0,26
I7								0,80
I8								

Figura 31 – Correlação de *Spearman* da secção I do questionário inicial

Outra secção valorosa para este estudo é a Secção J: Dificuldades no PFMEA. No gráfico de barras da Figura 32 apresentam-se como as dificuldades mais sentidas a falta de compromisso das pessoas (10 votos), a falta de um *software* capaz (9 votos) e a falta de tempo (9 votos). Outras limitações com mais votos foram a falta de formação (8 votos) e os custos elevados na implementação das ações (8 votos).

É de destacar que a orientação dos clientes ser confusa não recebeu nenhuma seleção e que a atribuição incorreta dos índices e o desentendimento/opiniões divergentes apenas receberam 1 voto, não sendo por isso alvos de estudo para futuras melhorias.

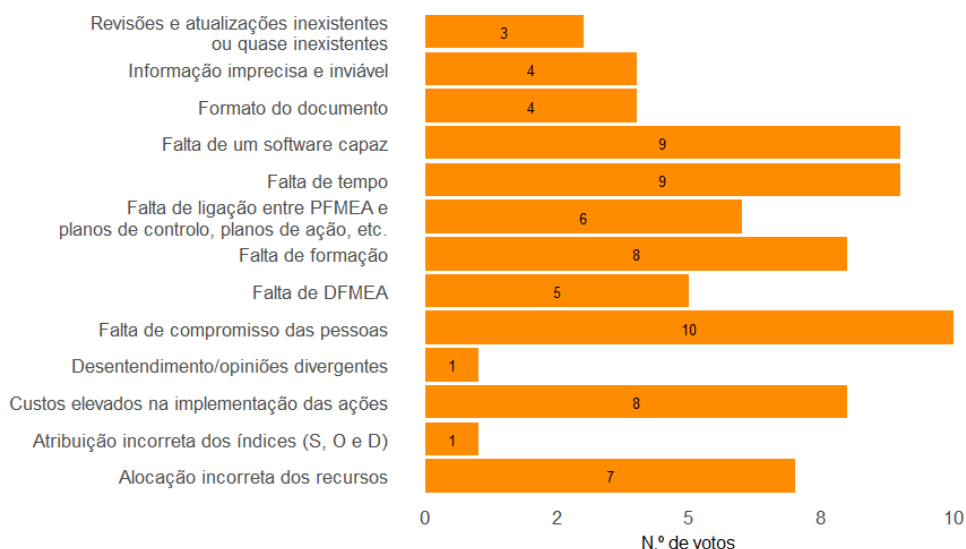


Figura 32 – Dificuldades no PFMEA

A questão seguinte pedia aos respondentes que selecionassem aquelas que seriam as prioritárias em termos de eliminação ou redução do seu aparecimento. Nessa vista, as mais preocupantes são a falta de compromisso das pessoas, com 7 votos, e a falta de um *software* capaz, com 6 votos, Figura 33. Adicionalmente, tem-se a falta de formação, com 5 votos.

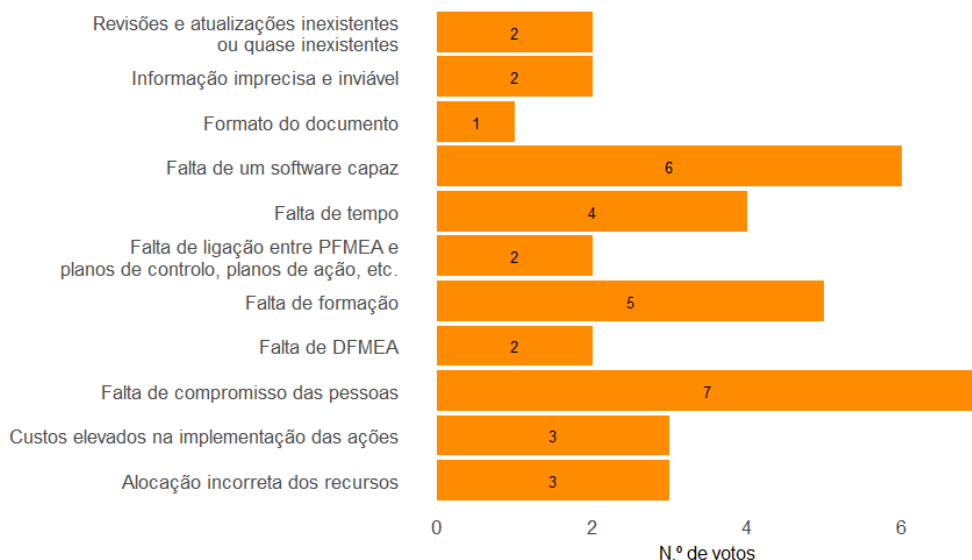


Figura 33 – Priorização das dificuldades no PFMEA

Analisando, mas não menos importante, a última secção deste questionário inicial, temos que 75,0% afirma que o Excel é útil para o PFMEA contra os 25,0%, contudo a opinião não é igual quando se questiona a sua usabilidade (Figura 34).

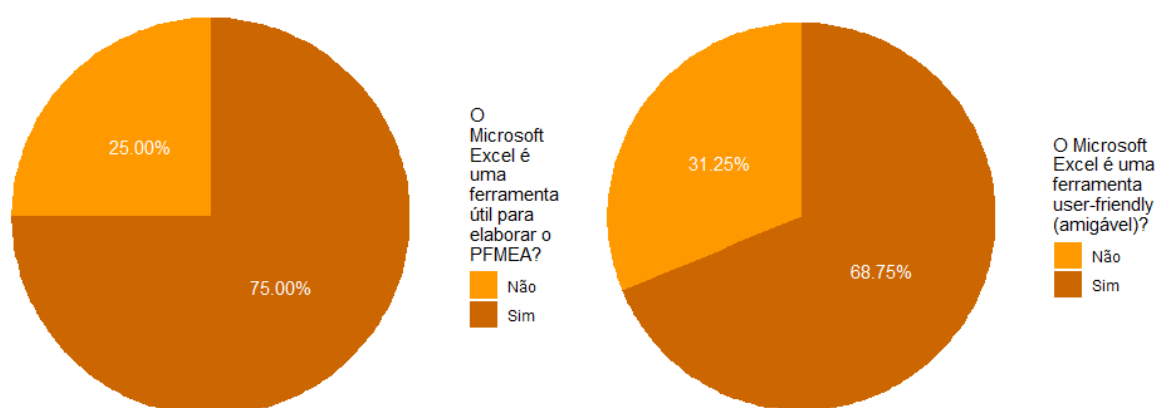


Figura 34 – Utilidade e usabilidade do Microsoft Excel para o PFMEA

Em relação ao novo *software*, sabe-se que 68,75% recomendam a implementação de um novo *software* do PFMEA para substituir o Excel, dado relevante para este trabalho. Pelo contrário, 56,25% dos participantes do questionário ainda não tem conhecimento do novo *software* que será implementado na empresa (Figura 35). Esta análise demonstra que devem ser tomadas medidas no que toca a dar a conhecer o *software* a todos os membros das equipas multidisciplinares do PFMEA.

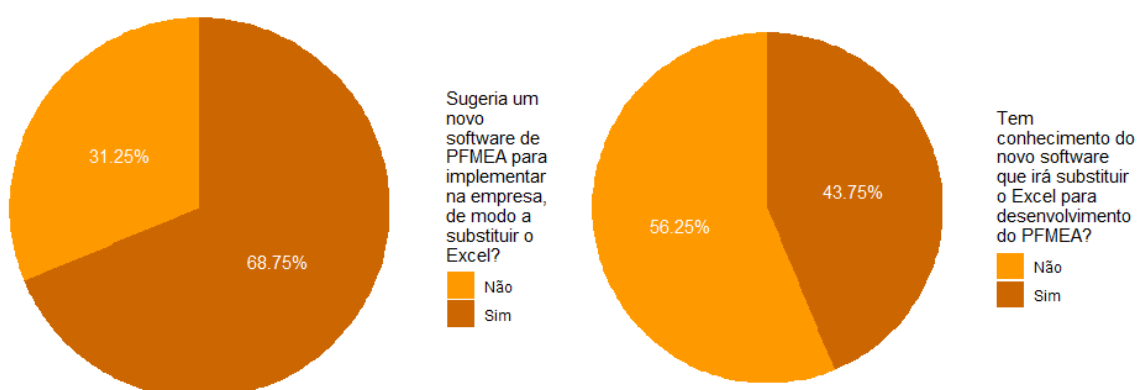


Figura 35 – Sugestão e conhecimento do novo *software*

Como última questão do inquérito, os respondentes avaliaram a importância dos possíveis benefícios que o novo *software* poderá trazer aquando do desenvolvimento de um PFMEA. Os resultados demonstram que a ligação automática com planos de controlo e planos de ação (68,8% muitíssimo importante), as atualizações automáticas na mesma família de produto (62,5%), e ainda a informação ser mais completa e detalhada (56,2%) são as mais relevantes para os membros destas equipas multifuncionais (Figura 36). 12,5% dos participantes votaram como não muito importante a ligação automática com o DFMEA e 6,2% a redução do tempo.

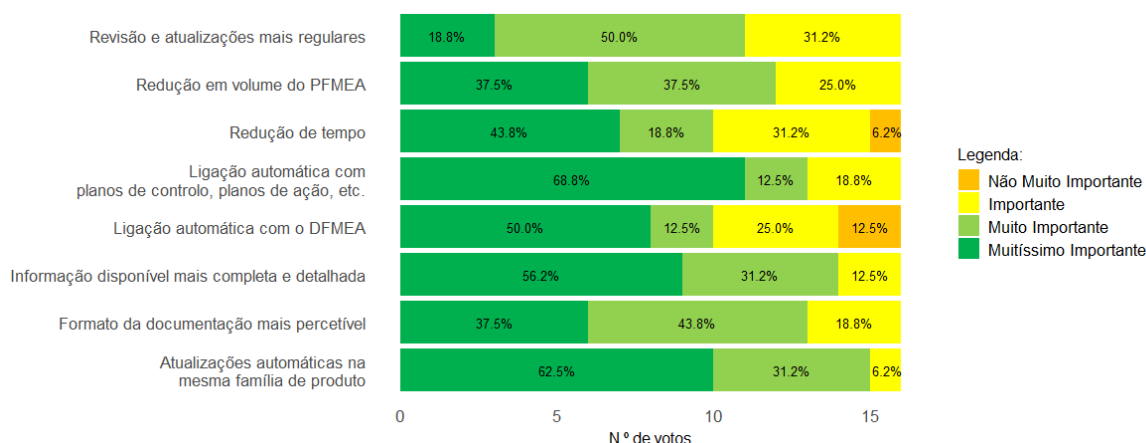


Figura 36 – Importância dos possíveis benefícios do novo *software* de PFMEA

Analisando a Figura 37, são apresentadas correlações com relacionamentos fortes positivos entre a informação disponível ser mais completa e detalhada e o formato da documentação ser mais perceptível ($p=0,74$) e ainda a redução do tempo com a redução em volume de PFMEA ($p=0,79$). Estas associações são facilmente compreensíveis, na medida em que o formato da documentação torna mais fácil a leitura da informação e com a redução do PFMEA, o intervalo de tempo alocado a esta tarefa é mais curto.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
K1		0,29	0,20	0,49	0,30	0,55	0,62	0,18
K2			0,19	0,56	0,33	0,38	0,79	0,17
K3				0,74	0,21	0,25	0,21	0,26
K4					0,12	0,32	0,51	0,29
K5						0,53	0,48	0,26
K6							0,35	-0,02
K7								0,08
K8								

Figura 37 – Correlação de *Spearman* da secção K do questionário inicial

Concluída a análise por secção, e para finalizar o estudo dos dados obtidos do questionário inicial, procedeu-se à correlação entre secções, de modo a identificar possíveis associações.

A Figura 38 mostra que a correlação mais forte e positiva é entre a secção D (Gestão do processo) e a secção I (Benefícios e eficácia do PFMEA) com $p=0,80$. Esta relação pode ser explicada na medida em que se o processo for bem gerido, o PFMEA torna-se eficaz e eficiente, atingindo vários benefícios.

As seguintes correlações mais sentidas são entre a secção D e a secção F (Aspetos Técnicos) com um coeficiente de 0,66 e entre a secção F e K (*Software* do PFMEA) com um coeficiente de 0,60. Apesar de não serem correlações muito fortes, estas associações permitem entender que os bons conhecimentos dos aspetos técnicos envolvidos no processo são fundamentais para a sua boa gestão e que o novo *software* do PFMEA influencia na eficácia da ferramenta, trazendo muitos benefícios.

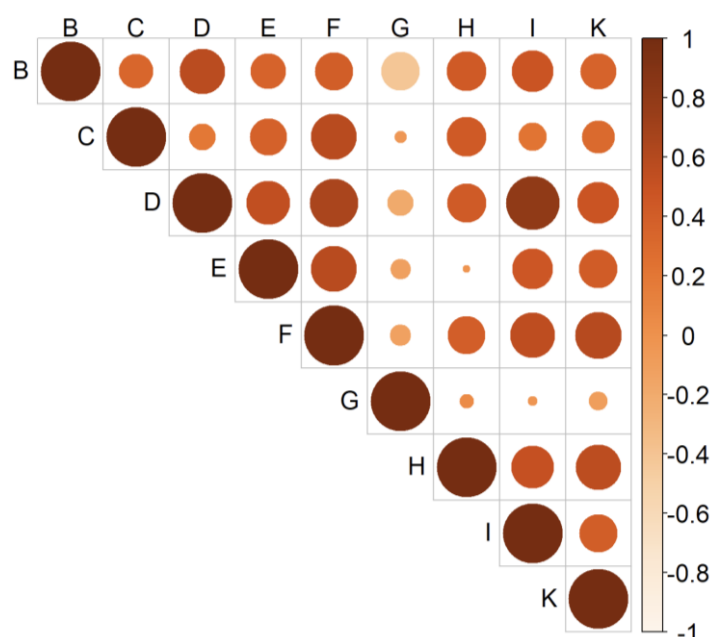


Figura 38 – Matriz de correlação de *Spearman* entre secções do questionário inicial

3.3. Ameaças e oportunidades do processo

Terminada a análise dos dados obtidos do questionário inicial, é agora possível determinar aquilo que preocupa o processo de conceção do PFMEA, bem como algumas oportunidades de melhoria.

Pode-se afirmar que a maioria dos elementos das variadas equipas multifuncionais têm a plena consciência de que o PFMEA é um requisito na indústria automóvel e que, ao desenvolver esta ferramenta, estão a transmitir confiança ao cliente, produzindo produtos de qualidade e sem qualquer tipo de defeito. Contudo, deve-se reforçar constantemente a importância desta ferramenta para os variados motivos que apenas podem beneficiar e não prejudicar a imagem da empresa (Figura 15).

É de apontar também que se verificou, aquando das respostas das pessoas, a relevância de incluir todos os departamentos no processo, uma vez que isso não acontece no presente (Figura 21). A inclusão dos departamentos de Logística e Manutenção foi sugerida por vários membros, podendo assim auxiliar na análise de algumas operações dos projetos. Adicionalmente, no departamento de Produção, apenas os responsáveis de UAP fazem parte das reuniões, contudo foi aconselhada a incorporação dos encarregados.

Da Figura 23 reparou-se numa ligeira discordância relativamente ao DFMEA que, como é sabido, faz parte da metodologia do PFMEA, servindo de base para o seu desenvolvimento. Contudo, esta etapa da metodologia não é cumprida na empresa, pelo que deverá ser discutida com os responsáveis de coordenação do PFMEA.

De forma a analisar as ameaças que colocam em causa a pouca eficiência e eficácia no processo de conceção do PFMEA foi elaborado um diagrama de *Ishikawa* ou de causa-efeito. Este diagrama permite assim interligar os resultados do questionário e da observação direta das reuniões de PFMEA, propiciando assim uma visualização prática das variáveis que afetam o processo. As causas foram categorizadas de acordo com os 4M: Material, Mão de Obra, Método e Máquina (Figura 39). No último patamar, Máquina, não foram encontradas causas que levassem ao efeito relatado.

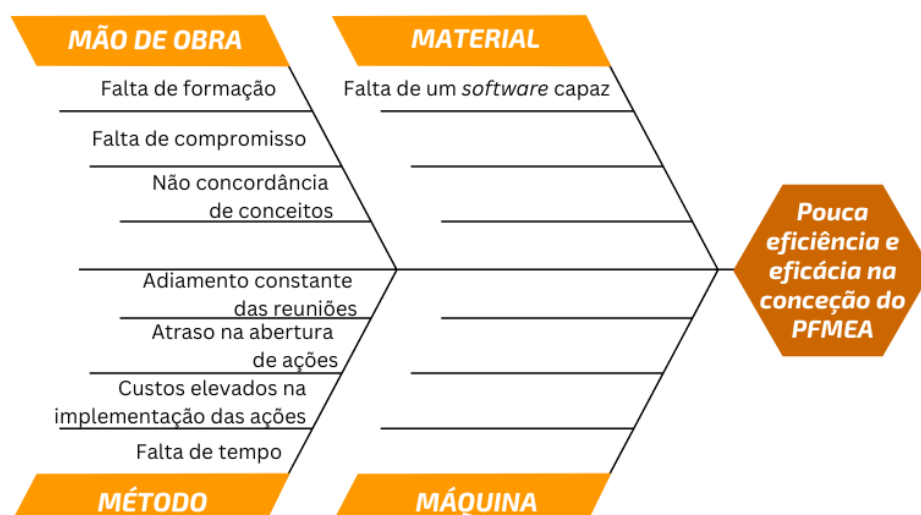


Figura 39 – Diagrama de Ishikawa

Segundo o questionário, as dificuldades mais sentidas no processo são a falta de compromisso das pessoas, de um *software* capaz e de tempo. Contudo se analisarmos a fundo a primeira dificuldade, vemos que os aspetos de gestão identificados na Figura 17 foram avaliados como muitíssimo/muito importantes, especialmente o compromisso e o não considerar “perda de tempo”. Logo esta dificuldade pode tornar-se numa oportunidade se o compromisso das pessoas for mais bem combatido através da comunicação e formação com os diferentes departamentos.

Em relação à segunda dificuldade e, foco deste trabalho, as pessoas demonstraram-se abertas à sugestão de implementação de uma nova solução computadorizada, substituindo assim o Excel. Tal como já enunciado na secção 2.3.5 do relatório, o Excel tem vindo a ser uma ferramenta cada vez mais antiquada para certos trabalhos. Isto explica-se por ser uma ferramenta que trabalha com folhas de cálculo, o que torna o desenvolvimento do PFMEA demoroso, convidativo a erros e repetição de informação. No capítulo seguinte será descrito o processo de transformação, através do desenvolvimento de um projeto-teste e processo-piloto.

No que diz respeito à falta de tempo, considera-se que este é o fator mais problemático e difícil de resolver. É sabido que os diferentes elementos possuem outras funções na empresa e que podem ser chamados a intervir em qualquer momento. Todavia o não cumprimento das reuniões planeadas, como verificado pessoalmente, deverá ser eliminado através, por exemplo, da imposição da obrigatoriedade de cumprimento da agenda. Adicionalmente, com a implementação do novo *software*, o tempo de desenvolvimento de um PFMEA poderá ser reduzido através das bibliotecas que este incorpora. Isto permite que sejam selecionados modos de falha, efeitos, causas e ações de prevenção/deteção mais facilmente, ao invés de se escrever tudo manualmente. A redução do tempo de desenvolvimento poderá melhorar o comprometimento das pessoas, visto que se espera que o tempo alocado a esta tarefa seja inferior e mais eficaz.

Outra limitação encontrada no processo é a falta de formação de alguns membros (Figura 27) e que também preocupa os mesmos (Figura 32). Esta carência pode assim levar a que alguns dos conceitos não sejam sabidos bem como a própria metodologia do processo em questão. Assim, sugere-se, como medida corretiva, que haja uma formação, anualmente, a todos as equipas multifuncionais.

O atraso na abertura de ações e os custos elevados na sua implementação são fatores sobretudo de carácter administrativo-económico da empresa. Posto isto, não há soluções que poderão ser sugeridas.

Após estar finalizada a investigação das causas/limitações do processo, foi seleccionada aquela que seria o foco de estudo deste trabalho e que foi votada como a segunda maior dificuldade sentida na empresa, a falta de um *software* capaz, e foram questionados 5 porquês para raciocinar melhor sobre o problema (Figura 40).

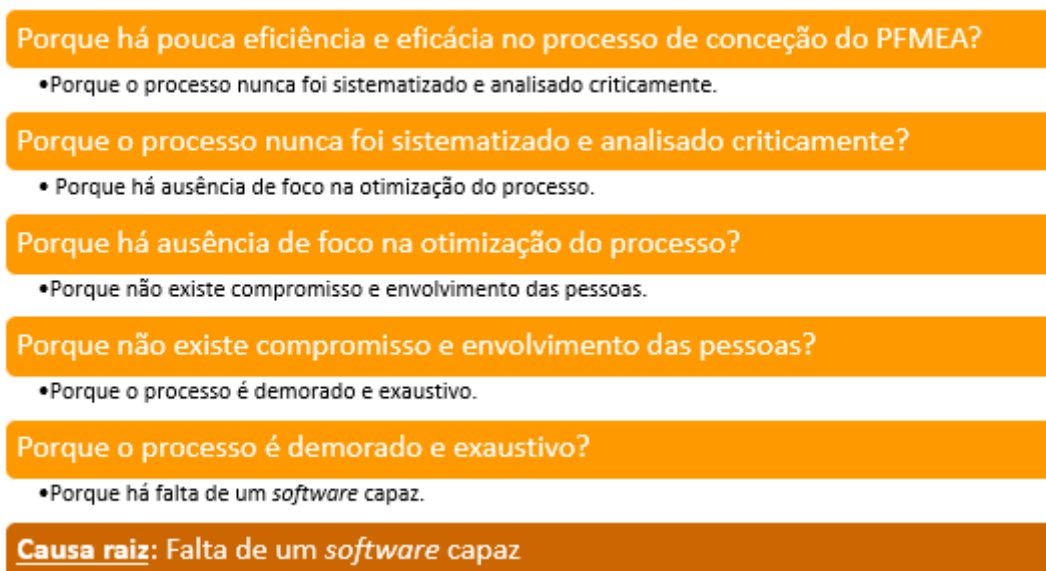


Figura 40 – 5 porquês para a causa-raiz

De forma a mitigar a pouca eficiência e eficácia do processo, torna-se assim necessário melhorar o *software* utilizado atualmente para um mais atualizado e adequado. Espera-se que esta solução incentive as pessoas a se comprometerem e envolverem mais no processo, garantindo assim um maior controlo desde o projeto à industrialização.

4. IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE DO PFMEA NA EMPRESA (TO-BE)

Após a análise do processo *AS-IS*, através da participação em reuniões e mediante os resultados conseguidos com o inquérito inicial, o passo seguinte seria a automatização do processo. Com esse propósito, decorreu uma formação inicial onde se deu a conhecer o *software* escolhido bem como as principais funcionalidades que este fornece ao utilizador. Posteriormente, as sessões formativas seguintes foram mais trabalhosas no que diz respeito ao treino e avaliação dos participantes, sendo que se praticou com exemplos reais de PFMEA.

Assim, e após a atribuição da licença do *software*, era imperatória a transferência dos PFMEA existentes para este. Antes de se desenvolver um novo processo com o *software*, a empresa pediu a passagem de um PFMEA de projeto já existente (desenvolvido com a metodologia AIAG-VDA) como forma de testar o funcionamento da ferramenta. Posteriormente, um processo-piloto foi fundamental para servir de guia aos que se seguissem, de modo a avaliar a eficiência e eficácia desta alteração. Este processo (embutir) tratou-se de uma atualização, dado que um novo posto de trabalho (nova máquina) foi implementado na fábrica. Como último objetivo, um questionário final foi desenvolvido com o âmbito de sondar e avaliar opiniões dos intervenientes que responderam ao questionário inicial de forma a comparar a efetividade da transformação digital ocorrida.

4.1. Caracterização e formação no *software*

Como já referido anteriormente, a decisão acerca da alteração e seleção do *software* do FMEA foi tomada pelo Grupo da empresa, localizada em *Châlette-sur-Loing*. A formação na empresa começou com uma breve sessão para apresentar o *software* a todas as equipas PFMEA. Nesta sessão, realizada a 20 de outubro de 2022, foram comunicadas as diferentes funcionalidades do *software*. No mês de dezembro, nos dias 16 e 20, o departamento da Qualidade (responsável pela coordenação dos PFMEA) teve sessões de *training*, onde se teve pela primeira vez contacto com o *software*. Foi assim possível ter uma primeira perceção do funcionamento do *software*, através da resolução de exemplos práticos.

Antes de se prosseguir com a descrição resumida do funcionamento do programa, enumeram-se algumas das principais vantagens e motivos pelos quais a *Knowllence* apela ao uso do *software* (Knowllence, 2022):

- Potencia o estudo de diferentes PFMEA na mesma licença;
- Interliga o PFMEA com outros documentos desde o DFMEA, planos de controlo, planos de ação, características críticas, etc.;
- Comporta a versão da AIAG-VDA de 2019. O funcionamento segue a metodologia dos sete passos já descritos no subcapítulo 2.3.3.;
- Permite a criação de PFMEA genéricos e a propagação automática das alterações a serem efetuadas para a mesma família de produtos;
- Possibilita a conceção de bibliotecas para modos de falha, causa e efeito e ainda ações de prevenção e de deteção, diminuindo assim o tempo de desenvolvimento para um PFMEA.

Na Figura 41, reveem-se os sete passos definidos pelo *Handbook* da AIAG-VDA que servem de orientação à aplicação do *software* para realizar um PFMEA.



Figura 41 – Sete passos da metodologia AIAG-VDA (TRIGO, 2022)

Resumindo o procedimento no *software*, em primeiro lugar, e antes do primeiro passo, é necessária a descrição das propriedades do projeto (nome, data, descrição, etc.). De seguida, no passo 1, faz-se o planeamento e a preparação do projeto através dos 5T (*Team, Timing, Tool, inTent* e *Task*), da delineação do âmbito do PFMEA e do preenchimento do cabeçalho.

No passo seguinte, Análise da Estrutura, é desenhada a estrutura em árvore, isto é, o esquema que permite organizar os elementos (itens, passos e elementos de trabalho do processo) hierarquicamente através de ligações estruturais.

O 3º passo, e como o próprio nome indica, dedica-se à atribuição das funções aos elementos que constituem a árvore desenhada no passo anterior. Onde, primeiro se definem as funções e só depois de estarem todas listadas é que se procede à ligação entre os níveis superior e inferior.

O 4º passo, e mais importante, destina-se à enumeração de todos os modos de falha associados a cada função, bem como os efeitos e causas correspondentes. A severidade é atribuída aquando dos efeitos. A ligação às funções é concebida da mesma maneira que no passo anterior (*network*).

No passo 5, Análise de Risco, listam-se todos os controlos atuais de prevenção e deteção e é avaliado o risco através da atribuição de valores aos índices de ocorrência e deteção. Ainda para mais, são aqui definidas as características críticas de acordo com as especificações de cada cliente e o valor da PA é automaticamente calculado.

Em relação à Otimização, 6º passo, são definidas e planeadas ações de acordo com os valores obtidos de PA. Para cada ação são pedidos vários campos, entre os quais a pessoa responsável, a data objetivo de conclusão, o estado da ação, etc., existindo a opção de enviar email automático a lembrar o responsável da criação da mesma. Uma reavaliação dos índices é efetuada: uma ação de prevenção altera a ocorrência e uma ação de deteção altera a deteção. O valor da nova PA é novamente calculado de forma automática.

No último passo, e para visualizar os resultados conseguidos, o *software* permite imprimir diferentes tipos de *reports* como: tabela do PFMEA, síntese do PFMEA, estatísticas, fluxograma, plano de controlo, instrução de trabalho, entre outros.

Para auxiliar o departamento da Qualidade no uso do *software*, foi elaborado um manual de utilizador, que inclui uma descrição pormenorizada dos passos a seguir, segundo a metodologia da AIAG-VDA. Inicialmente foi elaborada uma versão completa e detalhada do manual para quando o utilizador procedesse pela primeira vez ao PFMEA através do *software*, não ter qualquer tipo de dificuldade. Contudo, para facilitar a sua utilização no dia-a-dia foi preparada uma versão *light* que contivesse apenas uma *checklist* das instruções para a execução do processo. A versão *light* deste manual encontra-se no APÊNDICE B.

4.2. Desenvolvimento do projeto-teste

De modo a perceber o funcionamento prático do *software*, foi proposto pela empresa implementar um projeto-teste que serviria de exemplo para futuros novos projetos/processos. Para complementar, era imperatória a passagem deste PFMEA para o *software*, uma vez que esta implementação tem de ser evidenciada em auditorias futuras.

4.2.1. Compreensão e análise do projeto-teste

O PFMEA deste projeto foi o primeiro PFMEA a ser elaborado na empresa já com a nova metodologia AIAG-VDA. Este projeto teve a sua fase de arranque em 2022 e desde então é dos projetos de maior dimensão e de importância que a empresa alguma vez teve. O projeto chama-se HHN e pertence ao cliente *Renault*, logo a unidade produtiva dedicada à produção deste projeto é a UAP1, com as principais linhas AA29 e a AA31 e as restantes AA2, AA4, AA9, AA15 e AA26 (Figura 5). As linhas PREP dedicadas a este projeto são a PT33, PT34, PT35 e ainda a DS7 que é responsável pela soldadura. Este projeto destina-se à produção de tubagens de ar condicionado para o novo modelo *Kadjar* (Figura 42).



Figura 42 – Renault Kadjar

O projeto HHN tem uma duração prevista de 5 anos de produção (2022-2026), sendo que toda a exportação é para a *Renault Palencia* (Espanha). A produção consiste em dois produtos, conforme o tipo de motor do veículo: ICE (gasolina) e HEV (híbrido), contabilizando um total de 15 referências a serem produzidas (Figura 43). Espera-se que o pico de produção, em volume, seja em 2024 com cerca de 130.000 veículos a serem produzidos (55,0% ICE e 45,0% HEV).

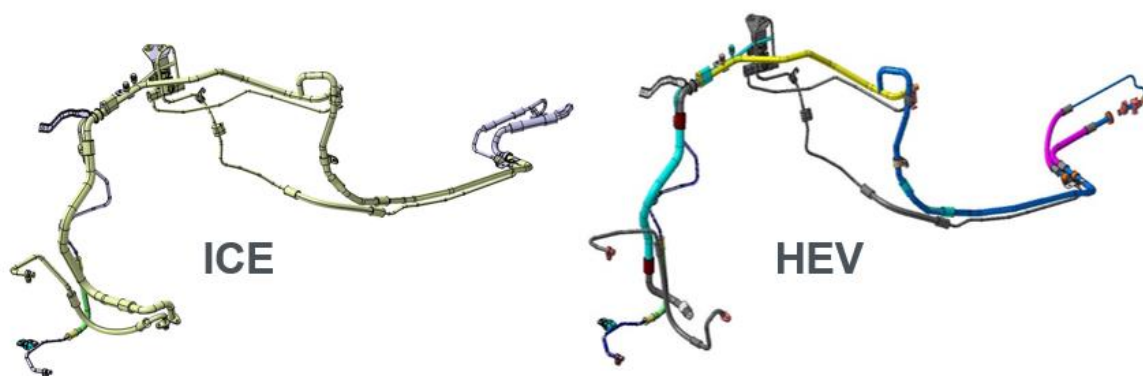


Figura 43 – Desenho 3D das peças ICE e HEV

Devido à complexidade e ao grande número de referências distintas que são produzidas na mesma linha de produção, existe um conjunto de diversas operações inerentes ao processo de cada tubo de ar condicionado. Na Tabela 6 descrevem-se as operações que estão presentes nas referências produzidas na AA29 e na Tabela 7 as operações da AA31. No fim da produção, os tubos são controlados no GCF.

Tabela 6 – Operações inerentes à AA29

Operação	Descrição
----------	-----------

[OP-072] Montar
proteções (prensar)



Figura 44 – Montagem de proteção de alumínio na AA29

[OP-051] Montar +
Angular + Prensar



Figura 45 – Tubo prensado na AA29

[OP-190] Montagem
de *bracket*

Figura 46 – Montagem de *bracket* na AA29

[OP-192] Colocar
o'ring modo manual



Figura 47 – Montagem de *o'ring* na AA29

[OP-074] Colocação
fita de cor



Figura 48 – Colocação de fita de cor na AA29

[OP-110] Montar
tampões



Figura 49 – Montagem de tampões na AA29

[OP-151] Impressão
etiqueta de
identificação



Figura 50 – Colocação de etiqueta de identificação na AA29

Tabela 7 – Operações inerentes à AA31

Operação	Descrição
----------	-----------

[OP-220] Montagem
do mecanismo de
válvula



Figura 51 – Montagem do mecanismo de válvula na AA31



Figura 52 – Tubo não curvado na AA31

[OP-330] Curvadora
manual



Figura 53 – Tubo curvado na AA31

[OP-190] Montagem
de *bracket*



Figura 54 – Montagem de *bracket* na AA31

[OP-192] Colocar
o'ring modo manual



Figura 55 – Montagem de *o'ring* na AA31

[OP-110] Montar
tampões



Figura 56 – Montagem de tampões na AA31

[OP-151] Impressão
etiqueta de
identificação



Figura 57 – Colocação de etiqueta de identificação na AA31

Para facilitar a compreensão do PFMEA já desenvolvido, tabelaram-se todas as operações envolvidas nas 15 referências e contabilizou-se o número de referências por cada operação (Tabela 8).

Tabela 8 – N.º de referências do HHN por operação

Operação	N.º de referências
[OP-000] Receção de componentes	15
[OP-360] Corte de alumínio automático	15
[OP-321/322] Embutido (<i>roulage</i>) / Embutido <i>transfer</i>	15
[OP-320] Embutido (<i>bulbage</i>)	11
[OP-323] Colocação componente (flange louca)	1
[OP-301] Lavagem automática	15
[OP-040] Corte de mangueira automático	10
[OP-044] Conformação de mangueira (estufa)	6
[OP-340] Puncionar tubo alumínio	3
[OP-345] Furar tubo alumínio	2
[OP-310] Soldadura por indução	3
[OP-311] Soldadura por chama	4
[OP-088] Teste de obstrução	1
[OP-220] Montagem do mecanismo de válvula	3
[OP-105] Soprar peça	1
[OP-290] Montagem de perno roscado / válvula	1
[OP-331] Curvadora automática	15
[OP-330] Curvadora manual	3
[OP-270] Montagem massa acústica	1
[OP-271] Montagem pino massa acústica	1
[OP-051] Montar + Angular + Prensar	10
[OP-070] Montar proteções (manual)	10
[OP-074] Colocação fita de cor	3
[OP-072] Montar proteções (prensar)	2
[OP-221] Montagem do transdutor	3
[OP-190] Montagem de <i>bracket</i>	11
[OP-192] Colocar <i>o'ring</i> modo manual	15
[OP-086] Testar a hidrogénio	8
[OP-084] Testar a hélio	7
[OP-089] Marcação mecânica	15
[OP-110] Montar tampões	15
[OP-151] Impressão etiqueta de identificação	15
[OP-120] Embalar	15
[OP-140] Armazenamento e Expedição	15

4.2.2. PFMEA do projeto-teste

Após se observar o PFMEA do projeto HHN, constatou-se que apenas as operações [OP-323], [OP-340], [OP-345], [OP-088], [OP-290] e [OP-072] foram alvo de estudo, pelo que as restantes já se encontravam analisadas em PFMEA de antigos projetos ou em PFMEA transversais. Esta informação consta no cabeçalho do PFMEA, visto que o *software* apenas transmite informação dos processos em foco.

Em relação ao primeiro passo, toda a informação do projeto, estudo, reuniões, 5T's e cabeçalho foi devidamente escrita nos parâmetros do *software*.

No passo 2, referente ao desenho da estrutura em árvore, a empresa considera que um item de processo é o conjunto das linhas do projeto. Cada passo do processo é uma operação unitária, independentemente de pertencer a apenas uma linha de produção, isto é, todas as operações de todas as linhas têm de ser enumeradas. Os elementos de trabalho do processo são os 6M de cada operação, sendo que a mão-de-obra poderá ser dividida em operador e preparador. No método, a análise pode ocorrer para *setup* e modo de trabalho. Em relação à máquina, a empresa considera o próprio equipamento em si e as ferramentas que compõem a máquina, logo existe essa distinção no PFMEA. Na Figura 58, encontra-se desenhada a árvore que se espera com as operações devidamente identificadas e priorizadas e, na Figura 59, um excerto do resultado no *software*. De salientar que as operações que são o foco de estudo do PFMEA, têm de ser identificadas no *software* (com a circunferência a azul).

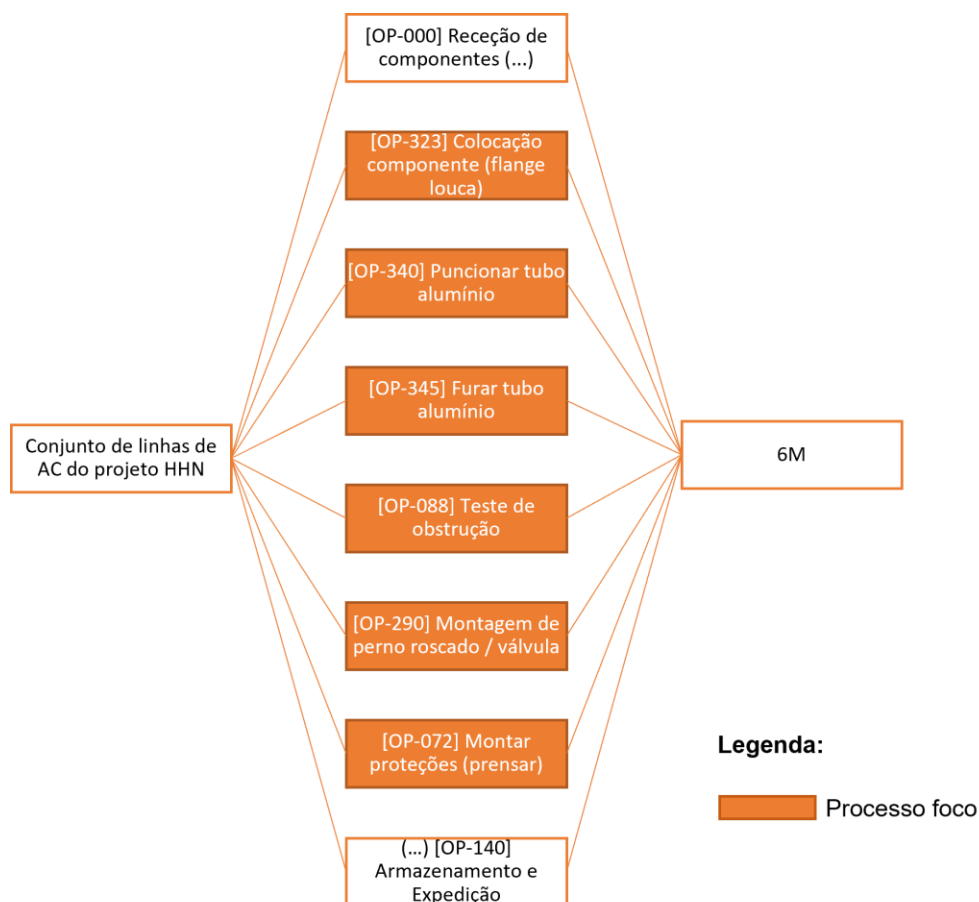


Figura 58 – Estrutura em árvore do projeto HHN

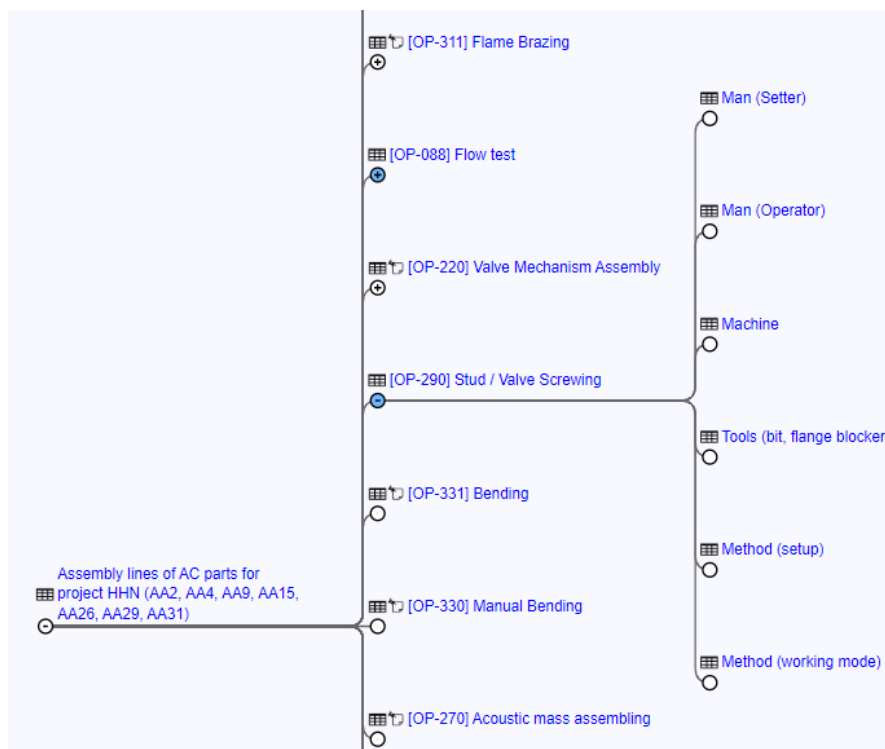


Figura 59 – Excerto da estrutura em árvore no *software* do projeto HHN

Na Análise da Função, o passo 3, a empresa atribui, para o item do processo, uma função para as instalações de origem (*Hutchinson Porto*), instalações de destino (fabricante do carro) e para o utilizador final (do carro). Em relação às funções do passo do processo e elementos de trabalho, as funções são definidas para cada operação e cada “M”, respetivamente. A Figura 60 identifica a função do conjunto das linhas do HHN (item de processo) e das operações-foco (passos do processo). As funções de cada M vão depender da operação e não foram incluídas no esquema por serem em grande número.

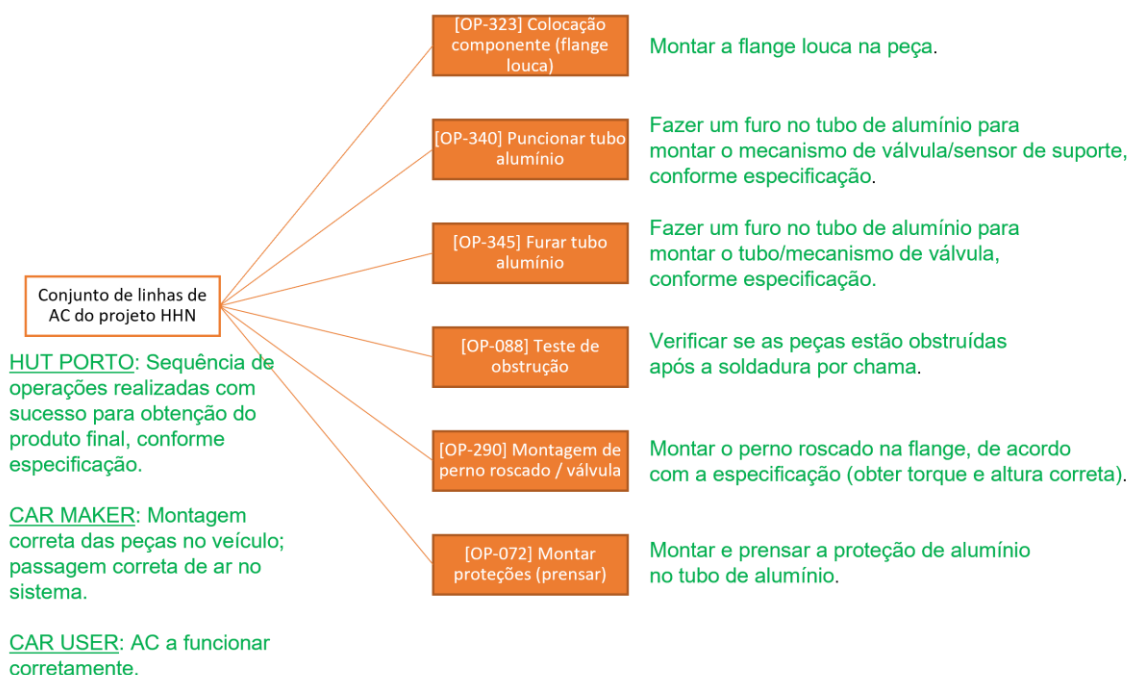


Figura 60 – Funções do item e dos passos do processo do projeto HHN

Após a definição das funções, foi fundamental fazer o *network* entre os níveis superior e inferior. A Figura 61 mostra o resultado das funções (a verde) devidamente ligadas para todos os níveis da [OP-323]: Montagem de componentes (flange louca) no *software*.

Process	1. Function of the Process Item Function of System	2. Function of the Process Step and Product	3. Function of the Process Work Element and
[OP-323] Assemble Component (loose flange)	Assembly lines of AC parts for project HHN (AA2, AA4, AA9, AA15, AA26, AA29, AA31) HUT PORTO: Sequence of operations performed successfully to obtain the final product, according to specification. CAR MAKER: Correct assembly of parts on the vehicle; correct passage of air in the system. CAR USER: AC working properly.	[OP-323] Assemble Component (loose flange) Assemble the loose flange on the part.	Man (Setter) Machine setup (assemble the correct tools and select the correct program) Man (Operator) Put the flange in the loader, put the pipe in the machine and press start button. Machine Detection of the flange (with sensor) Tools (loader) Put the flange with the correct orientation Method (setup) Define the correct/standard setup mode - IPS. Method (working mode) Define the correct/standard working mode - ITS.

Figura 61 – Funções da [OP-323] do projeto HHN

No quarto passo, na Análise da Falha, um ou vários modos de falha são estabelecidos para cada operação (passo do processo), assim como os efeitos e as causas. Os efeitos são estipulados consoante o impacto nas instalações de origem, de destino e o utilizador final do carro. Evidentemente que as causas são determinadas em conformidade com cada “M”. Ainda é feita a avaliação da severidade, esta é o resultado do valor mais alto das severidades atribuídas para cada efeito (instalações de origem, instalações de destino e utilizador final). É de referir que a empresa estipula que a severidade no utilizador final não poderá exceder seis (observando a Tabela 16), porque o sistema de ar condicionado é uma função secundária do carro, ou seja, o carro funciona sem este sistema. No total, existem 21 conjuntos de efeitos de diferentes severidades constituídos pelos efeitos da Figura 62.

HUT PORTO	CAR MAKER	CAR USER
- Grandes níveis de sucata; - Impossibilidade de realizar a operação seguinte; - Válvula não está fixa corretamente na peça; - Fuga; - Posição incorreta da válvula/sensor de suporte; - Geometria incorreta (má flexão devido à colisão da válvula); - Peça obstruída; - Peça parcialmente obstruída; - Tubo não está fixo corretamente no tubo; - Posição incorreta do tubo; - Peça não conforme (sucata); - Possibilidade de retrabalhar a peça.	- Impossibilidade de montar a peça; - Fuga 0km; - Impossibilidade de encher o gás; - Contaminação do circuito -> risco de danificar o compressor; - Sistema de AC não funciona corretamente; - A linha é parada e ordem e triagem é necessária.	- Fuga durante a garantia; - Contaminação do circuito -> risco de danificar o compressor; - Sistema de AC não funciona corretamente.

Figura 62 – Efeitos nos diferentes níveis do HHN

Na Figura 63 encontram-se os 39 modos de falha das diferentes operações: 3 para a [OP-323], 13 para a [OP-340], 12 para a [OP-345], 2 para a [OP-088], 6 para a [OP-290] e 6 para a [OP-072].

[OP-323] Colocação componente (flange louca)	[OP-340] Punção tubo alumínio	[OP-345] Furar tubo alumínio	[OP-088] Teste de obstrução	[OP-290] Montagem de perno roscado / válvula	[OP-072] Montar proteções (prensar)
- Tubo sem flange louca; - Tubo com flange louca com orientação incorreta; - Tubo com flange louca danificada.	- Ausência de furo na peça; - Furo danificado na peça; - Furo muito pequeno; - Furo muito grande; - Posição incorreta do furo na peça; - Orientação incorreta do furo na peça; - Fissura no tubo de alumínio; - Peça com pastilha (pastilha não retirada); - Peça com pastilha (pastilha parcialmente retirada); - Ausência do anel de soldadura; - Ausência da válvula; - Referência incorreta da válvula; - Contaminação (rebarba).	- Ausência de furo na peça; - Furo parcial na peça; - Furo muito pequeno; - Furo muito grande; - Fissura no tubo de alumínio; - Furo com posição incorreta; - Furo com orientação incorreta; - Ausência do anel de soldadura; - Ausência da válvula; - Referência incorreta da válvula; - Contaminação (rebarba); - Peça danificada (acabamentos danificados).	- Peça com obstrução total; - Peça com obstrução parcial.	- Ausência do perno roscado na peça; - Peça com o perno roscado não totalmente aparafusado; - Peça com o perno roscado ao contrário; - Peça com perno roscado enviesado; - Peça com a altura incorreta do perno roscado; - Referência incorreta do perno roscado.	- Peça sem a proteção de alumínio prensada; - Peça com a mangueira de proteção solta (não prensada o suficiente); - Peça com mangueira de proteção demasiado prensada; - Peça com mangueira de proteção com múltiplas prensadas; - Peça com a mangueira de proteção danificada; - Peça com a mangueira de proteção prensada na posição incorreta.

Figura 63 – Modos de falha para cada operação-foco do HHN

As variadas causas no que concerne aos 6M estão indicadas na Figura 64.

Mão de obra (Preparador)	Mão de obra (Operador)	Máquina	Ferramentas	Método (setup)	Método (modo de trabalho)
- Montar as ferramentas incorretas e/ou selecionar o programa incorreto; - Setup da máquina incorreto (montagem das ferramentas incorretas – broca e garras); - Setup da máquina incorreto (incorreta configuração da altura da prensada); - Setup da máquina incorreto (má posição da mordida na punção).	- Não colocar a flange no carregador; - Posição incorreta do tubo; - Não mover a alavanca para a posição final; - Não fechar as garras; - Não pegar no anel de soldadura; - Não pegar na válvula; - Pegar na referência incorreta da válvula na caixa Kanban; - Não colocar a peça na máquina (saltar operação); - Não pegar no perno roscado; - Colocar incorretamente o perno roscado na chave de fendas; - Colocar a peça incorretamente na máquina; - Abrir a proteção no meio do ciclo.	Desgaste/danos de componentes mecânicos e/ou elétricos.	- Desgaste/danos da broca; - Desgaste/danos do punçar; - Ausência do punçar; - Broca chega do fornecedor com dimensões fora de especificação; - Punçar chega do fornecedor com dimensões fora de especificação; - Desgaste/danos da ferramenta de teste; - Desgaste/danos das garras.	Má definição do modo correto/preparação standard da máquina/modo setup (IPS).	Má definição do correto/modo de trabalho standard (ITS).

Figura 64 – Causas para os 6M do HHN

Na Figura 65 demonstra-se a análise para um modo de falha (a vermelho) do teste de obstrução, peça com obstrução total, após o *network* entre efeitos, modos de falha e causas.

P- Function	1. Failure Effects (FE) to the Next Higher Level Element and / or End user	S	Class	S net	Class net	2. Failure Mode (FM) of the Focus Element	3. Failure Cause (FC) of the Work Element
Check if the parts are obstructed after flame brazing.	Assembly lines of AC parts for project HHN (AA2, AA4, AA9, AA15, AA26, AA29, AA31) HUT PORTO: Sequence of operations performed successfully to obtain the final product, according to specification. CAR MAKER: Correct assembly of parts on the vehicle; correct passage of air in the system. CAR USER: AC working properly. HUT PORTO: High level of scrap (7) CAR MAKER: --- CAR USER: ---	7				Method (working mode) Define the correct/standard working mode - ITS. Part with total obstruction	Man (Operator) Place the part on the machine, close the test connections and press start. Not place the part on the machine (skip operation) Machine To detect the obstruction, the air is blown and the pressure is measured. If the part is NOK, the machine rejects the part. Wear / damage of mechanical and/or electrical components Tools (test tool) Connect the part to the machine to make the obstruction test. Wear / damage of test tool Method (setup) Define the correct/standard setup mode - IPS. Wrong definition of the correct/standard machine preparation/setup mode (IPS) Method (working mode) Define the correct/standard working mode - ITS. Wrong definition of the correct/standard working mode (ITS)

Figura 65 – Análise das falhas da [OP-088] do projeto HHN

Para o quinto passo, e no que concerne à ocorrência, a empresa utiliza a tabela da previsão da causa da falha com base no tempo (Tabela 17), isto porque a AIAG-VDA indica três hipóteses de tabelas. A deteção é estudada conforme a Tabela 18. Neste mesmo passo, são escritos os controlos atuais de prevenção e de deteção. Os controlos de prevenção estão comprometidos com a causa da falha e os controlos de deteção com a causa ou modo de falha. A Figura 66 demonstra a variedade de controlos atuais de prevenção e de deteção que a empresa, atualmente, incorpora no projeto HHN.

Controlos atuais de prevenção	Controlos atuais de deteção
- Formação inicial; - IPS; - ITS; - Ficha técnica; - Manutenção preventiva de 1º e 2º nível; - Poka-yoke (sensores); - Validação por uma equipa multidisciplinar; - Ferramenta para verificar a distância entre a broca e as garras; - Máquina para quando há falta de ar comprimido; - Diferentes suportes para cada tipo de válvula; - A cada 2 meses, a calibração da chave de fendas é realizada; - Peça padrão.	- Poka-yoke (sensores); - Controlo e registo da 1ª peça OK no início do turno, mudança de referência, após intervenção da manutenção; - Controlo visual; - O laboratório controla e regista as prensadas na receção (marca de controlo); 100% teste de fuga; 100% teste de obstrução; 100% controlo no GCC/GCF; - Anel de soldadura/presença da válvula controlado por câmara de visão; - Teste de validação com peças NOK no início do turno, mudança de referência, após intervenção da manutenção; - Marcação mecânica na peça depois do teste OK.

Figura 66 – Controlos atuais de prevenção e de deteção do HHN

É de ressaltar que a empresa aponta algumas indicações na atribuição da detecção consoante os controlos atuais de detecção, tais como ilustrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Atribuição de detecção conforme controlos atuais de detecção

Controlo atual de detecção	Valor de detecção (D)
Controlo visual (sem registo)	8
1ª peça OK “Passa/Não Passa”	6
Calibre a 100,0%	5
<i>Poka-yoke</i> que deteta efeitos	3
<i>Poka-yoke</i> que previne efeitos	2

No que toca às características críticas/especiais, a empresa decreta que são obrigatórias quando temos valores de severidade superiores a oito. Quando a severidade é máxima (dez) ou nove estamos a falar de questões de segurança e de regulamentação (Tabela 10). Consoante o cliente, as características variam, logo a empresa disponibiliza uma matriz de correspondência entre empresa e o cliente respetivo. Nas linhas de produção, certas máquinas estão identificadas com um símbolo de característica crítica de qualidade, de modo a reforçar o cuidado nas operações que lhe compete (Figura 67).

Tabela 10 – Características críticas da Hutchinson Porto

Severidade	Símbolo
10	 ^S  _R
9	 ^S  _R  ₁
8	 ₂



Figura 67 – Símbolo de característica crítica de qualidade no posto de trabalho

Concluído este passo, a tabela começa a ficar recomposta e o processo quase finalizado. Na Figura 68 exemplifica-se com a operação de puncionar, para o modo de falha: Contaminação.

1. Failure Effects (FE) to the Next Higher Level Element and / or End user	S	Class	2. Failure Mode (FM) of the Focus Element	3. Failure Cause (FC) of the Work Element	Current Prevention Controls (PC) of FC	Eff	O	Current Detection Controls (DC) of FC or FM	Eff	D	AP	SC
Assembly lines of AC parts for project HHN (AA2, AA4, AA9, AA15, AA26, AA29, AA31) HUT PORTO: Sequence of operations performed successfully to obtain the final product, according to specification. CAR MAKER: Correct assembly of parts on the vehicle; correct passage of air in the system. CAR USER: AC working properly. HUT PORTO: Leak (8) CAR MAKER: Leak 0 Km; impossible to fill the gas (7) CAR USER: Leak during warrant (6)	8	2	Method (working mode) Define the correct/standard working mode - ITS Contamination (burr)	Tools (punch, jaws, mandrel, valve support, orientation tool) [AA15] Mandrel: Hole calibration Wear of mechanical components	2nd level preventive maintenance PKV (sensor to ensure end of position)		2	Visual control Control and record 1st part OK at start of shift, reference change, after maintenance intervention		6	M	2
				Tools (punch, jaws, mandrel, valve support, orientation tool) [AA15] Mandrel: Hole calibration Wear / damage of the mandrel	1st and 2nd level preventive maintenance		2	Visual control Control and record 1st part OK at start of shift, reference change, after maintenance intervent		3	L	2
				Tools (punch, jaws, mandrel, valve support, orientation tool) [AA15] Mandrel: Hole calibration Mandrel arrives from the supplier with dimensions out of specification	N/A		3	Visual control Control and record 1st part OK at start of shift, reference change, after maintenance intervention		6	M	2

Figura 68 – Análise do risco da [OP-340] do projeto HHN

Após os valores de PA estarem automaticamente calculados, atribuíram-se ações aos valores H (alto) e M (médio), de modo a conseguir descer para M ou L (baixo). A Figura 69 demonstra exemplos de ações definidas para a operação de furar com a respetiva data de conclusão.

N ^{FC}	Preventive Action ^{FC}	Detection Action ^{FC}	Responsible Persons Name	Target Completion Date	Status of Contro	Action Taken With Pointer To Evidence	Completion Date	S'	O'	D'	AP'	Final AP	SC
6		Check possibility to detect the failure mode - hole too small - in flow test. D=4		01/28/2022	Completed		05/13/2022	8	4	4	M	M	2
5	Check possibility to add a sensor to detects the presence/correct tool - drill bit. D=3	Check possibility to add a sensor to detects the presence/correct tool - drill bit. D=3		12/17/2021	Completed	Sensor added to the drill machine	03/31/2022						
								8	4	6	M	M	2
								8	3	2	L	L	2

Figura 69 – Otimização do risco da [OP-345] do projeto HHN

Finalmente, é possível imprimir os *reports* (tabela PFMEA, síntese, etc.) do PFMEA. Um excerto da tabela PFMEA encontra-se no APÊNDICE C.

Relativamente às ações que se identificaram, foi possível, durante a passagem do PFMEA para o *software*, o acompanhamento da sua implementação, nomeadamente na AA31 (Tabela 11).

Tabela 11 – Ações do PFMEA do HHN

Ação	D/P	Descrição	Evidências
1 - Analisar os diferentes mandris e ver se é possível <i>standardizar</i> .	P	Foram procurados os vários desenhos 2D e ficheiros <i>step</i> de mandris que existiam internamente. Estes foram analisados juntamente com a ferramentaria. Concluiu-se que apenas 1 dos desenhos era válido a nível produtivo. Logo, todos os outros foram colocados no histórico. Foi adicionado 1 corte no encaixe mandril-máquina.	Não há evidências a mostrar.

2 - Adicionar um sensor para garantir a posição final.

D

Para a montagem do tubo, há um movimento linear. O sensor foi adicionado para $\varnothing 15$ mm e $\varnothing 8$ mm, para garantir que a carruagem se encontra na posição. O sensor ativo é condição para prensar a proteção de alumínio.

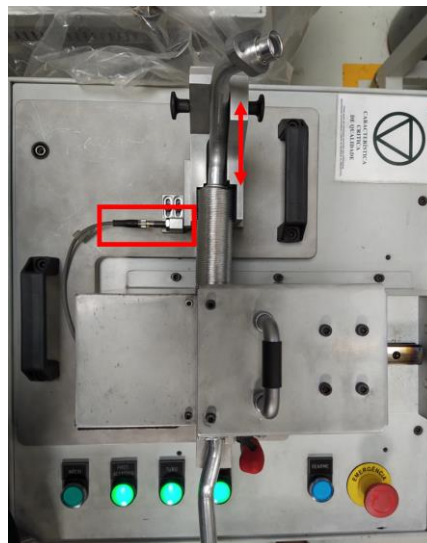


Figura 70 – Sensor na máquina de prensar proteções de alumínio

3 – Verificar a possibilidade de conectar a máquina de obstrução a um *poka-yoke*.

P/D

Foi feita uma análise em equipa e abriram-se as ações 4 e 5. As ações serão descritas a seguir.

Ver ação 4 e 5.

4 – Ligar a máquina de obstrução à máquina de perno roscado da AA31, $\varnothing 19$.

P/D

Esta ação não foi implementada, porque a deteção da obstrução da máquina de obstrução não é muito precisa no $\varnothing 19$. (Não Implementada)
SOLUÇÃO: No entanto, a decisão foi colocar uma lança para detetar se há furo ou não, antes da peça seguir para soldar.

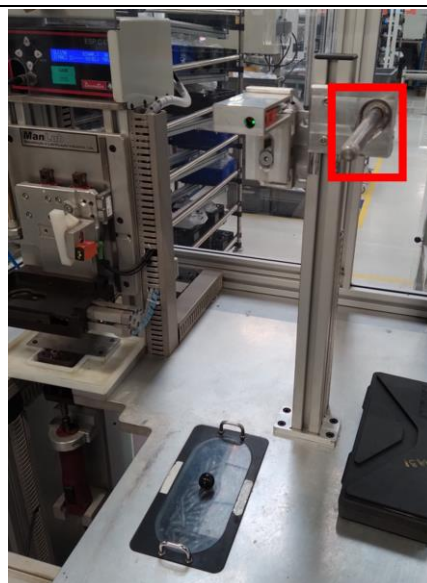


Figura 71 – Lança na máquina de perno roscado

5 – Verificar a possibilidade de detetar o modo de falha, buraco muito pequeno, no teste de obstrução.

D

Foi feita uma análise em equipa e abriu-se a ação 7. A ação será descrita a seguir.

Ver ação 7.

6 – Criar um controlo para verificar a altura da broca.

D

“Passa” desenvolvido



Figura 72 – “Passa” para verificar a altura da broca

7 - Ligar a máquina de obstrução ao primeiro MPP (máquina de brackets) da AA31, Ø8.

P/D

Foi feita uma conexão entre as duas máquinas, onde a peça só avança se o teste de obstrução der OK.



Figura 73 – Ligação entre a máquina de obstrução e MPP

8/9 – Verificar a possibilidade de adicionar um sensor para detetar a presença/correta ferramenta – furar.

P/D

Sensor adicionado que permite detetar Ø15 e de 6 mm.



Figura 74 – Sensor para detetar o furo

10 – Adicionar um código à ferramenta (mandril) e ao desenho 2D.

P

O mandril foi codificado como “man-001_00”, segundo a codificação interna e o desenho foi disponibilizado.

Não há evidências a mostrar.

11 – Adicionar o controlo de laboratório e registo do mandril na receção.

D

A instrução foi atualizada para considerar o controlo do mandril à receção e o laboratório foi avisado em relação à medição e registo da medição. Só após isso, o mandril foi entregue à ferramentaria.

Não há evidências a mostrar.

12 – Alterar a geometria de uma das válvulas.

P/D

A deteção vai ser do mecanismo de válvula em vez da válvula.

Não Implementada.

A nível de estatísticas, o *software* também dispõe de gráficos circulares que permitem analisar a PA antes e depois das ações (Figura 75). Conclui-se assim que antes das ações tinha-se 120 modos falha de prioridade baixa (47,0%), 134 de prioridade média (52,0%) e 3 de prioridade alta (1,0%). Depois da implementação de algumas ações, reduziu-se para 129 modos de falha com prioridade média

(50,0%) e 1 de prioridade alta (cerca de 0,0%), aumentando assim para 127 de prioridade baixa (49,0%).

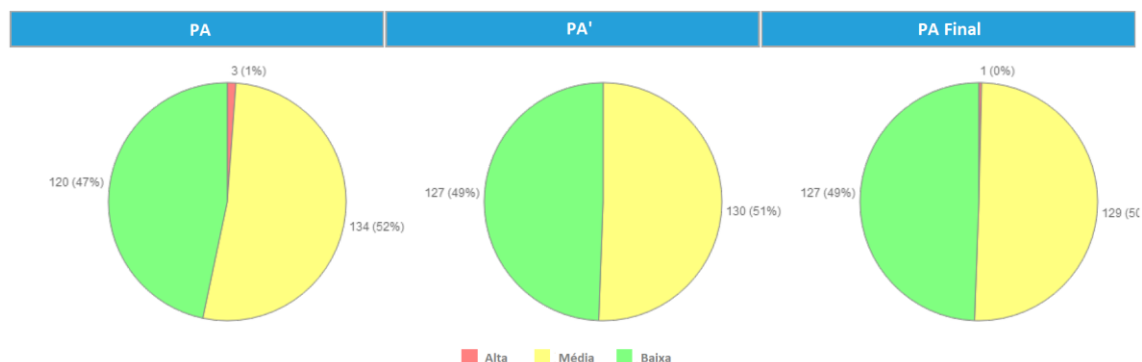


Figura 75 – Distribuição da prioridade de ação (PA, PA' e PA Final) do projeto HHN

Outra análise de dados que pode ser feita é em relação às ações, ao seu estado e ao tipo de ações que se criaram (Figura 76). No primeiro gráfico observam-se 12 ações criadas, sendo que 10 estão concluídas (83,0%) e 2 não implementadas (17,0%). No segundo verifica-se que 6 são ações de prevenção/deteção, 4 de deteção (33,0%) e 2 de prevenção (17,0%).

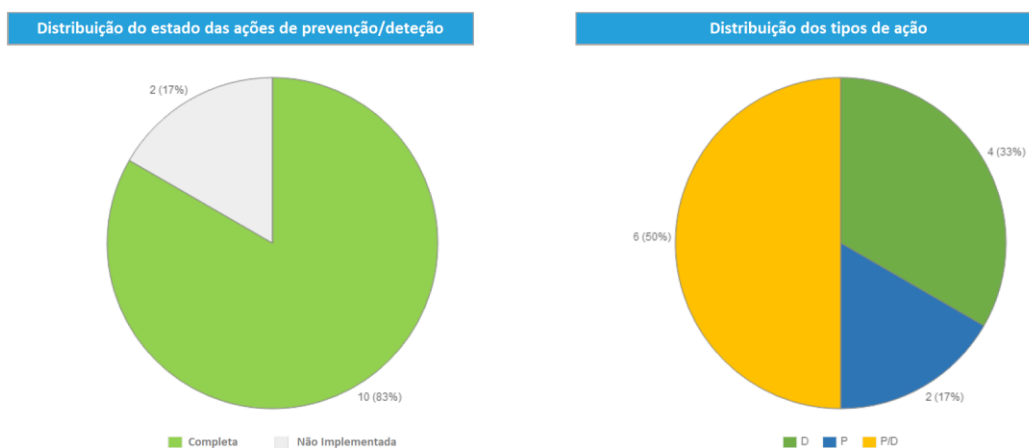


Figura 76 – Distribuição do estado e do tipo de ações do projeto HHN

Após a finalização do projeto-teste, e sabendo que uma das potencialidades do *software* são as bibliotecas, de forma a reduzir o tempo de desenvolvimento, criou-se para operações, funções, modos de falha/causas e ainda controlos atuais de deteção e prevenção (Figura 77 e Figura 78).

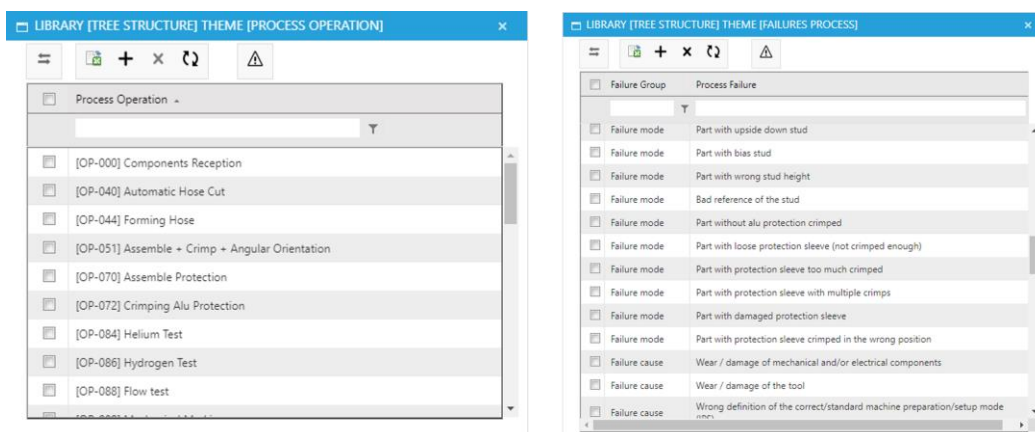


Figura 77 – Bibliotecas de operações, modos e causas de falha

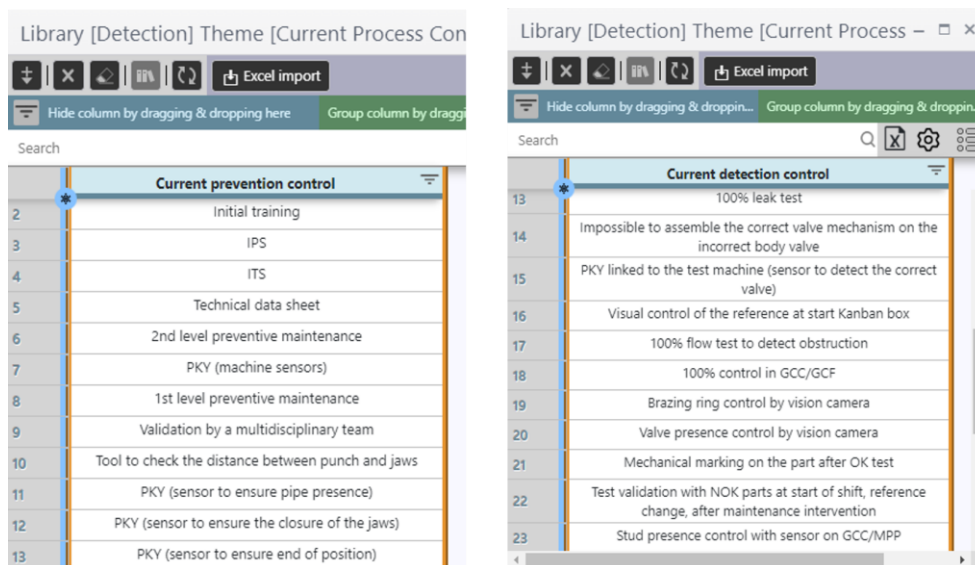


Figura 78 – Bibliotecas de controlos atuais de prevenção e de deteção

4.3. Desenvolvimento do processo-piloto

Com a finalização do projeto-teste, e tendo já conhecimento do *software*, iniciou-se o processo-piloto, que visa assim testar a viabilidade da solução automatizada para o PFMEA na empresa.

Para este objetivo, o foco incidu no processo de embutir. É um dos processos do fabrico de tubos de alumínio, que consiste em maquinar e/ou adicionar componentes ao tubo de alumínio. O processo de embutição está presente nas quatro UAP, sendo executado com recurso a máquinas automáticas e células robotizadas. Após o tubo ser embutido, terá de ser lavado para remoção de limas e óleos resultantes do processo de embutição.

As reuniões deste PFMEA aconteceram devido à alteração do PT32 na UAP1, logo o PFMEA foi atualizado para incorporar os novos modos de falha com esta máquina, tal como indicado na secção 3.2. É importante salientar que o PFMEA deste processo se encontrava na norma antiga (avaliação através do NPR), logo teve de ser feita a conversão para a nova metodologia da AIAG-VDA (avaliação através da PA).

4.3.1. Compreensão e análise do processo-piloto

Para o processo de embutir, é essencial compreender e analisar todo o contexto envolvente na fábrica. Sendo assim, a fábrica distingue dois tipos de células de embutir: as CAE (Célula Automática de Embutição) e as CRA (Célula Robotizada Automática).

As CAE são células simples, onde apenas uma estação é precisa para acoplar as máquinas de embutir com alimentação simples. Estas máquinas apenas processam uma referência de cada vez e só numa extremidade do tubo.

As CAE que fazem parte da análise no PFMEA são as seguintes: CAE0002 (PT12), CAE0004 (PT11), CAE0005 (PT19), CAE0007 (PT13) e CAE0003 (PT25), todas do projeto VS20 da UAP2 (*Mercedes-Benz/Daimler*). A Figura 79 retrata um exemplo de uma CAE.



Figura 79 – Célula Automática de Embutição (CAE)

Já as CRA são células mais complexas, uma vez que são compostas por robôs de seis eixos, duas máquinas de embutir e sistemas flexíveis de alimentação de componentes (alimentadores vibratórios ou sistema de alimentação com recurso a visão artificial). Nestas células é processado o tubo completo, ou seja, são transformadas as duas extremidades do tubo.

Neste PFMEA foram analisadas as CRA0012 (PT15) e CRA0013 (PT16) do projeto BMPV da UAP3 (Grupo *Stellantis*) e a CRA0022 (PT32) da UAP1. Na Figura 80 encontra-se um exemplo de um CRA. Comparativamente às CAE, as CRA são células com um grau de complexidade superior, logo o seu investimento e *payback* são superiores. Contudo, são células mais flexíveis em termos produtivos (mais facilidade em integrar novas referências e componentes no futuro).



Figura 80 – Célula Robotizada Automática (CRA)

Os preparadores têm um papel fundamental para o correto funcionamento das máquinas, porque são eles os responsáveis pelo *setup* inicial. Para isso, existe documentação própria de auxílio com as instruções necessárias como a IPS (Instrução de Preparação *Standard*) e a ITS (Instrução de Trabalho *Standard*).

De uma forma muito resumida, o preparador deve colocar os tubos no alimentador (*stepfeeder*), afinando manualmente os batentes para o comprimento do tubo a embutir (Figura 81).



Figura 81 – Alimentador de tubos de uma célula de embutição

O passo seguinte depende do tipo de célula. No caso de ser uma CRA, o preparador deve alimentar os componentes, casquilho ou brida (Figura 82), a embutir nas rampas respectivas (Figura 83). As CAE não têm componentes a inserir, logo este passo não existe.



Figura 82 – Casquilho e brida

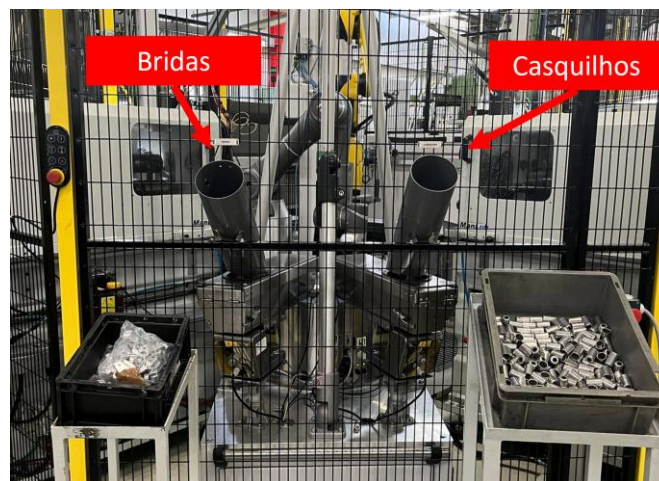


Figura 83 – Alimentador de componentes de uma célula de embutição

Ficam assim preparados os dois tipos de máquinas para trabalhar. Tanto numa CAE como numa CRA, um tubo sobe de cada vez, no *stepfeeder*, através de uma plataforma elevatória.

Nas CAE, o sistema de alimentação dos tubos ao interior da máquina de embutir é feito através de um servo eixo elétrico. O servo possui uma garra pneumática que transporta o tubo do *stepfeeder* para o interior da máquina. Finalizada a embutição, o servo eixo remove o tubo da máquina e coloca o mesmo na rampa de saída de peças.

Nas CRA, o braço do robô pega no tubo e leva-o até à embutidora. De acordo com a referência programada na consola pelo preparador, o robô pega numa brida ou num casquilho e alimenta o componente à máquina de embutir respetiva, com a correta orientação. A seleção dos componentes pode ser feita através de *binpicking*, isto é, um sensor que deteta o componente em 3D, conforme a Figura 84.



Figura 84 – *Binpicking* de uma célula de embutição

Os tubos embutidos são depositados no carro de saída de peças. Os tubos expostos são os considerados OK e os tubos protegidos, no interior do carro, são os tubos NOK (Figura 85).



Figura 85 – Carro de saída de tubos embutidos

Os tubos embutidos saem assim com o componente já inserido, conforme a Figura 86.



Figura 86 – Tubo normal e tubo embutido

4.3.2. PFMEA do processo-piloto

Concluída a captação de informação sobre o processo para o PFMEA, passou-se para a etapa seguinte: o desenvolvimento do PFMEA no *software*. Entrando no 1º passo, foram preenchidos os 5T e o cabeçalho do PFMEA. Este último não pode ser ignorado, uma vez que a informação constará no *report* final.

Tal como no projeto-teste, o passo 2 que é referente à estrutura em árvore, devem ser desenhados três níveis: item de processo, passos do processo e elementos de trabalho. Contudo, a análise agora é feita para um processo e não projeto, ou seja, o item de processo vai corresponder às CAE e às CRA, separadamente. O passo do processo para as CAE vai ser a alimentação do sistema e para as CRA vai ser o transporte dos tubos do alimentador para a máquina de embutir. Os elementos de trabalho vão apenas dizer respeito a 4M e não a 6M, porque o PFMEA encontrava-se assim na versão anterior (Figura 87).

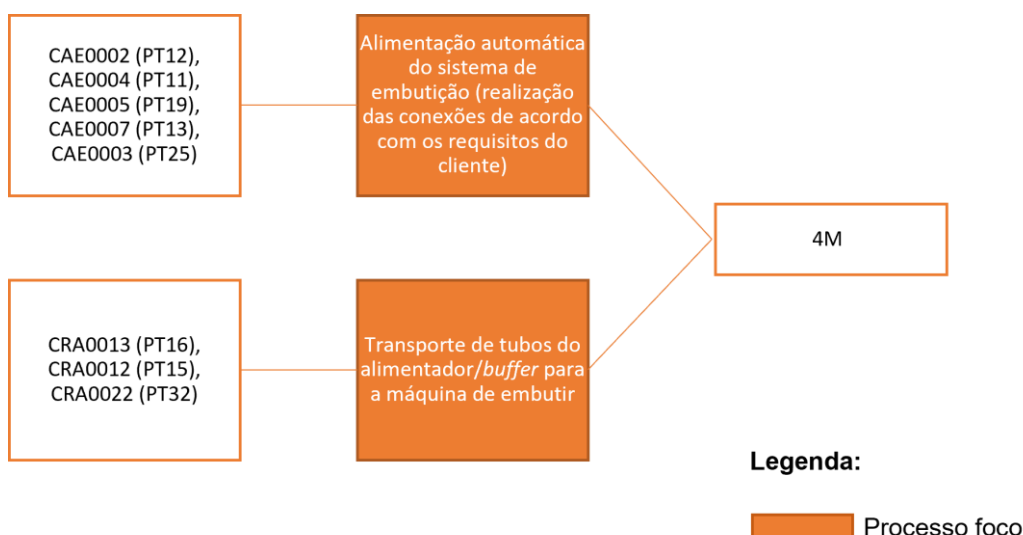


Figura 87 – Estrutura em árvore do processo de embutição

Na Figura 88 comprova-se, no *software*, um excerto da estrutura em árvore esperada, com o detalhe do processo para as CAE.

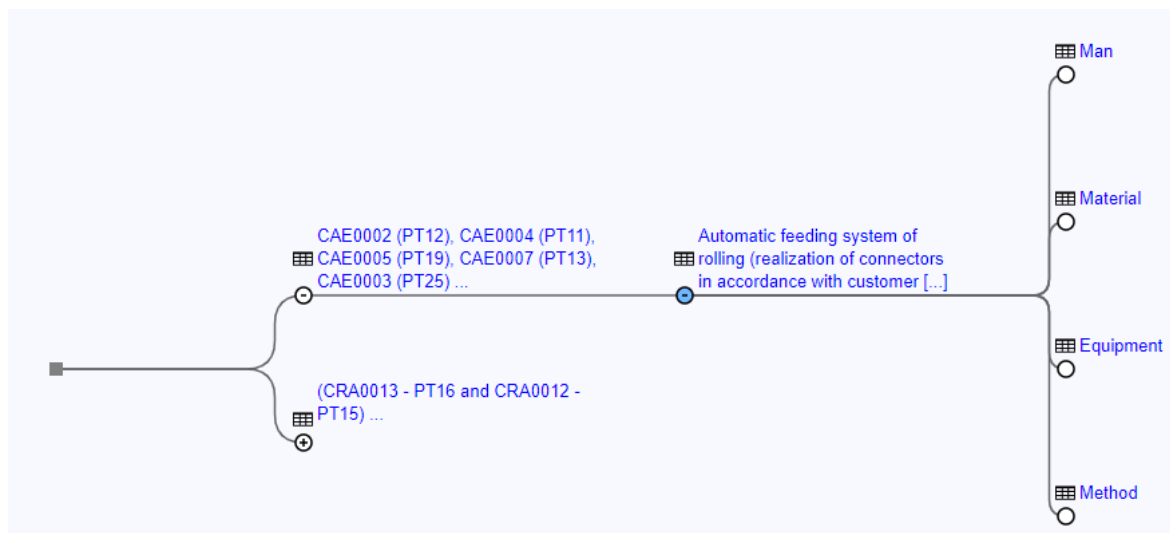


Figura 88 – Excerto da estrutura em árvore no *software* do processo de embutição

Passando para o terceiro passo, definiram-se as funções para os três níveis. Na Figura 89, enumeram-se as funções dos itens de acordo com as instalações de origem, de destino e do utilizador final, dos passos do processo e dos elementos de trabalho.

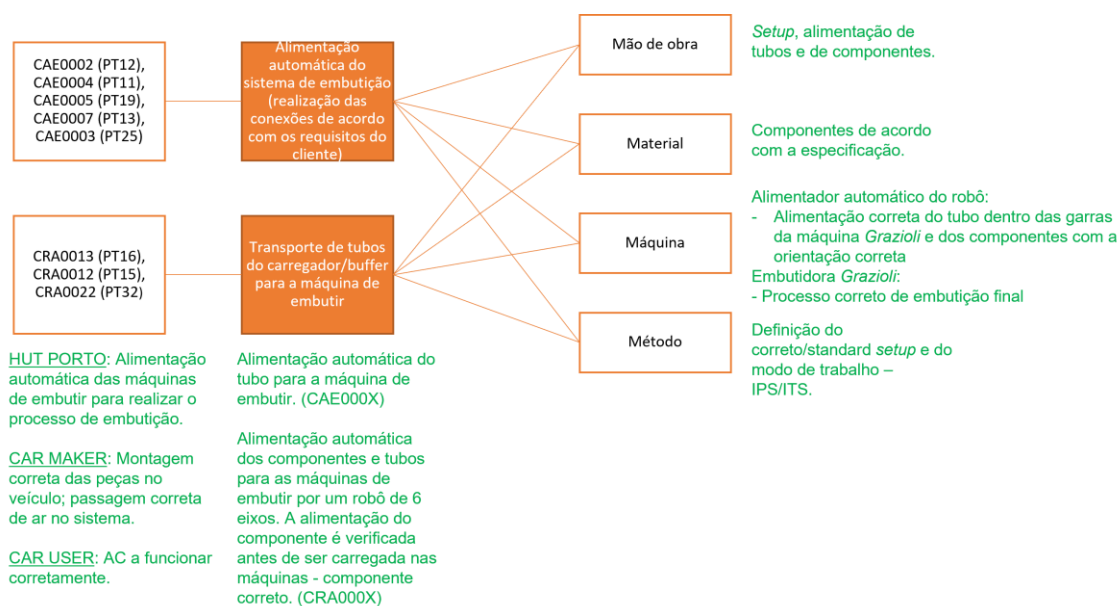


Figura 89 – Funções do item e dos passos do processo de embutição

Transferindo esta informação para o *software*, foi necessário adicionar as funções na estrutura em árvore (Figura 90). Complementarmente, foi feita a interligação de funções através do *network* (Figura 91).

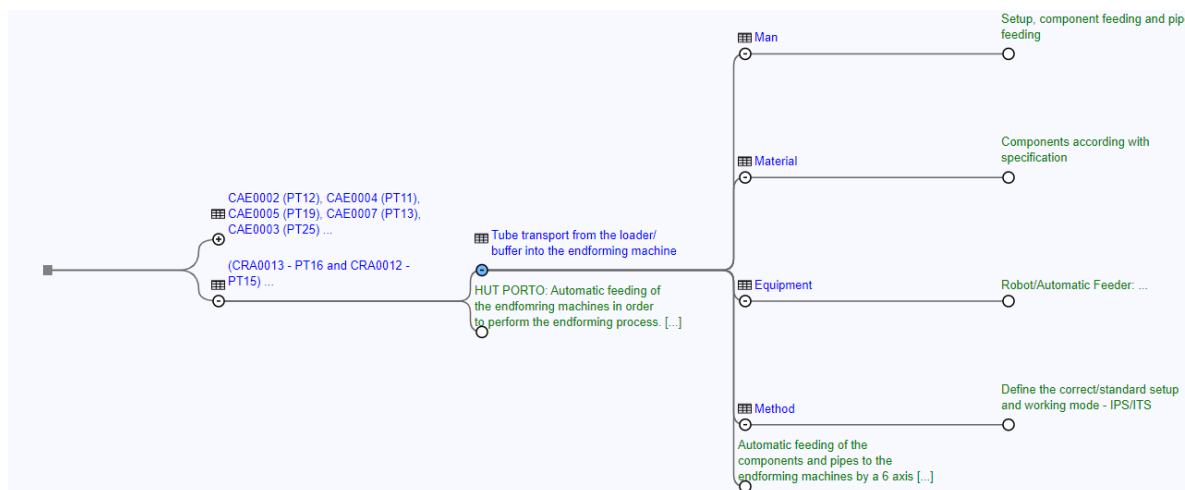


Figura 90 – Excerto da estrutura em árvore com funções do processo de embutição

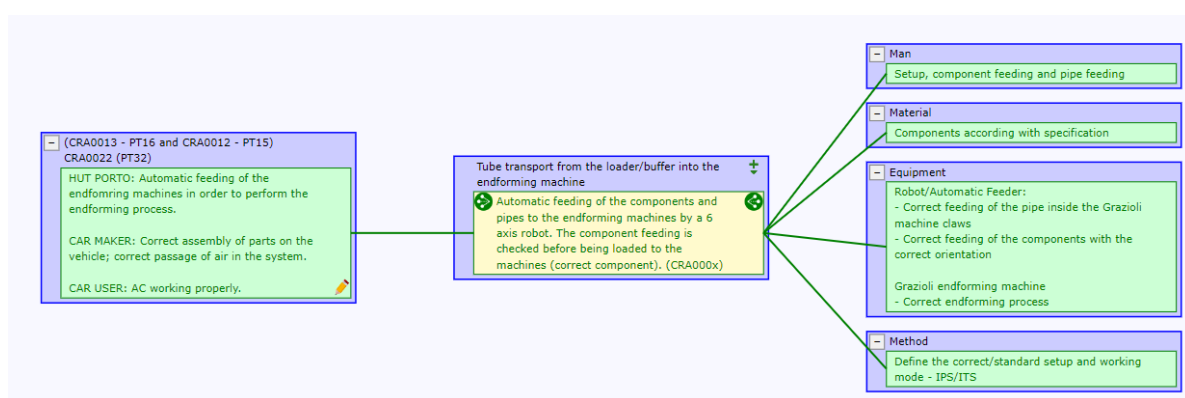


Figura 91 – Network das funções das CRA

Finalizado este passo, é possível ver toda a informação em formato tabela. A Figura 92 mostra o resultado das funções que dizem respeito às CRA.

Process	1. Function of the Process Item Function of System,	2. Function of the Process Step and Product	3. Function of the Process Work Element and
Tube transport from the loader/buffer into the endforming machine	(CRA0013 - PT16 and CRA0012 - PT15) CRA0022 (PT32) HUT PORTO: Automatic feeding of the endforming machines in order to perform the endforming process. CAR MAKER: Correct assembly of parts on the vehicle; correct passage of air in the system. CAR USER: AC working properly.	Tube transport from the loader/buffer into the endforming machine Automatic feeding of the components and pipes to the endforming machines by a 6 axis robot. The component feeding is checked before being loaded to the machines (correct component). (CRA000x)	Man Setup, component feeding and pipe feeding Material Components according with specification Equipment Robot/Automatic Feeder: - Correct feeding of the pipe inside the Grazioli machine claws - Correct feeding of the components with the correct orientation Grazioli endforming machine - Correct endforming process Method Define the correct/standard setup and working mode - IPS/ITS

Figura 92 – Funções das CRA no processo de embutição

Na Análise da Falha, os efeitos foram novamente definidos tendo em conta a Hutchinson Porto, o fabricante do carro e o utilizador do carro, sendo que estes dois últimos não são aplicáveis, uma vez que o estudo é de um processo e não de um projeto, não tendo assim influência (Figura 93).

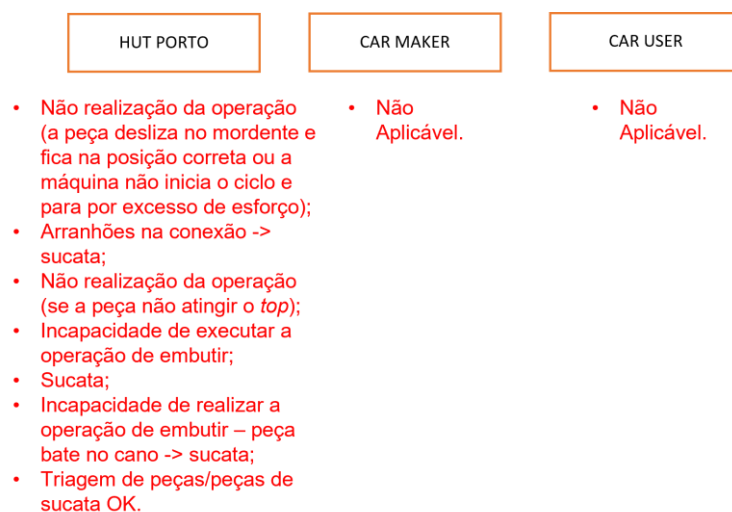


Figura 93 – Efeitos nos diferentes níveis do processo de embutição

Os modos de falha estão representados na Figura 94, contabilizando-se no total 17, onde 5 são para as CAE e 12 para as CRA.

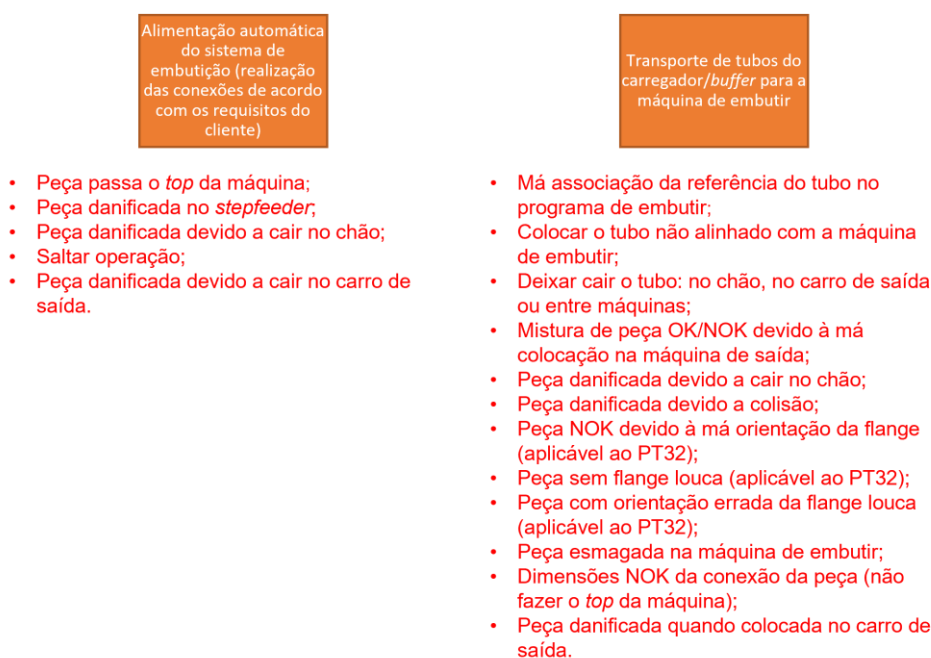


Figura 94 – Modos de falha para cada passo do processo de embutição

Restando as causas dos 4M, pela Figura 95, denota-se que não existem causas para o material, sobressaindo-se a mão de obra e, principalmente, a máquina. Isto explica-se pelo facto de o estudo ser relativo a máquinas robotizadas, ou seja, os principais modos de falha partem naturalmente da própria máquina, sendo importantes as manutenções preventivas de 1º e 2º nível.

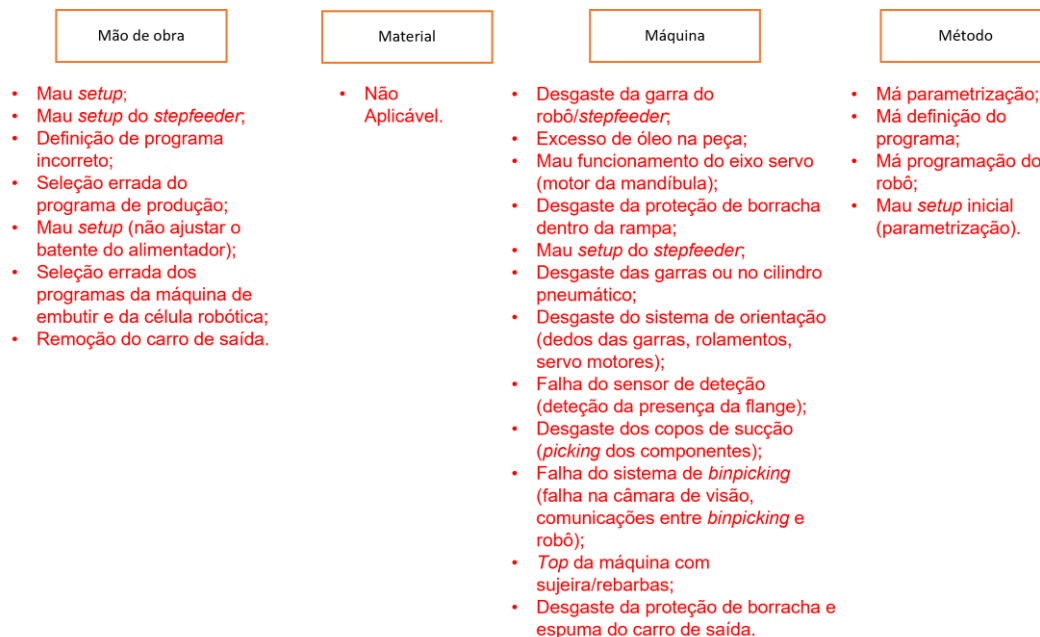


Figura 95 – Causas para os 4M do processo de embutição

Todos os dados apresentados anteriormente, podem ser vistos na estrutura em árvore. A Figura 96 mostra a análise da falha para as CAE. Mais uma vez, o *network* também teve de ser feito, de modo a interligar os níveis superior e inferior (Figura 97).

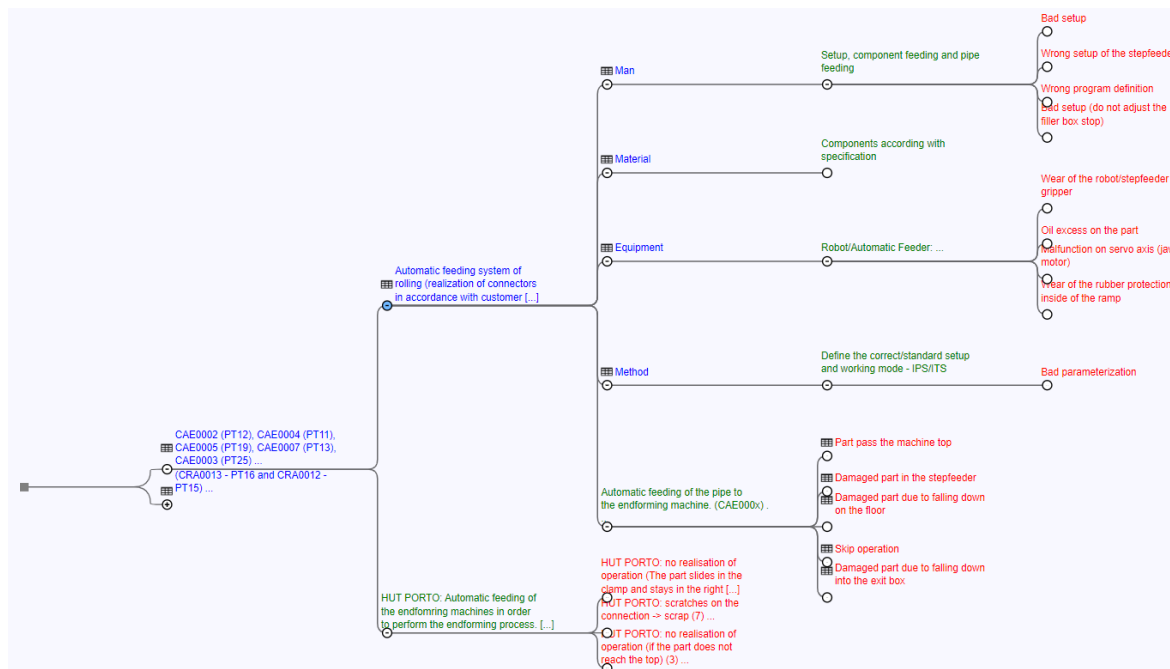


Figura 96 – Excerto da estrutura em árvore da análise da falha para o processo de embutição

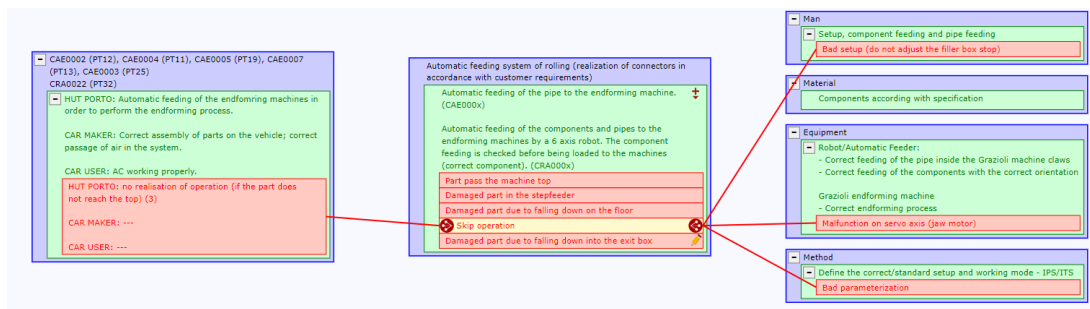


Figura 97 – Network dos efeitos, modos de falha e causas das CAE

Na Figura 98 mostra-se a análise das falhas em formato tabela, exemplificando com um modo de falha, peça danificada devido a cair no chão, atribuído às CAE.

P- Function	1. Failure Effects (FE) to the Next Higher Level Element and / or End user	S	Class	S net	Class net	2. Failure Mode (FM) of the Focus Element	3. Failure Cause (FC) of the Work Element
Automatic feeding of the pipe to the endforming machine. (CAE000x)	CAE0002 (PT12), CAE0004 (PT11), CAE0005 (PT19), CAE0007 (PT13), CAE0003 (PT25), CRA0002 (PT32)	7				Equipment Robot/Automatic Feeder: - Correct feeding of the pipe inside the Grazioli machine claws - Correct feeding of the components with the correct orientation Grazioli endforming machine - Correct endforming process Damaged part due to falling down on the floor	Man Setup, component feeding and pipe feeding Wrong program definition Equipment Robot/Automatic Feeder: - Correct feeding of the pipe inside the Grazioli machine claws - Correct feeding of the components with the correct orientation Grazioli endforming machine - Correct endforming process Wear of the robot/stepfeeder gripper Equipment Robot/Automatic Feeder: - Correct feeding of the pipe inside the Grazioli machine claws - Correct feeding of the components with the correct orientation Grazioli endforming machine - Correct endforming process Oil excess on the part
Automatic feeding of the components and pipes to the endforming machines by a 6 axis robot. The component feeding is checked before being loaded to the machines (correct component). (CRA000x)	HUT PORTO: Automatic feeding of the endforming machines in order to perform the endforming process. CAR MAKER: Correct assembly of parts on the vehicle; correct passage of air in the system. CAR USER: AC working properly. HUT PORTO: scratches on the connection -> scrap (7) CAR MAKER: --- CAR USER: ---						

Figura 98 – Análise das falhas das CAE do processo de embutição

Passando ao passo 5, análise do risco, foram descritos os controlos atuais de prevenção e de deteção (Figura 99).

Controlos atuais de prevenção	Controlos atuais de deteção
- Formação inicial; - IPS; - ITS; - Manutenção preventiva de 1º e 2º nível; - Validação inicial por uma equipa multidisciplinar; - Backup do programa; - Validação do processo do programa pela engenharia e pelos preparadores; - Sensor que deteta o mau posicionamento da peça dentro da máquina Grazioli; - Verificação do estado das garras e do cilindro pneumático.	- Peças NOK estão numa caixa separada das peças OK – as peças NOK são automaticamente descartadas da caixa de sucata e as peças OK vão para a caixa de peças OK; 100% controlo passa/não passa; - Registo de uma peça (controlo no passa/não passa e controlo dimensional): no início do turno, a cada 2 horas, mudança de referência, após intervenção de manutenção e mudança de operador; - Deteção automática por sensores no final do <i>stepfeeder</i>; - Controlo visual feito pelo operador; - A máquina não começa o ciclo e lança um alerta visual e sonoro. O preparador deve então escolher os programas corretos; 20 peças no passa/não passa (100% no início da implementação da célula robótica); 100% inspeção visual; - A máquina não começa o ciclo – peça é rejeitada (processo automático); - A operação não está concluída – a máquina emite um alerta visual e sonoro. O preparador deve rearmar a máquina e rejeitar a peça; - Sensor que deteta a posição correta da caixa de saída – o robô segura a peça e não coloca na caixa de saída -> o processo para; - Tubo no chão visualmente detetável; - Deteção automática por sensores que compara a referência selecionada na <i>display</i> da máquina e o comprimento do alumínio; 100% controlo no GCC; - Processo automático para, impedindo de seguir em frente.

Figura 99 – Controlos atuais de prevenção e de deteção do processo de embutição

Seguidamente, foram atribuídos valores à ocorrência e detecção, sendo obtidas automaticamente as PA. Na Figura 100, obtém-se o resultado deste passo em tabela, no *software*, para o modo de falha, “deixar cair o tubo no chão, no carro de saída ou entre máquinas”, das CRA.

1. Failure Effects (FE) to the Next Higher Level Element and / or End user	S	2. Failure Mode (FM) of the Focus Element	3. Failure Cause (FC) of the Work Element	Current Prevention Controls (PC) of FC	Eff	O	Current Detection Controls (DC) of FC or FM	Eff	D	AP
(CRA0013 - PT16 and CRA0012 - PT15) CRA0022 (PT32) HUT PORTO: Automatic feeding of the endforming machines in order to perform the endforming process. CAR MAKER: Correct assembly of parts on the vehicle; correct passage of air in the system. CAR USER: AC working properly. HUT PORTO: no realization of operation (6) CAR MAKER: --- CAR USER: ---	6	Method Define the correct/standard setup and working mode - IPS/ITS Drop the tube: in the floor, in the exit box or between machines	Man Setup, component feeding and pipe feeding Removal of the exit box Equipment Robot/Automatic Feeder: - Correct feeding of the pipe inside the Grazioli machine claws - Correct feeding of the components with the correct orientation Grazioli endforming machine - Correct endforming process Wear of the jaws or in the pneumatic cylinder Method Define the correct/standard setup and working mode - IPS/ITS Bad initial setup (parameterization)	ITS IPS Preventive maintenance and checking the condition of the gripping jaws and of the pneumatic cylinder IPS/ ITS validated by a multidisciplinary team. Initial validation of the program by a multidisciplinary team. Backup of the program.	☐	2	Sensor that detects the correct position of the exit box - the robot holds the part and doesn't put it in the exit box -> Stop of the process Tube on the floor visually detectable Dimensional control of 1 part in the endforming operation: - Beginning of the shift - Each 2 hours - Reference change - Operator change - After maintenance intervention 20 parts on Go/No Go (100% at the implementation of the robot cell) 100% visual inspection	☐	2	L
					☐	1		☐	7	L
					☐	1		☐	7	L

Figura 100 – Análise do risco de um modo de falha das CRA do processo de embutição

Sabidas as PA, foram definidas algumas ações de modo a baixar as prioridades para média ou baixa, no caso de ser alta ou média, respetivamente. Na Figura 101 têm-se as ações definidas para o modo de falha das CRA: peça danificada devido a cair no chão.

N ^o	Preventive Action	Detection Action	Responsible Persons Name	Target Completion Date	Status of Contro	Action Taken With Pointer To Evidence	Completion Date	S	O	D	AP	Final
2	Update the 2nd level maintenance plan			03/31/2023	Open			7	1	7	L	M
2	Update the 2nd level maintenance plan			03/31/2023	Open			7	1	3	L	L
3	Update the 1st level maintenance instruction			03/31/2023	Open							

Figura 101 – Otimização do risco de um modo de falha das CRA do processo de embutição

Também neste PFMEA, foi possível o acompanhamento das ações definidas (Tabela 12).

Tabela 12 – Ações do PFMEA do processo de embutição

Ação	D/P	Descrição	Evidências
1 – Criar IPS e ITS da CRA0022.	P	Criação da instrução de trabalho e de preparação <i>standard</i> da CRA0022.	Esta ação não foi possível ser concluída durante o período de estágio, uma vez que ocorreu um atraso na instalação da célula no posto de trabalho.

2 – Atualizar o plano de manutenção de 2º nível.	P	As instruções de manutenção de 2º nível das máquinas do PT32, EMB0093 e EMB0094, vão ser atualizadas de forma a incluir o desgaste do <i>stepfeeder</i> , do sensor de detecção da flange e do sistema de orientação. A verificação do <i>top</i> da máquina com rebarbas também vai ser adicionada.	Esta ação não foi possível ser concluída durante o período de estágio, uma vez que ocorreu um atraso na instalação da célula no posto de trabalho.
3 – Atualizar o plano de manutenção de 1º nível.	P	As instruções de manutenção de 1º nível das máquinas do PT32, EMB0093 e EMB0094, vão ser atualizadas de forma a incluir o desgaste dos copos de sucção (<i>picking</i> de componentes) e o excesso de óleo.	Esta ação não foi possível ser concluída durante o período de estágio, uma vez que ocorreu um atraso na instalação da célula no posto de trabalho.
4 – Adicionar a proteção de borracha no PT12.	P	Colocação de uma proteção de borracha no interior do tabuleiro de saída de peças para proteger o embutido quando o tubo cai no tabuleiro.	
5 – Adicionar “desgaste da borracha” no 1º nível de manutenção.	P	Adição da instrução “Verificar se a proteção de borracha se encontra em bom estado” na folha de manutenção de 1º nível. Se houver desgaste da proteção, a ação corretiva é substituir a proteção.	Não há evidências a mostrar.

Figura 102 – Proteção de borracha no PT12

Finalizados os seis passos, ficam disponíveis o *report* final, a síntese e as estatísticas. No APÊNDICE D, situa-se um excerto do PFMEA do processo de embutir. Em relação às estatísticas, observando a Figura 103, tem-se 29 modos de falha de prioridade baixa (76,0%) e 9 de prioridade média (24,0%). Com a implementação das ações, baixaram-se para 4 modos de falha de prioridade média (11,0%), surgindo a subida para 34 modos de falha de prioridade baixa (90,0%).

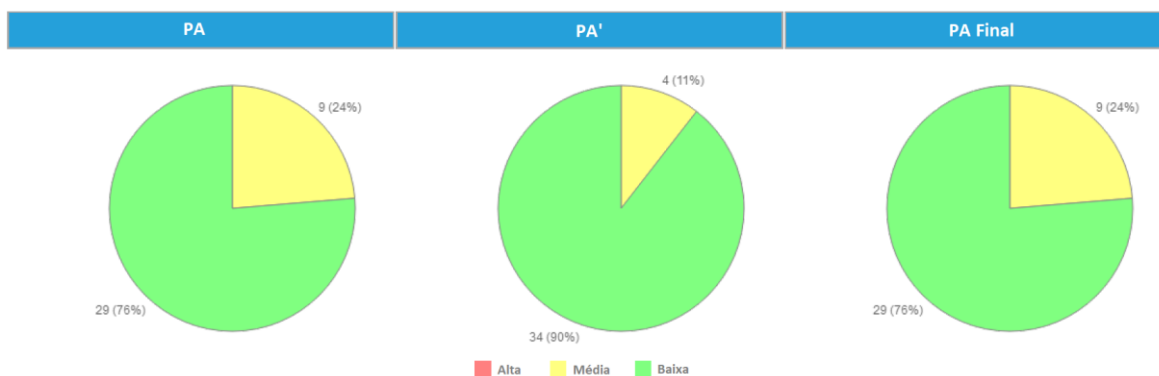


Figura 103 – Distribuição da prioridade de ação (PA, PA' e PA Final) do processo de embutição

Pela Figura 104, das cinco ações criadas, três estão por completar (60,0%) e duas já se encontram concluídas (40,0%). As cinco ações são todas elas de prevenção.

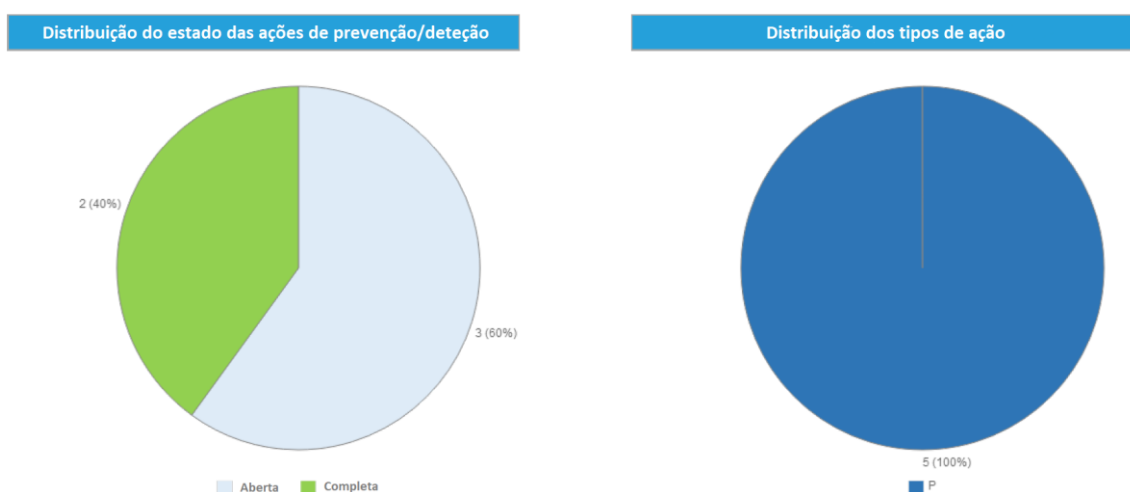


Figura 104 – Distribuição do estado e do tipo de ações do processo de embutição

Concluída a implementação do processo-piloto no *software*, o próximo e último objetivo seria avaliar a opinião dos participantes do inquérito inicial que já tiveram experiência com o *software* sobre os benefícios e também dificuldades sentidas com esta modificação do processo.

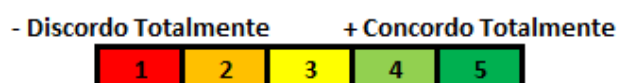
4.4. Questionário final e resultados

Após a integração do projeto-teste e processo-piloto no *software*, e para comparar com o questionário inicial, foi desenvolvido um questionário final com o âmbito de analisar a efetividade e a eficácia da solução implementada. Os respondentes deste questionário constituem a mesma população do questionário inicial, ou seja, as 16 pessoas que fazem parte das variadas equipas de PFMEA na empresa. Para desenvolver este inquérito, foi elaborada uma pesquisa relativamente a tipos de questionários elaborados para avaliar a implementação de novos *softwares*. Posto isto, existem vários artigos que compõem diversas questões que poderão ser usadas para validar a *performance* de novas soluções computadorizadas. Na Tabela 13, encontram-se alguns artigos que descrevem o tipo de perguntas a analisar, dependendo do tema que se quer avaliar acerca do *software*.

Tabela 13 – Tipos de questionários para avaliar novos *softwares*

Autor	Descrição
(Davis, 1989)	Este autor faz referência a várias perguntas para perceber a utilidade e a facilidade de uso (PUEU- <i>Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use</i>) que os inquiridos percebem no novo <i>software</i> . A escala <i>likert</i> é utilizada neste questionário, que permite prever a aceitação dos utilizadores através das duas variáveis em estudo. O autor reforça ainda que estes tipos de perguntas são úteis para quem quer perceber o valor prático de novos programas informáticos.
(Lewis, 1995)	Neste artigo, o objetivo foi desenvolver vários questionários com propriedades psicométricas que avaliassem a usabilidade. Estes questionários são eles: o <i>After-Scenario Questionnaire</i> (ASQ), o <i>Post-Study System Usability Questionnaire</i> (PSSUQ) e o <i>The Computer System Usability Questionnaire</i> (CSUQ). O ASQ é um questionário pós-cenário, enquanto o PSSUQ e o CSUQ são questionários de satisfação.
(Brooke, 1996)	Este artigo descreve um questionário que avalia a usabilidade de um sistema. Com o nome <i>System Usability Scale</i> (SUS), este questionário tem uma escala <i>likert</i> e é composto por 10 itens que permitem ter uma visão global do sistema.
(Lund, 2001)	O questionário <i>Usefulness, Satisfaction and Ease of Use</i> (USE), desenvolvido pelo autor, estuda três dimensões: utilidade, satisfação e facilidade de uso. O autor explica que estas dimensões têm uma correlação muito forte e que, para isso, devem ser aplicadas em conjunto.

Posto isto, o questionário final apresenta oito secções com os seguintes títulos: Geral, Desempenho do *software*, Eficácia e eficiência do *software*, Usabilidade do *software*, Utilidade do *software*, Facilidade de uso do *software*, Fiabilidade do *software* e Avaliação final do *software*. As secções B e C foram pedidas para responder tendo em conta a escala do questionário inicial (Figura 10). As restantes secções são respondidas segundo uma escala *likert*, isto é, uma escala psicométrica de tamanho cinco que permite avaliar o nível de concordância dos inquiridos às afirmações apresentadas no inquérito. De acordo com a Figura 105, tem-se que: 1-Discordo Totalmente, 2-Discordo, 3-Neutro, 4-Concordo e 5-Concordo Totalmente.

Figura 105 – Escala *likert* do questionário final

É de referir que a secção C: Eficiência e eficácia do *software* é igual à secção K: *Software* do PFMEA do questionário inicial para que se perceba se as opiniões dos participantes se mantêm as mesmas após a implementação do *software*. Complementarmente, as três perguntas de escolha múltipla que se seguem após as afirmações da secção H: Avaliação final do *software* são o oposto do que era pedido também na secção K do primeiro inquérito. Ou seja, esta comparação permite assim perceber se de facto o novo *software*, que veio substituir o Excel, trouxe melhorias no processo.

As secções E: Utilidade e F: Facilidade de uso do *software* foram baseadas no questionário PUEU de Davis, 1989 de modo a captar a percepção dos participantes em relação ao funcionamento prático e à facilidade/complexidade com que se depararam durante o uso do novo *software*. Por sua vez, a secção H foi apoiada pelo questionário ASQ de Lewis, 1995 com a finalidade de quantificar a experiência e o *feedback* global dos participantes com o novo *software*.

Antes da entrega do questionário final aos participantes, foi imperatória uma formação para dar a conhecer o *software* e as suas principais funcionalidades. A formação decorreu a 31 de março de 2023 e contou com a participação total das pessoas.

Assim sendo, e após validação, o questionário final foi entregue, em papel, a 24 de abril, com uma semana de intervalo para entrega. O questionário encontra-se no APÊNDICE E. Com a recolha de todos os questionários, procedeu-se novamente à elaboração da base de dados em Excel para se exportar, posteriormente, para o R. No total, quantificam-se 55 variáveis (1 variável qualitativa nominal, 6 quantitativas e 48 variáveis qualitativas ordinais). Na Figura 106, demonstra-se um extrato da base de dados no Excel e na Figura 107 da base de dados em R.

Sexo	Idade	Departamento	Anos na empresa	Facilidade de acesso	Facilidade de uso	Compatibilidade com o sistema	Coerência com interface	Organização e clareza da informação	Confiabilidade geral	Desempenho geral
Masculino	30	Engenharia	3	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante
Feminino	56	Produção	29	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante
Feminino	47	Qualidade	27	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante
Masculino	47	Engenharia	10	Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante
Masculino	28	Engenharia	3,5	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante
Feminino	39	Produção	14	Importante	Importante	Muito Importante	Importante	Importante	Muito Importante	Muito Importante
Masculino	35	Melhoria Contínua	5	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante

Figura 106 – Base de dados no Excel do questionário final

	Sexo	Idade	Departamento	Anos na empresa	Facilidade de acesso	Facilidade de uso	Compatibilidade com o sistema	Coerência com interface
1	Masculino	30	Engenharia	3.0	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante
2	Feminino	56	Produção	29.0	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante
3	Feminino	47	Qualidade	27.0	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante
4	Masculino	47	Engenharia	10.0	Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante
5	Masculino	28	Engenharia	3.5	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante
6	Feminino	39	Produção	14.0	Importante	Importante	Muito Importante	Importante
7	Masculino	35	Melhoria Contínua	5.0	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante
8	Masculino	42	Produção	9.0	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante
9	Feminino	27	Qualidade	8.0	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante	Muitíssimo Importante
10	Masculino	36	Produção	5.0	Muitíssimo Importante	Muitíssimo Importante	Muito Importante	Muito Importante

Figura 107 – Base de dados no R do questionário final

Tal como no questionário inicial, foi feita uma avaliação da fiabilidade de cada secção através do alfa de *Cronbach* (Tabela 14). Observando os resultados, denota-se que a secção E foi bastante conseguida, obtendo um efeito excelente. Todavia, a secção G é inaceitável, sendo aconselhável a sua modificação para alcançar valores mais altos.

Tabela 14 – Fiabilidade das secções do questionário final

Secção	B	C	D	E	F	G	H
Alfa de Cronbach	0,83	0,77	0,87	0,90	0,71	0,26	0,89
Fiabilidade	Boa	Aceitável	Boa	Excelente	Aceitável	Inaceitável	Boa

De seguida, irá ser feita uma análise por secção com estatísticas descritivas e correlações, do mesmo modo que na secção 3.2. É de referir que a secção A não irá ser analisada, uma vez que a população é a mesma que avaliada anteriormente.

Avaliando a qualificação da importância do desempenho do *software* pela população em estudo, Figura 108, é evidente a concordância geral em todos os fatores considerados. Os mais visíveis e com apenas votos “verdes” foram o desempenho (18,8% muitíssimo importante e 81,2% muito importante) e confiabilidade geral (12,5% muitíssimo importante e 87,5% muito importante) e ainda a compatibilidade com o sistema (31,2% muitíssimo importante e 68,8% muito importante). Nada obstante, tem-se a facilidade de acesso, com 43,8% de votos em muitíssimo importante.

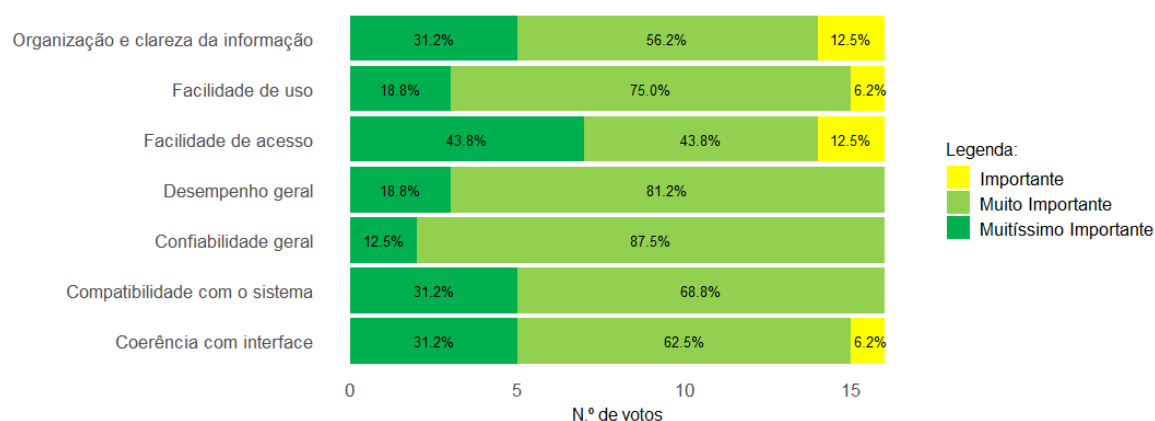


Figura 108 – Importância do desempenho do *software*

Pela análise de correlação de *Spearman* da Figura 109, existem três associações muito fortes. Com $\rho=0,70$, tem-se a facilidade de uso com a confiabilidade geral do *software*, que por sua vez tem um $\rho=0,79$ com o desempenho geral. Entre a coerência da interface e a organização e clareza da informação, o coeficiente é de 0,74. Estas associações demonstram que certas características do *software* devem estar interligadas para que a experiência do utilizador seja boa durante a sua navegação.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
B1		0,62	0,05	0,58	0,58	0,40	0,51
B2			0,39	0,53	0,28	0,70	0,55
B3				0,17	-0,20	0,56	0,37
B4					0,74	0,53	0,67
B5						0,18	0,37
B6							0,79
B7							

Figura 109 – Correlação de *Spearman* da secção B do questionário final

Tal como já enunciado, a secção C é igual à secção K do questionário inicial para comparar respostas antes e depois da implementação do novo *software*. Na Figura 110, verifica-se que a ligação automática com planos de controlo, planos de ação, entre outros é o benefício que revela maior importância entre os participantes (62,5% muitíssimo importante), mantendo-se a ideia do questionário inicial. No entanto, os votos foram de menor importância relativamente ao inicialmente respondido, tanto que existe menos votos de “Muitíssimo Importante” e mais votos como “Muito Importante”. A ligação automática com o DFMEA e a redução em volume de PFMEA continuam a ter votos como não muito importante, neste caso de 6,2%.

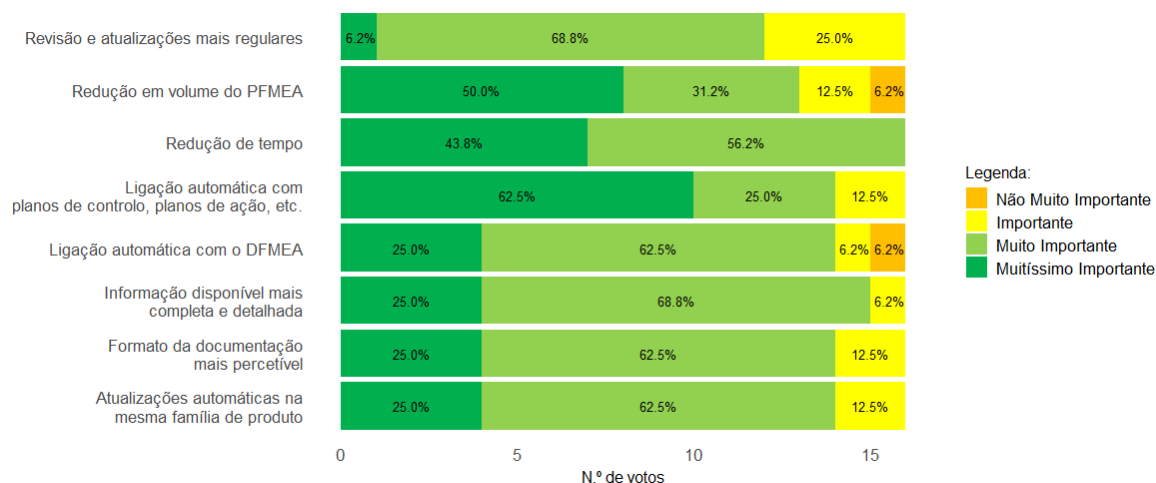


Figura 110 – Importância dos benefícios do novo *software* de PFMEA

Esta secção revelou ter bastantes correlações fracas e muito fracas, comparativamente ao questionário inicial (Figura 111). No entanto, e apesar de as duas relações fortes obtidas anteriormente já não existirem, gerou-se uma associação forte entre a ligação automática com planos de controlo, de ação, etc. e a redução em volume do PFMEA.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1		0,05	0,33	0,29	0,26	0,47	0,38	0,08
C2			0,66	0,22	-0,20	0,13	0,34	-0,16
C3				0,27	-0,14	0,02	0,16	-0,03
C4					0,29	0,60	0,64	-0,04
C5						0,33	0,26	0,04
C6							0,85	0,15
C7								0,16
C8								

Figura 111 – Correlação de *Spearman* da secção C do questionário final

De modo a comparar a diferença de respostas do questionário inicial (secção K) para o questionário final (secção C), foram elaborados diagramas de caixas. Para isso, foi essencial interligar as características dos participantes (sexo, idade, departamento, anos de trabalho na empresa), uma vez que ambos os questionários foram respondidos em anonimato.

Pela Figura 112, percebe-se, desde logo, que as perguntas C2 e C7 obtiveram melhores resultados no segundo questionário, ao invés da C3, C5 e C8 que pioraram. Os aspetos C2, C5, C6, C7 e C8 têm *outliers* (observações discrepantes que se afastam da série normal), o que significa que alguns dos participantes modificaram em muito a sua resposta. Também os valores máximo e mínimo de cada um dos diagramas enfatizam a alteração de respostas que houve entre os dois momentos de avaliação.

O aspeto C8, atualizações automáticas na mesma família de produto, é o único que não apresenta a mediana (valor central dos dados) igual a zero, sendo por isso o aspeto que apresentou mais mudanças de resposta (tendo agora um peso de menor importância) em função do questionário inicial.

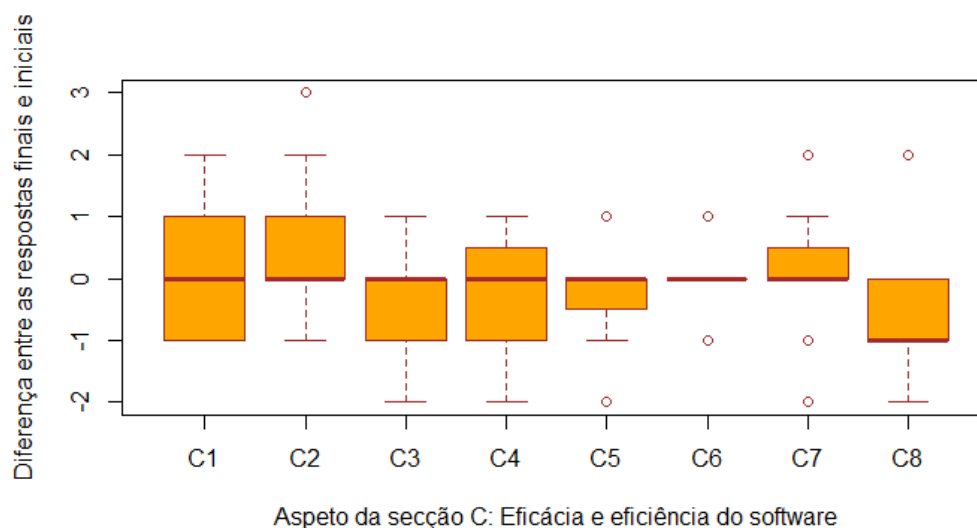


Figura 112 – Comparação de respostas da secção: Eficácia e eficiência do *software*

Passando para a secção D: Usabilidade do *software*, existe uma certa diferenciação de opiniões, mas a maioria dos votos são positivos (Figura 113). Relativamente ao *software* seguir a metodologia de um PFMEA e as funções destes estarem bem integradas são os que receberam votos mais equilibrados, tendo apenas 6,2% de votos neutros. A afirmação “O *software* é melhor que o Excel” é a mais contestável, porém 43,8% concorda totalmente e 31,2% concorda. 81,2% concorda que recomendava o *software*.

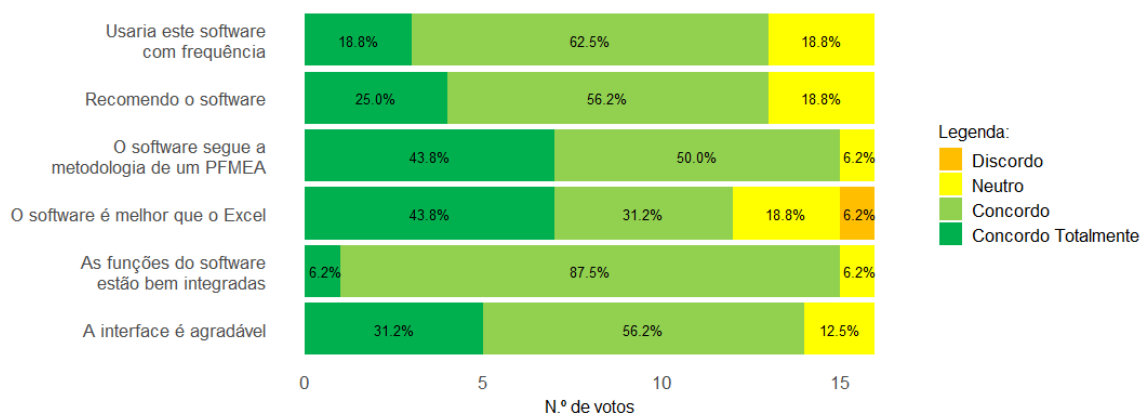


Figura 113 – Concordância quanto à usabilidade do novo *software*

No que diz respeito à usabilidade do *software*, Figura 114, foca-se o relacionamento muito forte entre as afirmações “Usaria este *software* com frequência” e “Recomendo o *software*” com um $p=0,93$. Adicionalmente, “O *software* é melhor que o Excel” tem associações estatisticamente fortes com “A interface é agradável” ($p=0,77$), “Usaria este *software* com frequência” ($p=0,71$) e “Recomendo o *software*” ($p=0,76$). Estas relações são facilmente justificáveis, uma vez que se o participante entende que o *software* é melhor que o Excel e que o usaria com regularidade, naturalmente que a sua recomendação é favorável a acontecer.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6
D1		0,30	0,32	0,58	0,41	0,54
D2			0,21	0,45	0,77	0,54
D3				0,67	0,44	0,55
D4					0,71	0,93
D5						0,76
D6						

Figura 114 – Correlação de *Spearman* da secção D do questionário final

Explorando os votos da secção E, Figura 115, têm-se votos discordantes nas quatro primeiras afirmações, ainda que com uma pequena percentagem. A afirmação “Usar este *software* vai permitir que as pessoas se comprometam mais” foi a única a não refletir votos como “Concordo Totalmente”, sobressaindo-se como a maior zona amarela da secção com 31,2% votos neutros. A frase “O *software*, no geral, é útil” foi a que conquistou, em média, a melhor sondagem de votos (25,0% Concordo Totalmente e 68,8% Concordo).

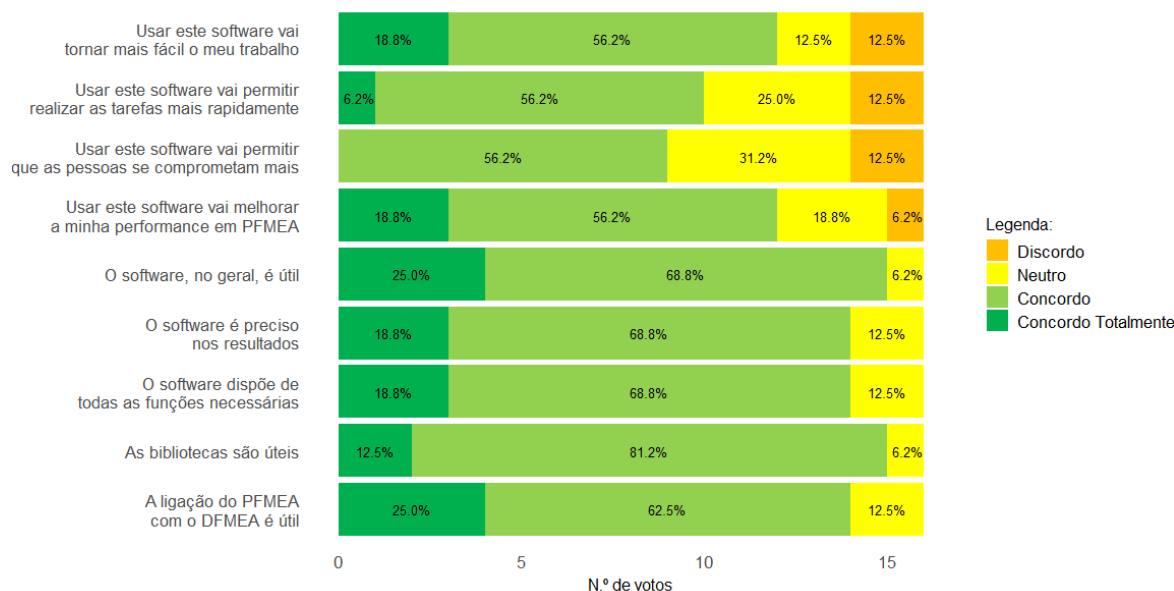


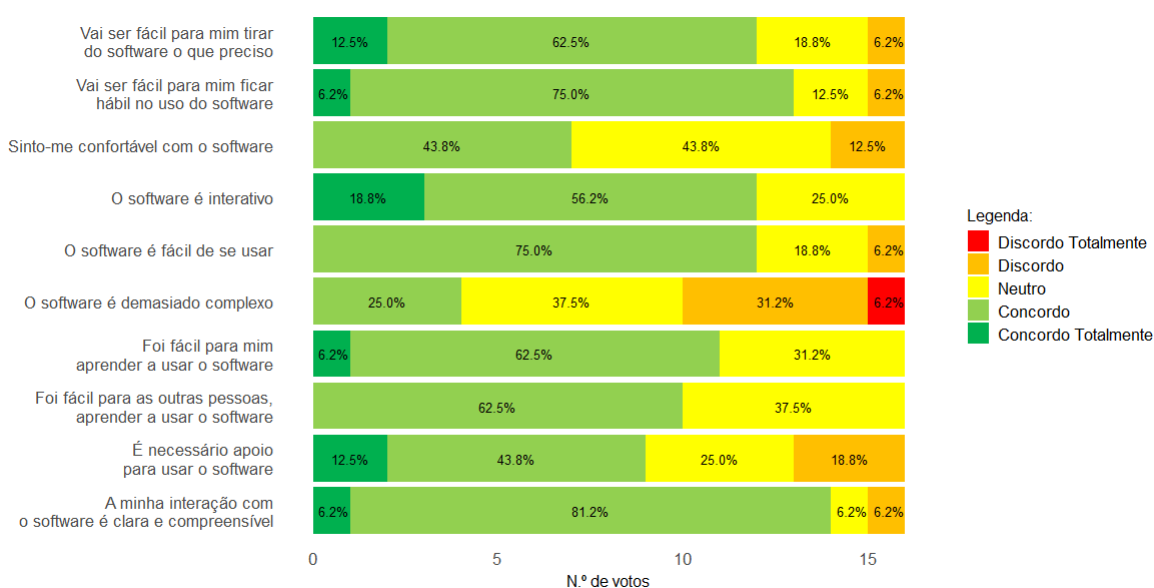
Figura 115 – Concordância quanto à utilidade do novo *software*

Pela Figura 116, evidenciam-se correlações moderadas entre as expressões da secção E. A única relação muito forte é entre “Usar este *software* vai melhorar a minha *performance* em PFMEA” e “Usar este *software* vai tornar mais fácil o meu trabalho” com um coeficiente perfeito. Entre “As bibliotecas são úteis” e “O *software*, no geral, é útil” existe uma associação forte com $p=0,76$ e, finalmente, “Usar este *software* vai permitir realizar as tarefas mais rapidamente” possui um $p=0,80$ com “Usar este *software* vai melhorar a minha *performance* em PFMEA” e um $p=0,81$ com “Usar este *software* vai tornar mais fácil o meu trabalho”.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
E1		0,30	0,18	0,11	0,28	0,43	0,67	0,66	0,60
E2			0,38	0,26	0,41	0,58	0,34	0,38	0,47
E3				0,53	0,64	0,33	0,50	0,52	0,45
E4					0,76	0,43	0,50	0,49	0,60
E5						0,49	0,42	0,41	0,43
E6							0,51	0,48	0,65
E7								1,00	0,80
E8									0,81
E9									

Figura 116 – Correlação de *Spearman* da secção E do questionário final

A secção de facilidade de uso do *software*, como se pode ver na Figura 117, foi muito conflituosa, apresentando uma variedade de respostas para cada afirmação. As mais controversas foram “Sinto-me confortável com o *software*” (43,8% Concordo e Neutro e 12,5% Discordo) e “O *software* é demasiado complexo” (25,0% Concordo, 37,5% Neutro, 31,2% Discordo e 6,2% Discordo Totalmente).

Figura 117 – Concordância quanto à facilidade de uso do novo *software*

Debatendo as correlações da secção F: Facilidade de uso do *software*, Figura 118, verificam-se cinco correlações fortes. Primeiramente, e com um coeficiente de *Spearman* de 0,70 têm-se as expressões “Foi fácil para mim aprender a usar o *software*” e “Sinto-me confortável com o *software*”, sendo perceptível esta ligação. De seguida, e com $p=0,83$, “Vai ser fácil para mim ficar hábil no *software*” e “Vai ser fácil para mim tirar do *software* o que preciso” que, por sua vez, tem um $p=0,74$ com “A minha interação com o *software* é clara e compreensível”. As duas associações estatisticamente significativas que restam são com a afirmação “O *software* é fácil de se usar”: “Foi fácil para as outras pessoas, aprender a usar o *software*” ($p=0,74$) e “Vai ser fácil para mim ficar hábil no *software*” ($p=0,79$). Logo, a aprendizagem e a experiência no novo *software* estarão certamente relacionadas com a facilidade de uso do próprio.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
F1		0,59	0,38	0,14	-0,04	0,27	0,55	-0,06	0,08	0,70
F2			0,61	0,31	-0,08	0,53	0,74	0,00	-0,02	0,60
F3				0,83	0,34	0,57	0,79	-0,38	-0,16	0,52
F4					0,74	0,61	0,66	-0,56	-0,13	0,45
F5						0,43	0,34	-0,55	-0,09	0,27
F6							0,62	-0,36	-0,17	0,48
F7								-0,16	-0,05	0,52
F8									0,35	-0,42
F9										0,21
F10										

Figura 118 – Correlação de *Spearman* da secção F do questionário final

Quanto à fiabilidade do *software*, Figura 119, os participantes concordam com o que é esperado do *software* (31,2% Concordo Totalmente e 56,2% Concordo) e que este responde aos requisitos pedidos (18,8% Concordo Totalmente e 62,5% Concordo). A opinião alusiva à frase do *software* ter muitas falhas, reflete uma generalidade neutra com 62,5% dos votos, 31,2% de discordância e 6,2% de discordância total.

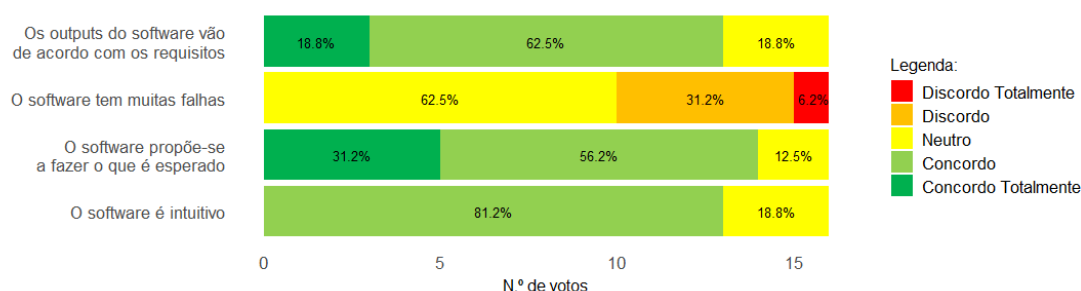


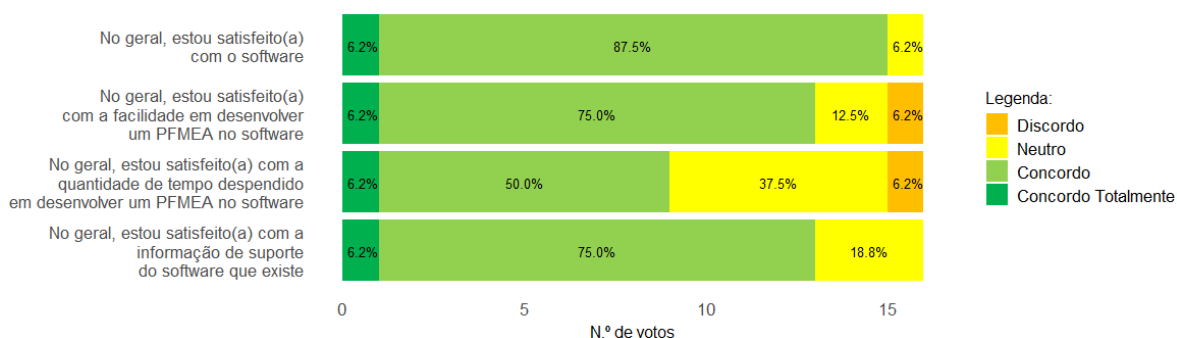
Figura 119 – Concordância quanto à fiabilidade do *software*

Tendo já conhecimento de que a secção G tem um alfa de *Cronbach* inaceitável, é facilmente compreensível a não presença de correlações fortes ou muito fortes na Figura 120.

	G1	G2	G3	G4
G1		0,52	0,39	-0,37
G2			0,66	-0,39
G3				-0,33
G4				

Figura 120 – Correlação de *Spearman* da secção G do questionário final

Finalizando a análise do questionário final, pediu-se aos participantes do mesmo que avaliassem, de um modo geral, o novo *software*. Pela Figura 121, depara-se com uma avaliação extremamente positiva, sendo a maioria dos votos concordantes com as afirmações da secção. Salienta-se apenas a quantidade de tempo despendido em desenvolver um PFMEA no *software* que contém 37,5% votos neutros. No geral, os participantes estão satisfeitos com o *software* (6,2% Concordo Totalmente e 87,5% Concordo), o que representa um dado bastante indicativo para este trabalho.

Figura 121 – Concordância quanto à avaliação final do *software*

Restando a análise da correlação de *Spearman* da secção H, constata-se pela Figura 122 que a afirmação “No geral, estou satisfeito(a) com a facilidade em desenvolver um PFMEA no *software*” tem correlações fortes com todas as outras afirmações em questão. Já a satisfação da existência da informação de suporte que existe do *software* com a satisfação geral do mesmo tem uma ligação forte com um coeficiente de 0,71.

	H1	H2	H3	H4
H1		0,72	0,73	0,76
H2			0,48	0,63
H3				0,71
H4				

Figura 122 – Correlação de *Spearman* da secção H do questionário final

Às últimas perguntas desta secção, a população respondeu a 100,0% que o TDC *software* é uma ferramenta útil para elaborar o PFMEA. Apenas 6,25% (1 participante) votou que o TDC não é uma ferramenta amigável. Já a última e derradeira questão, a totalidade dos participantes concordou com a substituição do Excel para o novo *software*, dado que demonstra que esta alteração ao processo surtiu um efeito positivo nos diferentes elementos das equipas de PFMEA da empresa.

Na Tabela 15, tem-se uma tabela emparelhada que compara a frequência relativa de respostas dadas entre a usabilidade e utilidade do Excel com o TDC *software*. Repara-se que 93,75% respondeu que ambos são ferramentas úteis para elaborar o PFMEA e que 62,50% afirma que são ambos *user-friendly*. Há que considerar ainda que 18,75% discorda que ambas as ferramentas são amigáveis e apenas uma pessoa (6,25%) votou “Não” para Excel e “Sim” para o TDC.

Tabela 15 – Comparação de respostas entre usabilidade e utilidade de *softwares*

		TDC <i>software</i>			
		É uma ferramenta útil para elaborar o PFMEA?		É uma ferramenta <i>user-friendly</i> (amigável)?	
		Sim	Não	Sim	Não
Microsoft Excel	É uma ferramenta útil para elaborar o PFMEA?	Sim	93,75%	68,75%	31,25%
		Não	N/A	N/A	N/A

É uma ferramenta <i>user-friendly</i> (amigável)?	Sim	68,75%	6,25%	62,50%	12,50%
	Não	25,0%	N/A	6,25%	18,75%

Passando às correlações entre secções, tem-se que a análise feita às secções B e C (escala de importância) resultou de um coeficiente de apenas -0,07, sendo a associação negativa e muito fraca. Já as secções com a escala *likert*, Figura 123, demonstraram o contrário, apresentando muitas correlações fortes positivas. A secção D (usabilidade) tem um $\rho=0,83$ com a secção E (utilidade) e um $\rho=0,78$ com a secção F (facilidade de uso). Continuamente, e sendo as correlações mais fortificadas, tem-se a secção E com a secção F ($\rho=0,90$) e com a secção G: Fiabilidade ($\rho=0,86$). Entre estas últimas também profere uma associação forte positiva com um coeficiente de 0,71. Obviamente que a usabilidade e utilidade do *software* estão estrategicamente relacionáveis com a sua manuseabilidade e fiabilidade.

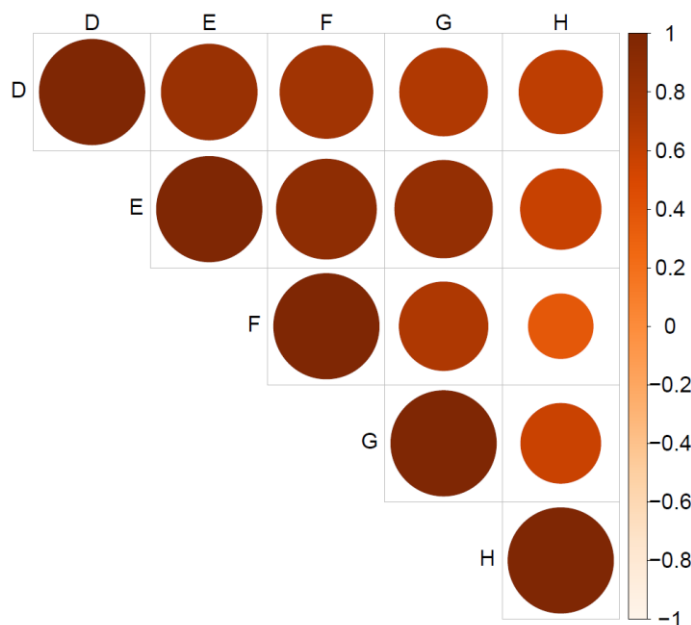


Figura 123 – Matriz de correlação de *Spearman* entre secções do questionário final

Posto isto, este questionário revelou-se bastante pertinente para avaliar o novo *software* perante a perspetiva dos elementos de todas as equipas de PFMEA na empresa.

5. CONCLUSÃO

Neste último capítulo, são apresentados os resultados do trabalho desenvolvido, revendo criticamente a metodologia adotada e o impacto dos resultados na empresa de estágio. Incluem-se ainda obstáculos encontrados durante o trabalho, bem como recomendações para eventuais extensões e melhorias futuras.

5.1. Conclusões finais

A melhoria da ferramenta transversal à gestão dos modos de falha de um processo ou produto requer, numa primeira fase de avaliação, uma investigação extensa de modo a perceber a evolução e o modo de desenvolvimento de um PFMEA. As opiniões de diversos autores relativamente a benefícios e limitações desta ferramenta também auxiliaram o trabalho, recolhendo assim possíveis recomendações de melhoria da ferramenta.

Seguidamente, é essencial uma análise detalhada do processo atual (AS-IS) na empresa. A compreensão do funcionamento da fábrica, dos produtos comercializados e processos produtivos, o acompanhamento de reuniões de PFMEA e o desenvolvimento e entrega de um questionário inicial a todos os 16 membros das equipas multifuncionais da ferramenta, foram as tarefas correspondentes desta fase do estágio. Tendo em conta os dados obtidos no questionário, foram enumeradas oportunidades e ameaças respeitantes ao ambiente atual do processo através de um conjunto de técnicas de gestão da qualidade, como o diagrama de *Ishikawa* e os 5 porquês. Para colmatar as principais lacunas encontradas através do inquérito, a falta de compromisso das pessoas (10 votos), de um *software* capaz e de tempo (9 votos), foi identificada a solução a implementar na empresa.

Concluída a formação e a instalação do *software*, procedeu-se à transição de um PFMEA de um projeto recente da empresa, ensaiando assim o seu modo de funcionamento. Finalizado este passo, a atualização de um PFMEA de processo foi essencial para perceber a eficiência e eficácia com a transformação digital ocorrida. No decorrer de ambas as intervenções, foi oportuna a compreensão da recolha de modos de falha, causas e efeitos, de controlos atuais de deteção/prevenção e ainda o acompanhamento das ações abertas. As ações restringiram-se sobretudo na implementação de controlos como “passa/não passa” e sensores e em atualizações das instruções de manutenção de 1º e 2º nível de máquinas, de modo a minimizar o aparecimento de peças não conformes e, consequentemente, de reclamações e garantias.

Após formar no *software* todos os participantes do questionário procurou-se, junto dos mesmos, avaliar a sua perceção relativamente à substituição do Excel para este novo programa.

Estes resultados responderam assim às questões de investigação elaboradas inicialmente:

1. *De que forma se pode melhorar o PFMEA para reduzir as limitações subjacentes ao processo manual, no sentido de atingir os níveis pretendidos de eficiência e eficácia?*

O objetivo foi concluído através da implementação do novo *software*, do seu teste através do projeto-teste e processo-piloto, também foi desenvolvido um manual de instrução para que fosse documentado o seu modo de utilização e ainda foi dada formação a todas as pessoas envolvidas em sessões de PFMEA.

2. Quais os benefícios da implementação de um software para substituir o processo manual de concepção do PFMEA? Qual é o impacto da automatização desta ferramenta nas pessoas responsáveis por este processo?

Para a segunda e última questão de investigação, foram fundamentais o segundo questionário entregue e as suas estatísticas derivadas que comprovam que realmente há benefícios com a implementação deste novo *software*, atingindo assim melhores níveis de eficácia e eficiência. A eficácia está presente no sentido em que, com este *software*, o tempo alocado ao desenvolvimento de um PFMEA na empresa é menor e a eficiência é espelhada no uso dos recursos, isto porque, com a redução do tempo, as horas de trabalho dos membros das equipas multifuncionais, alocadas a esta ferramenta, são menores. Já o impacto nas pessoas foi extremamente positivo e enriquecedor para o trabalho, fazendo com que o estágio tenha sido bem-sucedido e enriquecedor, quer a nível académico quer a nível pessoal.

Importa salientar que o trabalho realizado irá permitir uma melhor operacionalização de novos projetos, uma vez que, com este novo *software*, toda a informação fica mais bem estruturada e organizada.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

Durante o desenvolvimento do trabalho, foram encontradas três limitações relevantes que impactaram nos resultados obtidos:

- A literatura que explora os benefícios e limitações do PFMEA, assim como melhorias que se podem efetuar no seu processo é limitada;
- O atraso da implementação de novos projetos, que estavam previstos para o primeiro trimestre de 2023, provocou a impossibilidade de elaboração do PFMEA no novo *software* durante o período de estágio. Logo, não foi possível a criação e desenvolvimento de um novo projeto através do novo *software*;
- Este caso de estudo apenas envolveu uma única empresa, que é certificada pela norma IATF 16949, garantindo assim o cumprimento dos princípios gerais da qualidade. No entanto, seria interessante expandir este estudo para outras empresas, tanto certificadas como não certificadas, de modo a comparar e amplificar os resultados obtidos.

Como trabalhos futuros, sugere-se a avaliação da eficácia da ferramenta PFMEA através de um modelo, tendo por base as falhas identificadas no PFMEA e as falhas identificadas em reclamações/garantias por parte do cliente. Como consequência desta análise, também os próprios controlos atuais de prevenção e de deteção são avaliados quanto à sua eficácia de implementação. Com este trabalho futuro, espera-se assim uma possível redução de reclamações/garantias, de custos e uma melhoria na qualidade dos produtos.

Outra sugestão dada à própria empresa é a replanificação do processo de concepção de PFMEA, isto porque existem opiniões divergentes relativamente à liderança das sessões de PFMEA, se Engenharia ou Qualidade. Complementarmente, recomenda-se promover a ligação entre DFMEA e PFMEA, visto que isso não acontece atualmente, de modo a interligar falhas de concepção de uma funcionalidade e falhas de uma ou mais funções do produto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEA. (2022). *EU car sales expected to drop again this year; auto makers call for urgent policy action*. <https://www.acea.auto/press-release/eu-car-sales-expected-to-drop-again-this-year-auto-makers-call-for-urgent-policy-action/>
- AFIA. (2021). *Estatísticas 2021*. <https://afia.pt/estatisticas/>
- AIAG. (2022). *AIAG Core Tools Support™ (CTS) Software*. <https://www.aiag.org/store/core-tools-software/details>
- AIAG, & VDA. (2019). *Análise de Modos de Falhas e Efeitos - Manual FMEA* (1st ed.). AIAG-VDA.
- Banduka, N., Tadic, D., Macuzic, I., & Crnjac, M. (2018). Extended process failure mode and effect analysis (PFMEA) for the automotive industry: The FSQC-PFMEA. *Advances in Production Engineering & Management*, 13(2), 206–215. <https://doi.org/10.14743/apem2018.2.285>
- Banduka, N., Veža, I., & Bilić, B. (2016). An integrated lean approach to Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA): A case study from automotive industry. *Advances in Production Engineering & Management*, 11(4), 355–365. <https://doi.org/10.14743/apem2016.4.233>
- Baynal, K., Sari, T., & Akpinar, B. (2018). Risk management in automotive manufacturing process based on FMEA and grey relational analysis: A case study. *Advances in Production Engineering & Management*, 13(1), 69–80. <https://doi.org/10.14743/apem2018.1.274>
- Braglia, M. (2000). MAFMA: multi-attribute failure mode analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 17(9), 1017–1033. <https://doi.org/10.1108/02656710010353885>
- Brooke, J. (1996). SUS: A quick and dirty usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, I. L. McClelland, & B. Weerdmeester (Eds.), *Usability Evaluation in Industry* (1st ed., Vol. 189, pp. 4–7). CRC Press. <https://www.crcpress.com/product/isbn/9780748404605>
- Canelhas, S. (2018). *Os básicos da Qualidade*.
- Carlier, M. (2022). *Statista*. <https://www.statista.com/statistics/574151/global-automotive-industry-revenue/>
- Chrysler Corporation, Ford Motor Company, & General Motors Corporation. (1993). *Potencial Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*.
- Dancey, C. P., & Reidy, J. (2004). *Statistics Without Maths for Psychology: Using SPSS for Windows* (4th ed.). Prentice Hall. <https://books.google.pt/books?id=F249P9eMp4C>
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–339. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Deloitte. (2021). *Global Automotive Consumer Study 2021*. <https://www2.deloitte.com/pt/pt/pages/consumer-business/articles/2021-global-automotive-consumer-study.html>
- Dieter, G. E. (2000). *Engineering Design: A Materials and Processing Approach* (1st ed.). McGraw-Hill. <https://books.google.pt/books?id=JIZRAAAAMAAJ>
- Dobriboje, C., Slavko, A., Branislav, J., & Jasna, G. (2011). *FMEA in product development phase*. 679–686. <http://www.cqm.rs/2011/cd/5iqc/pdf/085.pdf>
- Fonseca, L. M., & Domingues, J. P. (2017). Reliable and Flexible Quality Management Systems in the Automotive Industry: Monitor the Context and Change Effectively. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 1200–1206. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.245>
- Ford Motor Company. (2011). Failure Mode and Effects Analysis, FMEA Handbook (with Robustness Linkages). In *Ford Motor Company* (4.2, Vol. 13, Issue 5). Ford.
- Gliem, J. A., & Gliem, R. R. (2003). Calculating, Interpreting, and Reporting Cronbach's Alpha Reliability Coefficient for Likert-Type Scales. *Midwest Research to Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education*, 82–88. https://www.researchgate.net/publication/31591315_Calculating_Interpreting_And_Report_ing_Cronbach's_Alpha_Reliability_Coefficient_For_Likert-Type_Scales

- Grimm, K. (2003). Software technology in an automotive company - major challenges. *25th International Conference on Software Engineering, 2003. Proceedings.*, 6, 498–503. <https://doi.org/10.1109/ICSE.2003.1201228>
- Huang, G. Q., Nie, M., & Mak, K. L. (1999). Web-based failure mode and effect analysis (FMEA). *Computers & Industrial Engineering*, 37(1–2), 177–180. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(99\)00049-2](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(99)00049-2)
- Hutchinson. (2021a). *History*. <https://www.hutchinson.com/en/our-history>
- Hutchinson. (2021b). *Our Group*. <https://www.hutchinson.com/en/our-group>
- Hutchinson. (2021c). *Vision*. <https://www.hutchinson.com/en/our-vision>
- International Automotive Task Force. (2016). *AUTOMOTIVE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM STANDARD IATF 16949 : 2016* (Vol. 2016, Issue October).
- International Automotive Task Force. (2022). *About IATF*. <https://www.iatfglobaloversight.org/about-iatf/>
- International Organization for Standardization. (2015a). Sistemas de gestão da qualidade: Fundamentos e vocabulário (ISO 9000:2015). In *Instituto Português da Qualidade*.
- International Organization for Standardization. (2015b). Sistemas de Gestão da Qualidade. Requisitos (ISO 9001:2015). In *Instituto Português da Qualidade: Vol. 4ª EDIÇÃO*.
- International Organization for Standardization. (2021). *ISO Survey 2021*. <https://www.iso.org/the-iso-survey.html>
- Johnson, K. G., & Khan, M. K. (2003). A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK. *Journal of Materials Processing Technology*, 139(1–3), 348–356. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00542-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00542-9)
- Knowllence. (2022). *FMEA: Design FMEA and Process FMEA Software*. <https://www.knowllence.com/en/software/design-process-fmea-software.html>
- Lewis, J. R. (1995). IBM computer usability satisfaction questionnaires: Psychometric evaluation and instructions for use. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7(1), 57–78. <https://doi.org/10.1080/10447319509526110>
- Liu, H.-C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 828–838. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>
- Lund, A. (2001). Measuring Usability with the USE Questionnaire. *Usability and User Experience Newsletter of the STC Usability SIG*, 8(2), 3–6. https://www.researchgate.net/publication/230786746_Measuring_Usability_with_the_USE_Questionnaire
- Midler, C., & Navarre, C. (2007). Project Management in the Automotive Industry. In *The Wiley Guide to Managing Projects* (Issue October, pp. 1368–1388). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470172391.ch55>
- Ciravegna Martins da Fonseca, L. M., Domingues, J. P., Machado, P. B., & Harder, D. (2019). ISO 9001:2015 adoption: A multi-country empirical research. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(1), 1–27. <https://doi.org/10.3926/jiem.2745>
- NASA. (1966). *Procedure for Failure Mode, Effects, And Criticality Analysis*.
- Neves, M., & Alçada, S. (2020). *Impacto de uma Pandemia na Indústria Automóvel : Análise do Efeito do Covid-19 no Setor*. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/megi/dissertacao/1691203502344108>
- OICA. (2021). *Global sales statistics 2019 – 2021*. <https://www.oica.net/category/sales-statistics/>
- International Labour Organization. (2022). Conduzir a mudança. In *O futuro do trabalho no setor automóvel português*. https://www.ilo.org/global/docs/WCMS_848400/lang--en/index.htm
- Palady, P. (1998). *Failure Modes and Effects Analysis: (1st ed.)*. P T Pubns. <https://books.google.pt/books?id=KmkJAAAACAAJ>
- Pillay, A., & Wang, J. (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, 79(1), 69–85. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00179-5](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00179-5)

- Project Management Institute. (2021). *PMBOK Guide* (7th ed.). Project Management Institute. <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok>
- Reliability Analysis Center. (1993). *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*.
- ReliaSoft. (2022). *XFMEA*. <https://www.reliasoft.com/products/xfmea-failure-mode-effects-analysis-fmea-software>
- Santos, M., & Neto, H. (2016). *A norma IATF 16949:2016: mudanças, transição, caminhos e oportunidades*. <https://cesqua.org/index.php/cesqua/article/view/15>
- Santos, S., & Dores, V. (2018). *A indústria automóvel na economia portuguesa*. https://www.gee.gov.pt/pt/?option=com_fileman&view=file&routed=1&name=Relatório de Atividades 2018.pdf&folder=o-gee/Instrumentos-de-gestao&container=fileman-files
- Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research Methods for Business Students* (8th ed.). Pearson Education Limited. https://www.pearson.com/nl/en_NL/higher-education/subject-catalogue/business-and-management/Research-methods-for-business-students-8e-saunders.html
- Sharma, K. D., & Srivastava, S. (2018). Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation: A Literature Review. *Journal of Advance Research in Aeronautics and Space Science*, 5(1 & 2), 1–17. https://www.researchgate.net/publication/333209894_Failure_Mode_and_Effect_Analysis_FMEA_Implementation_A_Literature_Review
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution* (2nd ed.). ASQ Quality Press. <https://books.google.pt/books?id=TTxI8jbTkVwC>
- Tarí, J. J., Molina-Azorín, J. F., & Heras, I. (2012). Benefits of the ISO 9001 and ISO 14001 standards: A literature review. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5(2), 297–322. <https://doi.org/10.3926/jiem.488>
- TRIGO. (2022). *PFMEA – NOVO REFERENCIAL FMEA AIAG & VDA*.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *Machine that Changed the World*. Rawson Association. https://books.google.pt/books?id=%5C_n5qRfaNv9AC
- Xiao, C., Ye, J., Esteves, R. M., & Rong, C. (2016). Using Spearman's correlation coefficients for exploratory data analysis on big dataset. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 28(14), 3866–3878. <https://doi.org/10.1002/cpe.3745>
- Zammori, F., & Gabbrielli, R. (2012). ANP/RPN: a multi criteria evaluation of the Risk Priority Number. *Quality and Reliability Engineering International*, 28(1), 85–104. <https://doi.org/10.1002/qre.1217>

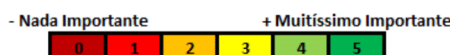
APÊNDICE A – INQUÉRITO INICIAL SOBRE O PFMEA

Inquérito PFMEA

Este questionário realiza-se no âmbito de um caso de estudo inserido numa dissertação de Mestrado em Eng. Mecânica – Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto e destina-se a recolher e avaliar percepções, com vista a perceber quais são as principais limitações e benefícios subjacentes ao processo atual de desenvolvimento do PFMEA na empresa. Os dados recolhidos serão também usados num estudo de comparação que terá como objetivo avaliar o resultado da implementação de um novo *software* da *Knowllence*.

O inquérito é dirigido às equipas multifuncionais dos variados projetos da empresa (*Daimler, RSA e PSA*). O preenchimento do inquérito demora cerca de 10 minutos e todos os dados serão utilizados exclusivamente para fins científicos/académicos no âmbito do presente projeto, garantindo-se o anonimato dos participantes e a confidencialidade dos dados. O seu contributo é fundamental para a caracterização do processo PFMEA, como tal, noto a importância do seu envolvimento neste inquérito, que muito agradeço. Para esclarecimentos adicionais, contacte: ines.carreiras@hutchinson.com

Nas questões em que se solicita a classificação de 0 a 5, por favor, utilizar a seguinte escala (0-Nada Importante; 1-Pouco Importante; 2-Não Muito Importante; 3-Importante; 4-Muito Importante e 5-Muitíssimo Importante):



Inês Carreiras
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Secção A: Geral

Sexo: ☐ Feminino ☐ Masculino

Idade: ____ Departamento: ____

Anos de trabalho na empresa: ____

Informação visível a todos ____

Auxilia a melhoria contínua ____

Outros. Quais? ____

Secção B: Importância do PFMEA

Classifique de 0 a 5, segundo a sua importância, os seguintes motivos para se usar o PFMEA:

Requisito da indústria automóvel ____
 Garante eficiência no planeamento ____
 Garante a qualidade dos produtos ____
 Estabelece a ligação entre a gestão do projeto e a qualidade ____
 Previne a produção de não conformes ____
 Não existe outra ferramenta ____
 Requisito do cliente ____
 Auxilia as manutenções preventivas ____
 Redução de custos ____
 Redução do tempo de produção ____

Secção C: Gestão do PFMEA

Classifique de 0 a 5, segundo a sua importância, os seguintes aspetos relacionados com a gestão, que podem impactar a correta utilização do PFMEA:

Compreensão do processo ____
 Compromisso ____
 Envolvimento no processo ____
 Não considerar “perda de tempo” ____
 Compreensão da contribuição do PFMEA para a empresa ____
 Compreensão dos requisitos ____
 Comunicação atempada e detalhada dos requisitos ____
 Alocação correta dos recursos (equipa) ____
 Revisão regular do processo ____

Outros. Quais?

Secção D: Gestão do processo

Classifique de 0 a 5, segundo a sua importância, os seguintes aspetos relacionados com a gestão do processo, que podem impactar a correta utilização do PFMEA:

Definição clara dos papéis e responsabilidades _____

Utilização do PFMEA transversal _____

Atribuição dos índices (S, O e D) _____

Gestão do tempo _____

Priorização de ações _____

Seguimento das ações _____

Revisão e atualizações regulares _____

Fecho de ações _____

Outros. Quais?

Secção E: Equipa do PFMEA

Classifique de 0 a 5, segundo a sua importância, os seguintes aspetos relacionados com a equipa, que podem impactar a correta utilização do PFMEA:

Uso da metodologia apropriada _____

Uso de uma equipa multifuncional _____

Líderes de equipa (pilotos da reunião) especializados _____

Partilha de conhecimento _____

Compreensão dos objetivos _____

Inclusão de todos os departamentos _____

Outros. Quais?

Secção F: Aspetos Técnicos

Classifique de 0 a 5, segundo a sua importância, os seguintes aspetos técnicos que podem impactar a correta utilização do PFMEA:

DFMEA disponível _____

Compreensão das diferenças entre DFMEA e PFMEA _____

Definição do âmbito do PFMEA _____

Compreensão clara do objetivo _____

Fluxograma e descrição do processo claros _____

Consideração de todos os modos de falha _____

Compreensão clara dos efeitos no cliente _____

Definição clara das causas de falha _____

Brainstorming nas reuniões _____

Uso da ferramenta 5M _____

Distinção clara entre causa e efeito _____

Identificação clara dos controlos atuais _____

Dificuldade na determinação dos índices (S, O e D) _____

Identificação das características de especificação SC/CC _____

Foco nos AP/NPR mais críticos _____

Compreensão clara da ligação entre PFMEA, planos de controlo, planos de ação, etc. _____

Compreensão e cumprimento dos requisitos do cliente _____

Outros. Quais?

Secção G: Formação em PFMEA

Classifique de 0 a 5, segundo a sua importância, os seguintes aspetos relacionados com a formação que podem impactar a correta utilização do PFMEA:

Formação dada por uma organização externa _____

Formação dada aos operadores _____

Já participou nalguma formação de PFMEA?

☐ Sim ☐ Não

Se **Sim**, em que tipo de formação participou?

Formação do cliente ☐

Formação de uma organização externa ☐

Outros. Quais? _____

Qual a duração da formação?

½ - 1 dia ☐

2 – 3 dias ☐

Mais de 3 dias ☐

Se **Não**, sente a necessidade ou seria útil participar numa formação de PFMEA?

☐ Sim ☐ Não

Secção H: Recursos para o PFMEA

Classifique de 0 a 5, segundo a sua importância, os seguintes aspetos relacionados com os recursos que podem impactar a correta utilização do PFMEA:

Quantidade de tempo despendido _____
 Falta de um *software user-friendly* _____
 Falta de informação _____
 Falta de *back-up* _____
 (DFMEA, fluxograma, etc.) _____
 Custo de desenvolvimento e manutenção do PFMEA _____
 Outros. Quais? _____

Quanto tempo, em média, se dedica a um ou vários PFMEA?

Menos de 1h/semana ☐
 1-5 horas/semana ☐
 6-10 horas/semana ☐
 11-20 horas/semana ☐

Se mais de 20h/semana, especifique _____

Quantas pessoas participam, regularmente, nas reuniões PFMEA?

1 pessoa ☐
 2 – 3 pessoas ☐
 4 – 6 pessoas ☐
 7 – 10 pessoas ☐
 Mais de 10 pessoas ☐

Quantos PFMEA reveem, numa só reunião?

1 ☐
 2 – 3 ☐
 Mais de 3 ☐

Secção I: Benefícios e eficácia do PFMEA

Classifique de 0 a 5, segundo a sua importância, os seguintes benefícios que devem ser medidos:

Melhoria da capacidade dos processos _____
 Melhoria da eficiência nos processos _____
 Redução de sucata interna _____
 Redução de ppm _____
 Redução de reclamações _____
 Redução de garantias _____
 Melhoria da frequência de manutenção _____
 Melhoria da fiabilidade _____

Outros. Quais? _____

Secção J: Dificuldades no PFMEA

Selecione as seguintes dificuldades que acha que sente e que comprometem a correta utilização do PFMEA na empresa:

Custos elevados na implementação das ações ☐
 Falta de DFMEA ☐
 Falta de tempo ☐
 Formato do documento ☐
 Falta de um *software* capaz ☐
 Falta de compromisso das pessoas ☐
 Desentendimento/opiniões divergentes ☐
 Orientações dos clientes confusas ☐
 Alocação incorreta dos recursos ☐
 Revisões e atualizações inexistentes ou quase inexistentes ☐
 Informação imprecisa e inviável ☐
 Falta de formação ☐
 Falta de ligação entre PFMEA e planos de controlo, planos de ação, etc. ☐
 Atribuição incorreta dos índices (S, O e D) ☐

Outras. Quais? _____

Qual ou quais dos selecionados acima considera que deveriam ser reduzidos ou eliminados? _____

Secção K: Software para o PFMEA

O Microsoft Excel é uma ferramenta útil para elaborar o PFMEA?

☐ Sim ☐ Não

O Microsoft Excel é uma ferramenta *user-friendly* (amigável)?

☐ Sim ☐ Não

Sugeria um novo *software* para implementar na empresa, de modo a substituir o desenvolvimento do PFMEA no Excel?

☐ Sim ☐ Não

Tem conhecimento do novo *software* que irá substituir o Excel para desenvolvimento do PFMEA?

☐ Sim ☐ Não

Classifique de 0 a 5, segundo a sua importância, os seguintes aspetos que podem beneficiar o PFMEA com a implementação do novo *software*:

Ligação automática com o DFMEA _____
Redução de tempo _____
Informação disponível mais completa e detalhada _____
Formato da documentação mais perceptível _____
Revisão e atualizações mais regulares _____
Ligação automática com planos de controlo, planos de ação, etc. _____
Redução em volume do PFMEA _____
Atualizações automáticas na mesma família de produto _____

Outros. Quais?

APÊNDICE B – MANUAL DE INSTRUÇÃO DO SOFTWARE

 HUTCHINSON® PORTO EMISSOR: QUALIDADE	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

OBJETIVO

Descrever o modo de utilização do programa de PFMEA TDC web software.

ÂMBITO

Esta instrução aplica-se sempre que se pretenda utilizar este programa.

REFERÊNCIAS

Versão do software: 2022.168.9.16358

DESCRIÇÃO

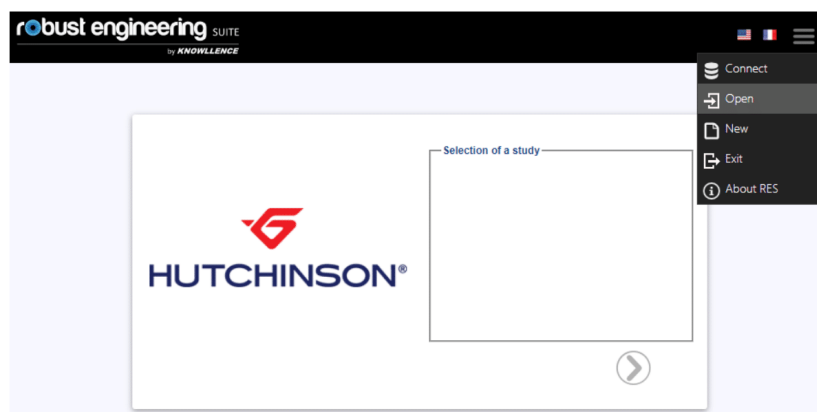
Para aceder ao programa, aceder ao link do servidor produtivo do software que se encontra na intranet (Portais>Grupo>TDC) e clicar em .



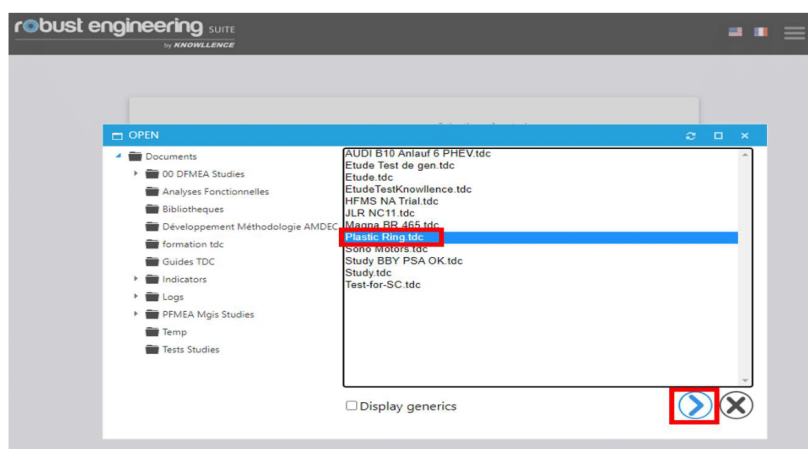
 HUTCHINSON® PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

1) Abrir um projeto em curso

a) No menu, clicar em Open.

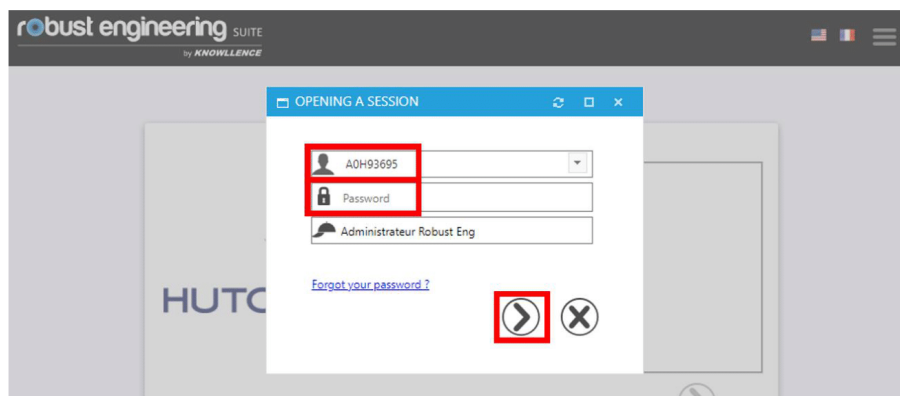


b) Selecionar o projeto da pasta onde se encontra e clicar em .



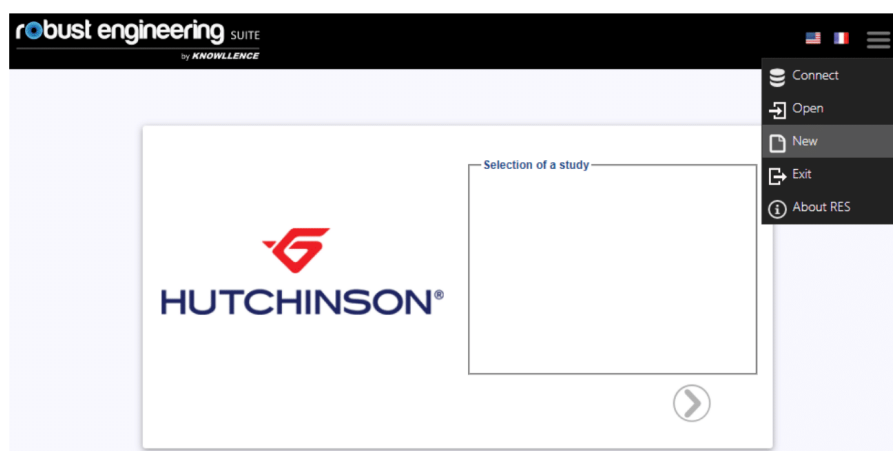
 HUTCHINSON® PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

c) Selecionar o User e introduzir a Palavra-Passe. Clicar em .



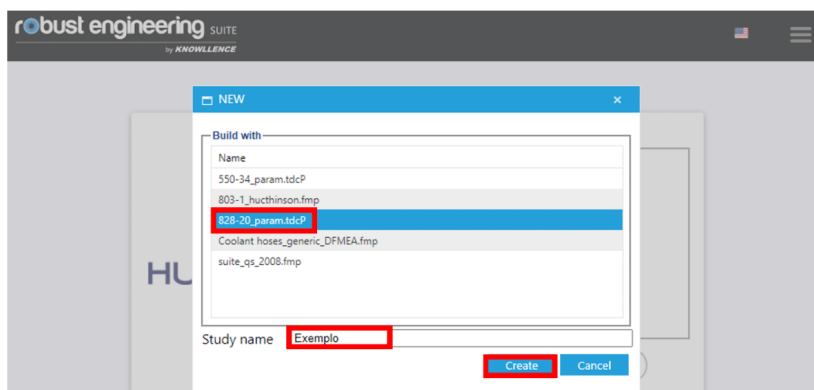
2) Criar um estudo novo

a) No menu, clicar em New.

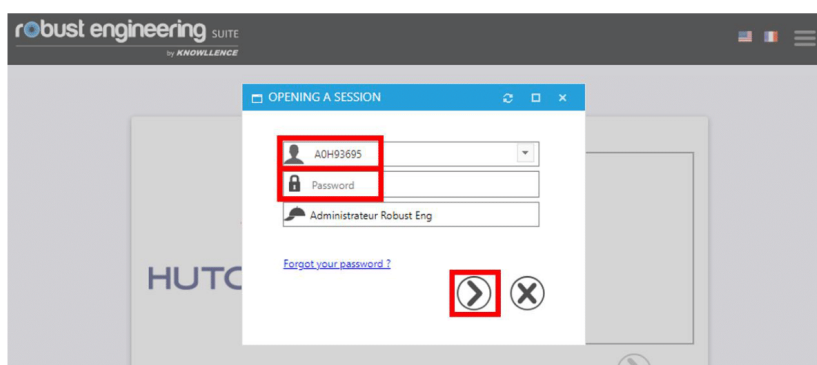


 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

- b) Selecionar 828-20_param.tdcP (metodologia AIAG-VDA), escrever o nome do estudo e clicar em Create.



- c) Selecionar o User e introduzir a Palavra-Passe. Clicar em .

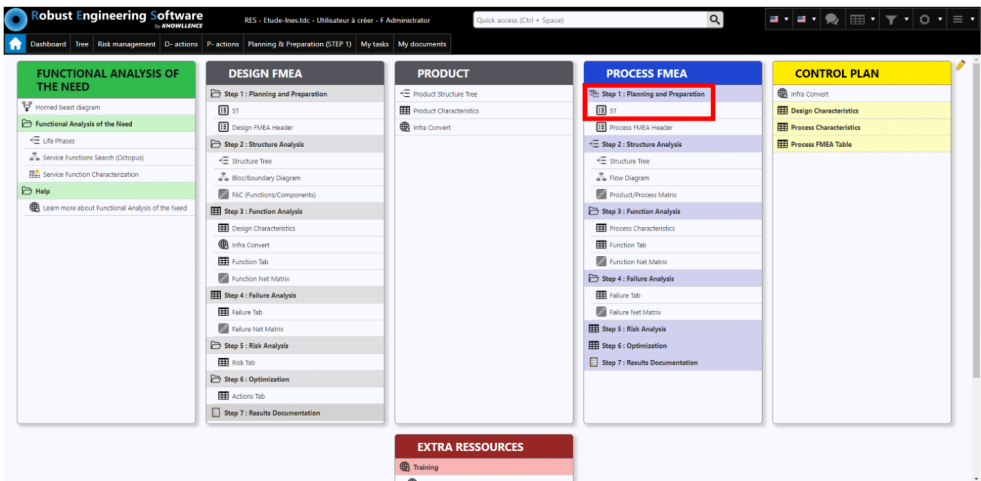


- d) Para mover o novo ficheiro a uma pasta criada ou até criar uma pasta nova, aceder no Windows a \\achltsap18.sd6.glb.corp.local\KnowllenceData-Prod\TDCStudy

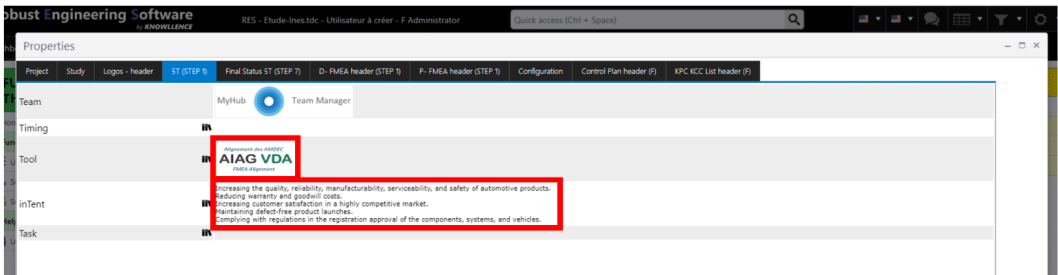
 EMISSION: QUALIDADE	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

3) STEP 1: Planning and Preparation

a) Na Homepage, no separador Process FMEA, clicar em 5T.



b) Preencher os campos “Tool”, “inTent” através do ícone . “Team” não necessita de alteração. “Timing” e “Task” são opcionais.



 HUTCHINSON® PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

- c) No separador Project, preencher os campos “Project name”, “Reference”, “System name”, “Starting date of the project”, “Manager”, “Description of the project”.

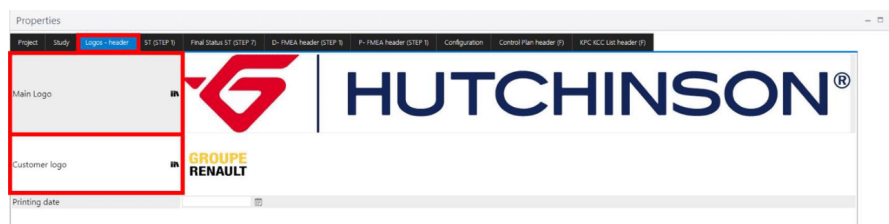
Properties	
Project	Study
Project name	RSA HHN
Reference	PPMEA transversal
System name	Assembly lines of AC parts for project HHN (AA2, AA4, AA6, AA15, AA26, AA29, AA31)
Starting date of the project	8/30/2021
Manager	Daniela MARTINS
Description of the project	Development of new AC lines for Project HHN. Part numbers: 924C48211R (T.81433A), 924412508R (T.81437) ...
Last used method:	FMEA
Project ID:	1676048341

- d) No separador Study, preencher os campos “Name of the study”, “Reference”, “Creation date of the study”, “Facilitator/moderator of the study”, “Goal of the study”, “Goals of the study”.

Properties	
Project	Study
Name of the study	RSA HHN
Reference	PPMEA transversal
Creation date of the study	2/10/2023
Facilitator/moderator of the study:	Daniela MARTINS
Goal of the study:	Development of AC lines for a new project
Goals of the study	Identification of the failure modes and effects analysis for the project AC lines
Date of last change:	2/15/2023
Results of the study:	
Customization	828-20_param.tdcp
Version	828-20 (40-) 4

 HUTCHINSON® PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

- e) No separador Logos - header, selecionar o logo da empresa e do cliente através do ícone  em “Main Logo” e “Customer logo”.



- f) Selecionar P-FMEA header (STEP 1). Preencher os campos “Company Name”, “Manufacturing Location”, “Customer Name”, “Model Year/Program(s)”, “Subject”, “Cross-Functional Team”, “Process Responsibility” e “Confidentiality Level”.

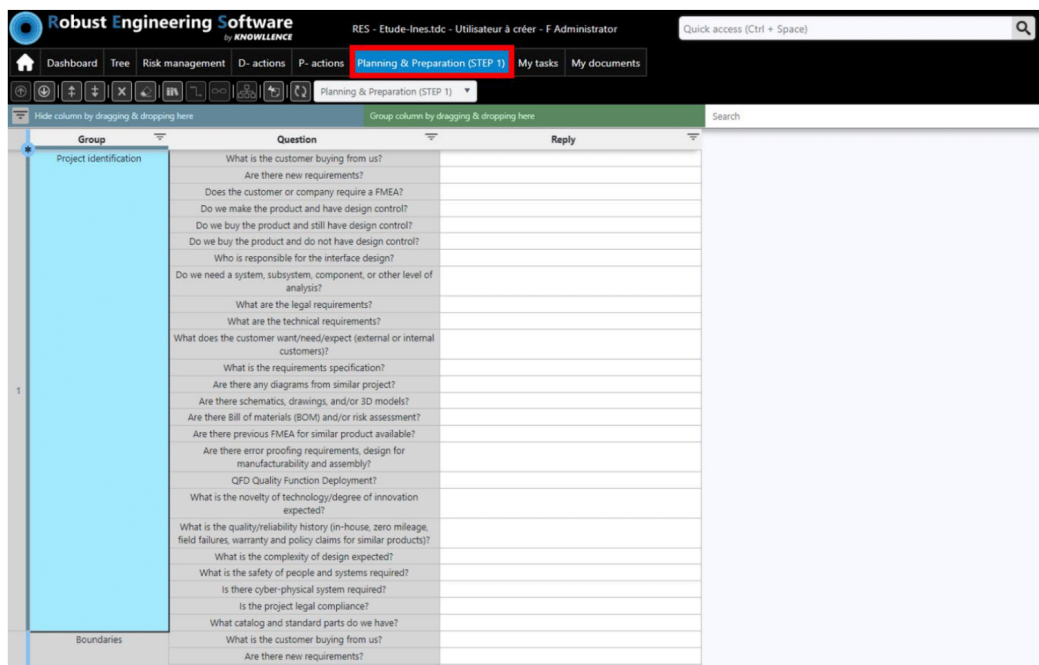
Properties

Project Study Logos - header ST (STEP 1) Final Status ST (STEP 7) D- FMEA header (STEP 1) **P- FMEA header (STEP 1)** Configuration Control Plan header (F) KPC KCC List header (F)

Company Name		Hutchinson
Manufacturing Location		Porto
Customer Name		Renault
Model Year/Program(s)		
Subject		PFMEA for Project XXX
PFMEA Team Manager		
Cross-Functional Team		
PFMEA ID Number		
Process Responsibility		
Confidentiality Level		Confidential

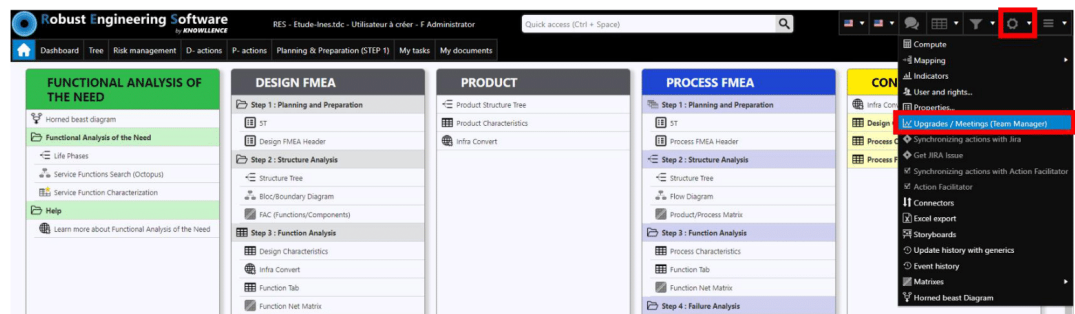
 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

- g) Uma lista de questões retiradas do Handbook da AIAG-VDA permitem identificar o projeto, incluindo assim uma clara perceção do que necessita de ser avaliado. Isto implica uma análise ao que deve ser incluído ou não no PFMEA em estudo. Para aceder, clicar em Planning & Preparation (STEP 1) na barra de ferramentas. Estas questões estão divididas em três grupos: Project identification, Boundaries e Scope.

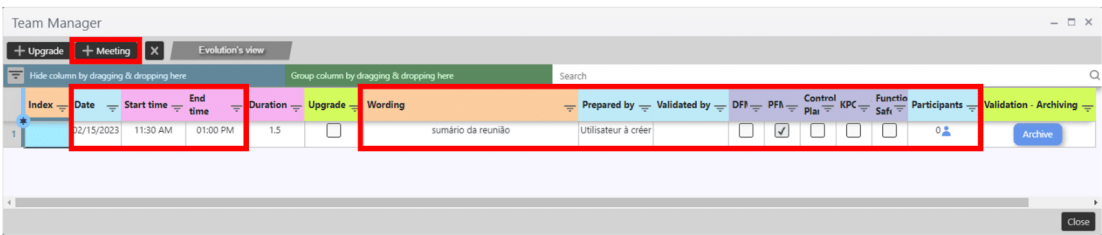


	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

h) Em relação às reuniões de PFMEA, na Homepage, clicar em  e depois em “Upgrades/Meetings (Team Manager)”.



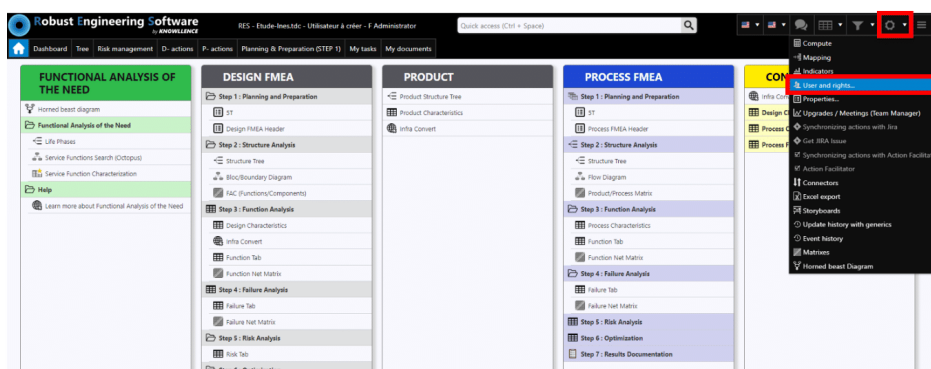
i) Clicar em “+ Meetings”. Preencher os campos: “Date”, “Start time”, “End time”, “Wording”, “Prepared by”, selecionar “PFMEA” e “Participants”.



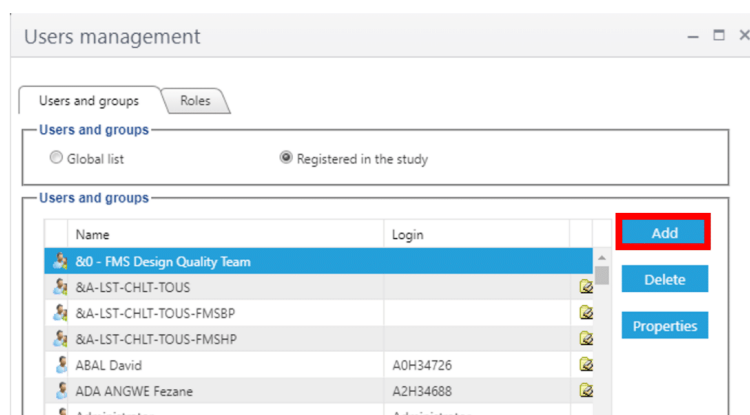
 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

j) Para adicionar os participantes, é necessário que estes tenham acesso ao estudo.

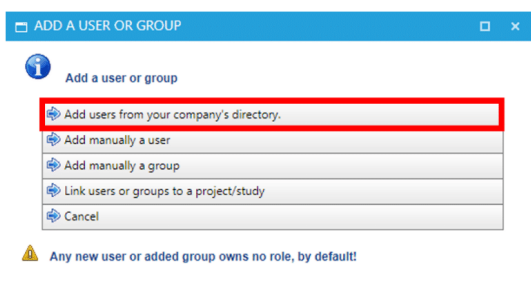
Para isso clicar em  e depois em User and rights.



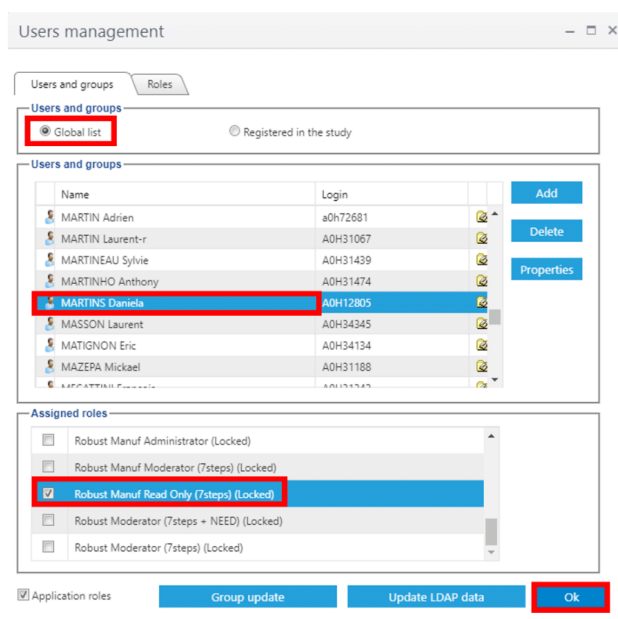
k) Clicar em Add e de seguida em Add users from your company's directory. Pesquisar o nome da pessoa, selecionar e Ok.



 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023



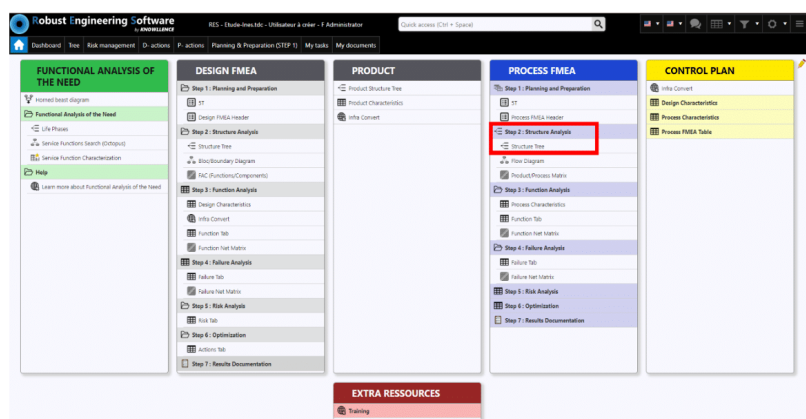
- l) Alterar a vista para Global list. Pesquisar o nome da pessoa, seleccionar o nome e seleccionar o role. Clicar em ok.



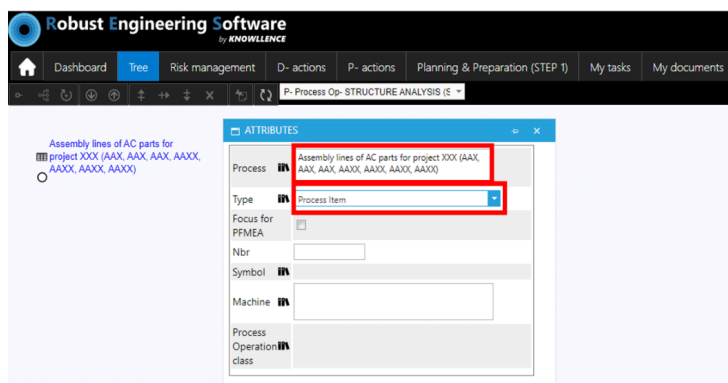
 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

4) STEP 2: Structure Analysis

a) Regressando à Homepage, selecionar a vista “Structure Tree”.

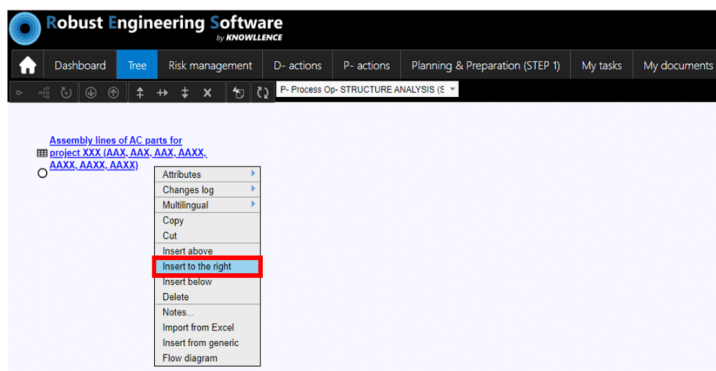


b) O 1º elemento da estrutura em árvore é o item de processo. Para alterar o nome, clicar sobre o nome a azul e selecionar Attributes. Os campos “Symbol”, “Machine” e “Process Operation class” são opcionais.

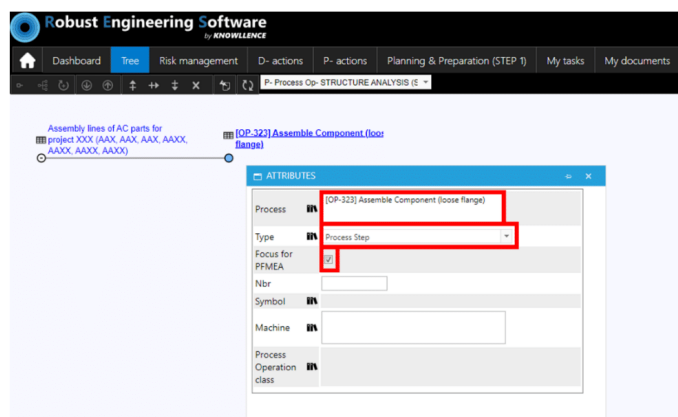


 HUTCHINSON® PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

- c) Para inserir as operações, clicar sobre o item de processo e “Insert to the right”.

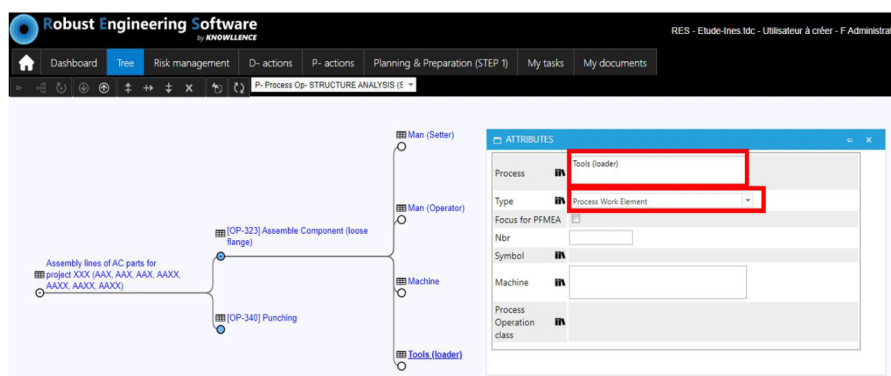


- d) Depois de adicionado, alterar novamente os atributos. Neste nível, são as operações do tipo Process step. Todas as operações deverão ser listadas desta forma e selecionadas como foco de estudo, “Focus for PFMEA”. Adicionalmente, as operações poderão ser listadas numa biblioteca para depois serem selecionadas .

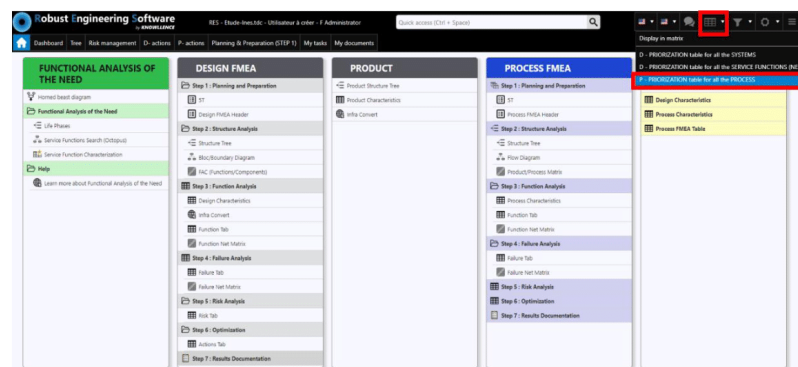


 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

- e) Adicionar do lado direito das operações, os elementos de trabalho de cada operação (4M ou 6M). Neste nível, os M são “Process Work Element”. Listar para todas as operações. Conforme dito anteriormente, podem ser criadas bibliotecas e depois seleccionar a que pretende .

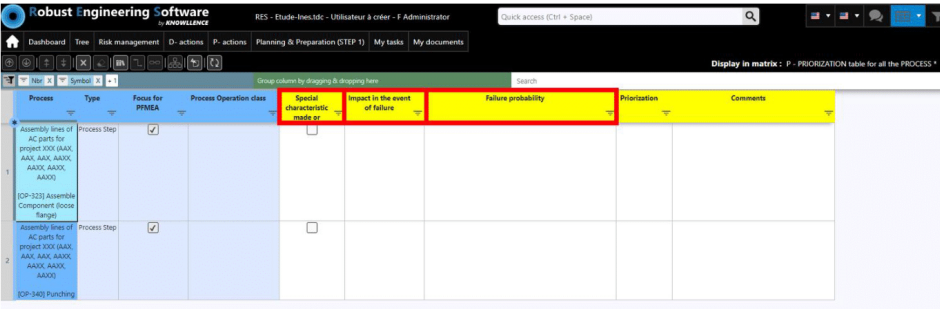


- f) Para definir prioridades, seleccionar  e “P-PRIORIZATION table for all the PROCESS”. Este passo apenas está disponível para elementos de foco.



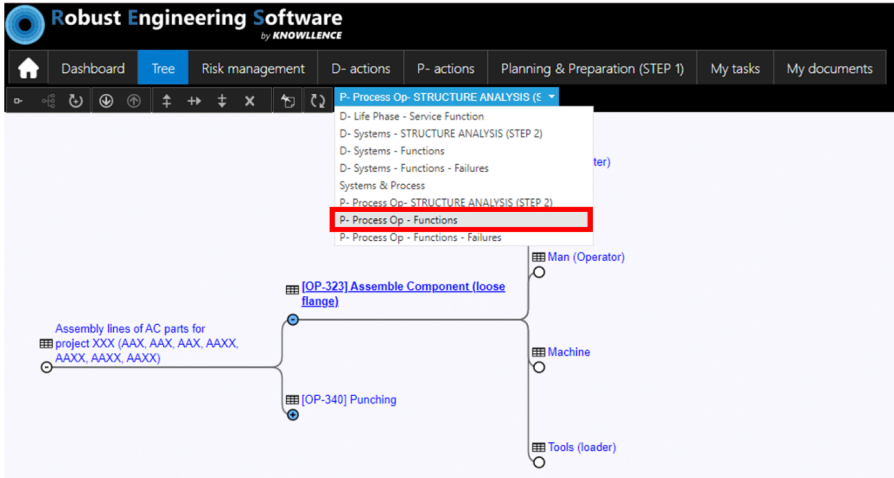
 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

g) Preencher os campos “Special characteristic made or degraded”, “Impact in the event of failure” e “Failure probability”.



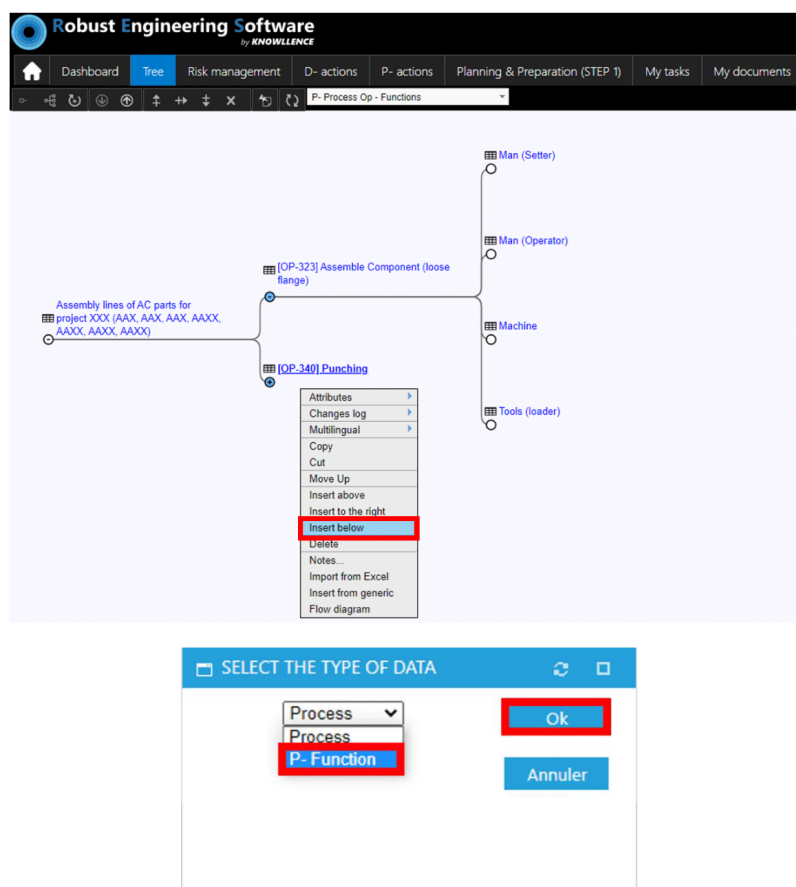
5) STEP 3: Function Analysis

a) Selecionar a vista “P-Process Op - Functions”.

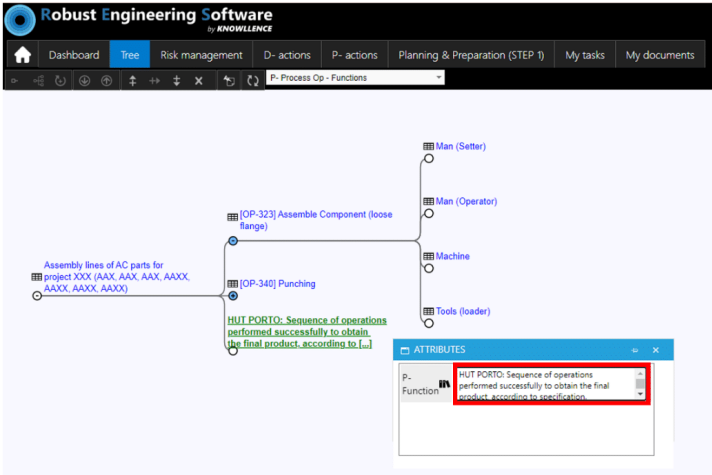


 HUTCHINSON® PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

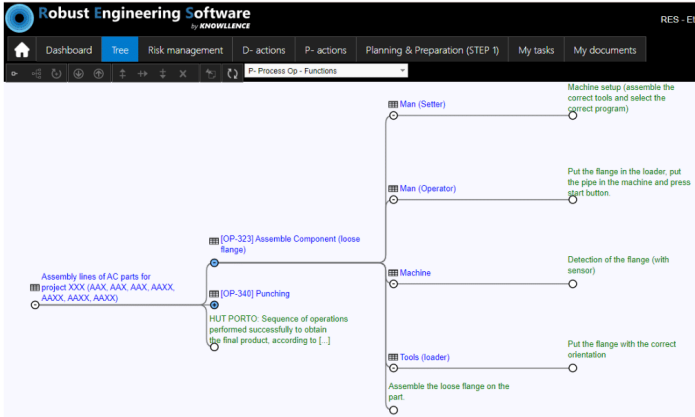
- b) Para adicionar uma função, clicar sobre a operação e Insert below. De seguida, uma janela abre, seleccionar P-Function e Ok. Escrever a função do item de processo (nível anterior). Outra opção, é criar uma biblioteca e seleccionar a função .



	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

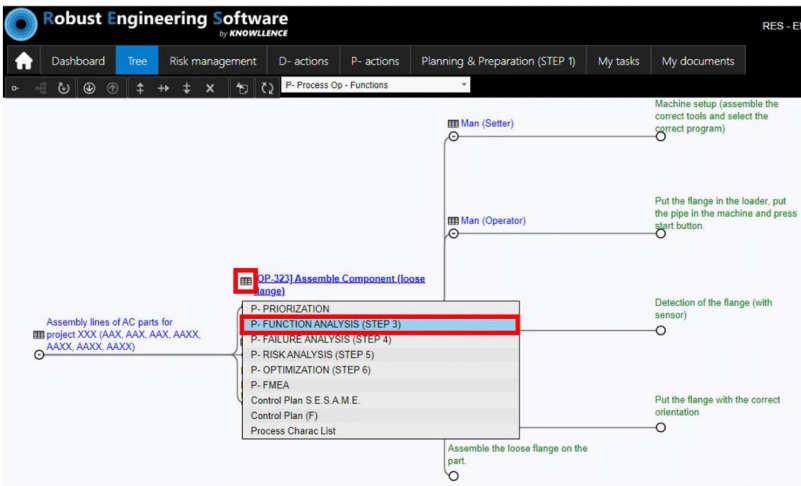


c) Da mesma forma, para adicionar as funções das operações, ir aos M, Insert below e escrever a função. Para as funções de cada M, é ir a cada M e Insert to right e adicionar. Verificar o exemplo abaixo.

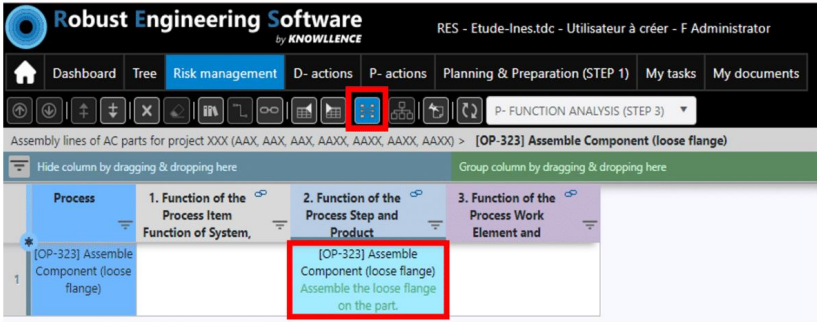


 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
	EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado Susana A.	26/04/2023

d) Após todas as funções estarem listadas, clicar em  de cada operação e seleccionar “P-FUNCTION ANALYSIS (STEP 3)”.

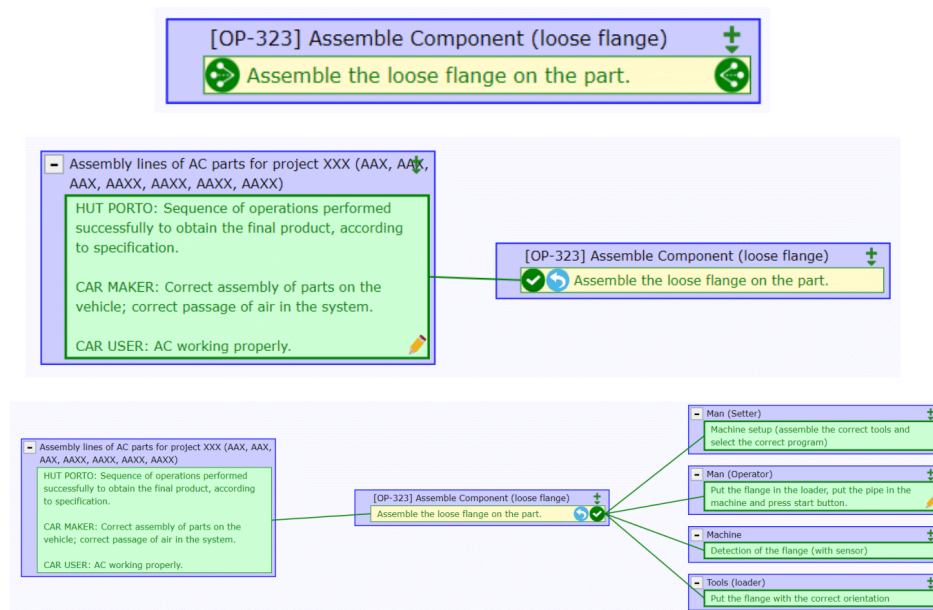


e) Selecionar o elemento do meio, “Function of the Process Step and Product” e clicar em  (Network).



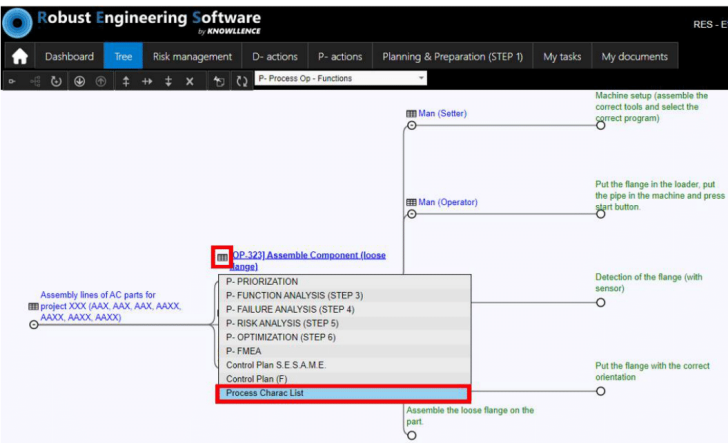
 HUTCHINSON® PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

- f) Agora, para ligar as funções do item de processo e dos elementos de trabalho às operações, seleccionar . Do lado esquerdo diz respeito ao nível superior e do lado direito ao nível inferior. Seleccionar a função (de branco passa a verde) e quando tiver a certeza de que tudo está definido, clicar em .



 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número:	I-QUA-107/A	Revisto	Inês C. 26/04/2023
	EMISSOR:	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A. 26/04/2023

- g) De modo a alocar características às funções, regressar à estrutura em árvore. Pressionar  de cada operação e clicar em Process Charac List.

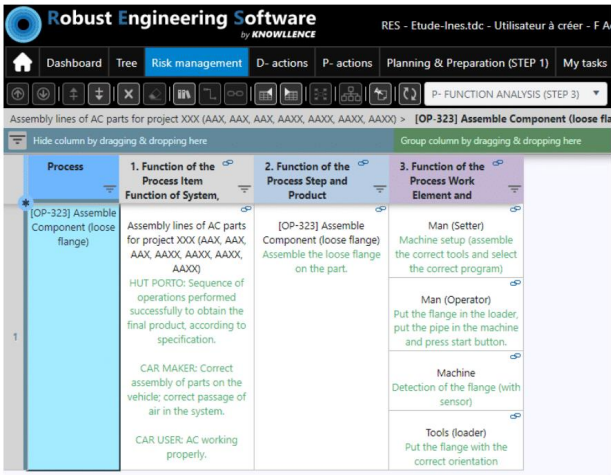


- h) Uma nova janela abre. Preencher as características associadas a cada M.

Robust Engineering software															
RES - Etude-Inetdc - Utilisateur à créer - F Administrator															
Quick access (Ctrl + Space)															
Dashboard Tree Risk management D- actions P- actions Planning & Preparation (STEP 1) My tasks My documents															
Process Charac List															
Assembly lines of AC parts for project XXX (AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX)															
OP-323 Assemble Component (loose flange)															
Process	Characteristics process	Nº	Class	Specification & Tolerances	Requirement (Process)	Poka Yoke number	Related standard	Covered by PMDA	Process Poka Yoke	Date of the last capability	Short term result	Long term result	SPC card (Yes/No)	Integrated in Control Plan	Assessment V6 capability
1	OP-323 Assemble Component (loose flange)														
2	Man (Setter)														
3	Man (Operator)														
4	Machine														
5	Tools (loader)														

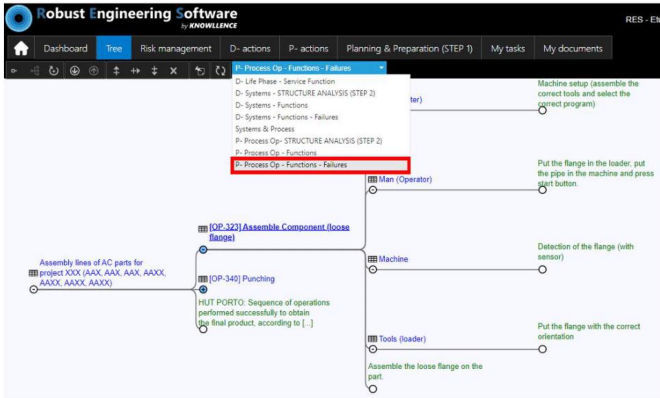
 EMISSION: QUALIDADE	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

i) Para validar este passo, voltar à tabela “P-FUNCTION ANALYSIS (STEP 3)”.



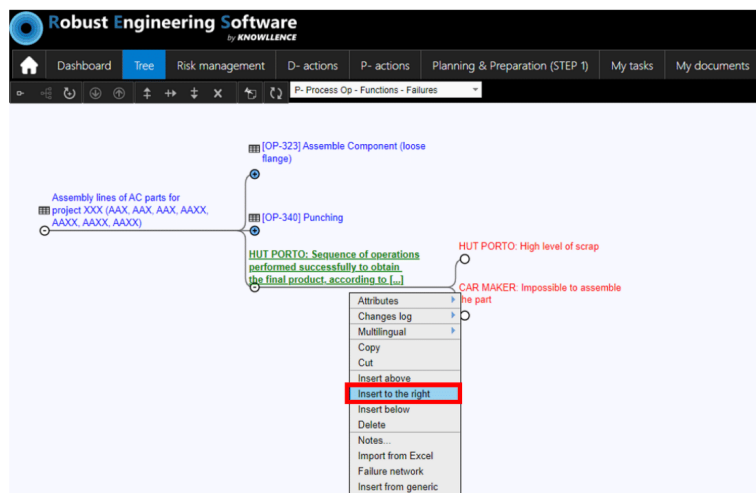
6) STEP 4: Failure Analysis

a) Na estrutura em árvore, selecionar a vista “P-Process Op – Functions – Failures”.

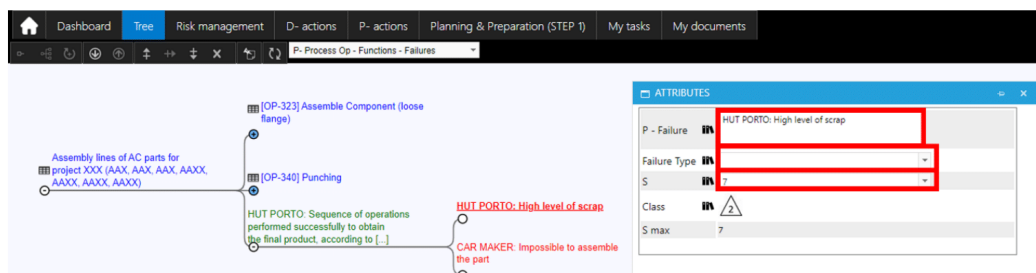


 HUTCHINSON® PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

- b) Para adicionar um modo de falha, clicar na função e Insert to the right. Neste nível, estamos perante o efeito do modo de falha.

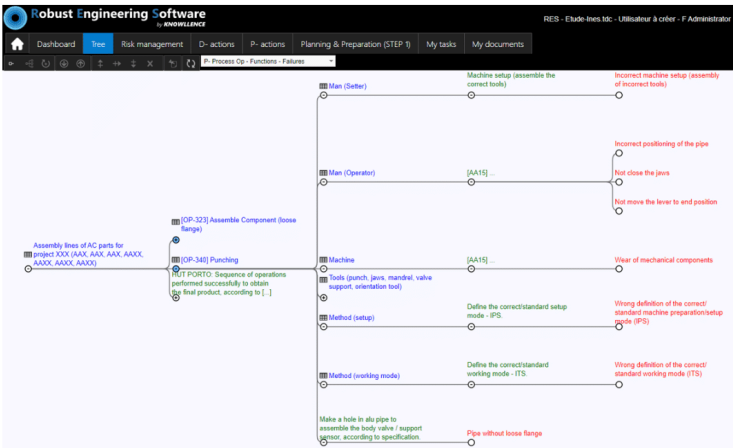


- c) Preencher os campos da falha: “P-Failure”, “Failure type” e “S” com a severidade respetiva. Outra opção é selecionar através da biblioteca o que pretende .

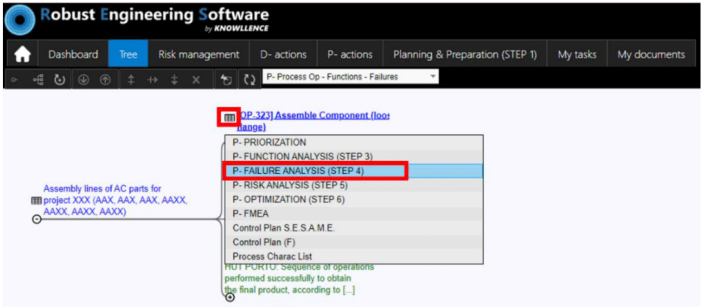


 EMISSOR: QUALIDADE	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

d) Da mesma forma, para adicionar o modo de falha é acrescentar à direita da função do passo do processo (cada operação). Para cada M, é ir a cada função de M, Insert to right e adicionar a causa. Verificar o exemplo abaixo.

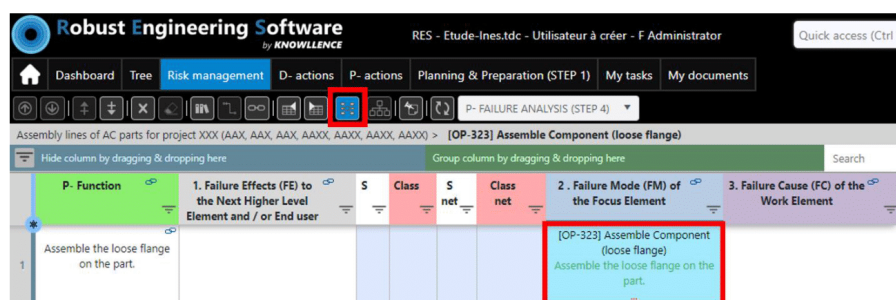


e) Após todas os efeitos/modos de falha/causas estarem listadas, clicar em  de cada operação e selecionar “P-FAILURE ANALYSIS (STEP 4)”.

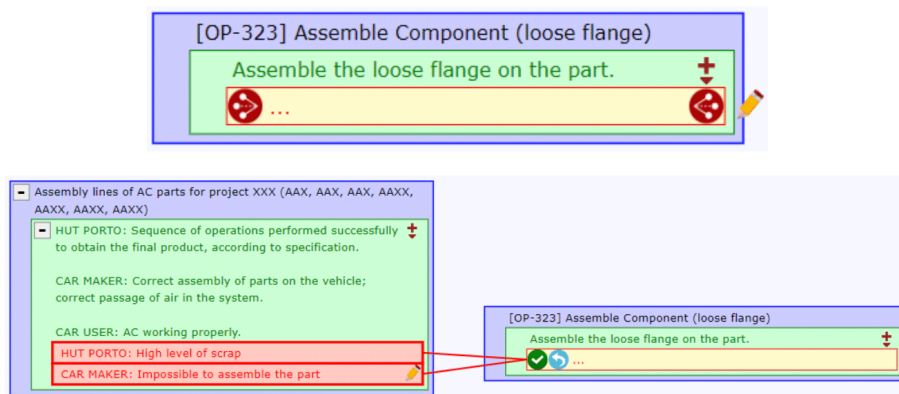


 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

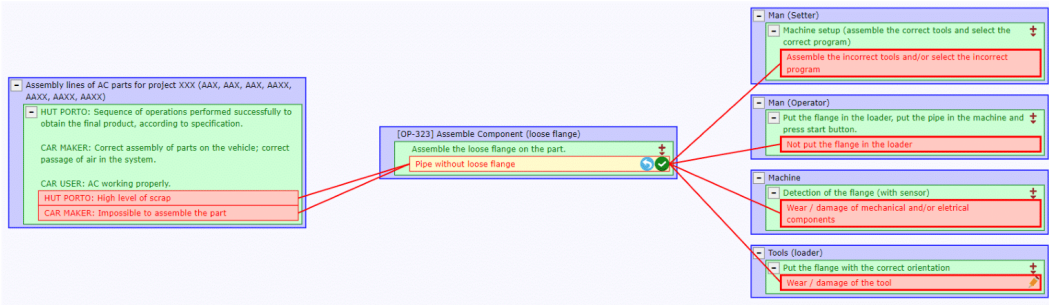
- f) Selecionar o elemento do meio, “Failure Mode (FM) of the Focus Element” e clicar em  (Network).



- g) Agora, para ligar as funções do item de processo e dos elementos de trabalho às operações, selecionar . Do lado esquerdo diz respeito ao nível superior e do lado direito ao nível inferior. Selecionar a função (de branco passa a vermelho) e quando tiver a certeza de que tudo está definido, clicar em .



 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
	EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado Susana A.	26/04/2023



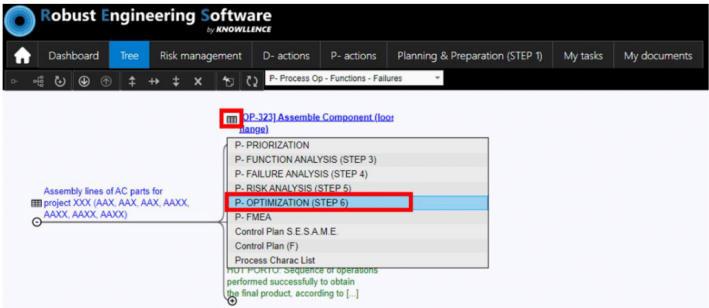
h) Voltar à tabela “FAILURE ANALYSIS (STEP 4)” para verificar as ligações.

 Robust Engineering Software by KNOWLEDGE									
RES - Etude-Ines.tdc - Utilisateur à créer - F Administrator									
Quick access (Ctrl +									
Dashboard Tree Risk management D- actions P- actions Planning & Preparation (STEP 1) My tasks My documents									
Assembly lines of AC parts for project XXX (AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX) > [OP-323] Assemble Component (loose flange)									
Hide column by dragging & dropping here Group column by dragging & dropping here Search									
P- Function	1. Failure Effects (FE) to the Next Higher Level Element and / or End user	S	Class	S net	Class net	2. Failure Mode (FM) of the Focus Element	3. Failure Cause (FC) of the Work Element		
Assemble the loose flange on the part.	Assembly lines of AC parts for project XXX (AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX, AAX) HUT PORTO: Sequence of operations performed successfully to obtain the final product, according to specification. CAR MAKER: Correct assembly of parts on the vehicle; correct passage of air in the system. CAR USER: AC working properly. HUT PORTO: High level of scrap (7) CAR MAKER: Impossible to assemble the part (5)	7				[OP-323] Assemble Component (loose flange) Assemble the loose flange on the part. Pipe without loose flange	Man (Setter) Machine setup (assemble the correct tools and select the correct program) Assemble the incorrect tools and/or select the incorrect program Man (Operator) Put the flange in the loader, put the pipe in the machine and press start button. Not put the flange in the loader Machine Detection of the flange (with sensor) Wear / damage of mechanical and/or electrical components Tools (loader) Put the flange with the correct orientation Wear / damage of the tool		

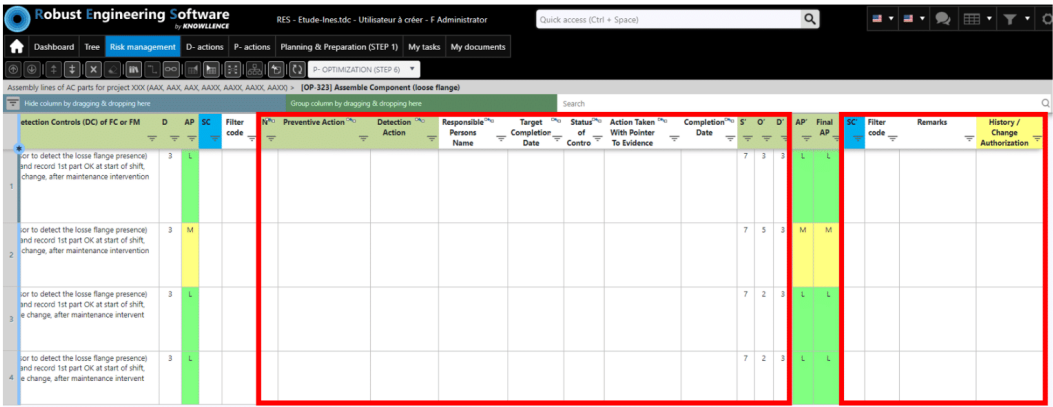
 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

8) STEP 6: Optimization

- a) Regressar à estrutura em árvore, clicar em  de cada operação e selecionar “P-OPTIMIZATION (STEP 6)”.



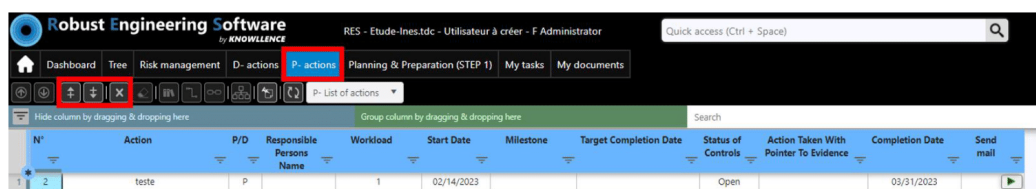
- b) Listar todas as ações, preenchendo os campos: “Nº”, “Preventive Action”, “Detection Action”, “Target Completion Date”, “Status of control”, “Action taken with pointer evidence”, “Completion date” e outros campos adicionais como “Remarks”.



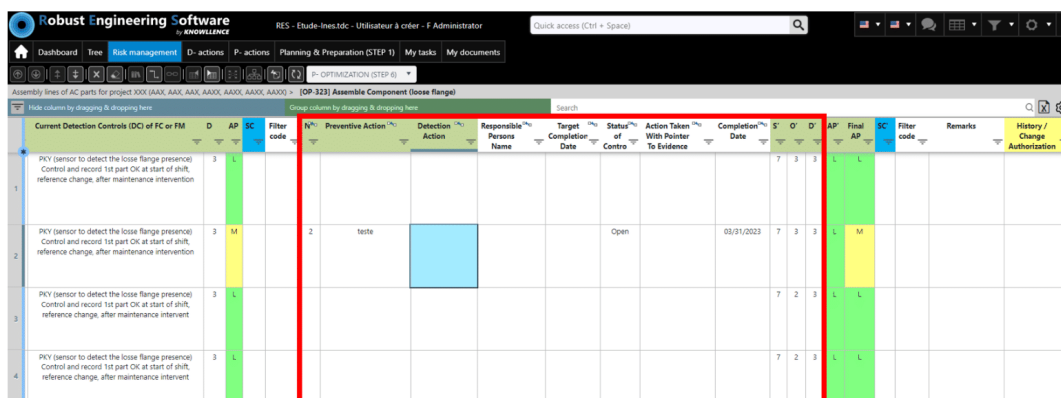
detection Controls (DC or FC or FM)	D	AP	SC	Filter code	Nº	Preventive Action	Detection Action	Responsible Persons Name	Target Completion Date	Status of Control	Action Taken With Pointer To Evidence	Completion Date	S	O	D	Final AP	SC	Filter code	Remarks	History / Change Authorization
or to detect the loose flange presence) and record 1st part OK at start of shift, change, after maintenance intervention	3	L											7	3	3	L	L			
or to detect the loose flange presence) and record 1st part OK at start of shift, change, after maintenance intervention	3	M											7	5	3	M	M			
or to detect the loose flange presence) and record 1st part OK at start of shift, change, after maintenance intervention	3	L											7	2	3	L	L			
or to detect the loose flange presence) and record 1st part OK at start of shift, change, after maintenance intervention	3	L											7	2	3	L	L			

 HUTCHINSON PORTO	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

- c) Outra opção é criar a biblioteca de ações e depois selecionar na coluna “Nº” da alínea b). Para isso, na barra de ferramentas, clicar em “P-actions”. Preencher os campos “Action”, “P/D”, “Responsible Persons Name”, “Start date”, “Milestone”, “Target completion date”, “Status of controls”, “Action taken with pointer to evidence”, “Completion date” e “Send mail”. Para adicionar mais ações clicar em  e para apagar, pressionar .



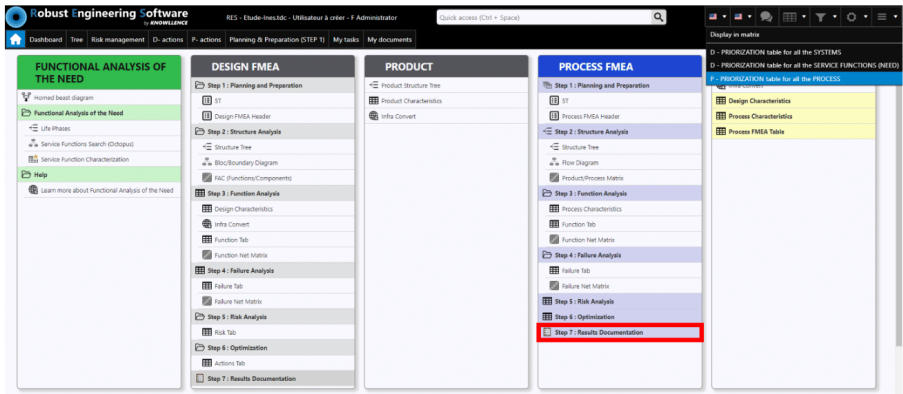
- d) Como se pode verificar na figura abaixo, a ação criada em c) foi selecionada e alterando o valor de “O” (ação de prevenção), o valor de AP altera automaticamente.



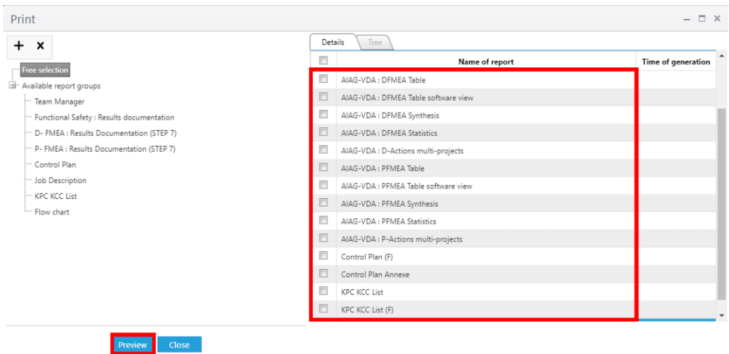
 EMISSION: QUALIDADE	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

9) STEP 7: Results Documentation

a) Na Homepage, seleccionar no separador azul “Step 7: Results Documentation”.

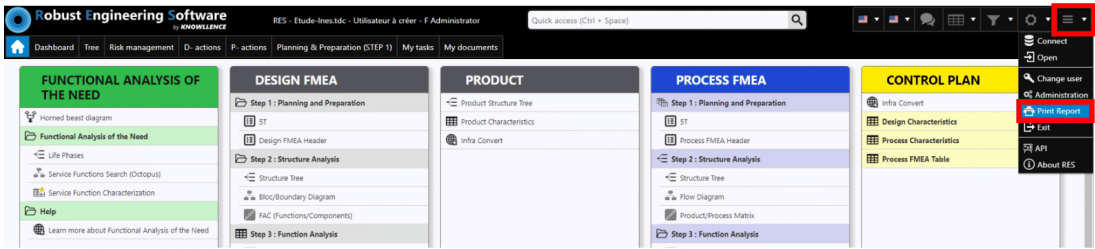


b) Existe a possibilidade de imprimir diferentes tipos de reports do PFMEA (AIAG-VDA PFMEA Table, AIAG-VDA PFMEA Synthesis, AIAG-VDA PFMEA Statistics, Flowchart, Control Plan e Job description). O report apenas imprime informação sobre o elemento foco. Seleccionar o(s) report(s) e clicar em Preview.



	INSTRUÇÃO		Assinatura	Data
	Número: I-QUA-107/A	Revisto	Inês C.	26/04/2023
EMISSOR: QUALIDADE	Título: Instrução de utilização do TDC web software	Aprovado	Susana A.	26/04/2023

c) Outra opção é selecionar  e clicar em Print Report.



RESPONSABILIDADES

A responsabilidade de aplicação desta instrução cabe ao Departamento de Qualidade.

APÊNDICE C – EXCERTO DO PFMEA DO PROJETO HHN

CONTINUOUS IMPROVEMENT		STRUCTURE ANALYSIS (STEP 2)			FUNCTION ANALYSIS (STEP 3)			FAILURE ANALYSIS (STEP 4)			RISK ANALYSIS (STEP 5)					OPTIMIZATION (STEP 6)						Remarks			
Issue #	History / Change Authorization (As Applicable) (This field is optional)	1. Process Item System, Subsystem, Part No and Name, Name of Process	2. Process Step Station No and Name, Element	3. Process Work Element AM Type	1. Function of the Process Item Function of System, Subsystem, Part Name of Process	2. Function of the Process Step and Product Characteristic (Quantitative value is optional)	3. Function of the Process Work Element and Process Characteristic	1. Failure Effects (FE)	Severity (S) of FE	2. Failure Mode (FM) or the Work Element	3. Failure Cause (FC) of the Work Element	Current Prevention Control (PS) of FC	Occurrence (O) of FC	Current Detection Controls (DC) of FC or PS	Detection (D) of FC/PM	PFMEA AP	Special Characteristics	Filter Code	Preventive Action	Detection Action	Responsible Person's Name		Target Completion Date (dd/mm/yyyy)	Status	Action Taken with Pointer to Evidence
306		Assembly lines of project HHN (AA2, AA4, AA9, AA15, AA26, AA29, AA31)	[OP-340] Punching	Tools (punch, mandrel, valve support, orientation tool)	HUT PORTO: Sequence of operations performed successfully to obtain the final product, according to specification. CAR MAKER: Correct assembly of parts on the vehicle; correct passage of air in the system. CAR USER: AC working properly.	Make a hole in alu pipe to assemble the mandrel and support sensor; according to specification.	Jaws: fix the pipe	HUT PORTO: valve not connected to pipe (7); Leak (8) CAR MAKER: Leak 0 km (5) CAR USER: Leak during warranty (6)	8	Hole too big	Absence of jaws	1st and 2nd level preventive maintenance	2	Visual control and record 1st part OK at start of shift, reference change, after maintenance intervention	6	M	△								△
307							[AA15] Mandrel: Hole calibration			Wear / damage of the mandrel		1st and 2nd level preventive maintenance	5	Visual control and record 1st part OK at start of shift, reference change, after maintenance intervention	6	M	△		Analyze the different mandrels and see if it is possible to standardize. O=2				9/24/2021	Completed	9/17/2021
308										Mandrel arrives from the supplier with dimensions out of specification		N/A	3	Visual control and record 1st part OK at start of shift, reference change, after maintenance intervention	6	M	△		Add a code to the tool (mandrel) and 2D drawing. O=2				12/17/2021	Completed	11/19/2021
																			Add the laboratory control and record of the mandrel at reception (creation of control plan). O=3, D=2				Completed	3/6/2023	

APÊNDICE D – EXCERTO DO PFMEA DO PROCESSO DE EMBUTIÇÃO

CONTINUOUS IMPROVEMENT	STRUCTURE ANALYSIS (STEP 2)			FUNCTION ANALYSIS (STEP 3)		FAILURE ANALYSIS (STEP 4)		RISK ANALYSIS (STEP 5)				OPTIMIZATION (STEP 6)						Remarks
	1. Process Item System, Station No. and Subsystem, Name of Focus Element or Name of Process	2. Process Step	3. Process Work Element 4M Type	1. Function of the Process Item Function of System, Subsystem, Part Element or Process	2. Function of the Process Step and Product Characteristic (Qualitative value is optional)	3. Function of the Process Work Element and Process Characteristic	1. Failure Effects (FE)	Severity (S) of FE	2. Failure Mode (FM) of the Focus Element	3. Failure Cause (FC) of the Work Element	Current Prevention Control (PC) of FC	Occurrence (O) of FC	Current Detection Controls (DC) of FC or FM	Detection (D) of FC/FM	PFMEA AP	Special Characteristics	Filter Code	
19	(CRA0013 - PT16 and CRA0012 - PT15) CRA0022 (PT32)	Tube transport from the loader/buffer into the endforming machine	Man	HUT PORTO: Automatic feeding of the components and pipes to the endforming machines by a 6 axis robot. The component is checked before being loaded to the machines (correct component). (CRA000x) CAR MAKER: Correct assembly of the parts on the vehicle; correct passage of air in the system. CAR USER: AC working properly.	HUT PORTO: Automatic feeding of the components and pipes to the endforming machines by a 6 axis robot. The component is checked before being loaded to the machines (correct component). (CRA000x) CAR MAKER: Correct assembly of the parts on the vehicle; correct passage of air in the system. CAR USER: AC working properly.	Setup, component feeding and pipe feeding. Robot/Automatic Feeder: - Correct: feeding of the pipe inside the Grazzioli machine claws - Correct: feeding of the components with the correct orientation Grazzioli endforming machine - Correct: endforming process.	HUT PORTO: scratches on the connection -> scrap (7) CAR MAKER: --- CAR USER: ---	7	Damaged part due to falling down on the floor Wear of the robot/stepfeeder gripper Oil excess on the part	Wrong program definition	Initial validation by a multidisciplinary team 2nd level maintenance 1st level maintenance	1 2 3	Visual control done by operator Visual control done by operator Visual control done by operator	7 7 7	L M M	L		
20			Equipment															
21																		
22	(CRA0013 - PT16 and CRA0012 - PT15) CRA0022 (PT32)	Tube transport from the loader/buffer into the endforming machine	Man	HUT PORTO: Automatic feeding of the components and pipes to the endforming machines by a 6 axis robot. The component is checked before being loaded to the machines (correct component). (CRA000x) CAR MAKER: Correct assembly of the parts on the vehicle; correct passage of air in the system. CAR USER: AC working properly.	HUT PORTO: Automatic feeding of the components and pipes to the endforming machines by a 6 axis robot. The component is checked before being loaded to the machines (correct component). (CRA000x) CAR MAKER: Correct assembly of the parts on the vehicle; correct passage of air in the system. CAR USER: AC working properly.	Setup, component feeding and pipe feeding. Robot/Automatic Feeder: - Correct: feeding of the pipe inside the Grazzioli machine claws - Correct: feeding of the components with the correct orientation Grazzioli endforming machine - Correct: endforming process.	HUT PORTO: scratches on the connection -> scrap (7) CAR MAKER: --- CAR USER: ---		Wrong program definition Wrong selection of production program	Wrong program definition	Initial validation by a multidisciplinary team Initial training	1 2	Visual control done by operator Automatic detection by sensors that compares the reference selected on the machine display and the aluminum length	7 3	L L	L		
23																		

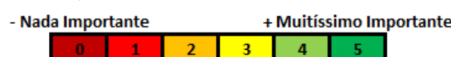
APÊNDICE E – INQUÉRITO FINAL SOBRE O PFMEA

Inquérito TDC *software* PFMEA

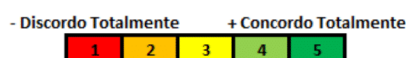
Este questionário realiza-se no âmbito de um caso de estudo inserido numa dissertação de Mestrado em Eng. Mecânica – Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto e destina-se a recolher e analisar perceções, com vista a avaliar o resultado da implementação do novo *software* TDC da *Knowllence* em substituição do Microsoft Excel. Os dados recolhidos serão também usados num estudo de comparação com o primeiro inquérito realizado, de forma a perceber a eficiência e eficácia da solução inquirida.

O inquérito é dirigido às equipas multifuncionais dos variados projetos da empresa (*Daimler, RSA e PSA*). O preenchimento do inquérito demora cerca de 10 minutos e todos os dados serão utilizados exclusivamente para fins científicos/académicos no âmbito do presente projeto, garantindo-se o anonimato dos participantes e a confidencialidade dos dados. O seu contributo é fundamental para a avaliação da solução implementada pelo Grupo como tal, noto a importância do seu envolvimento neste inquérito, que muito agradeço. Para esclarecimentos adicionais, contacte: ines.carreiras@hutchinson.com

Nas secções B e C, em que se solicita a classificação de 0 a 5, por favor, utilizar a seguinte escala (0-Nada Importante; 1-Pouco Importante; 2-Não Muito Importante; 3-Importante; 4-Muito Importante e 5-Muitíssimo Importante):



Nas restantes secções, em que se solicita a classificação de 1 a 5, por favor, utilizar a seguinte escala (1-Discordo Totalmente; 2-Discordo; 3-Neutro; 4-Concordo e 5-Concordo Totalmente):



Inês Carreiras
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Secção A: Geral

Sexo: ☐ Feminino ☐ Masculino

Idade: ____ Departamento: ____

Anos de trabalho na empresa: ____

Secção B: Desempenho do *software*

Classifique de 0 a 5, segundo a escala de importância, os seguintes aspetos de desempenho do novo *software* do PFMEA:

Facilidade de acesso _____
Facilidade de uso _____
Compatibilidade com o sistema operativo _____
Coerência com interface _____
Organização e clareza da informação _____

Confiabilidade geral _____

Desempenho geral _____

Outros. Quais? _____

Secção C: Eficácia e eficiência do *software*

Classifique de 0 a 5, segundo a escala de importância, os seguintes aspetos que beneficiam o PFMEA com a implementação do novo *software*:

Ligação automática com o DFMEA _____
Redução de tempo _____
Informação disponível mais completa e detalhada _____
Formato da documentação mais perceptível _____

Página | 1

Revisão e atualizações mais regulares _____
 Ligação automática com planos de controlo,
 planos de ação, etc. _____
 Redução em volume do PFMEA _____
 Atualizações automáticas na mesma
 família de produto _____

Outros. Quais?

Secção D: Usabilidade do *software*

Classifique de 1 a 5, segundo a escala de concordância, as seguintes afirmações relacionadas com a usabilidade do novo *software* do PFMEA:

As funções do *software* estão
 bem integradas _____
 A interface é agradável _____
 O *software* segue a metodologia
 de um PFMEA _____
 Usaria este *software* com frequência _____
 O *software* é melhor que o Excel _____
 Recomendo o *software* _____

Outros. Quais?

Secção E: Utilidade do *software*

Classifique de 1 a 5, segundo a escala de concordância, as seguintes afirmações relacionadas com a utilidade do *software* do PFMEA:

Usar este *software* vai permitir que as
 pessoas se comprometam mais _____
 O *software* dispõe de todas as funções
 necessárias _____
 O *software* é preciso nos resultados _____
 As bibliotecas são úteis _____
 O *software*, no geral, é útil _____
 A ligação do PFMEA com o DFMEA
 é útil _____
 Usar este *software* vai melhorar a minha
 performance em PFMEA _____
 Usar este *software* vai tornar mais fácil o
 meu trabalho _____
 Usar este *software* vai permitir realizar as
 tarefas mais rapidamente _____

Outros. Quais?

Secção F: Facilidade de uso do *software*

Classifique de 1 a 5, segundo a escala de concordância, as seguintes afirmações relacionadas com a facilidade de uso do *software* do PFMEA:

Foi fácil para mim aprender a usar o
software _____
 Foi fácil para as outras pessoas, aprender a
 usar o *software* _____
 Vai ser fácil para mim ficar hábil no uso do
software _____
 Vai ser fácil para mim tirar do *software* o
 que preciso _____
 A minha interação com o *software* é clara e
 compreensível _____
 O *software* é interativo _____
 O *software* é fácil de se usar _____
 O *software* é demasiado
 complexo _____
 É necessário apoio para usar
 o *software* _____
 Sinto-me confortável com
 o *software* _____

Outros. Quais?

Secção G: Fiabilidade do *software*

Classifique de 1 a 5, segundo a escala de concordância, as seguintes afirmações relacionadas com a fiabilidade do *software* do PFMEA:

O *software* é intuitivo _____
 Os outputs do *software* vão de acordo com
 os requisitos _____
 O *software* propõe-se a fazer o que é
 esperado _____
 O *software* tem muitas falhas _____

Outros. Quais?

Secção H: Avaliação final do *software*

Classifique de 1 a 5, segundo a escala de concordância, as seguintes afirmações relacionadas com a avaliação final do *software* do PFMEA:

No geral, estou satisfeito(a) com a facilidade em desenvolver um PFMEA no *software* ____

No geral, estou satisfeito(a) com a quantidade de tempo despendido em desenvolver um PFMEA no *software* ____

No geral, estou satisfeito(a) com a informação de suporte do *software* que existe ____

No geral, estou satisfeito(a) com o *software* ____

Outros. Quais?

O TDC *software* é uma ferramenta útil para elaborar o PFMEA?

☐ Sim ☐ Não

O TDC *software* é uma ferramenta *user-friendly* (amigável)?

☐ Sim ☐ Não

Concorda com a substituição do Excel para o novo *software*?

☐ Sim ☐ Não

Se Não, indique os motivos:

ANEXO A – Classificação dos índices do PFMEA

Tabela 16 – Classificação do índice de Severidade (Adaptado de (AIAG & VDA, 2019))

Critérios Gerais de Avaliação da Severidade (S) do Processo				
Potenciais Efeitos da Falha classificados de acordo com os critérios abaixo apresentados.				
S	Efeito	Impacto nas Instalações de Origem	Impacto nas Instalações de Destino (quando conhecido)	Impacto no Utilizador Final (quando conhecido)
10	Elevado	A falha pode resultar num sério risco para a integridade física e/ou risco de segurança dos trabalhadores das secções de produção ou montagem	A falha pode resultar num sério risco para a integridade física e/ou risco de segurança dos trabalhadores das secções de produção ou montagem	Afeta o funcionamento seguro do veículo e/ou de outros veículos, a integridade física do condutor ou do(s) passageiro(s) ou dos utilizadores da estrada ou dos peões.
9		A falha pode resultar em incumprimento de regulamentos internos nas instalações	A falha pode resultar em incumprimento de regulamentos internos nas instalações	Incumprimento de requisitos legais.
8	Moderadamente elevado	Pode ser necessário eliminar 100,0% da produção afetada	Paragem da linha com duração superior à totalidade do turno de produção; possibilidade de interrupção da expedição; necessidade de substituição ou reparação no terreno (da Montagem ao Utilizador Final) por motivos que não o incumprimento de regulamentos	Perda da função principal do veículo necessária para condução normal durante a vida útil esperada.
7		Pode ser necessário fazer a triagem do produto e eliminar uma parte (inferior a 100,0%); desvio em relação ao processo principal; menor cadência da linha ou mão de obra adicional	Paragem da linha com duração entre 1 hora e a totalidade do turno de produção; possibilidade de interrupção da expedição; necessidade de substituição ou reparação no terreno (Montagem para Utilizador Final) por motivos que não o incumprimento de regulamentos	Degradação da função principal do veículo necessária para condução normal durante a vida útil esperada.

Crêterios Gerais de Avaliação da Severidade (S) do Processo				
Potenciais Efeitos da Falha classificados de acordo com os cr�terios abaixo apresentados.				
S	Efeito	Impacto nas Instalações de Origem	Impacto nas Instalações de Destino (quando conhecido)	Impacto no Utilizador Final (quando conhecido)
6	Moderadamente baixo	Pode ser necessário retrabalhar fora da linha e aceitar 100,0% do turno de produção	Paragem da linha durante, no máximo, uma hora	Perda da função secundária do veículo.
5		Pode ser necessário retrabalhar fora da linha e aceitar uma parte do turno de produção	Menos de 100,0% do produto afetado; forte possibilidade de produtos adicionais com defeito; triagem necessária; sem paragem da linha	Degradação da função secundária do veículo.
4		Pode ser necessário retrabalhar na estação 100,0% do turno de produção antes de processar	Produtos com defeito desencadeiam um plano de reação significativo; produtos adicionais com defeito pouco prováveis; triagem não necessária	Aspeto, som, vibração, dureza ou h�ptica muito repreensíveis.
3	Baixo	Pode ser necessário retrabalhar na estação uma parte do turno de produção antes de processar	Produtos com defeito desencadeiam um plano de reação pouco significativo; produtos adicionais com defeito pouco prováveis; triagem não necessária	Aspeto, som, vibração, dureza ou h�ptica moderadamente repreensíveis.
2		Ligeiro inconveniente para o processo, operação ou operador	Produtos com defeito não desencadeiam um plano de reação; produtos adicionais com defeito pouco prováveis; triagem não necessária; requer <i>feedback</i> para o fornecedor	Aspeto, som, vibração, dureza ou h�ptica ligeiramente repreensíveis.
1	Muito baixo	Sem efeito discernível	Sem efeito discernível ou sem efeito	Sem efeito discernível.

Tabela 17 – Classificação do índice de Ocorrência (Adaptado de (AIAG & VDA, 2019))

Potencial de Ocorrência (O) do Processo			
Potenciais Causas das Falhas classificadas de acordo com os critérios abaixo apresentados. Ao determinar a melhor estimativa de Ocorrência, considere os Controlos de Prevenção. A Ocorrência é uma classificação qualitativa preditiva efetuada no momento da avaliação e pode não refletir a ocorrência efetiva. O número de classificação da ocorrência é uma classificação relativa no âmbito do FMEA (processo avaliado). Para Controlos de Prevenção com várias Classificações de Ocorrência, utilize a classificação que melhor reflete a robustez do controle.			
O	Previsão da Causa da Falha com Base no Tempo	Tipo de Controlo	Controlos de Prevenção
10	Sempre	Nenhum	Sem controlos de prevenção.
9	Quase sempre	Comportamental	Os controlos de prevenção terão efeito reduzido na prevenção da causa da falha.
8	Mais do que uma vez por turno		
7	Mais do que uma vez por dia	Comportamental ou Técnico	Os controlos de prevenção são ligeiramente eficazes na prevenção da causa da falha.
6	Mais do que uma vez por semana		
5	Mais do que uma vez por mês		Os controlos de prevenção são eficazes na prevenção da causa da falha.
4	Mais do que uma vez por ano		
3	Uma vez por ano	Melhores Práticas:	Os controlos de prevenção são altamente eficazes na prevenção da causa da falha.
2	Menos do que uma vez por ano	Comportamental ou Técnico	
1	Nunca	Técnico	Os controlos de prevenção são extremamente eficazes para evitar a ocorrência da causa da falha devido ao produto (p. ex., geometria da peça) ou processo (p. ex., conceção de ferramentas ou acessórios). Intenção dos controlos de prevenção - Não é possível produzir fisicamente o Modo de Falha devido à Causa da Falha.

Tabela 18 – Classificação do índice de Detecção (Adaptado de (AIAG & VDA, 2019))

Potencial de Detecção (D) para Validação da Conceção do Processo			
Controlos de Detecção classificados de acordo com a Maturidade do Método de Detecção e a Oportunidade de Detecção.			
D	Capacidade de Detecção	Maturidade do Método de Detecção	Oportunidade de Detecção
10	Muito baixa	Não foi definido nem é conhecido qualquer método de inspeção ou teste.	O modo de falha não será ou não pode ser detetado.
9		É pouco provável que o método de inspeção ou teste detete o modo de falha.	O modo de falha não é facilmente detetado através de inspeções esporádicas ou aleatórias.
8	Baixa	O método de inspeção ou teste não foi comprovado como eficaz e fiável (p. ex., a organização tem pouca ou nenhuma experiência com o método, resultados marginais em estudos R&R realizados em processos comparáveis ou nesta aplicação, etc.).	Inspeção humana (visual, tátil, audível) ou utilização de controlo manual (atributivo ou por variáveis) que deverá detetar o modo de falha ou a causa da falha.
7			Detecção baseada em equipamento (semi-automatizado, com notificação através de sinal luminoso, sinal sonoro, etc.), ou utilização de equipamentos de inspeção, como uma máquina de medição por coordenadas, que deverão detetar o modo de falha ou a causa da falha.
6	Moderada	O método de inspeção ou teste foi comprovado como eficaz e fiável (p. ex., a organização tem experiência com o método, resultados aceitáveis em estudos R&R realizados em processos comparáveis ou nesta aplicação, etc.).	Inspeção humana (visual, tátil, audível) ou utilização de controlo manual (atributivo ou por variáveis) que irá detetar o modo de falha ou a causa da falha (incluindo verificações por amostragem do produto).
5			Detecção baseada em equipamento (automatizado, com notificação através de sinal luminoso, sinal sonoro, etc.), ou utilização de equipamentos de inspeção, como uma máquina de medição por coordenadas, que irão detetar o modo de falha ou a causa da falha (incluindo verificações por amostragem do produto).

Potencial de Detecção (D) para Validação da Conceção do Processo			
Controlos de Detecção classificados de acordo com a Maturidade do Método de Detecção e a Oportunidade de Detecção.			
D	Capacidade de Detecção	Maturidade do Método de Detecção	Oportunidade de Detecção
4	Elevada	O sistema foi comprovado como eficaz e fiável (p. ex., a organização tem experiência com o método em processos idênticos ou nesta aplicação), resultados aceitáveis em estudos R&R, etc.	Método de deteção automatizada baseado em equipamentos que irão detetar o modo de falha num passo do processo posterior , evitar processamento adicional ou o sistema irá identificar o produto como discrepante e permitir que avance automaticamente no processo até chegar à área designada para segregação de material rejeitado. Os produtos discrepantes são controlados por um sistema robusto que irá impedir a saída do produto das instalações.
3			Método de deteção automatizada baseado em equipamentos que irão detetar o modo de falha na estação , evitar processamento adicional ou o sistema irá identificar o produto como discrepante e permitir que avance automaticamente no processo até chegar à área designada para segregação de material rejeitado. Os produtos discrepantes são controlados por um sistema robusto que irá impedir a saída do produto das instalações.
2		O método de deteção foi comprovado como eficaz e fiável (p. ex., a organização tem experiência com o método, verificações à prova de erros, etc.).	Método de deteção baseado em equipamentos que irão detetar a causa e prevenir que o modo de falha (peça discrepante) seja produzido.
1	Muito elevada	O modo de falha não pode ser produzido fisicamente conforme pretendido ou processado, ou foi comprovado que os métodos de deteção detetam sempre o modo de falha ou a causa da falha.	

Tabela 19 – Prioridade de Ação para PFMEA (Adaptado de (AIAG & VDA, 2019))

Prioridade de Ação (AP) para PFMEA						
A Prioridade de Ação baseia-se em combinações das classificações da Severidade, Ocorrência e Detecção de modo a dar prioridade a ações para redução de risco.						
Efeito	S	Previsão de Ocorrência da Causa da Falha	O	Capacidade de Detecção	D	Prioridade de Ação (AP)
Efeito nas Instalações ou no Produto Muito Elevado	9-10	Muito elevada	8-10	Baixa - Muito baixa	7-10	H
				Moderada	5-6	H
				Elevada	2-4	H
				Muito elevada	1	H
		Elevada	6-7	Baixa - Muito baixa	7-10	H
				Moderada	5-6	H
				Elevada	2-4	H
				Muito elevada	1	H
		Moderada	4-5	Baixa - Muito baixa	7-10	H
				Moderada	5-6	H
				Elevada	2-4	H
				Muito elevada	1	M
		Baixa	2-3	Baixa - Muito baixa	7-10	H
				Moderada	5-6	M
				Elevada	2-4	L
				Muito elevada	1	L
		Muito baixa	1	Muito elevada - Muito baixa	1-10	L
Efeito nas Instalações ou no Produto Elevado	7-8	Muito elevada	8-10	Baixa - Muito baixa	7-10	H
				Moderada	5-6	H
				Elevada	2-4	H
				Muito elevada	1	H
		Elevada	6-7	Baixa - Muito baixa	7-10	H
				Moderada	5-6	H
				Elevada	2-4	H
				Muito elevada	1	M
		Moderada	4-5	Baixa - Muito baixa	7-10	H
				Moderada	5-6	M
				Elevada	2-4	M
				Muito elevada	1	M
		Baixa	2-3	Baixa - Muito baixa	7-10	M
				Moderada	5-6	M
				Elevada	2-4	L
				Muito elevada	1	L
		Muito baixa	1	Muito elevada - Muito baixa	1-10	L

Efeito	S	Previsão de Ocorrência da Causa da Falha	O	Capacidade de Detecção	D	Prioridade de Ação (AP)
Efeito nas Instalações ou no Produto Moderado	4-6	Muito elevada	8-10	Baixa - Muito baixa	7-10	H
				Moderada	5-6	H
				Elevada	2-4	M
				Muito elevada	1	M
		Elevada	6-7	Baixa - Muito baixa	7-10	M
				Moderada	5-6	M
				Elevada	2-4	M
				Muito elevada	1	L
		Moderada	4-5	Baixa - Muito baixa	7-10	M
				Moderada	5-6	L
				Elevada	2-4	L
				Muito elevada	1	L
		Baixa	2-3	Baixa - Muito baixa	7-10	L
				Moderada	5-6	L
				Elevada	2-4	L
				Muito elevada	1	L
		Muito baixa	1	Muito elevada - Muito baixa	1-10	L
Efeito nas Instalações ou no Produto Baixo	2-3	Muito elevada	8-10	Baixa - Muito baixa	7-10	M
				Moderada	5-6	M
				Elevada	2-4	L
				Muito elevada	1	L
		Elevada	6-7	Baixa - Muito baixa	7-10	L
				Moderada	5-6	L
				Elevada	2-4	L
				Muito elevada	1	L
		Moderada	4-5	Baixa - Muito baixa	7-10	L
				Moderada	5-6	L
				Elevada	2-4	L
				Muito elevada	1	L
		Baixa	2-3	Baixa - Muito baixa	7-10	L
				Moderada	5-6	L
				Elevada	2-4	L
				Muito elevada	1	L
		Muito baixa	1	Muito elevada - Muito baixa	1-10	L
Sem Efeito Discernível	1	Muito baixa - Muito elevada	1-10	Muito elevada - Muito baixa	1-10	L

