



DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE MELHORIAS NA ÁREA DA MANUTENÇÃO PARA O AUMENTO DO OEE NA INDÚSTRIA CORTICEIRA

TIAGO MARÇAL MARTINS DUARTE

julho de 2021

DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE MELHORIAS NA ÁREA DA MANUTENÇÃO PARA O AUMENTO DO OEE NA INDÚSTRIA CORTICEIRA

Tiago Marçal Martins Duarte
1140517

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica





DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE MELHORIAS NA ÁREA DA MANUTENÇÃO PARA O AUMENTO DO OEE NA INDÚSTRIA CORTICEIRA

Tiago Marçal Martins Duarte
1140517

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Especialista Eduardo Gil da Costa

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica





JÚRI

Presidente

Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Especialista Eduardo Gil da Costa

Professor adjunto convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Professora Doutora Maria Beatriz Oliveira

Professor Auxiliar Convidado, Departamento de Engenharia e Gestão Industrial, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Eduardo pela sua orientação, que foi fundamental para a conclusão desta dissertação. Estou muito grato pela sua disponibilidade, apoio, discernimento e olhar crítico ao longo do desenvolvimento deste projeto.

À empresa acolhedora pela oportunidade de poder estar em contacto com uma indústria inovadora e também pela oportunidade de poder fazer parte de uma equipa muito profissional e dedicada.

Ao meu orientador na empresa, o Luís, por todo o apoio e compreensão. Aos restantes colaboradores quero agradecer por todo o suporte e dedicação durante a realização do projeto.

Por fim, quero agradecer aos meus familiares e aos meus amigos por todo o apoio incondicional. Aos meus pais, Joaquim e Laura, por mostrarem que a dedicação e humildade são a combinação perfeita para atingir os objetivos. Ao meu irmão, Diogo, por me encorajar e alegrar nos momentos mais difíceis. Um agradecimento muito especial à Ana por toda ajuda, compreensão e amor dado ao longo de todo este percurso. Aos meus amigos por todo o encorajamento e apoio.

PALAVRAS CHAVE

OEE, Manutenção, Disponibilidade, Paragens, FMEA, Melhorias, Sistema de apoio, Peças de reserva

RESUMO

A globalização e o dinamismo associado ao ambiente empresarial têm impulsionado as empresas a procurar e criar novas formas de aumentar a sua vantagem competitiva face aos seus concorrentes. Para tal, empresas industriais têm procurado implementar estratégias que lhes permitam aumentar a eficiência e eficácia das suas atividades de manutenção. Estas atividades têm particular relevância em empresas de capital intensivo, como é o caso da empresa em estudo, onde o custo associado ao tempo de inatividade dos equipamentos é crítico. Para além disso, dado o crescimento da procura dos produtos da empresa, aglomerados de cortiça, a disponibilidade dos equipamentos da empresa tornou-se ainda mais crítica e o seu aumento um dos pilares estratégicos da empresa.

Um dos objetivos da empresa era aumentar o OEE, que apesar de elevado, cerca de 86% no ano 2020 na secção identificada como crítica, não era suficiente para alcançar o exigente plano de produção para o ano seguinte. A empresa pretendia reduzir o número e a duração de paragens forçadas para manutenção não planeada, que por vezes comprometia os prazos de entrega e ocupava recursos que deveriam estar alocados a outras tarefas de produção e/ou de manutenção preventiva. Assim sendo, a presente dissertação procura através da análise e melhoria de processos de manutenção corretiva aumentar a disponibilidade e eficiência da linha de produção da empresa e consequentemente o valor do OEE para um valor superior a 90% nesta secção.

O estudo iniciou-se pela análise exaustiva da situação inicial da empresa, tendo-se recorrido a ferramentas como a análise ABC, diagramas causa-efeito e análise FMEA. Esta análise, que foi realizada em conjunto com uma equipa multidisciplinar, permitiu a identificação e implementação de diversas propostas de melhoria, que incluíram alterações nos equipamentos que geravam mais tempos improdutivos, assim como a construção de um sistema de apoio à manutenção corretiva. O objetivo desta ferramenta/sistema é aumentar a eficiência de qualquer intervenção realizada, através do auxílio na identificação de componentes e avarias, da sistematização de procedimentos perante avarias e ainda avaliar/identificar quais as peças de reserva mais críticas.

Apesar de algumas das propostas apresentadas serem simples e sem impacto significativo na redução do OEE, quando combinadas permitiram alcançar o objetivo de atingir um OEE superior a 90%. O valor médio de OEE nos meses entre a implementação das melhorias e a conclusão deste estudo foi de 91%. Um aumento de OEE de cerca de 5 pontos percentuais numa linha com uma capacidade produtiva tão elevada demonstra a eficácia das propostas implementadas ao longo deste estudo.

KEYWORDS

OEE, Maintenance, Availability, Downtime, FMEA, Improvements, Support System, Spare parts

ABSTRACT

Globalization and the dynamism associated with the business environment have driven companies to seek and create new ways of increasing their competitive advantage over their competitors. To this end, industrial companies have been seeking to implement strategies that allow them to increase the efficiency and effectiveness of their maintenance activities. These activities have particular relevance in capital-intensive companies, as is the case of the company under study, where the cost associated with equipment downtime is critical. Furthermore, given the growth in the demand for the company's products, cork agglomerates, the availability of the company's equipment became even more critical and its increase became one of the company's strategic pillars.

One of the company's objectives was to increase the OEE, which although high, around 86% in the year 2020 in the section identified as critical, was not sufficient to achieve the demanding production plan for the following year. The company wanted to reduce the number and duration of downtime for unplanned maintenance, which sometimes compromised delivery deadlines and occupied resources that should have been allocated to other production and/or preventive maintenance tasks. Therefore, this dissertation seeks through analysis and improvement of corrective maintenance processes to increase the availability and efficiency of the company's production line and, consequently, the OEE to a value higher than 90% in this section.

The study began with an exhaustive analysis of the company's initial situation, for which tools such as ABC analysis, cause-effect diagrams and FMEA analysis were used. This analysis, which was carried out with a multidisciplinary team, enabled the identification and implementation of various improvement proposals which included some changes in the equipment's that generated more unproductive times, as well as the construction of a system to support corrective maintenance. The objective of this tool/system is to increase the efficiency of any intervention carried out, through the aid in the identification of components and failures, the systematization of procedures in case of failures and the evaluation/identification of the most critical spare parts.

Although some of the proposals presented were simple and without a high impact on OEE reduction, when combined they allowed the objective of reaching an OEE higher than 90% to be achieved. The average OEE value in the months between the implementation of the improvements and the conclusion of this study was 91%. An OEE increase of around 5 percentage points on a line with such a high production capacity demonstrates the effectiveness of the proposals implemented throughout this study.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

AFNOR	Associação Francesa de Normalização
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
CMMS	<i>Computerized Maintenance Management System</i>
DSS	<i>Decision Support Systems</i>
D	Índice de Detecção
ESS	<i>Executive Support Systems</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
FMECA	<i>Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis</i>
FSN	<i>Fast-moving, Slow-moving, Non-moving stock</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JIPM	<i>Japan Institute of Plant Management</i>
MIS	<i>Management Information Systems</i>
MMIS	<i>Maintenance Management Information Systems</i>
NP	Norma Portuguesa
O	Índice de Ocorrência
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OPL	<i>One Point Lessons</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
S	Índice de Severidade
SI	Sistema de Informação
SCADA	<i>Supervisory control and data acquisition</i>
TPS	<i>Transaction Processing Systems</i>
TSHF	Transportador Helicoidal Rosca sem fim
VED	<i>Vital, Essential and Desirable</i>
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>

Lista de Unidades

min	Minutos
m	Metros
m/min	Metros por minuto

GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>Lead time</i>	Tempo entre o momento do pedido do cliente até a chegada do produto a ele
<i>Know-how</i>	Conjunto de conhecimentos práticos (informações, tecnologias, técnicas, procedimentos, etc.) adquiridos por uma empresa ou um profissional, que lhe confere vantagens competitivas.
Processos produtivos <i>core</i>	Processos estrategicamente importantes tendo em conta a orientação da empresa e que contribuem significativamente para o sucesso empresarial.
<i>Troubleshooting</i>	Abordagem sistemática à resolução de problemas/avarias que é frequentemente utilizada na reparação de equipamentos.
<i>Roller rods</i>	Elementos tubulares circulares de aço com perfil oco responsáveis pela prensagem da tela metálica da Prensa presente na secção II.
<i>Double Belt Press</i>	Prensa de dupla cinta
<i>Sheeter</i>	Equipamento de corte em placas muito finas
<i>Bunker</i>	Balança doseadora com pesagem contínua

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - PERDAS ASSOCIADAS AOS TEMPOS DOS EQUIPAMENTOS (ADAPTADO DE JASIULEWICZ-KACZMAREK & PIECHOWSKI, 2016)	35
FIGURA 2 - ETAPAS NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO (ADAPTADO DE MÁRQUEZ, 2007)	38
FIGURA 3 - TIPOS DE MANUTENÇÃO (ADAPTADO DE NP EN 13306, 2007)	39
FIGURA 4 - <i>ICEBERG</i> DOS CUSTOS VERDADEIROS DA MANUTENÇÃO (M. SANTOS, 2009)	42
FIGURA 5 - RELAÇÃO ENTRE A MANUTENÇÃO CORRETIVA, MANUTENÇÃO PREVENTIVA E CUSTOS POR PARAGEM DE PRODUÇÃO (ADAPTADO DE THE CLEMENT INSTITUTE, N.D.)	43
FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA APLICADA NO DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA FMEA (ADAPTADO DE SMITH & MOBLEY (2005) E IEC 60812:2006 - ANALYSIS TECHNIQUES FOR SYSTEM RELIABILITY - PROCEDURE FOR FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA), 2006)	48
FIGURA 7 - ABORDAGEM INTEGRADA À GESTÃO DE PEÇAS DE RESERVA (ADAPTADO DE BACCHETTI & SACCANI, 2012)	59
FIGURA 8 - ABORDAGEM INTEGRADA À CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS DE RESERVA (ADAPTADO DE FERREIRA ET AL. ,2018)	59
FIGURA 9 - APLICAÇÃO DAS PLACAS DE CORTIÇA PRODUZIDAS PARA A INDÚSTRIA DO PAVIMENTO	67
FIGURA 10 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO	69
FIGURA 11 - LAYOUT DA LINHA DE PRODUÇÃO EM ESTUDO	70
FIGURA 12 - EXTRATOR ROTATIVO PRESENTE NOS SILOS (DENIS, 2020)	71
FIGURA 13 - SECÇÃO I: SISTEMA DE EXTRAÇÃO DO GRANULADO DE CORTIÇA (ATÉ À MISTURA DO GRANULADO DE CORTIÇA COM A RESINA)	72
FIGURA 14 - SECÇÃO I: SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DA PRENSA, EM A) ESQUEMA COM A REPRESENTAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DESTES SISTEMA E EM B) PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO THSF ROTATIVO E A FORMADORA	74
FIGURA 15 - ESQUEMA DA PRENSA	75
FIGURA 16 - SISTEMA DE CORTE (LADO ESQUERDO) E SISTEMA DE REBOBINAGEM (LADO DIREITO) - FORMAÇÃO DO ROLO INDUSTRIAL	76
FIGURA 17 - CONSTITUIÇÃO DE UM SISTEMA SCADA (FONTE: BOARETTO, 2005)	77
FIGURA 18 - SALA DE CONTROLO E INTERFACES HOMEM-MÁQUINA OBTIDAS ATRAVÉS DO SISTEMA SCADA	79
FIGURA 19 - PROCESSO DE LIXAGEM	81
FIGURA 20 - PROCESSO DE REBOBINAGEM	81
FIGURA 21 - PROCESSO DE CORTE PLACAS FINAS OU FOLHAS	82
FIGURA 22 - DIAGRAMA DE PARETO DO NÚMERO DE AVARIAS QUE GERARAM TEMPO IMPRODUTIVO POR SECÇÃO	84
FIGURA 23 - DIAGRAMA DE PARETO DO NÚMERO DE AVARIAS QUE GERARAM TEMPO IMPRODUTIVO POR EQUIPAMENTO (SECÇÃO I E II)	86
FIGURA 24 - EVOLUÇÃO DO OEE E RESPECTIVOS FATORES NO ANO DE 2020	89
FIGURA 25 - DIAGRAMA CAUSA-EFEITO DOS DIFERENTES PROBLEMAS DA MANUTENÇÃO DA SECÇÃO II	90

FIGURA 26 - DIAGRAMA CAUSA E EFEITO OBTIDO DO MODO DE FALHA “RISCOS SUPERFICIAIS NA TELA METÁLICA”	96
FIGURA 27 - ANÁLISE DA AVALIAÇÃO DE RISCO ASSOCIADA OS POTENCIAIS MODOS DE FALHAS IDENTIFICADOS NO FMEA	98
FIGURA 28 - ANÁLISE DOS TRÊS ÍNDICES (S, O E D) DA ANÁLISE FMEA EFETUADA	99
FIGURA 29 - REDE PENEIRA INSTALADA ANTES DA MISTURAÇÃO	102
FIGURA 30 - CORRENTES PRESENTES NA PRENSA (1 - CORRENTE SUPERIOR DE AQUECIMENTO, 2 - CORRENTE INFERIOR DE AQUECIMENTO, 3 - CORRENTE SUPERIOR DE ARREFECIMENTO E 4 - CORRENTE INFERIOR DE ARREFECIMENTO)	104
FIGURA 31 - DIAGRAMA DE PARETO DO NÚMERO DE AVARIAS QUE GERARAM TEMPO IMPRODUTIVO POR CORRENTES NA PRENSA	105
FIGURA 32 - DISPOSIÇÃO DOS ALARMES NA INTERFACE HMI NO SISTEMA SCADA DA SECÇÃO II	106
FIGURA 33 - DIFERENTES ELEMENTOS PRESENTES NO SURGIMENTO DE UM ALARME	107
FIGURA 34 - NOMENCLATURA DA DESCRIÇÃO DE ALARMES NA SECÇÃO II	108
FIGURA 35 - IDENTIFICAÇÕES DOS RESPECTIVOS COMPONENTES A QUAL POSSUEM CODIFICAÇÃO (ASSINALADOS A VERMELHO)	108
FIGURA 36 - SISTEMA DE APOIO À MANUTENÇÃO - PRENSA (SEGMENTO COMPONENTES)	110
FIGURA 37 - SEGMENTO TROUBLESHOOTING DO SISTEMA DE APOIO À MANUTENÇÃO	112
FIGURA 38 - IMPORTÂNCIA DE CADA CRITÉRIO E RESPECTIVA CLASSIFICAÇÃO	116
FIGURA 39 - CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS DE RESERVA E RESPECTIVAS CLASSES	117
FIGURA 40 - ESTADO DA REDE PENEIRA APÓS IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA DE MELHORIA	118
FIGURA 41 - NÚMERO DE AVARIAS QUE GERARAM TEMPO IMPRODUTIVO NO SUBSISTEMA CORRENTES	119
FIGURA 42 - POSSÍVEL ALARME PRESENTE NA INTERFACE HMI DA SECÇÃO II	120
FIGURA 43 - POSSÍVEL ALARME PRESENTE NA INTERFACE HMI DA SECÇÃO II	120
FIGURA 44 - EVOLUÇÃO DO OEE E RESPECTIVOS ELEMENTOS DESDE 2020 ATÉ AO FINAL DO PROJETO	124
FIGURA 45 - SENSOR FIM DE CURSO PRESENTE NO SISTEMA PRODUTIVO EM ESTUDO	144
FIGURA 46 - SENSOR INDUTIVO UTILIZADO NO SISTEMA DE PRENSAGEM DA PRENSA	144
FIGURA 47 - SENSORES CAPACITIVOS UTILIZADOS NO SISTEMA PRODUTIVO DA SECÇÃO I	145
FIGURA 48 - SENSOR ULTRASSÓNICO PRESENTE NA SISTEMA DE DOSEAMENTO DA PRIMEIRA SECÇÃO	146
FIGURA 49 - SISTEMA DE CONTROLO PNEUMÁTICOS PRESENTES NA LINHA EM ESTUDO	147
FIGURA 50 - QUADRO ELÉTRICO ASSOCIADO AO EQUIPAMENTO BUNKER (SECÇÃO I) E RESPECTIVA ESTAÇÃO DE CONTROLO REMOTO	148
FIGURA 51 - DIAGRAMA GANTT INTERVENÇÃO DA PRENSA (MS PROJECT)	169
FIGURA 52 - EXEMPLO DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS DE RESERVA	175

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - PERDAS ASSOCIADAS A CADA CATEGORIA DO OEE (ADAPTADO DE NAKAJIMA (1988), PÁG. 14)	34
TABELA 2 - ÍNDICE DE SEVERIDADE (ADAPTADO DE STAMATIS, 2003)	44
TABELA 3 - ÍNDICE DE OCORRÊNCIA (ADAPTADO DE MOURA, 2000)	45
TABELA 4 - ÍNDICE DE DETECÇÃO (ADAPTADO DE MOURA, 2000)	46
TABELA 5 - CATEGORIAS DE MODO DE FALHA (SMITH & MOBLEY, 2005)	47
TABELA 6 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ALGUMAS LIMITAÇÕES ASSOCIADAS A FERRAMENTA FMEA	49
TABELA 7 - CRITÉRIOS DE CRITICIDADE DAS PEÇAS DE RESERVA (ADAPTADO DE FERREIRA ET AL., 2018)	62
TABELA 8 - PESO DOS CRITÉRIOS SEGUNDO METODOLOGIA AHP (KRIGUER, 2015)	64
TABELA 9 - ESTUDO DE AVARIAS POR SECÇÃO	83
TABELA 10 - TABELA DE AUXÍLIO À CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE PARETO POR SECÇÃO	84
TABELA 11 - TABELA DE AUXÍLIO À CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE PARETO POR SECÇÃO - EQUIPAMENTOS (I E II)	86
TABELA 12 - CÁLCULO DA COMPONENTE DISPONIBILIDADE DA SEMANA X	87
TABELA 13 - CÁLCULO DA COMPONENTE DA EFICIÊNCIA DA SEMANA X	88
TABELA 14 - CÁLCULO DA COMPONENTE QUALIDADE DA SEMANA X	89
TABELA 15 - <i>TEMPLATE</i> ANÁLISE FMEA	93
TABELA 16 - BLOCOS FUNCIONAIS DO SISTEMA DE PRENSAGEM DA PRENSA	95
TABELA 17 - EXCERTO DO FMEA REFERENTE AS POTENCIAIS CAUSAS DO MODO DE FALHA “RISCOS PRESENTES NA TELA METÁLICA”	97
TABELA 18 - CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE RISCO (RPN) APLICADO (ADAPTADO DE SMITH & MOBLEY, 2005)	98
TABELA 19 - AÇÕES RECOMENDADAS PARA OS POTENCIAIS MODOS DE FALHA DE RISCO ALTO	100
TABELA 20 - EXCERTO DO PLANO DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA - REVISÃO Nº1	103
TABELA 21 - TABELA DE AUXÍLIO À CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE PARETO POR CORRENTES	104
TABELA 22 - CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS DE RESERVA (ADAPTADO DE FERREIRA ET AL. (2018))	114
TABELA 23 - RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO 1 OBTIDO DO DECISOR Nº 1	115
TABELA 24 - IMPORTÂNCIA OBTIDA A PARTIR DOS RESULTADOS DO DECISOR Nº 1 NO QUESTIONÁRIO 1 RECORRENDO AO MODELO AHP	116
TABELA 25 - ANÁLISE DO RPN MÉDIO APÓS IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS	121
TABELA 26 - AVALIAÇÃO DA ANÁLISE FMEA DO SISTEMA DE PRENSAGEM DA SECÇÃO II	122
TABELA 27 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO EM ESTUDO	149
TABELA 28 - ÍNDICE DE OCORRÊNCIA (O) APLICADO	151
TABELA 29 - ÍNDICE DETECÇÃO (D) APLICADO	151
TABELA 30 - ANÁLISE FMEA: SISTEMA DE PRENSAGEM (SECÇÃO II)	152
TABELA 31 - PLANEAMENTO DAS DIFERENTES TAREFAS DA INTERVENÇÃO DA PRENSA	168
TABELA 32 - ESCALA DE IMPORTÂNCIA DO MÉTODO AHP (ADAPTADO DE SAATY, 1987)	171

TABELA 33 - ESCALA DE IMPORTÂNCIA DO MÉTODO AHP (ADAPTADO DE SAATY, 1987)	173
TABELA 34 - CAMPO DESCRIÇÃO DA PEÇA NO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS DE RESERVA	175
TABELA 35 - CAMPO AVALIAÇÃO NOS CRITÉRIOS DEFINIDOS NO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS DE RESERVA	176
TABELA 36 - CAMPO CLASSIFICAÇÃO DA NO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS DE RESERVA	176

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	27
1.1	Cortiça e o setor da Cortiça	27
1.2	A empresa	28
1.3	Objetivos e Motivações	28
1.4	Metodologia.....	29
1.5	Estrutura	30
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1	OEE (Overall Equipment Effectiveness).....	33
2.2	Manutenção.....	37
2.2.1	Conceito e contextualização histórica	37
2.2.2	Objetivos da Manutenção.....	38
2.2.3	Gestão da Manutenção – Conceitos e Responsabilidades	38
2.2.4	Tipos de Manutenção	39
2.2.5	Níveis de Manutenção	41
2.2.6	Custos da Manutenção	42
2.3	Análise de Falha	43
2.3.1	FMEA.....	44
2.3.2	Implementação de FMEA.....	47
2.4	Sistemas de informação de apoio à gestão da manutenção.....	51
2.4.1	Tipos de Sistema de Informação	52
2.4.2	Sistemas de Informação para a Gestão da Manutenção.....	54

3	DESENVOLVIMENTO.....	67
3.1	Processo Produtivo.....	67
3.1.1	Produtos.....	67
3.1.2	Apresentação do processo produtivo e seus equipamentos	68
3.1.3	Secção I - Sistema de Extração, Doseamento, Aglomeração e Alimentação da Prensa	71
3.1.4	Secção II - Prensa (<i>Double Belt Press</i>).....	75
3.1.5	Sistema SCADA nas secções I e II	77
3.1.6	Secção III - Armazenamento e Estabilização dos Rolos Industriais	81
3.1.7	Secção IV - Lixagem.....	81
3.1.8	Secção V - Rebobinagem.....	81
3.1.9	Secção VI - Sheeter (Corte de Placas finas).....	82
3.2	Seleção dos processo(s) a analisar	82
3.2.1	Identificação das secções e equipamentos críticos	83
3.3	Análise da situação atual	87
3.3.1	Quantificação do estado inicial	87
3.3.2	Organização do departamento de Manutenção da empresa	90
3.3.3	Identificação e análise dos principais problemas e respetivas causas na manutenção respetiva à secção II	90
3.3.4	FMEA.....	92
3.4	Proposta e implementação de melhorias.....	101
3.4.1	Grupo 1: Proposta de melhorias obtidas a partir da análise FMEA	101
3.4.2	Grupo 2: Sistema de Apoio à Manutenção da Secção II	106
3.4.2.1	SCADA - Sistema de alarmes	107
3.4.2.2	Segmento Componentes.....	108
3.4.2.3	Segmento Troubleshooting	111
3.4.2.4	Sistema de classificação das peças de reserva.....	113
3.5	Resultados obtidos	117
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	127
4.1	Conclusões	127
4.2	Limitações e proposta de trabalho futuros	128
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	133
6	ANEXOS.....	143
6.1	ANEXO 1 - Secção I e II: Elementos constituintes do Sistema SCADA	143

6.1.1	Sensores e Atuadores	143
6.1.2	Estações Remotas para Aquisição e Controlo e Sistema de comunicação ..	147
6.2	ANEXO 2 - Fluxograma do processo produtivo.....	149
6.3	ANEXO 3 - Análise FMEA do Sistema de compressão da Prensa (Secção II)	151
6.3.1	Classificação dos índices de ocorrência e deteção	151
6.3.2	Análise FMEA - Sistema de Prensagem (secção II).....	151
6.4	ANEXO 4 - Planeamento da Intervenção de troca de correntes inferior de aquecimento (Proposta 3).....	167
6.5	ANEXO 5 - Questionários: Avaliação dos critérios para as peças de reserva ...	171
6.6	ANEXO 6 - Sistema de classificação das peças de reserva	175

INTRODUÇÃO

1.1 Cortiça e o setor da Cortiça

1.2 A empresa

1.3 Objetivos e Motivações

1.4 Metodologia

1.5 Estrutura

1 INTRODUÇÃO

O presente projeto foi realizado no âmbito do Mestrado de Engenharia Mecânica - Ramo Gestão Industrial, no Instituto Superior de Engenharia do Porto. A dissertação foi realizada em contexto empresarial numa empresa do ramo da Cortiça.

1.1 Cortiça e o setor da Cortiça

A cortiça é um produto natural, renovável, sustentável e detentor de várias propriedades que o tornam num produto único e irreplicável (Amorim Cork Composites, 2016). Algumas destas propriedades provêm do facto da cortiça ser um material impermeável a líquidos e a gases, elástico e compressível, com uma excelente capacidade de isolamento térmico e acústico, leve e com uma elevada resistência ao atrito (T. Oliveira, 2016). Devido ao reconhecimento da cortiça como produto de excelência a sua procura tem aumentado, o que se traduz numa tendência crescente na produção de cortiça desde 2006 (APCOR, 2018).

Devido às condições de solo e clima propícios ao desenvolvimento da cortiça é na Península Ibérica que se concentra grande parte da extração mundial, representando cerca de 80% do total de extrações (APCOR, 2018). Portugal destaca-se claramente como sendo o líder mundial na produção, indústria e comércio de Cortiça, não só pela abundância de cortiça, mas também por ser detentor de uma das maiores regiões vitivinícolas do mundo e ser um local onde a remuneração da força de trabalho é menos dispendiosa (Zapata et al., 2009). A indústria da cortiça tem um grande impacto no desenvolvimento económico do país. Em 2017 as exportações relacionadas com a cortiça totalizaram um valor de 986,3 milhões de euros, o que representa cerca de 1,2% do total de exportações portuguesas. Este valor apresenta uma tendência crescente tendo aumentado 5,4% face ao ano de 2016 (APCOR, 2018).

Portugal tem aumentado a sua vantagem competitiva destacando-se dos seus concorrentes devido à sua capacidade de acrescentar valor à cortiça, isto é, não se dedica apenas à comercialização de cortiça natural, mas também à sua transformação em outros produtos (Sierra-Pérez et al., 2015). Em Portugal, a atividade do setor corticeiro está concentrada na produção de rolhas, que em 2018 representou cerca de 55% do volume total de negócios. Todavia, existem outras empresas neste setor focadas na inovação e no uso da tecnologia para reinventar a cortiça e as suas aplicações através da criação de diferentes materiais e de diferentes utilizações para estes. Verifica-se que estas empresas, cuja principal atividade é outra que não a preparação de cortiça ou o fabrico de rolhas apresentam maior dimensão, crescimento e volume de negócios em mercados externos (APCOR, 2019).

Um estudo desenvolvido pela Deloitte em parceria com a Associação Portuguesa da Cortiça (2019) estima que o setor corticeiro irá continuar a prosperar e a apresentar um forte crescimento impulsionado pelo aumento da procura no seu maior mercado, o setor vinícola. Por outro lado, um outro vetor de crescimento do setor está associado ao surgimento de novos produtos com origem na cortiça que permitem novas aplicações e explorar novos mercados.

1.2 A empresa

A empresa na qual esta dissertação foi desenvolvida pertence a um grupo líder mundial na produção e comercialização de Cortiça e a sua criação teve como objetivo a criação de economia circular no grupo. Isto é, a empresa foi criada com o propósito de usar excedentes de cortiça provenientes de outras empresas do grupo, nomeadamente da produção de rolhas, que combinados com outros produtos originam produtos inovadores, os compósitos.

Os compósitos são produtos cuja principal matéria-prima é a cortiça e por isso gozam das suas propriedades, contudo podem ser-lhes adicionados outros componentes conferindo outras características que permitem a criação de novas soluções com desempenhos notáveis e conseqüentemente a entrada em novos mercados, como a indústria aeroespacial, indústria automóvel, pavimentos, construção, entre outros.

A principal fonte de vantagem competitiva da empresa é a sua capacidade de diferenciação, não só pelos produtos que produz como pelo processo produtivo que os origina. A empresa é capaz de produzir um produto que até então não foi replicado por nenhuma outra, não só pelo *know-how* que detém, mas também pelo elevado investimento inicial em ativos fixos que é exigido para a criação de uma linha de produção capaz de produzir compósitos de cortiça com as mesmas características de qualidade e custo.

O processo de produção dos compósitos ocorre numa linha de produção contínua com um grande nível de automatização e com equipamentos muito dispendiosos onde a gestão da sua disponibilidade e da sua eficiência é de extrema importância para a garantia do cumprimento dos compromissos estabelecidos com os clientes, que procuram qualidade e excelência no produto e no serviço, assim como para acompanhar o aumento na procura que se tem verificado. A fiabilidade e a garantia da qualidade são pilares fundamentais num produto cuja estratégia é o foco na diferenciação como é o caso.

1.3 Objetivos e Motivações

Tendo em conta a estratégia definida pela empresa e a tipologia de produtos que produz, produtos altamente especializados, a capacidade de cumprir prazos nesta

indústria é crítica para manter a satisfação dos clientes, sendo por isso um fator de vantagem competitiva.

Para além da necessidade de satisfazer atempadamente os compromissos já estabelecidos, devido ao aumento da procura, um dos objetivos da empresa é aumentar a disponibilidade e a eficiência da linha de produção. Neste sentido, de modo a cumprir as encomendas e as metas definidas já para 2021, a empresa estipulou como objetivo alcançar um OEE médio superior a 90% na secção crítica desta linha. Este é o objetivo deste projeto.

Para cumprir este objetivo, a estratégia delineada pela empresa passa pelo aumento da disponibilidade da linha, através do foco em estratégias que permitam uma melhor gestão das atividades de manutenção. Com isto, espera-se que seja capaz de reduzir o tempo de inatividade dos equipamentos e conseqüentemente da linha de produção, que apresenta valores acima dos desejados.

Atualmente a maioria dos tempos de inatividade da linha de produção resulta de manutenção não planeada. Neste sentido, a empresa procura também sugestões de melhoria na área da manutenção que beneficiem a empresa no longo-prazo.

1.4 Metodologia

A metodologia adotada ao longo deste projeto pode dividir-se essencialmente em cinco fases principais. Numa primeira fase o objetivo passou por adquirir maior conhecimento do processo, dos seus componentes, da forma como a gestão da manutenção ocorre e compreensão das expectativas do projeto. De seguida, o foco principal foi o levantamento de avarias através do estudo do histórico das mesmas e da análise de avarias ainda não reportadas.

Tendo por base estas informações, numa segunda fase, em função da frequência das avarias e da experiência dos principais intervenientes na manutenção, foram priorizadas as diferentes secções responsáveis pelo funcionamento do sistema de produção em estudo. Esta priorização permitiu identificar quais as secções críticas e por esse motivo aquelas sobre as quais se incidiu maior esforço ao longo deste trabalho.

Identificadas as secções e respetivos equipamentos críticos, na terceira fase, realizou-se uma análise profunda do estado de manutenção destas, juntamente com uma equipa multidisciplinar, de modo a extrair as oportunidades de melhorias que podiam ter um maior impacto nos resultados da empresa.

Na quarta fase, identificaram-se e implementaram-se as propostas de melhorias. Por fim, na última e quinta fase, realizou-se uma análise dos resultados tendo como foco a avaliação das propostas de melhoria desenvolvidas e quais os respetivos impactos.

1.5 Estrutura

A presente dissertação encontra-se subdividida em quatro capítulos.

No capítulo 1 foi realizada uma contextualização do projeto, isto é, quais as motivações, objetivos da empresa tendo em conta as suas necessidades e o estado atual do mercado.

No capítulo 2 é efetuada uma revisão da literatura técnico-científica dos vários conceitos ou ferramentas que servirão de base para o desenvolvimento da presente dissertação.

O capítulo 3 corresponde ao desenvolvimento do projeto seguindo uma estratégia simples, mas eficaz quando se pretende realizar melhorias nos processos de uma empresa (neste caso na manutenção). Esta estratégia baseia-se numa sequência lógica, desde a identificação dos processos críticos e respetiva análise da sua situação inicial até a elaboração das propostas de melhorias e respetiva análise aos resultados obtidos.

Por fim no quarto capítulo são apresentadas as considerações finais do projeto, sendo enumeradas as conclusões do trabalho realizado e analisadas as suas limitações e propostas futuras.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 OEE (*Overall Equipment Effectiveness*)

2.2 Manutenção

2.3 Análise de Falha

2.4 Sistemas de informação de apoio à gestão da manutenção

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se o racional que permitiu delinear a abordagem seguida ao longo deste estudo, ou seja, uma abordagem focada na gestão da manutenção para aumento da disponibilidade de uma linha de produção.

Uma vez que o objetivo da empresa é o aumento da disponibilidade inicialmente irá ser analisada a métrica OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) para perceber de que forma esta pode ser aplicada para o cálculo da produtividade de uma linha de produção e que utilidade pode ter na definição das áreas a serem melhoradas.

De seguida será explorada de que forma a manutenção pode contribuir para o aumento do OEE, assim como alguns conceitos relacionados com a mesma e quais as ferramentas que podem ser usadas para auxiliar a sua gestão, dando especial atenção a análise de falhas-causas recorrendo à ferramenta FMEA.

Neste capítulo será ainda estudada a aplicação dos sistemas de informação na gestão da manutenção e suas atividades, nomeadamente a importância do acesso à informação durante a ocorrência de uma avaria e a importância da disponibilidade das peças de reservas críticas nomeando algumas técnicas utilizadas na melhoria da sua gestão.

2.1 OEE (*Overall Equipment Effectiveness*)

Com a globalização e o conseqüente aumento da competitividade entre as empresas os consumidores têm-se tornado mais exigentes. O mercado atualmente exige às empresas que estas cumpram certos requisitos nos produtos que produzem, focando-se essencialmente na qualidade, velocidade, flexibilidade, fiabilidade e ainda no custo (Corrêa & Corrêa, 2007). A necessidade de cumprir estes critérios traz novos desafios às empresas. De acordo com Fleischer et al. (2006) as empresas para aumentarem a sua competitividade devem focar-se numa gestão estratégica da sua produção e das suas operações, destacando a importância da produtividade e disponibilidade dos seus sistemas de produção.

De acordo com Jonsson & Lesshammar (1999) para que seja possível promover um aumento do desempenho da empresa através da gestão dos seus recursos produtivos o primeiro passo é a avaliação do atual desempenho do sistema de produção de forma global através de um sistema integrado de avaliação. Afirmam ainda que é através da identificação das causas de perda de utilização da capacidade de produção que podem ser tomadas medidas para mitigar ou mesmo eliminar as mesmas.

No passado as empresas industriais focavam-se exclusivamente em sistemas de medição de desempenho baseados nos sistemas tradicionais de contabilidade para controlar e melhorar as suas operações. No entanto, estes sistemas não eram suficientes para capturar questões relevantes na avaliação do desempenho de uma linha de produção ou de um equipamento (Ghalayini et al., 1997). Nesse sentido foram desenvolvidas métricas mais adequadas à realidade industrial para medir o desempenho efetivo ou a produtividade de um processo produtivo ou de um equipamento. Uma das métricas mais amplamente divulgadas e usadas na indústria para esse efeito é o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) (Stamatis, 2011).

O OEE é uma medida de eficácia que permite quantificar o desempenho atual em relação à capacidade máxima de produção durante o período de operação (Muchiri & Pintelon, 2008). O cálculo desta métrica permite revelar custos que resultam do fraco desempenho dos equipamentos, sendo que estes custos são muitas vezes desconhecidos e/ou não quantificados (Tsarouhas, 2018). Esta métrica baseia-se em três fatores: disponibilidade, eficiência e qualidade (Silva, 2013). No cálculo do OEE são calculadas as perdas associadas a cada uma destas categorias destacando assim onde estão as maiores oportunidades de melhoria do sistema produtivo.

Para cada uma das diferentes categorias analisadas no OEE, *Nakajima* (1988) identificou as possíveis perdas assim como as consequências destas para o desempenho. Desta análise resultaram seis tipos de perdas, tal como esquematizadas na Tabela 1. As perdas que impactam a disponibilidade são perdas que reduzem o tempo disponível para os equipamentos operarem e que podem resultar de avarias ou de tempo de *setup* (Silva, 2013). Por outro lado, a eficiência é impactada por perdas de velocidade que impedem o equipamento de produzir à cadência normal e finalmente perdas na qualidade que resultam de recursos despendidos no fabrico de produtos defeituosos ou na necessidade de retrabalho (Silva, 2013).

Tabela 1 - Perdas associadas a cada categoria do OEE (Adaptado de Nakajima (1988), pág. 14)

Categoria	Consequência	Perdas
Disponibilidade	Tempo improdutivo/ falhas	Falhas de equipamentos não planeadas Tempos de <i>setup</i> e ajustes
Eficiência	Perdas de velocidade	Pequenas paragens ou tempos de espera Redução de Velocidade
Qualidade	Defeito/Retrabalho	Defeitos e retrabalho Perdas de arranque (perdas que ocorrem até produção estabilizar)

Na Figura 1 apresenta-se como estas seis perdas afetam o desempenho dos equipamentos.

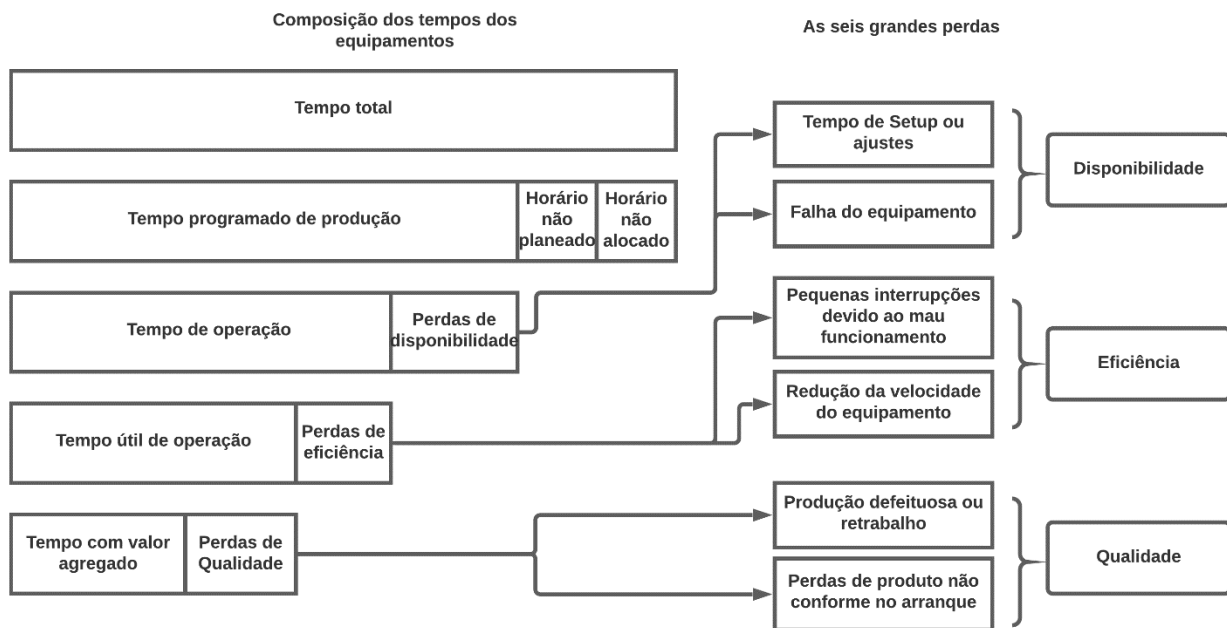


Figura 1 - Perdas associadas aos tempos dos equipamentos (adaptado de Jasiulewicz-Kaczmarek & Piechowski, 2016)

O OEE é calculado através da expressão:

$$OEE = Disponibilidade \times Eficiência \times Qualidade \quad (2.1)$$

Onde cada um destes fatores se calcula através das seguintes expressões (Silva, 2013):

$$Disponibilidade = \frac{\text{Tempo Programado de produção} - \text{Perdas de disponibilidade}}{\text{Tempo programado de produção}} \quad (2.2)$$

$$Eficiência = \frac{\text{Tempo de ciclo} * \text{Total de peças produzidas}}{\text{Tempo de operação}} \quad (2.3)$$

$$Qualidade = \frac{\text{Total de peças produzidas} - \text{Total de peças defeituosas}}{\text{Total de peças produzidas}} \quad (2.4)$$

O valor de OEE global definido pelo *Japan Institute of Plant Management* (JIPM) como sendo a referência para empresas em condições ideais é de 84% que resulta de uma disponibilidade de 90%, eficiência de 95% e uma taxa de qualidade de 99% (Zuashkiani et al., 2011) (Jonsson & Lesshammar, 1999).

Um estudo desenvolvido por Tsarouhas (2018) em contexto real de trabalho numa linha de produção de *croissants* automatizada concluiu que o OEE da linha de produção em estudo era de 75% e por isso abaixo dos valores de referência. Através da análise do OEE determinou que as principais fontes de ineficiência estavam a ser provocadas por perdas de velocidade e por tempos improdutivos. Como resultado desta análise foi definido que deveriam ser implementadas políticas de manutenção adequadas para assim reduzir o

tempo dispensado em interrupções não programadas. Simultaneamente foram identificados os postos de trabalho que deveriam ser priorizados nos planos de melhoria por serem os postos com maior potencial de aumento de produtividade.

Outro exemplo onde o OEE foi calculado em contexto industrial para identificar oportunidades de melhoria no desempenho de uma linha de produção foi numa linha de enchimento de bebidas alcoólicas. A análise permitiu concluir que a maior oportunidade de melhoria era na redução dos tempos improdutivos provocados não só por avarias, mas também por tempos de ajuste elevados (Gola, 2017). Neste estudo a máquina de embalagem e o aplicador do rótulo foram identificados como sendo os equipamentos que geravam maiores perdas de desempenho na linha, uma vez que em conjunto representavam cerca de 50% do tempo improdutivo. A máquina de embalagem foi alvo de um estudo mais detalhado para identificar os pontos críticos por ser aquela provocava mais tempo improdutivo e cujo número de avarias era maior, o que resultou em alterações no sistema de alimentação da máquina de embalagem de modo a reduzir o número de paragens (Gola, 2017).

Num estudo realizado por Dreher et al. (2019), cada um dos parâmetros do OEE foi estudado para identificar oportunidades de melhoria numa empresa da indústria de papel que apresentava um OEE inicial de 65%. Neste estudo foi dada prioridade a melhorias com implementação mais simples, com resultados esperados maiores e em função dos recursos disponíveis no período. Alguns dos contributos mais relevantes para a equipa de gestão resultantes deste estudo são o facto de a disponibilidade ser aquela com maior potencial de melhoria devido ao impacto provocado por tempos improdutivos para manutenções corretivas. Apesar disto, opções de melhoria nesta categoria não foram analisadas devido ao tempo e esforço necessário para implementá-las. Assim sendo foram definidas políticas para melhorar a qualidade da linha de produção que também estava abaixo do alvo definido pela empresa.

Nos estudos apresentados anteriormente em todos eles as interrupções não programadas destacam-se como sendo uma das perdas que maior impacto tem no OEE. Estas conclusões estão em linha com o afirmado por Hall & Biller (2010) que concluiu que um dos fatores mais relevantes para a diminuição do valor do OEE é o tempo improdutivo dos seus equipamentos resultante de avarias.

Labib (1998) sugere que o primeiro passo para reduzir as perdas associadas aos tempos improdutivos é analisar o tempo despendido em três fases principais: a fase de resposta, a fase de diagnóstico e a fase de reparação. Segundo o autor a fase de resposta, que compreende o tempo entre a ocorrência da avaria e a assistência por parte do responsável, é um desperdício de tempo e idealmente deveria ser reduzida a zero. A fase de diagnóstico é o tempo despendido na identificação da causa da avaria e na definição da estratégia para resolução da mesma. Esta fase é tipicamente a mais demorada e pode ser reduzida através da melhoria de competências dos intervenientes e/ou fornecendo informações acerca de ações de manutenção passadas que podem ser

úteis na detecção e/ou na definição da estratégia de resolução. Finalmente, na fase de reparação trata-se o tempo necessário para realizar as retificações necessárias e depende não só da competência de quem a executa, mas também da gestão dos equipamentos e das peças de reserva que podem ser necessárias para a resolução da avaria.

2.2 Manutenção

De acordo com Gallichan & Charles (2017) a necessidade de as empresas possuírem ferramentas/capacidades para reduzirem o tempo improdutivo resultante de paragens não programadas demonstra a importância da manutenção dos equipamentos como um dos fatores cruciais para a sobrevivência das empresas.

2.2.1 Conceito e contextualização histórica

Segundo a EN 13306:2007, a Manutenção é a “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante um ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou a repô-lo num estado em que possa desempenhar a função requerida”. Do ponto de vista de negócio, a gestão da Manutenção pode ser definida como as atividades de gestão respeitantes à manutenção de todos os ativos detidos por uma organização com vista à maximização do retorno do investimento nestes ativos (Moreira, 2020).

A perceção da manutenção e da sua gestão tem evoluído ao longo do tempo. No passado eram consideradas pelos gestores como um “mal necessário” (Fraser et al., 2015). Atualmente a manutenção e a fiabilidade são consideradas, por muitas organizações, importantes fontes de vantagem competitiva que podem contribuir para o seu sucesso no longo-prazo, uma vez que uma política de gestão da manutenção eficaz pode influenciar a produtividade e a rentabilidade de um processo produtivo (Alsyouf, 2007). Apesar da clara evolução que se verificou existem gestores que ainda consideram a manutenção como uma atividade secundária, uma vez que representa uma fonte de custos apesar de não fazer parte dos seus processos produtivos *core*. Em muitos casos acreditam que os custos de manutenção não são controláveis, desvalorizando por isso a sua gestão (Hans, 1999).

As atividades de manutenção podem ter um impacto elevado no orçamento das fábricas uma vez que se estima que, a seguir aos custos de energia, os custos de manutenção representem a maior parte dos custos totais de produção em fábricas altamente mecanizadas e de capital intensivo. Ainda assim, Fraser et al. (2015) afirmam que apesar de o custo da manutenção ser um custo elevado para as empresas, o custo de uma fraca manutenção é um custo que nenhuma empresa consegue suportar no médio-longo prazo.

2.2.2 Objetivos da Manutenção

De acordo com Campbell & Jardine (2016) as organizações mais “inteligentes” são aquelas que recorrem a uma manutenção eficaz para garantir produtividade e sustentar o seu crescimento reduzindo, ao mesmo tempo, as despesas globais desnecessárias e inúteis. De acordo com o mesmo autor uma manutenção eficaz ambiciona:

- Maximizar tempos produtivos (capacidade produtiva);
- Maximizar precisão (a capacidade de produzir de acordo com as especificações/níveis de qualidade definidos);
- Minimizar custos por unidade produzida;
- Minimizar o risco de perder capacidade produtiva, qualidade ou recursos financeiros durante períodos inaceitáveis;
- Prevenir riscos relacionados com a segurança dos trabalhadores, do público em geral e riscos ambientais.

Atingir uma manutenção eficaz (capacidade de executar o planeado) e eficiente (gerir da melhor forma os recursos disponíveis) implica concertar esforços na gestão da manutenção, em vez de deixar que os ativos e as suas falhas aleatórias controlem o processo e os custos (Sudit, 2011). As consequências de não o fazer são baixa fiabilidade, disponibilidade, produtividade e rentabilidade o que não é compatível com ambientes competitivos (Campbell & Jardine, 2016).

2.2.3 Gestão da Manutenção – Conceitos e Responsabilidades

Segundo a norma EN 13306:2007, gestão da manutenção refere-se a “todas as atividades que determinam os objetivos da manutenção, as estratégias e responsabilidades e os implementam em diversos meios como no planeamento, controlo e melhoria das atividades de manutenção e económicas”. A gestão da manutenção divide-se em 4 etapas principais, esquematizadas na Figura 2.

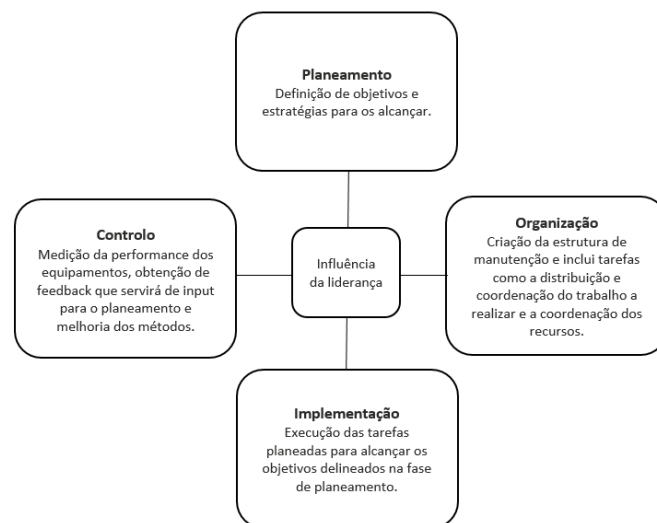


Figura 2 - Etapas na Gestão da Manutenção (Adaptado de Márquez, 2007)

Estas etapas e conseqüentemente a gestão da manutenção dependem de diferentes fatores como, tipo de negócio/indústria, objetivos da empresa, dimensão e estrutura da organização, cultura da organização e responsabilidade atribuída à manutenção (Márquez, 2007). Por este motivo organizações idênticas, com diferentes avanços tecnológicos e tamanho podem aplicar sistemas de manutenção diferentes e ainda assim ambos serem bem-sucedidos (Haroun, 2009).

Apesar de variarem de organização para organização, de forma geral as responsabilidades da gestão da manutenção são (Duffuaa et al., 1998):

- Manter os bens e equipamentos em bom estado e seguros para desempenharem as funções para as quais foram desenvolvidos;
- Realizar todas as atividades de manutenção, incluindo corretivas, preventivas e preditivas de uma forma eficiente e eficaz;
- Conservar e controlar a utilização de materiais consumíveis e de materiais de reserva;
- Efetuar recomendações em novas instalações e em expansões de instalações;
- Controlar o consumo de consumíveis e de energia.

2.2.4 Tipos de Manutenção

A manutenção pode ser dividida em manutenção corretiva e preventiva (ver Figura 3). A manutenção corretiva ocorre após o reconhecimento de uma avaria e com o propósito de repor o equipamento num estado em que este possa desempenhar a função requerida (British Standards Institution, 2010). A manutenção preventiva ocorre em intervalos de tempo pré-determinados ou então de acordo com critérios predefinidos e o objetivo desta é reduzir a probabilidade de falha e a degradação dos componentes (Samuel de Almeida, 2015).

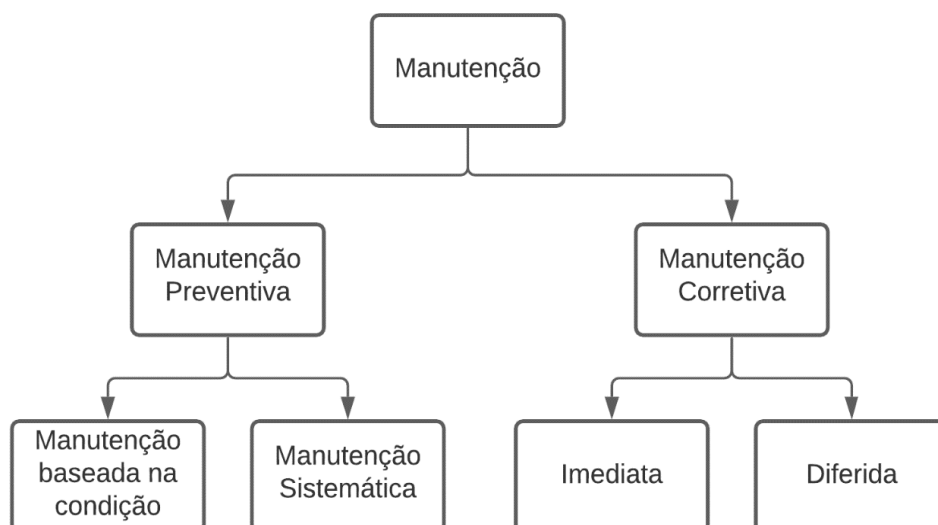


Figura 3 - Tipos de Manutenção (adaptado de NP EN 13306, 2007)

De acordo com a norma NP EN 13306:2007, a manutenção corretiva divide-se em dois tipos:

- **Manutenção imediata:** Ação realizada após a deteção de uma falha para evitar consequências mais problemáticas.
- **Manutenção diferida:** Consiste em não atuar imediatamente após a deteção da falha, mas atrasando a intervenção de acordo com determinadas regras e condições.

Por outro lado, a manutenção preventiva inclui (NP EN 13306:2007) :

- **Manutenção baseada na condição:** Inclui a combinação de monitorização e/ou inspeção e/ou testes de condições e é com base nestes que são levadas a cabo ações de manutenção. A verificação das condições pode ser calendarizada, a pedido ou realizada de forma contínua;
- **Manutenção sistemática:** Ocorre em intervalos pré-determinados ou de acordo com critérios predefinidos e destina-se a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento do equipamento.

O balanço entre estas estratégias de manutenção para minimizar os custos associados com a manutenção dos equipamentos varia entre empresas e entre equipamentos.

Existem diversos estudos acerca de qual deve ser a estratégia a selecionar. Alguns dos autores defendem que quando uma empresa dedica demasiado tempo a manutenção corretiva é porque não dedicou tempo suficiente a efetuar manutenção preventiva (Bandi et al., 2003). Já outros autores como Labib (1998) defendem que apesar de a manutenção preventiva ter atraído mais atenção por parte das empresas e da comunidade académica, a manutenção corretiva não deve ser descurada. Isto porque independentemente do quão eficaz é a manutenção preventiva, existe sempre a possibilidade de processos críticos falharem e daí decorrerem consequências graves para as organizações.

A escolha das estratégias depende de uma diversidade de fatores, nomeadamente do custo de tempos improdutos, das características de fiabilidade dos equipamentos, dos recursos necessários em cada uma das alternativas, da disponibilidade de informação e ainda do grau de preparação da empresa e do conhecimento de ferramentas e de sistemas de controlo que dispõe (Fernandez et al., 2003) (M. A. Oliveira et al., 2013).

Dentro da mesma organização a forma como a manutenção é realizada vai dependendo da maturidade da organização em relação à gestão da manutenção. Dentro das organizações a manutenção tipicamente evolui de um estado predominantemente reativo, onde as avarias são resolvidas à medida que vão surgindo, para um estado preventivo e eventualmente para um estado preditivo (Fernandez et al., 2003). O estado preditivo é o mais proativo uma vez que se espera que o sistema de gestão da manutenção seja capaz de antever uma falha através da deteção de sinais prévios e que

seja capaz de acionar mecanismos para evitar a mesma. Apesar de esta estratégia de manutenção ter um grande potencial de melhoria, não é de fácil implementação uma vez que implica um investimento elevado, acesso a informação atualizada e fiável e são necessárias competências mais especializadas (Selcuk, 2017).

Para que cada uma das estratégias possa ser implementada com sucesso existe um conjunto numeroso de ações de manutenção que devem ser levadas a cabo.

2.2.5 Níveis de Manutenção

Segundo a norma AFNOR FD X 60-000:2002 o conjunto de ações, repetitivas e regulares ou aleatórias e únicas, para garantir a manutenção dos ativos podem ser classificadas em cinco níveis de acordo com critérios bem definidos. Estes critérios dependem de vários fatores tais como: a complexidade do equipamento, a acessibilidade aos diferentes componentes, quais os níveis de competências requeridos para desempenhar as ações de manutenção, quais os meios necessários à intervenção e considerações relacionadas com a segurança (NP EN 13306:2007).

As ações de manutenção podem ser classificadas como (AFNOR, 2002):

- **Primeiro nível (operador):** ações simples necessárias para operar o ativo e efetuadas de forma segura sobre componentes facilmente acessíveis. Neste nível, as ações estão associadas a estratégias de manutenção corretiva ou preventiva;
- **Segundo nível (operador ou técnico):** ações que seguem procedimentos simples ou que se socorrem de ferramentas auxiliares (Manutenção Corretiva e Preventiva);
- **Terceiro nível (técnico):** ações que seguem procedimentos complexos com recurso a equipamentos de apoio portáteis previstos nas instruções de manutenção (Manutenção Corretiva e Preventiva);
- **Quarto nível (técnico especializado):** ações que incluem procedimentos complexos incluindo o uso de competências específicas e/ou uso de ferramentas específicas (Manutenção Corretiva, Preventiva e Preditiva);
- **Quinto nível (técnico especializado ou fabricantes):** ações que requerem competências especializadas, ferramentas e técnicas próximas das necessárias ao fabrico do equipamento.

Uma estratégia de manutenção tipicamente envolve a combinação de ações que podem estar em diferentes níveis e ações de diferentes níveis podem ser realizadas no mesmo equipamento (Márquez, 2007) (AFNOR, 2002).

2.2.6 Custos da Manutenção

Os custos da manutenção representam uma componente significativa dos encargos de produção das organizações, estimando-se que estes custos representam até 40% dos custos de produção (Dunn, 1998). Por este motivo, alguns autores como Cavalcante & Costa (2006) e Alsyouf (2007) afirmam que uma política de manutenção eficaz influencia a produtividade e rentabilidade do processo de produção.

Existem diversos fatores que influenciam os custos de manutenção, que incluem a condição dos equipamentos, experiência e conhecimento dos operadores, política da empresa, tipo de serviço, competências do pessoal de manutenção, ambiente operacional, especificação do equipamento e controlos regulamentares (Levitt, 1997).

Tal como se pode ver na Figura 4, o custo de manutenção pode dividir-se em dois tipos (Bieser et al., 2018):

- **Custos diretos** - Custos relacionados com encargos de mão-de-obra, custos com consumíveis e peças de reserva e com sistemas de manutenção, como por exemplo sensores, entre outros;
- **Custos indiretos** - São custos mais difíceis de contabilizar. São custos relacionados com perda de atividade por falha de equipamentos, degradação da qualidade, consequências legais, perda de reputação por incumprimento de prazos e ou de qualidade e custos de armazenamento de peças de reserva.



Figura 4 - *Iceberg* dos custos verdadeiros da manutenção (M. Santos, 2009)

O *iceberg* da manutenção ilustra os diferentes custos que contribuem para os custos diretos e indiretos e a contribuição de cada um destes para o custo total da manutenção (Cabral, 2006). A zona submersa representa todos os custos difíceis de quantificar, os custos indiretos, e estima-se que seja quatro vezes maior do que a parte visível do *iceberg* que ilustra os custos diretos (Mobley, 2002). Demonstra-se assim a importância da contabilização dos custos indiretos para o apuramento dos custos de manutenção.

Outro fator que impacta os custos de manutenção é o balanço entre as estratégias de manutenção que a organização adota. A Figura 5 ilustra a relação entre manutenção

preventiva, corretiva e as perdas de receitas de produção. O objetivo da comparação entre estes custos é a determinação do ponto ótimo entre manutenção corretiva e preventiva que permite minimizar os custos totais de manutenção (Mobley, 2002). Este ponto ótimo varia entre organizações, uma vez que depende de custos que variam entre organizações. Note-se que a curva de custos associados à manutenção preventiva nunca representa a totalidade dos custos de manutenção, porque independentemente da estratégia de manutenção ocorrerão sempre falhas inesperadas.

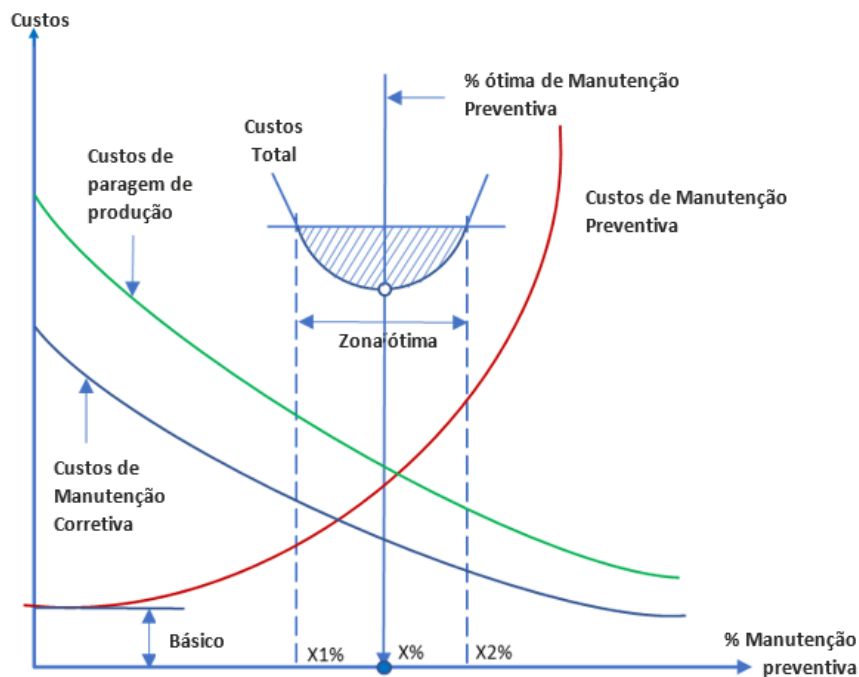


Figura 5 - Relação entre a manutenção corretiva, manutenção preventiva e custos por paragem de produção (Adaptado de The Clement Institute, n.d.)

O compromisso, no entanto, é de que investir mais em manutenção preventiva implica menos gastos em manutenção corretiva e em perda de produção devido a tempos improdutivos resultantes de avarias. Contudo, quando o investimento em manutenção preventiva ultrapassa o benefício desta, este não deve ser realizado.

2.3 Análise de Falha

Independentemente de qual a estratégia de manutenção escolhida, avarias/falhas de equipamentos são inevitáveis e as equipas de manutenção devem estar preparadas para responder a estas situações da forma mais eficiente possível. Frequentemente quando as avarias surgem, o procedimento envolve a substituição de um componente para restabelecer a função do equipamento sem que seja procedido uma análise da falha. (Batista et al., 2013).

Contudo, diversos autores como Batista et al. (2013) e Kardec & Nascif (2009) defendem que é vital que sejam realizadas análises aos modos de falha porque é através destas que é possível identificar as causas das falhas dos equipamentos e assim implementar ações que visam prevenir os problemas antes destes ocorrerem ou para evitar a

repetição de falhas do passado. O modo de falha é a forma como o componente ou o equipamento falhou em atender aos requisitos da função para o qual foi designado (Moura, 2000).

Algumas das principais vantagens que resultam das análises dos vários modos de falha são (Batista et al., 2013):

- Criação de uma base de conhecimentos técnicos acerca dos equipamentos da empresa, que pode ser consultada para auxiliar os técnicos de manutenção;
- Respostas mais rápidas em caso de avarias;
- Possíveis melhorias nos planos de manutenção da empresa - em termos de periodicidade e da seleção das ações a realizar;
- Identificação de áreas críticas do sistema ou dos processos;
- Outros impactos positivos (nomeadamente redução de custos, aumento da satisfação dos clientes, menos desperdício de tempo e/ou de produção, etc.);

Existem diversas técnicas e ferramentas que podem ser utilizadas para analisar as falhas, contudo uma das mais utilizadas e compreendidas pela indústria, pela sua natureza prática e qualitativa, é o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) (Smith & Mobley, 2005).

2.3.1 FMEA

O FMEA é uma técnica sistemática de análise para definir, identificar e eliminar falhas, problemas ou erros conhecidos e/ou potenciais do sistema, processo e/ou serviço antes de chegarem ao cliente (Stamatis, 2003). O FMEA para além de auxiliar na identificação das falhas, das suas causas e consequências, permite priorizar as mesmas por forma a atribuir os recursos limitados aos elementos que representam maior risco para a empresa (H. C. Liu et al., 2013).

No FMEA o risco relativo de cada falha e dos seus efeitos é determinado com base em três fatores (Herpich & Fogliatto, 2013)(Moura, 2000):

1. **Severidade:** A avaliação da gravidade do efeito do modo de falha, caso este ocorra, uma vez que a severidade apenas se aplica ao efeito. Na Tabela 2 apresenta-se uma possível escala para o índice de Severidade;

Tabela 2 - Índice de Severidade (adaptado de Stamatis, 2003)

Critério	Índice de Severidade
Falha extremamente grave, que compromete a seguranças das partes interessadas, a continuidade do negócio ou o não cumprimento de aspetos legais, sem aviso.	10

Falha muito grave, que compromete a segurança das partes interessadas, a continuidade do negócio ou o não cumprimento de aspetos legais, sendo emitido um aviso caso ele ocorra.	9
Falha grave que resulta em elevada insatisfação das partes interessadas ou que afeta gravemente o negócio.	8
Falha de gravidade mediana que resulta partes interessadas bastante insatisfeitas devido ao desempenho bastante restrito ou que afeta bastante o negócio.	7
Severidade moderada que resulta em insatisfação das partes interessadas ou que afeta o negócio.	6
Severidade bem moderada, onde as partes interessadas percecionam as limitações ou que afetam o negócio de forma moderada.	5
Severidade baixa. As partes interessadas percecionam a falha, mas o impacto no negócio é reduzido.	4
Severidade leve. As partes interessadas percecionam a falha, mas o impacto no negócio é nulo.	3
Severidade bem leve. As partes interessadas praticamente não percecionam a falha. O impacto no negócio é nulo.	2
Severidade insignificante, sendo improvável que seja detetada pelas partes interessadas. A falha não afeta o desempenho. O impacto no negócio é nulo.	1

2. **Ocorrência:** A probabilidade ou frequência dos possíveis modos de falha do sistema. A esta frequência associa-se um índice de ocorrência tal como se apresenta na Tabela 3;

Tabela 3 - Índice de Ocorrência (adaptado de Moura, 2000)

Efeito	Taxa de falha possível (número de horas)	Índice de Ocorrência
Muito alta: A falha é quase inevitável	1 em 2	10
	1 em 4	9
Alta: Geralmente associada a processos que apresentam falhas frequentes	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Geralmente associada a processos que apresentam falhas ocasionais	1 em 80	6
	1 em 400	5
	1 em 2.000	4
Baixa: Associadas a processos que apresentam poucas falhas	1 em 15.000	3
Muito baixa: Associada a processos que apresentam falhas isoladas	1 em 150.000	2
Improvável: Processos que quase nunca apresentam falhas	1 em 1.500.000	1

3. **Deteção:** Facilidade de deteção da falha antes de se concretizarem os seus impactos. Maior facilidade de deteção traduz-se num menor valor de índice associado, tal como se verifica na Tabela 4;

Tabela 4 - Índice de Deteção (adaptado de Moura, 2000)

Deteção	Critério (Probabilidade de deteção pelo Controlo do Processo)	Índice de Deteção
Quase impossível	Não é conhecido controlo disponível para detetar o modo de falha	10
Muito remota	Probabilidade muito remota de que o controlo atual detete o modo de falha.	9
Remota	Probabilidade remota de que o controlo atual detete o modo de falha.	8
Muito baixa	Probabilidade muito baixa de que o controlo atual detete o modo de falha.	7
Baixa	Probabilidade baixa de que o controlo atual detete o modo de falha.	6
Moderada	Probabilidade moderada de que o controlo atual detete o modo de falha.	5
Moderadamente alta	Probabilidade moderadamente alta de que o controlo atual detete o modo de falha.	4
Alta	Probabilidade alta de que o controlo atual detete o modo de falha.	3
Muito alta	Probabilidade muito alta de que o controlo atual detete o modo de falha.	2
Certo	Controlo atual certamente irá detetar o modo de falha	1

Apesar de existirem na literatura diversos intervalos possíveis para a classificação, segundo a pesquisa efetuada o intervalo mais consensual e usado na maioria dos estudos varia entre 1 e 10 e baseia-se nos critérios apresentados nas tabelas mencionadas anteriormente (McDermott et al., 2009).

De seguida, para cada modo de falha é calculado o índice *Risk Priority Number* (RPN) que resulta da multiplicação da pontuação atribuída aos três fatores apresentados anteriormente. Os modos de falha com RPN mais elevados devem ser priorizados por serem os que apresentam maior risco para as empresas (McDermott et al., 2009), tal como se verifica na Tabela 5.

Tabela 5 - Categorias de Modo de Falha (Smith & Mobley, 2005)

Risco	RPN			
	Alto 501-1000	Médio 101-500	Baixo 51-100	Muito baixo 0-50

Stamatis (2003) sugere que se existirem mais de duas falhas com o mesmo RPN deve ser dada prioridade à falha com maior severidade, além de referir que modos de falhas com elevadas severidades, mas baixa frequência de ocorrência, devem ser passados para um segundo plano. Outros autores, tais como McDermott et al. (2009), defendem que deve ser prestada atenção especial a falhas cujo valor de severidade do seu efeito é superior a 9, independentemente do seu RPN.

Após a classificação dos modos de falha através de RPN, devem ser propostas ações corretivas para os itens críticos e com altos índices de RPN (Moura, 2000). O objetivo das ações recomendadas é reduzir o índice de ocorrência (O), de severidade (S) ou de detecção (D) (McDermott et al., 2009). Moura (2000) afirma que um FMEA bem executado e bem desenvolvido não terá valor significativo sem que as ações corretivas sejam implementadas.

2.3.2 Implementação de FMEA

Na Figura 6 apresenta-se um fluxograma que resume as diferentes etapas no desenvolvimento de um FMEA. A Etapa 1 consiste na identificação e estudo do sistema a analisar. A Etapa 2 caracteriza-se pela análise de cada modo de falha e por fim, numa perspectiva de melhoria, surge a Etapa 3, que envolve a proposta de recomendações/ações corretivas e posterior avaliação destas.

De acordo com Lipol & Haq (2011) a aplicação da metodologia FMEA traz muitos benefícios, tais como:

- Contribuir para a melhoria dos processos uma vez que procura melhorar a fiabilidade, segurança e qualidade destes;
- Aumentar a satisfação do cliente, uma vez que diminui o tempo associado a tarefas que não adicionam valor aos processos e também diminui o desperdício associado ao processo contribuindo para uma maior poupança a nível de custos;
- Auxiliar no desenvolvimento de planos de controlo, testes e na otimização dos planos de manutenção, entre outros.

A redução de custos que pode resultar de uma análise FMEA tipicamente resulta da resolução de falhas no processo que são menos dispendiosas de abordar (Lipol & Haq, 2011). Toledo & Amaral (2000) salientam, que o FMEA permite o desenvolvimento de um catálogo de informações sobre as várias falhas dos produtos e processos gerando

assim um maior conhecimento e uma atitude proativa por parte da organização na melhoria contínua.

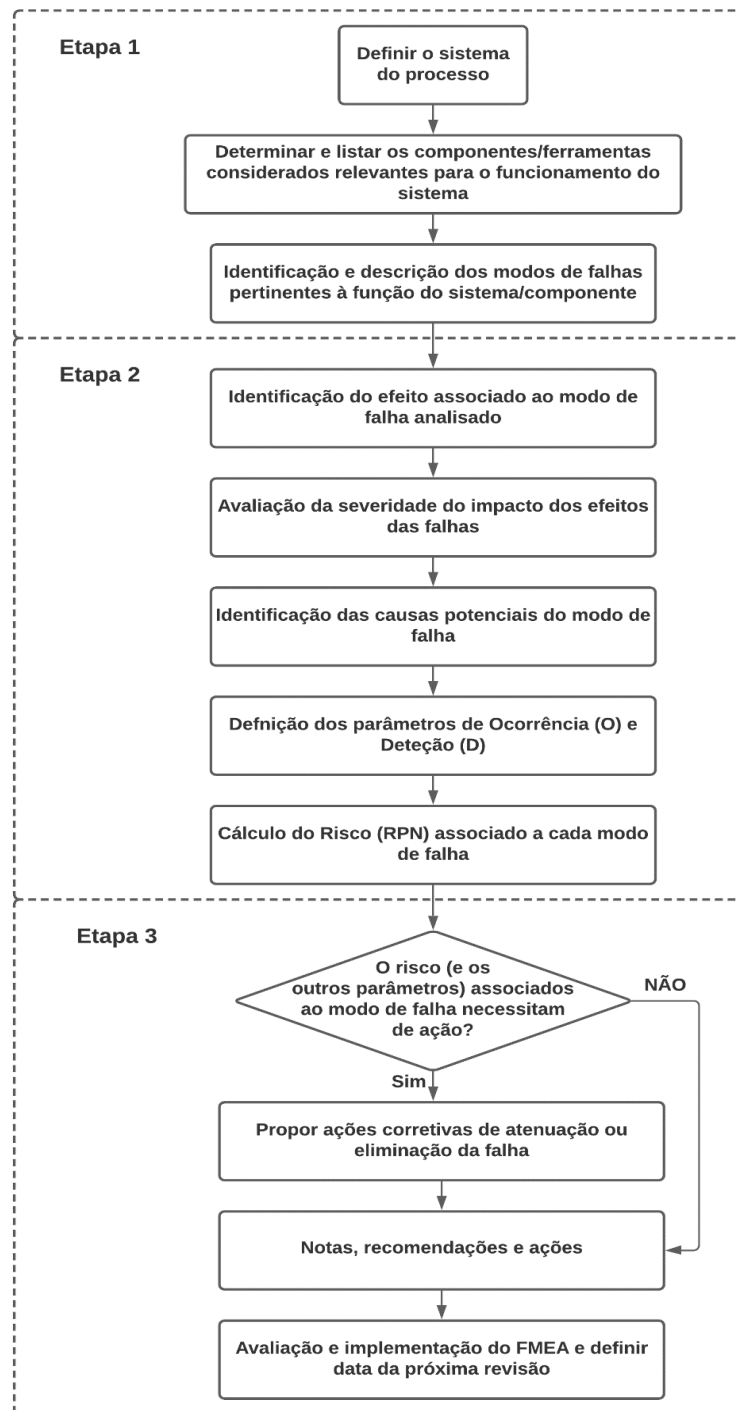


Figura 6 - Fluxograma da metodologia aplicada no desenvolvimento da ferramenta FMEA (Adaptado de Smith & Mobley (2005) e IEC 60812:2006 - Analysis Techniques for System Reliability - Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), 2006)

Apesar de o FMEA ser uma ferramenta extremamente útil, a comunidade científica aponta algumas limitações/desvantagens na utilização desta ferramenta, sendo que algumas delas estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Revisão bibliográfica de algumas limitações associadas a ferramenta FMEA

Autor(es)	Limitações
<p>Miller & Behring (2006)</p> <p>Lipol & Haq (2011)</p>	<p>Estes autores referem que o FMEA requer o conhecimento profundo do processo em estudo, o que normalmente envolve uma sessão de <i>brainstorming</i> com vários intervenientes conhecedores do processo. Isto torna todo o processo fastidioso e demorado, aumentando consequentemente os custos de aplicação. Esta ferramenta é dependente do grau de experiência e opiniões da equipa, o que limita a resolução de quaisquer problemas.</p>
<p>H. Liu et al. (2011)</p>	<p>O nível de risco RPN considera apenas três fatores (S, O e D) desprezando por completo outros fatores igualmente importantes, como aspetos económicos. Este autor também refere que diferentes combinações de classificações de Severidade, Ocorrência e Detetabilidade podem produzir exatamente o mesmo valor de RPN e ainda assim as consequências dos seus riscos podem ser totalmente diferentes.</p>
<p>Zammori & Gabrielli (2011)</p>	<p>A importância relativa entre os três parâmetros não é tida em consideração, e assume-se que os três fatores têm a mesma importância, o que não corresponde muitas vezes à realidade.</p>
<p>Márcio & Fernandes (2006)</p>	<p>O conceito tradicional da FMEA não é suficiente esclarecedor em relação à eficácia dos controlos atuais, ações recomendadas e ações tomadas. O RPN não consegue medir</p>
<p>Puente et al. (2002)</p>	<p>realmente a efetividade das ações de melhoria propostas.</p>

Desde o seu aparecimento o FMEA tem sido desenvolvido e implementado com sucesso numa grande variedade de indústrias, que incluem a indústria aeroespacial, automóvel, nuclear, eletrónica, química, mecânica, telecomunicações e de tecnologias médicas, entre outras (Xiao et al., 2011)(Chang & Cheng, 2011).

O estudo de van Leeuwen et al. (2009) descreve o desenvolvimento e implementação da técnica convencional de FMEA na indústria farmacêutica. Esta análise FMEA foi realizada por uma equipa multidisciplinar de quatro pessoas treinadas para realizar análises FMEA e familiarizadas com o processo. Nesta análise focaram-se no estudo dos riscos técnicos e humanos associados ao procedimento analítico de infravermelhos utilizado para rastrear a autenticidade dos medicamentos. Neste estudo foram identificados 13 modos de falha e para cada um deles o S, O e D foram pontuados num intervalo de 1 a 10. As pontuações finais variavam entre 12 e 320, sendo que foram implementadas ações corretivas apenas para os 6 modos de falha com RPN mais elevado. Através da análise FMEA concluíram que o modo de falha “Troca das amostras por engano”, que inicialmente era considerado como sendo não crítico, acabou por ser

o modo de falha com maior RPN. Após a implementação das ações corretivas foi novamente realizada a análise FMEA ao procedimento e foram contabilizados os novos RPN, sendo que em alguns casos o valor de RPN ficou cinco vezes menor.

Retomando o setor industrial, mas com vista à melhor gestão dos ativos da manutenção de uma empresa, uma análise FMEA foi realizada por Pedrosa (2014) em integração com o Processo Hierárquico Analítico (AHP) a um secador industrial. A análise FMEA identificou quais os modos de falha do secador que apresentavam maior risco para a empresa, assim como possíveis ações corretivas, e o AHP permitiu selecionar a melhor ação recomendada para cada modo de falha com grau de risco elevado, através da criação de uma hierarquia baseada em múltiplos critérios de decisão. Neste estudo conclui-se que mais de metade dos modos de falha apresentam um risco baixo e foram identificados apenas 12 modos de falha com risco elevado de um total de 266 riscos analisados. O autor deste estudo afirma ainda que FMEA é uma ferramenta altamente versátil, adaptável à realidade onde é aplicada e que implica que os intervenientes adquiram um conhecimento mais detalhado sobre cada componente objeto do estudo, o que é útil para a eliminação dos modos de falha ou até mesmo para a identificação de novos modos de falha.

Com o objetivo de contornar algumas das limitações apresentadas anteriormente existem outros estudos que usam alternativas à análise FMEA convencional, seja através da incorporação de novas variáveis, da alteração do peso de cada um dos elementos de cálculo do RPN, entre outras.

Rajamanickam (2018), na indústria automóvel, desenvolveu uma análise FMECA (*Failure mode, effects, and criticality analysis*) sobre uma das máquinas mais críticas para a produção da empresa, uma máquina de fundição injetada sob pressão com vácuo.

O modo de falha, efeitos e análise de criticidade (FMECA) é uma extensão do FMEA. O FMEA é um método indutivo que pode ser realizado tanto a nível funcional como a nível da peça. O FMECA estende o FMEA para incluir uma análise de criticidade, que é utilizada para analisar a probabilidade de modos de falha contra a gravidade das suas consequências (Rajamanickam, 2018).

Rajamanickam (2018) numa primeira fase, dedicou-se a conhecer o processo e através de várias sessões *brainstorming* com os vários intervenientes do processo identificou os principais modos de falha. De seguida, realizou a análise FMECA com base em critérios adequados às necessidades e os objetivos da empresa, definindo assim que modos de falha com RPN > 100, Severidade > 8 e Ocorrência > 7 seriam alvo de uma análise mais aprofundada. Nestes casos o autor enumerou uma série de melhorias tais como: a elaboração de um plano de controlo periódico sobre os vários componentes da máquina de fundição injetada; uma análise ABC sobre as peças de reserva do equipamento presentes em inventário da empresa definido assim a criticidade de cada uma destas para melhorar a sua gestão; e por fim desenvolveu e implementou um plano de

manutenção autónoma/preventiva sobre o equipamento. Através destas ações foi possível reduzir as avarias no equipamento, aumentando assim a sua disponibilidade para produção.

Por fim, num estudo realizado também na indústria automóvel, Martins (2014) implementou a ferramenta FMEA na secção de soldadura da empresa. Este projeto desenvolveu-se em três fases distintas: i) etapas preliminares da implementação (estudo de todo o processo); ii) obtenção de todos os dados relativos aos modos de falha (incluindo seus efeitos e causas); iii) análise dos valores de RPN e implementação de ações de melhoria. Nesta última etapa foram calculados valores de RPN, sendo que no total de 118 RPN, 53 encontravam-se acima do valor desejável de 100. Após esta análise verificou-se que as operações furação não circular e circular apresentavam um valor médio de RPN de 202 e 249. Por isso, atuaram sobre estas operações críticas, implementando melhorias para atuar nos modos de falha com maior valor RPN. Com esta implementação, foi possível reduzir o valor de RPN em 12 modos de falhas, sendo que as 53 falhas com valor de RPN acima 100 passaram a ser 47. O autor refere que o FMEA é útil na melhoria de processos industriais, uma vez que permite identificar potenciais problemas e atuando sobre estes aumenta-se a fiabilidade dos processos o que conduz uma maior satisfação dos clientes.

2.4 Sistemas de informação de apoio à gestão da manutenção

A importância da gestão e do aproveitamento da informação é universalmente aceite pelas organizações, e é inclusive apontada por muitas como um dos recursos mais importantes para que estas possam alcançar os seus objetivos (Moresi, 2000). Também na gestão da manutenção a informação constitui um recurso importante. Por este motivo a recolha sistemática, a monitorização e a avaliação dos dados pode ser muito útil para a tomada de decisões estratégicas em relação ao nível de manutenção necessária (Cardoso, 2012).

O uso de ferramentas informáticas para a gestão da manutenção tem um passado relativamente longo. Desde o início dos anos 70 e nos anos 80 já um número substancial de organizações recorria à utilização de computadores para auxiliar estas atividades. Foi nesta altura que surgiram os primeiros Sistemas de Informação para Gestão da Manutenção (*Maintenance Management Information Systems - MMIS*), que não eram mais do que extensos repositórios de dados para processamento e tratamento destes para responder a perguntas específicas (Cardoso, 2012).

No início da década de 90 e com a valorização da manutenção como fonte de vantagem competitiva houve uma maior aposta nas tecnologias de informação para melhorar a gestão da manutenção. Apesar de as tecnologias de informação poderem contribuir para o aumento da competitividade das organizações, se a sua utilização não for eficiente pode ter um efeito contrário e prejudicar a competitividade da mesma (Gouveia & Ranito, 2004).

Ao longo do tempo, os sistemas de informação foram evoluindo e mais recentemente, segundo o Watson (2008), um sistema de informação é “um sistema concebido para recolher, processar, armazenar e distribuir informação”. De acordo com o autor, apesar de um sistema de informação não ter de ser necessariamente um sistema computadorizado, devido ao ritmo rápido com que a inovação tecnológica tem evoluído atualmente a maioria dos sistemas de informação recorre a tecnologias de informação porque estas permitirem que as operações sejam mais eficientes.

De acordo com Zorrinho (1991) e Gouveia & Ranito (2004), um Sistema de Informação (SI) pode ser definido como sendo não só uma infraestrutura que permite o fluxo de informação interno e externo de uma organização, como também um mecanismo de *feedback* que fornece aos gestores da organização informações acerca do estado e desempenho da mesma.

Os sistemas de informação devem permitir (Teixeira, 2016)(Gouveia & Ranito, 2004):

- 1) **Recolha da informação:** Deve permitir a recolha de “dados brutos” internos ou externos à organização;
- 2) **Armazenamento da informação:** Garantir o registo dos dados necessários ao sistema;
- 3) **Processamento da informação:** Dar resposta às exigências de dados e informação para suporte do sistema, transformando os dados em saídas úteis;
- 4) **Representação da informação:** Envolve a transferência da informação processada útil para quem a irá utilizar e, geralmente, é feita sob a forma de documentos ou relatórios;
- 5) **Distribuição da informação:** Garantir o fluxo de dados e de informação no sistema.

2.4.1 Tipos de Sistema de Informação

Segundo Gouveia & Ranito (2004) existem diversos tipos de sistemas de informação sendo que a sua divisão depende de pelo menos duas dimensões: níveis de gestão da organização e área funcional. Na primeira dimensão, os sistemas subdividem-se em quatro níveis de gestão, que correspondem aos tradicionais níveis de gestão de uma organização (Gouveia & Ranito, 2004):

1) Nível estratégico

São sistemas focados no auxílio do processo de tomada de decisões estratégicas e por isso destinados a gestores de topo. Estes sistemas possibilitam o planeamento a longo prazo, e tipicamente integram informação histórica, multidimensional, hierárquica e que abrange a diversas áreas da organização.

Os Sistemas de Suporte Executivo (*ESS – Executive Support Systems*) são utilizados para tomadas de decisões não estruturadas através do uso avançado de gráficos e comunicações.

2) Nível de gestão

Estes sistemas de informação suportam as atividades dos gestores intermédios, fornecendo funcionalidades de supervisão, controlo, tomada de decisão e atividades administrativas. São sistemas focados em decisões táticas, e o objetivo é fornecer aos gestores ferramentas que permitem o acompanhamento da atividade diária da organização, o seu planeamento e controlo. Os sistemas MIS (*Management Information Systems*) e os DSS (*Decision Support Systems*) são exemplos de sistemas de nível de gestão. Os primeiros são sistemas que sintetizam informações da atividade diária e originam relatórios utilizando esta informação. Já os segundos recorrem a modelos de análise e modelação de dados sofisticados para suportar decisões sobre problemas para os quais as soluções não podem ser previamente especificadas.

3) Nível de conhecimento

Os sistemas de nível de conhecimento suportam o trabalho de quem lida com dados e com conhecimento e por esse motivo devem ser muito flexíveis para permitir a integração de novo conhecimento no negócio. É importante que estes sistemas sejam fáceis de utilizar porque de outra forma as pessoas tendem a não os usar invalidando a utilidade destes.

Um exemplo deste tipo de sistemas são os Sistemas de suporte ao conhecimento, que auxiliam os especialistas e profissionais qualificados na criação e integração de novos conhecimentos na organização.

4) Nível operacional

Estes sistemas de informação registam dados gerados pelas atividades e transações elementares na organização. O foco principal reside na eficiência, na introdução rápida de transações, em detrimento da pesquisa sofisticada de dados. Os Sistemas de Processamentos de Transações (*TPS – Transaction Processing Systems*) são sistemas computadorizados deste tipo que realizam e registam as operações diárias rotineiras da organização.

A segunda divisão, ou seja, a divisão funcional, divide o sistema de informação por tipo de função organizacional que suporta, como por exemplo a área da manutenção (Gouveia & Ranito, 2004). Note-se que ambas as dimensões se cruzam, isto é, existem níveis de gestão para cada função organizacional, podendo um sistema de manutenção, por exemplo, estar associado a vários níveis de gestão (operacional e de conhecimento, por exemplo).

Para que a implementação dos sistemas de informação seja bem-sucedida é importante que seja enquadrada na maturidade da empresa relativamente à utilização de

ferramentas computacionais. É importante que a gestão de topo defina objetivos que se enquadram com as tecnologias disponíveis e que todos os intervenientes tenham conhecimentos e formação para lidar com as mesmas (Pinto, 2015).

2.4.2 Sistemas de Informação para a Gestão da Manutenção

Devido ao reconhecimento dos benefícios da utilização dos sistemas de informação de gestão para auxiliar o processo de tomada de decisões estratégicas, diversas organizações começaram a adaptar este tipo de sistemas para a gestão da manutenção.

Segundo Abudayyeh et al. (2005), o sistema de gestão da manutenção é geralmente concebido para otimizar a gestão das atividades de manutenção diferida e de atividades de melhoria do capital ao longo do serviço. Para tal podem ser utilizados procedimentos padronizados para documentar e priorizar as instalações e recursos necessários e para relatar o que foi realizado.

Os Sistemas de Informação para a Gestão da Manutenção, CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) são sistemas de informação que assistem na gestão de diversas atividades de manutenção recorrendo a uma vasta gama de informações, como informações acerca da força de trabalho de manutenção, inventários de peças de reserva, calendários de reparações e históricos de equipamento, entre outras (Swanson, 1997).

Segundo Abudayyeh et al. (2005), os objetivos principais de um CMMS são:

- Melhorar a eficiência da manutenção;
- Reduzir os custos de manutenção;
- Reduzir a indisponibilidade dos equipamentos, agendando manutenções preventivas;
- Aumentar o tempo de vida útil dos equipamentos;
- Fornecer registos históricos para ajudar na manutenção planeamento e orçamentação;
- Fornecer relatórios de manutenção.

De acordo com Duffuaa & Raouf (2015) existem dois elementos essenciais para que um CMMS seja eficaz. Em primeiro lugar deve ser capaz de suportar as principais atividades da manutenção e, quanto à interação com o utilizador, deve ser fiável, fácil de utilizar, garantir a qualidade da informação e ser capaz de processar as informações em tempo útil.

Segundo Abudayyeh et al. (2005) existem alguns fatores que devem ser avaliados aquando do desenvolvimento de um CMMS. Os fatores mais importantes estão relacionados com os custos e produtividade, mas existem outros fatores que também são significativos, como melhores métodos de organização, redução do trabalho em papel, e melhoria das comunicações.

Os CMMS são atualmente uma componente central nos departamentos de manutenção das empresas devido à sua capacidade para lidar com grandes quantidades de dados, o que abriu novas oportunidades de manutenção, facilitando uma abordagem mais deliberada e ponderada à gestão dos ativos de uma organização (Labib, 2004).

Apesar de existir uma grande diversidade de CMMS disponíveis no mercado, e vários estudos que abordam diferentes critérios e processos de escolha para selecionar o sistema CMMS mais adequado, Dunn (1997) provou que uma grande parte das implementações dos CMMS não conseguiu proporcionar os benefícios prometidos e os resultados ficaram muito aquém das expectativas (Braglia et al., 2006). Algumas das principais limitações e fraquezas apontadas a estes sistemas são o apoio limitado à atribuição de recursos, limitações no apoio à análise de decisão, na análise dos dados de monitorização das condições e não permitem o diagnóstico de falhas do equipamento (Labib, 2004)(Rastegari & Mobin, 2016). Lopes et al. (2016) acrescenta a estas limitações uma que considera como sendo crucial, que é o facto de os CMMS não corresponderem perfeitamente às particularidades de cada empresa por serem desenvolvidos de forma mais ou menos padronizada.

Para além das limitações inerentes a estes sistemas alguns autores defendem que os CMMS só resultam em aumento da produtividade e na melhoria das práticas se acompanhados de mudanças nos hábitos e objetivos de manutenção (Swanson, 1997).

Num estudo realizado numa empresa industrial portuguesa Lopes et al. (2016) procuraram identificar melhorias no atual sistema de gestão da manutenção, uma vez que este já não era capaz de corresponder às necessidades da empresa. Segundo o autor, uma das fases mais importantes no desenvolvimento do sistema é a identificação dos requisitos e especificações que devem ser definidas pela empresa. De seguida, o autor identificou três novas funcionalidades críticas para o sistema: a criação de uma ferramenta para auxiliar as atividades de manutenção, uma análise falha-causa e a integração com outros sistemas de gestão da empresa. Na análise de falhas e causas o autor realizou uma análise FMEA que permitisse o registo dos vários modos de falhas de cada equipamento, respetivas causas, efeitos e severidades proporcionado assim:

- Acesso a informação que conduz à melhoria de planos de manutenção e diminuição das taxas de falhas;
- Identificação de equipamentos críticos e dos seus modos de falhas;
- Redução do tempo de diagnóstico das falhas.

Além destas três novas funcionalidades, o autor identificou ainda outras oportunidades de melhoria que poderiam ser adotadas para auxiliar outras atividades de manutenção na empresa tais como:

- Acesso à informação em tempo real em diferentes locais para facilitar as ações dos técnicos de manutenção;

- Função de calendarização de ações atendendo à disponibilidade tanto de técnicos de manutenção como do plano de produção;
- Avaliação do desempenho do apoio à manutenção e das iniciativas de melhoria;
- Acompanhar os movimentos das peças de reserva, os custos associados a esta e assegurar a sua disponibilidade quando necessário.

Através deste estudo, existem duas vertentes de sistemas de informação importantes de analisar devido à sua utilidade para aumento da eficiência das intervenções da manutenção não planeada. Um sistema de apoio à resolução de avarias e também um sistema de gestão das peças de reserva.

Sistema de Apoio à Resolução de Avarias

Com a evolução tecnológica e industrial, os sistemas industriais estão cada vez mais complexos e automatizados e, devido à sua utilidade, as empresas cada vez estão mais dependentes destes e dos seus componentes (Lang et al., 2018). Apesar do elevado nível de automação das máquinas, continua a ser necessário a colaboração dos operadores no controlo e supervisão do funcionamento do equipamento (Villani et al., 2016).

Apesar do interesse crescente na manutenção preventiva por parte da comunidade académica e industrial, continua a existir a necessidade de desenvolver novas técnicas capazes de reduzir os tempos associados a uma avaria do equipamento. Isto é, de apostar no desenvolvimento de ferramentas e estratégias capazes de reduzir o tempo despendido na fase de resposta, na fase de diagnóstico e na fase de reparação de uma avaria (Labib, 1998)(Lang et al., 2018). Por vezes, em avarias mais complexas, existe a necessidade de alocar um técnico de manutenção ou mesmo a assistência do fabricante do equipamento o que se traduz em maiores custos, mas também num maior tempo de inatividade (Lang et al., 2018).

Existem várias ferramentas com o objetivo de dar suporte na resolução de avarias. Estas ferramentas elaboram procedimentos de apoio as ações de manutenção corretiva, uma vez que fornecem informações que podem ser úteis na deteção e/ou na definição da estratégia de resolução da avaria. Algumas das vantagens da utilização deste sistema são:

- Identificar a causa da avaria e do possível componente do equipamento que não está a trabalhar corretamente atuando assim na diminuição do tempo de diagnóstico;
- Disponibilizar uma sequência de passos ao operador da máquina na resolução da avaria, reduzindo o tempo de reparação ou mesmo a necessidade de chamar técnicos de manutenção;
- Em avarias mais complexas e/ou menos recorrentes fornecer uma lista de possíveis causas, planos de ação ou outro tipo de informações que poderão auxiliar os técnicos de manutenção na resolução das mesmas.

- Este sistema de apoio pode ser apresentado em vários formatos tais como:

A. Documentos

A documentação em papel pode ser apresentada em diferentes formatos, como tabelas ou fluxogramas (Moran, 2004). Um destes exemplos de documentos é as OPL (*One Point Lessons*) que são instruções de reparação ou lições ponto a ponto com um esquema descritivo de todas as etapas a executar na resolução da avaria (Sousa, 2009).

Um estudo realizado por Sousa (2009) numa linha de montagem de esquentadores comprova a utilidade destes documentos OPL em avarias frequentes. Nesta linha de montagem, devido à elevada rotatividade dos colaboradores, durante a ocorrência de avarias mais frequentes muitas vezes os colaboradores não sabiam ou não se recordavam de quais os passos necessários na resolução destas. Neste estudo com a aplicação de uma simples OPL houve uma redução do tempo de paragem de 88% (132 minutos para 15 minutos) para além de haver um aumento da confiança do operador no controlo do equipamento que opera.

B. Softwares

No desenvolvimento de um sistema de apoio à resolução de avarias a utilização de softwares permite apresentar informações relevantes e permite ainda o tratamento de dados necessários para a criação do procedimento para a resolução de avarias (Moran, 2004).

Villani et al. (2016) apresenta um sistema de informação que pretende dar suporte ao técnico de manutenção ou operador durante as atividades de manutenção corretiva e preventiva. Uma das vantagens da criação de um sistema é superar as limitações associadas aos documentos em papel, mas também a possibilidade de ser atualizado com novas informações relativas a alterações realizadas no sistema produtivo ou avarias nunca identificadas anteriormente nem retratadas pelo sistema.

Kontargyri et al. (2007) desenvolveu um sistema focado no diagnóstico, reparação e manutenção de falhas em equipamentos elétricos. Este sistema foi concebido para garantir a gestão eficiente da informação para facilitar o diagnóstico de falhas e, para tal recorreu a softwares para o tratamento de dados. Para além disso o autor procurou criar um sistema com uma interface utilizador-software muito simples e acessível, o que é muito importante num sistema com o qual se espera que os operadores interajam. Através de um procedimento “*HelpDesk*” (centro de suporte), o software realiza uma série de perguntas ao utilizador e no final fornece informações sobre a causa mais provável da avaria através de uma árvore de conhecimento da base de dados. Os fatores de ponderação adequados foram aplicados aos elementos da base de dados assegurando assim uma fácil adaptação deste software aos requisitos de cada caso.

C. Outras Tecnologias

Com a evolução da digitalização e da aposta na Indústria 4.0 têm surgido novas tecnologias para dar suporte à manutenção (Masoni et al., 2017). Uma destas é a Realidade Aumentada que é uma tecnologia que procura transportar os utilizadores para um ambiente virtual, que aplicado neste contexto pode simular as operações e instruções de manutenção a realizar perante a resolução de uma avaria.

Além da redução do tempo na resolução da avaria, uma das principais vantagens da Realidade aumentada é a aplicação do treino dos técnicos ou operadores uma vez que permite a estes serem testados em vários cenários de treino numa realidade virtual (Henderson & Feiner, 2007). Contudo, a complexidade destes sistemas e o conseqüente investimento elevado continua a limitar o seu uso nas várias indústrias (Henderson & Feiner, 2007).

Gestão de Peças de Reserva

A gestão de peças de reserva é considerada um caso especial da gestão de inventário por ter características específicas como volumes de procura muito baixos (Huiskonen, 2001). O objetivo de qualquer sistema de gestão de inventário é garantir um nível de serviço suficiente com o mínimo investimento possível e o mínimo de custos administrativos (Huiskonen, 2001).

No caso da gestão das peças de reserva o objetivo é garantir que as peças estão disponíveis sempre que necessário garantindo ao mesmo tempo que os custos de compra e de armazenamento são minimizados (Ferreira et al., 2018).

A necessidade de ter peças de reserva existe por causa de incertezas na procura e do *lead time* de fornecimento. Segundo Ballou (2004) se a procura fosse determinística, ou seja, não sujeita a aleatoriedade, e a reposição fosse instantânea, não haveria a necessidade de ter peças de reserva.

A gestão das peças suplentes não é trivial na medida em que a falha de uma peça de reserva aquando de uma avaria pode levar a tempos improdutivos com conseqüências diretas na organização. Em contrapartida, o investimento em peças de reserva pode significar despende volumes elevados de capital que poderiam ser usados em outros investimentos.

Bacchetti & Sacconi (2012) propõe uma abordagem integrada para a gestão de peças de reserva que inclui 4 fases principais (ver Figura 7). De acordo com a abordagem proposta em primeiro lugar é necessário classificar as peças de reserva, de seguida prever a procura destas peças e em função disso gerir o inventário e finalmente medir o desempenho.

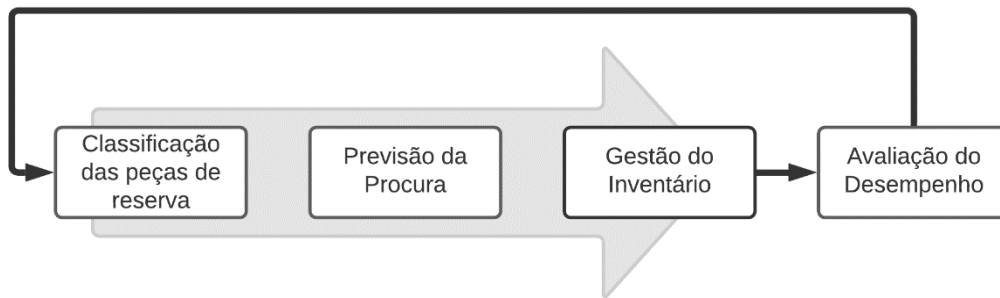


Figura 7 - Abordagem integrada à gestão de peças de reserva (Adaptado de Bacchetti & Saccani, 2012)

1. Classificação de peças de reserva

Na gestão de peças de reserva, a primeira etapa passa pela classificação/agrupamento das peças de acordo com determinados critérios. De acordo com Huiskonen (2001) e Bacchetti & Saccani (2012) o agrupamento das peças de reserva é importante uma vez que permite à gestão direcionar a sua atenção aquando da alocação de recursos e na escolha de parâmetros levando assim a escolha de métodos de previsão da procura e controlo de inventário mais adequados além de ajudar a estabelecer diferentes objetivos de desempenho ao nível de rotação de inventário e níveis de serviço.

Ferreira et al. (2018) propôs uma metodologia (Figura 8), tendo por base o trabalho de Bacchetti & Saccani (2012), que divide o processo de classificação das peças de reserva em 5 etapas.

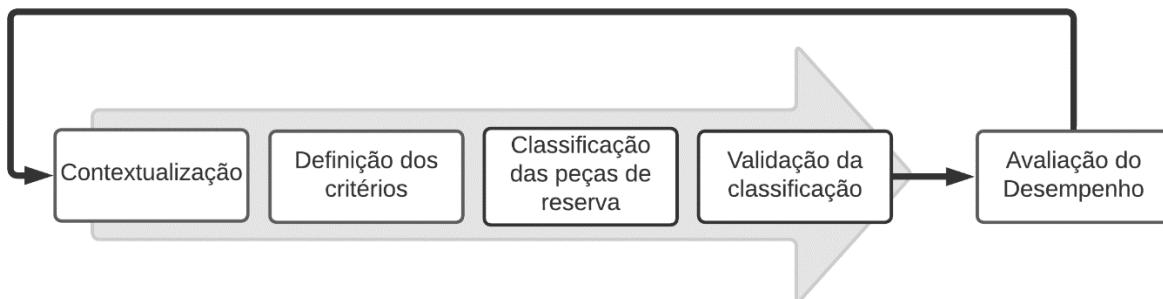


Figura 8 - Abordagem integrada à classificação das peças de reserva (Adaptado de Ferreira et al. ,2018)

A. Contextualização

De acordo com esta metodologia o processo de classificação das peças de reserva começa com a fase da contextualização e definição do problema que engloba a compreensão do funcionamento da organização e a importância do fornecimento de peças de reserva para as tarefas de manutenção. De seguida é importante definir os critérios a serem considerados para a análise e definir o método para agrupar as peças de reserva de acordo com esses critérios.

B. Definição dos critérios

De acordo com Huiskonen (2001) existem 4 características que influenciam o controlo das peças de reserva, que são:

- **Criticidade:**

A criticidade de um equipamento está relacionada com as consequências causadas no processo no caso de não ser possível realizar prontamente a substituição da peça. Pode ser avaliada usando critérios informais ou critérios mais formais, como por exemplo, a análise FMECA (Syntetos et al., 2014) . A classificação dos equipamentos de acordo com a sua criticidade é um fator importante e é provavelmente o primeiro mencionado pelos profissionais da logística.

- **Especificidade:**

Do vasto espectro de peças de reserva disponíveis tipicamente existem dois tipos de peças, as peças *standard* e as peças customizadas. As primeiras são peças amplamente utilizadas por muitos utilizadores e, por conseguinte, prontamente disponíveis em vários fornecedores até pelas economias de escala que estes usufruem por terem mais quantidade disponível. Por outro lado, as peças customizadas, por serem usadas por poucos utilizadores, os fornecedores não estão dispostos a armazenar estas peças por terem baixo volume de procura. Assim sendo, a responsabilidade da disponibilidade e controlo destas peças normalmente permanece com o utilizador e não com os fornecedores;

- **Padrão da procura:**

O padrão da procura de peças inclui os aspetos de volume e previsibilidade. No que diz respeito ao volume as peças de reserva distinguem-se das restantes porque normalmente existe um grande conjunto de peças cujo volume de procura é baixo e irregular. Em relação à previsibilidade as falhas podem ter um comportamento aleatório, e por isso mais difícil de prever, ou então terem um comportamento de falha mais previsível, que pode estar associado ao desgaste do equipamento. Contrariamente às tradicionais políticas de logística, na gestão das peças de reserva tipicamente as que têm menor volume de procura e cujos fornecedores têm menos disponibilidade são as privilegiadas para ter de reserva.

- **Valor das peças:**

O valor de uma peça é uma característica de controlo comum a todos os materiais, sendo que para peças com um valor mais elevado o armazenamento é uma solução menos atrativa. Se a peça tem um valor muito elevado o poder de negociação e cooperação dos diferentes intervenientes da cadeia de abastecimento adquire uma importância maior. Por outro lado, se as peças têm um valor baixo a prioridade é estabelecer acordos de reabastecimento eficientes

para que os custos administrativos não aumentem excessivamente em comparação com o valor dos próprios artigos.

Dependendo dos autores e das organizações podem ser considerados outros critérios, ou estes critérios podem ser agrupados de outra forma. Ferreira et al. (2018) propõe critérios que, apesar de terem um conteúdo semelhante aos apresentados anteriormente, estão organizados de forma diferente e apresenta inclusive os diferentes níveis de classificação que podem ser utilizados em cada um. Os critérios apresentados são:

- **Criticidade dos equipamentos:**

O autor propõe classificar os equipamentos de acordo com a sua criticidade recorrendo a uma ferramenta amplamente usada na classificação dos componentes, a classificação VED (*Vital, Essential and Desirable*). Os critérios considerados na análise segundo a ferramenta VED são:

- **Vital (V):** Falha do componente põe em risco o processo, a segurança e o ambiente com elevado impacto económico;
- **Essencial (E):** Falha do componente é crítica para o sistema produtivo;
- **Desejável (D):** Falha do componente não é crítica para o sistema produtivo.

- **Previsão da procura:**

Para avaliar os materiais em função da frequência com que são consumidos pode ser utilizada a classificação FSN (*Fast-moving, Slow-moving, Non-moving stock*). A frequência a partir da qual os itens são classificados nestas categorias deve ser definida internamente na organização. A título de exemplo o autor sugere a seguinte divisão:

- **Fast-mover (F):** Consumo anual igual ou superior a 100 unidades;
- **Slow-mover (S):** Consumo anual que varie entre 10 a 100 unidades;
- **Non-mover (N):** Consumo anual inferior a 10 unidades;

- **Características Logísticas:**

O autor classifica a obtenção dos materiais em função da maior ou menor facilidade de aquisição dos mesmos, e para tal considera três subcritérios: o valor anual despendido na peça, o tempo de reposição e o número de potenciais fornecedores.

Para concluir, a Tabela 7 ilustra um exemplo de conjugação dos vários critérios apresentados por este autor para a classificação de peças de reserva.

Tabela 7 - Critérios de criticidade das peças de reserva (Adaptado de Ferreira et al., 2018)

Critério		Categorias			
Criticidade do equipamento	Vital	Essencial	Desejável		
	Falha põe em risco processo; Exigências legais	Crítico para o sistema produtivo	Não Crítico		
Previsão do Consumo	<i>Fast-Moving (F)</i>	<i>Slow-Moving (S)</i>	<i>Non-Moving (N)</i>		
	100 Un./ano	10 – 100 Un./ano	<10 Un./ano		
Características de logística	Valor do Componente	A	B	C	
		>1851 €	851€<Valor<1850€	<850€	
	Tempo de Reposição	X	Y	Z	
		>2 semanas	3 dias a duas semanas	<3 dias	
	Nº de Potências Fornecedores	Único	Essencial	Múltiplo	
		1	2 a 3	>3	

C. Classificação das peças de reserva

Na literatura, existe uma variedade de técnicas para a classificação de peças de reserva baseadas em abordagens qualitativas ou quantitativas e tendo por base um ou mais critérios (Gonçalves, 2019). O sistema de classificação quantitativo mais usual em logística é a classificação ABC de acordo com o Princípio de Pareto (Marcos, 2006). A análise ABC permite a classificação das peças de reserva em 3 categorias pré-definidas e ordenadas (A, B e C) (Radhouane & Jabeur, 2015). Os itens A são aqueles sobre os quais devem ser empenhados mais esforços de gestão e de investimento e os itens C são os menos relevantes (Radhouane & Jabeur, 2015).

Esta classificação é popular na gestão de peças de reserva porque permite direcionar os esforços de controlo sem que seja necessário realizar uma análise muito extensiva por item. Contudo a análise ABC convencional é unidimensional (tipicamente só considera o volume da procura ou valor) e não permite considerar outros critérios relevantes na gestão das peças de reservas, como os apresentados acima. Por este motivo surgem métodos de classificação que têm em conta diferentes critérios, nomeadamente a análise ABC multicritério. Na análise ABC multicritério a classificação tem em conta a classificação da peça em diferentes critérios e a ponderação de cada um (Radhouane &

Jabeur, 2015). A escolha dos critérios, o número de critérios a utilizar e o peso de cada um deles pode variar entre organizações (Ple et al., 1988).

Várias metodologias multicritério têm sido estudadas, sendo comum o uso da programação linear ponderada, através da metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Syntetos et al., 2014). A metodologia AHP tem atraído a atenção de vários investigadores, porque permite transformar julgamentos qualitativos em quantitativos, e através do tratamento matemático auxiliar os decisores no processo de tomada de decisão (S. Santos, 2014). O método AHP consiste em decomposição e síntese das relações entre os critérios através de comparações em pares até que se atinga uma priorização dos critérios, aproximando-se assim de uma melhor resposta de medição única de desempenho (Saaty, 1987). Esta metodologia ajuda a definir prioridades atribuindo ponderações a diferentes critérios tendo por base dados subjetivos, isto é, que dependem do conhecimento dos intervenientes (Velmurugan et al., 2011). De referir que uma das desvantagens óbvias de usar múltiplos critérios é a dificuldade na otimização destes sistemas e a sua implementação é mais exigente (Syntetos et al., 2014).

Um caso de estudo desenvolvido por Syntetos et al. (2014) numa empresa japonesa de eletrónica estudou a classificação das peças de reserva usando a análise ABC. Neste estudo foram comparados dois métodos ABC para classificar as peças de reserva. O primeiro método de classificação ABC baseou-se apenas na frequência e o segundo para além da frequência considerou o custo, sendo que o valor final resulta da multiplicação destes critérios. A consideração do custo reduziu drasticamente o número de peças classificadas como A quando comparado com a primeira solução, o que de acordo com o autor facilita a gestão destas peças, que é particularmente difícil em contextos onde a frequência da procura é baixa e o valor das peças é elevado. Utilizando a segunda metodologia, apesar de as peças A corresponderem a 80% do valor total procurado, representam apenas 13% das peças procuradas. Por outro lado, as peças da categoria C apesar de representarem apenas 15% do valor correspondem a 63% das peças procuradas. O que permite concluir que as peças A identificadas considerando o custo são realmente as mais importantes do ponto de vista de controlo de inventário, mas não são as que mais contribuem para um nível de serviço mais elevado, ou seja, as peças A não são as peças pedidas com mais frequência.

Uma das principais conclusões deste estudo relativamente à conclusão das peças de reserva é de que a construção das regras pertinentes é muito desafiante devido à natureza distinta dos padrões de procura subjacentes e dos objetivos da empresa.

Um estudo realizado numa empresa da indústria automóvel por Santos (2014) acerca da análise ABC multicritério começou por considerar o critério de criticidade, que foi obtido através de uma matriz de combinações entre a importância das funções e o

impacto no caso de a peça de reserva faltar. Depois de classificada a peça de acordo com a sua criticidade, foram estudados os critérios de *lead time* e preço. A seguir, foi realizada uma classificação multicritério usando uma árvore de decisão e através desta foram definidas diferentes políticas de gestão de inventário para cada classe, sendo que para as classes menos críticas optou-se por não criar stock de segurança, para níveis intermédios garantir que existe sempre uma peça em stock e para níveis mais críticos sugerem o uso de modelos de gestão de inventário.

Kriguer (2015) para classificar peças de reserva num fabricante de equipamentos para indústria aeronáutica, mineração, entre outros, recorreu à metodologia AHP. Neste estudo foram considerados seis critérios: Valor de aquisição da peça, rotatividade da peça, criticidade, ciclo de vida do equipamento, tempo de fornecimento e especificidade, sendo que para cada critério foram definidas 3 alternativas, recorrendo à metodologia ABC, VED ou XYZ, dependendo do critério. De seguida foi realizado um inquérito a vários intervenientes para determinar as relações de prioridade entre critérios. Com base nesta informação e recorrendo à metodologia AHP concluiu-se que os critérios mais relevantes (com maior ponderação) são a rotatividade da peça e o tempo de fornecimento. O peso de cada um destes critérios com base nesta informação e recorrendo à metodologia AHP estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Peso dos critérios segundo metodologia AHP (Kriguer, 2015)

Critério	Peso do critério
Valor de aquisição da peça	9,2%
Rotatividade da peça	37,7%
Criticidade	9,2%
Ciclo de vida do equipamento	3,1%
Tempo de fornecimento	37,7%
Especificidade	3,1%

Foi utilizada a mesma metodologia para a definição do peso das três alternativas (ABC, VED ou XYZ) possíveis em cada critério. Conclui-se que a categoria mais relevante tem um peso de 71% e a menos relevante um peso de 7%. De seguida cada peça de reserva foi classificada para os diferentes critérios nas alternativas disponíveis. Sabendo o peso do critério, o peso da alternativa e a classificação da peça em cada critério foi calculado o índice de reposição. Neste estudo este valor foi combinado com o custo do equipamento e de seguida realizou-se uma análise ABC priorizando-se o armazenamento das peças com classe A, ou seja, com maior índice de reposição e com maior valor.

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Processo Produtivo
- 3.2 Seleção dos processo(s) a analisar
- 3.3 Análise da situação atual
- 3.4 Proposta e implementação de melhorias
- 3.5 Resultados obtidos

3 DESENVOLVIMENTO

Segundo Ávila (2010) a metodologia necessária para análise e melhoria de um processo envolve quatro fases fundamentais:

- Seleção das secções/processos a analisar;
- Identificação e análise dos principais problemas e respetivas causas;
- Proposta de plano de melhorias;
- Avaliação das melhorias implementadas (quantificação).

O estudo desenvolvido seguirá esta metodologia aqui apresentada. Antes disto, como o projeto da dissertação incide sobre a manutenção torna-se fundamental a identificação e entendimento dos vários equipamentos presentes.

3.1 Processo Produtivo

Ao longo deste subcapítulo irá ser apresentado com maior detalhe o processo produtivo e os equipamentos alvo de estudo, assim como os produtos que este origina.

3.1.1 Produtos

O processo produtivo em estudo dedica-se à produção de compósitos de cortiça, que resultam da mistura de granulado de cortiça com materiais aglutinantes, como por exemplo a resina. Estes compósitos de cortiça são fabricados sob o formato de rolos ou de placas, com espessuras entre 1 mm e 20 mm, sendo que a espessura do produto mais vendido varia entre 1 e 2 mm. Estes produtos tipicamente são comercializados a empresas da indústria do pavimento para serem aplicados entre o solo e o piso, tal como se pode verificar na Figura 9.

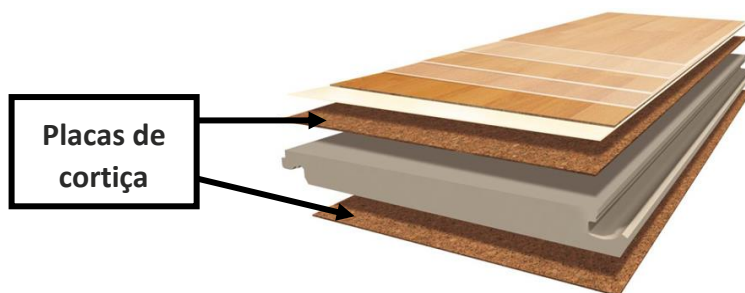


Figura 9 - Aplicação das placas de cortiça produzidas para a indústria do pavimento

Para a empresa garantir a qualidade do produto é fundamental manter o valor da espessura das placas ou do rolo de cortiça o menor possível para não aumentar muito a espessura do pavimento, mantendo a capacidade de transmitir ao pavimento as

propriedades naturais da cortiça tais como: isolamento térmico natural, isolamento acústico e propriedades amortecedoras acima da média.

O processo produtivo que dá origem a este produto é um processo recente e inovador, no qual a empresa tem investido fortemente por ter um grande potencial de crescimento e de escalabilidade.

3.1.2 Apresentação do processo produtivo e seus equipamentos

Uma vez que o objetivo do estudo é a análise de equipamentos críticos e respetivos modos de falha procede-se à identificação das várias secções e os respetivos equipamentos que as constituem.

O processo industrial apresentado trata-se de uma linha que opera durante 24 horas, 6 dias por semana, reservando assim um dia por semana para uma equipa de operadores realizar a limpeza de toda a linha e também trabalhos de manutenção preventiva e manutenção corretiva diferida, ou mesmo para implementação de melhorias.

A transformação do granulado de cortiça no produto final implica um conjunto de etapas que estão apresentadas no fluxograma na Figura 10. Quer o produto final seja placa ou rolo o processo é essencialmente o mesmo, ocorrendo a diferenciação nas etapas finais.

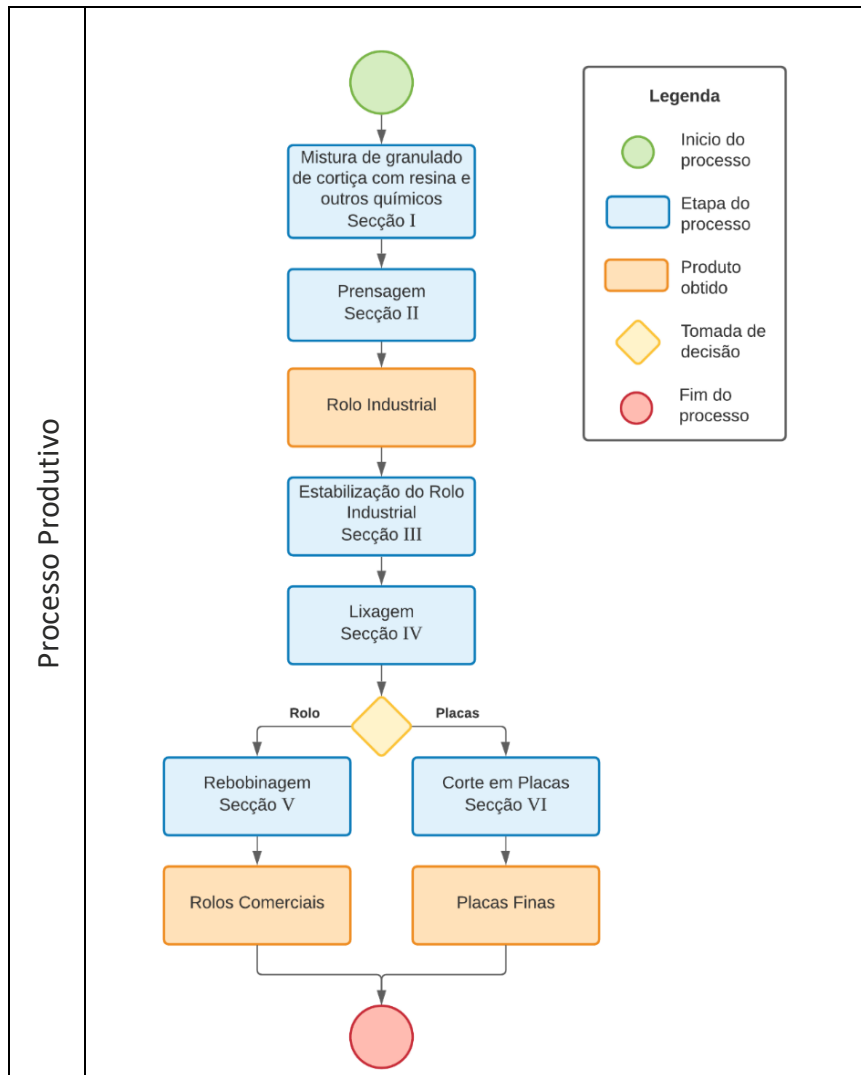


Figura 10 - Fluxograma do processo produtivo

As várias secções da unidade industrial em estudo onde ocorrem as etapas apresentadas anteriormente podem ser consultadas na Figura 11.

Na secção I ocorre a aglutinação do granulado de cortiça com a resina e outros químicos. Na secção II, recorrendo essencialmente a um sistema de prensagem, é produzido o rolo industrial de compósito de cortiça. Já a secção III é o local de armazenamento e respetiva estabilização dos rolos industriais. As secções IV, V e VI são responsáveis pelo acabamento do produto.

Nos subcapítulos seguintes cada uma das secções é descrita com maior detalhe.

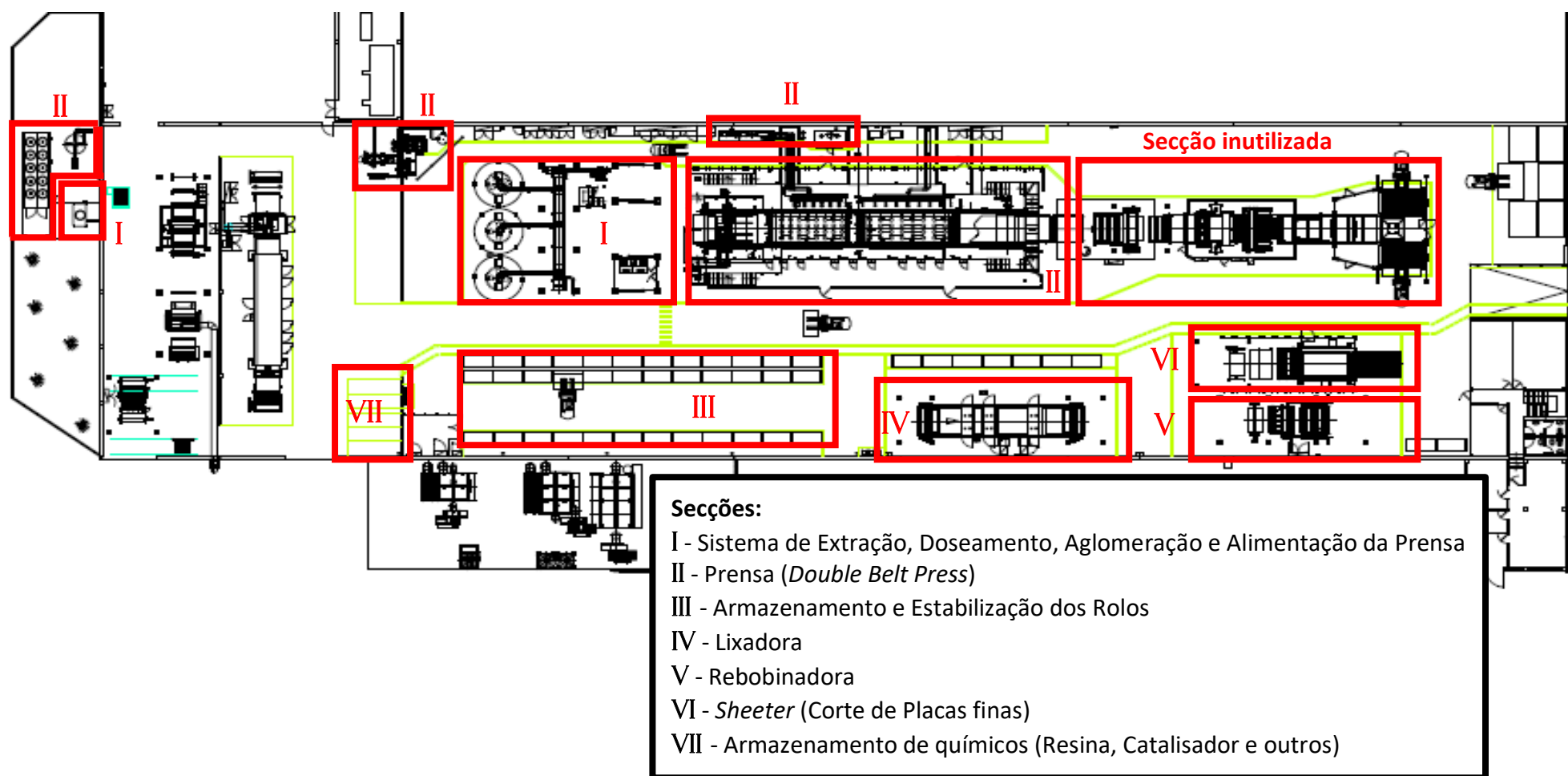


Figura 11 - Layout da linha de produção em estudo

3.1.3 Secção I - Sistema de Extração, Doseamento, Aglomeração e Alimentação da Prensa

Esta secção é constituída pelo Sistema de Extração, Doseamento e Aglomeração, onde o granulado de cortiça é pesado e misturado com resina e outros produtos. Na Figura 13 apresenta-se um esquema com os equipamentos responsáveis pelo processamento do granulado de cortiça e pelo seu transporte até à misturadora.

Existem diferentes tipos de granulados para os diferentes tipos de produtos fabricados nesta unidade industrial daí a necessidade de existirem múltiplos silos (ver Figura 13). O produto que cada silo contém depende das necessidades da empresa e pode ser necessário todos eles conterem um tipo de granulado diferente.

Através de um sistema de controlo, um sistema SCADA (*Supervisory control and data acquisition*), que será apresentado mais à frente, o operador apenas escolhe o produto a fabricar e a dosagem de cada componente é calculada de forma automática.

Após a seleção do produto o Extrator Rotativo de cada Silo, ilustrado na Figura 12, retira granulado e envia para o respetivo Transportador Helicoidal Rosca Sem Fim (THSF) que transporta o granulado do Silo para a respetiva Balança.

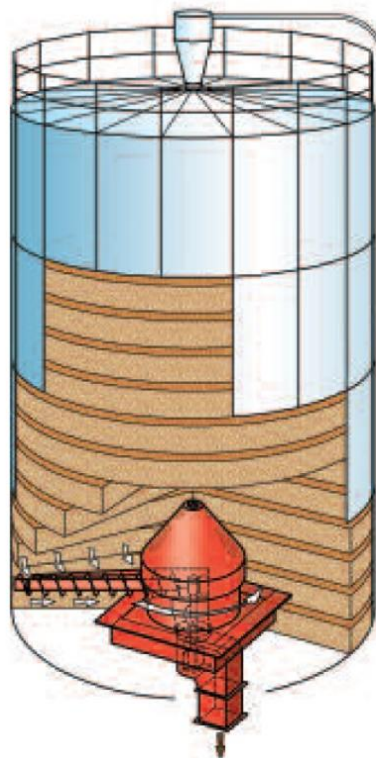


Figura 12 - Extrator rotativo presente nos Silos (DENIS, 2020)

Seção I - Extração do granulado de Cortiça

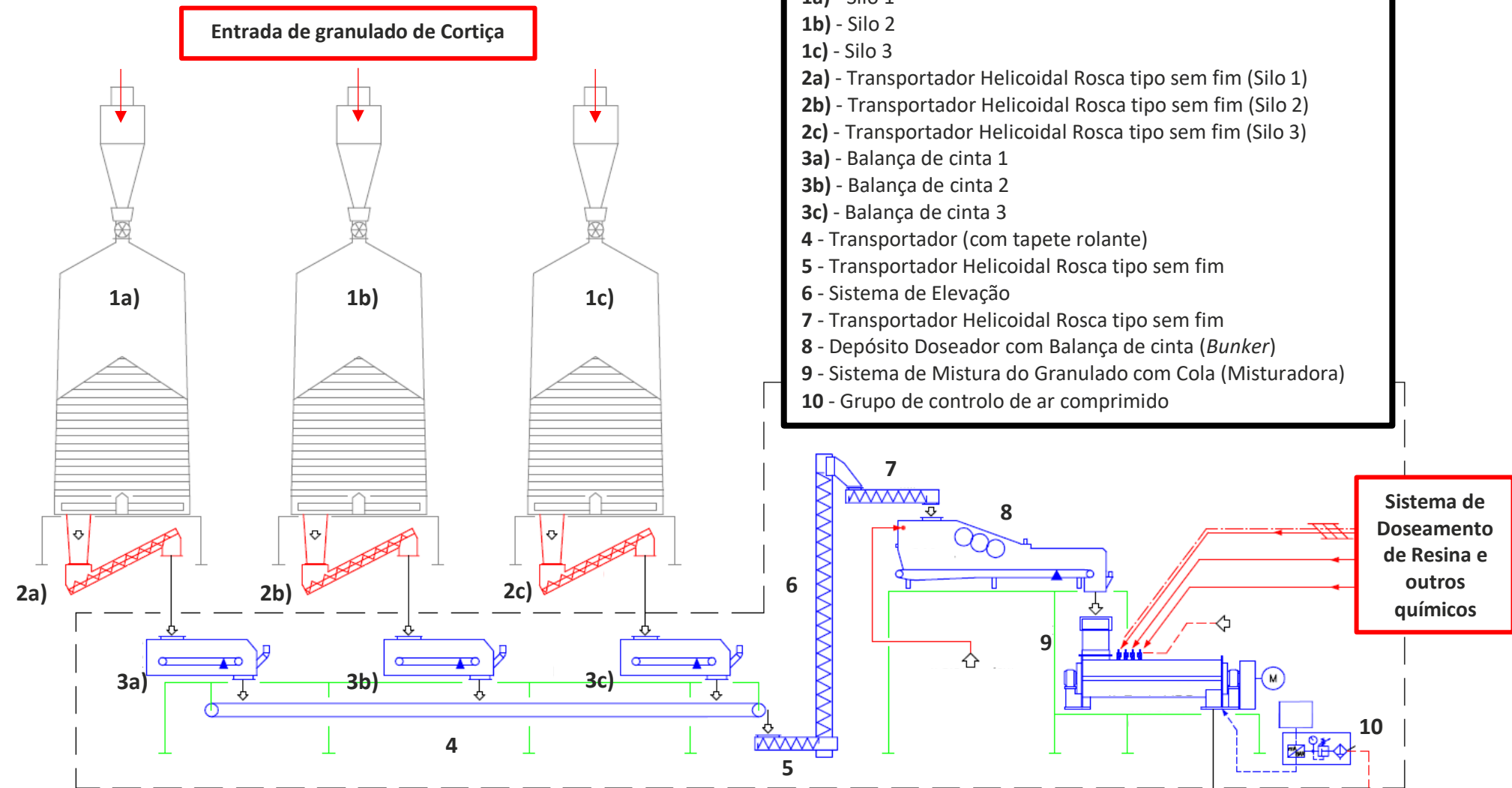


Figura 13 - Secção I: Sistema de Extração do Granulado de Cortiça (até à Mistura do Granulado de Cortiça com a Resina)

No que diz respeito às avarias, o facto de a linha de produção possuir três conjuntos destes equipamentos (Silos + Transportador Helicoidal Rosca sem fim + Balança) apresenta uma vantagem, na medida em que, se algum destes equipamentos avariar é possível que outro Silo que esteja a funcionar e tenha o mesmo tipo de material compense a dosagem do granulado do conjunto avariado diminuindo assim o tempo improdutivo associado à avaria.

Assim que o material chega à balança é depositado no Transportador que transporta o material através do tapete rolante até este ser peneirado numa rede vibratória para garantir que os pedaços de cortiça de menor granularidade não avançam para a misturadora, porque pode gerar defeitos no produto final além de criar uma sobrecarga no sistema de prensagem da secção II.

De seguida o material é transportado através do Sistema de elevação para o *Bunker*, cuja função é controlar a quantidade de granulado que é enviado para a misturadora. Em simultâneo existe um sistema de Doseamento de resina e outros químicos (como catalisadores) que é responsável por controlar a quantidade e a viscosidade destes materiais que serão enviados para a misturadora.

Na Misturadora o granulado e a resina e outros químicos são aglutinados formando assim uma mistura. Neste equipamento existe circulação constante de água arrefecida cujo objetivo é promover uma melhor mistura dos elementos, aumentando assim a eficiência deste equipamento.

Após este processo obtém-se uma mistura de granulado com produtos aglutinantes com características ideais para ser prensada. Ainda na secção I esta mistura é transportada até para a prensa através de um sistema de alimentação da prensa, ver Figura 14a), cujo objetivo é garantir uma entrada contínua de material no sistema de prensagem. Ainda existe o Transportador Mecânico que possui a função de reaproveitar a mistura desperdiçada à entrada da prensa através do transporte deste excesso para a entrada do Transportador Helicoidal tipo rosca sem fim rotativo (THSF Rotativo).


Tal como se pode ver na Figura 14b), a Formadora é o equipamento responsável por transportar a mistura até à prensa. A mistura é depositada uniformemente e transversalmente no tapete rolante da Formadora, através de um THSF Rotativo. Simultaneamente a Formadora, recorrendo aos seus “pentes”, distribui uniformemente a mistura na longitudinal.

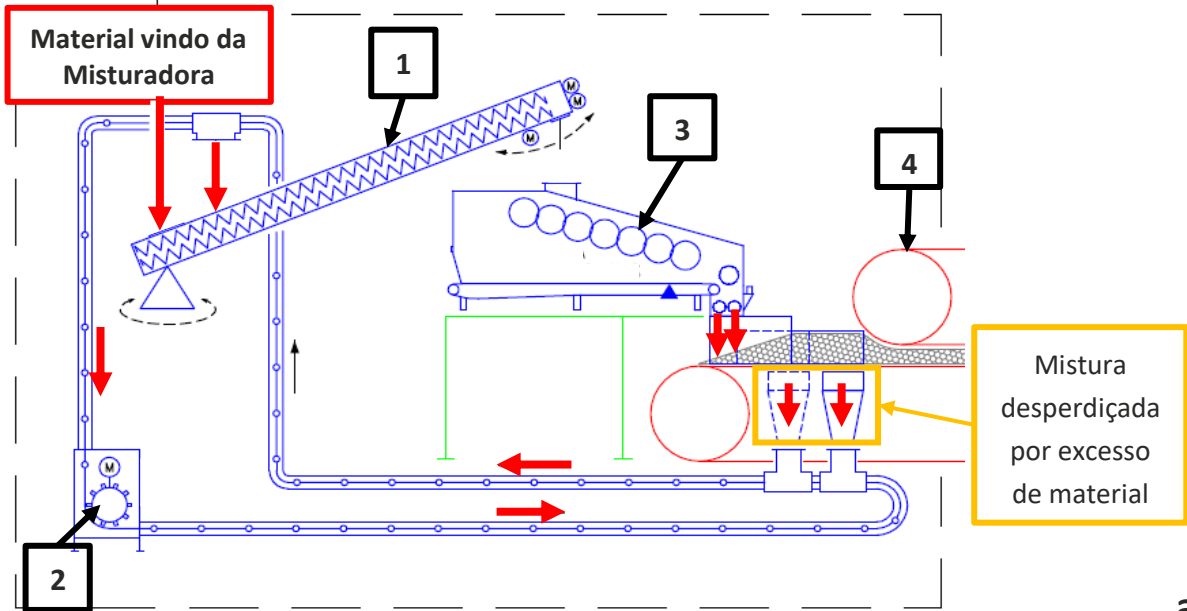
Esta mistura distribuída de forma uniforme é então enviada para a secção II, onde ocorre a Prensagem.

Seção I - Sistema de Alimentação da Prensa

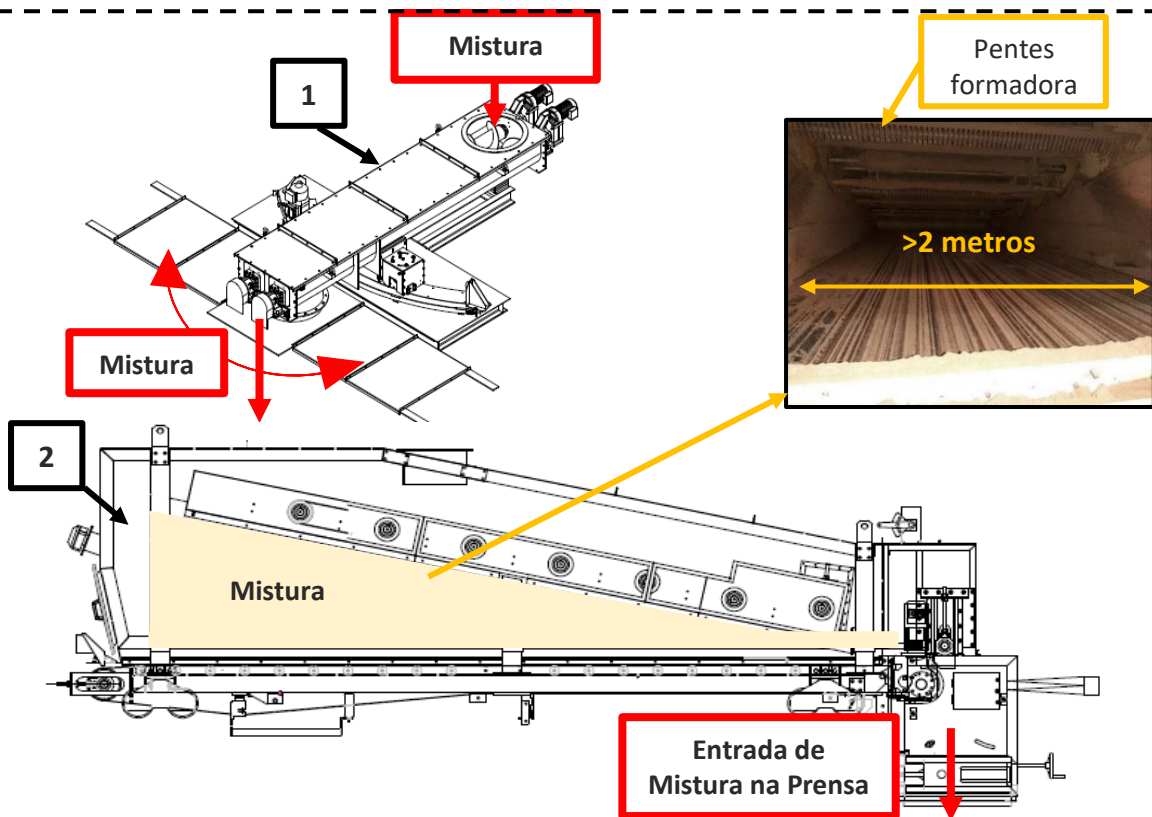
- 1 - Transportador Helicoidal tipo rosca sem fim Rotativo (THSF rotativo)
- 2 - Transportador Mecânico
- 3 - Formadora
- 4 - Prensa

Legenda

Transporte da Mistura 



a)



b)

Figura 14 - Secção I: Sistema de Alimentação da Prensa, em a) esquema com a representação dos equipamentos deste sistema e em b) princípio de funcionamento do THSF Rotativo e a Formadora

3.1.4 Secção II - Prensa (*Double Belt Press*)

Nesta secção a mistura de granulado de cortiça e produtos aglutinantes é prensada para dar origem ao rolo industrial de compósito de cortiça, ver Figura 15. O material, para além de ser sujeito a tensão, é ainda sujeito a diferenças de temperatura, isto é, primeiro existe uma etapa de aquecimento e depois de arrefecimento, o que lhe confere as características necessárias para desempenhar a função a que se destina.

Durante a compressão de materiais que incluem cortiça existem fatores importantes que devem ser tidos em conta: a temperatura, a velocidade da compressão e a tensão aplicada. Segundo Bom (2010) quanto maior a tensão aplicada à cortiça maior será a sua deformação. Quando a cortiça é deformada sob ação de uma carga constante, a deformação é rápida no início, mas vai diminuindo de forma progressiva até valores muito baixos (Carvalho, 2008). Esta característica está diretamente relacionada com a componente viscosa da deformação e este comportamento é de grande importância na aplicação da cortiça a pavimentos (Luís Gil, n.d.).

Outro fator que influencia a deformação da cortiça, devido às suas propriedades viscoelásticas, é a velocidade da compressão sendo que quanto maior for a velocidade maiores serão os valores de deformação que o material atingirá (Bom, 2010) (F. Martins, 2015).

Por outro lado, o aumento da temperatura aumenta a fluidez da resina e promove a polimerização do aglutinante, acelerando assim o processo de aglutinação (Carvalho, 2008). De seguida, com o arrefecimento existe uma solidificação da mistura e respetiva formação do rolo de cortiça.

Todas estas propriedades demonstram a importância do processo de prensagem na obtenção do produto com as características desejadas.

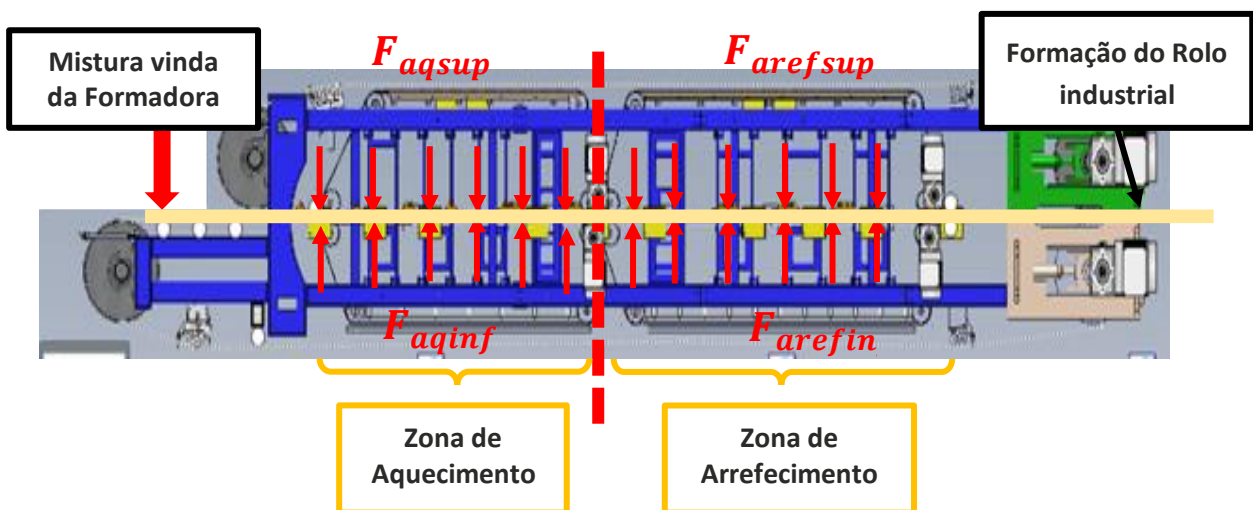


Figura 15 - Esquema da Prensa

Fazem parte da prensa um conjunto de sistemas essenciais para o funcionamento e manutenção da mesma. São estes:

- Sistema de Prensagem - conjunto de componentes mecânicos/eletrônicos (correntes, rodas dentadas, guias, tela metálica, etc.) e outros equipamentos responsáveis por garantir a correta compressão da mistura à espessura pretendida;
- Sistema de Arrefecimento - responsável por garantir a temperatura de arrefecimento na respetiva zona da Prensa;
- Sistema de Aquecimento - responsável por garantir a temperatura de aquecimento na respetiva zona da Prensa;
- Sistema Hidráulico - responsável por conferir a tensão necessária para a compressão da Prensa;
- Sistema de Lubrificação - responsável por garantir a correta lubrificação dos componentes mecânicos (por exemplo: rodas dentadas, correntes, tela metálica, etc.);
- Sistema de Desmoldante - responsável por colocar desmoldante na tela antes da Mistura chegar à Prensa, de modo que mistura de granulado e aglutinante não adira à tela metálica porque se tal acontecer o rolo de cortiça pode ficar defeituoso no final;
- Sistema de corte - responsável pela obtenção da largura do rolo pretendida pelo cliente final (ver Figura 16 lado esquerdo);
- Sistema de rebobinagem - responsável pela formação do rolo industrial (ver Figura 16 lado direito).



Figura 16 - Sistema de corte (lado esquerdo) e sistema de rebobinagem (lado direito) - Formação do rolo industrial

3.1.5 Sistema SCADA nas secções I e II

Tanto a secção I como a secção II são linhas automatizadas que possuem sistemas SCADA para controlo e monitorização de todo o processo. O sistema SCADA é um sistema de supervisão que permite a monitorização e recolha de informações acerca do processo produtivo. As informações são recolhidas através de equipamentos de aquisição de dados e são, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e, posteriormente, apresentadas ao operador para que este possa controlar o processo e tomar decisões baseadas em dados reais (Veiga, 2011).

Para além disso, o sistema SCADA é capaz de controlar algumas etapas do processo de forma autónoma através de sensores e atuadores, o que possibilita a formação contínua e ininterrupta de rolos, o que por si só aumenta a eficiência destas secções.

O SCADA é tipicamente uma combinação de elementos de software e hardware, como controladores lógicos programáveis (PLC) e unidade terminais remotas (RTU). A aquisição dos dados começa com recurso a estes últimos dois elementos que comunicam com os equipamentos presentes no chão de fábrica, como sensores e outros componentes (Veiga, 2011). Os dados recolhidos dos equipamentos são enviados para o próximo nível (por exemplos salas de controlo) usando interfaces homem-máquina (HMI) para permitir aos operadores supervisionar os controlos do PLC (Veiga, 2011).

Na Figura 17, pode-se verificar como estes quatro elementos se interligam entre si para formar o sistema SCADA.

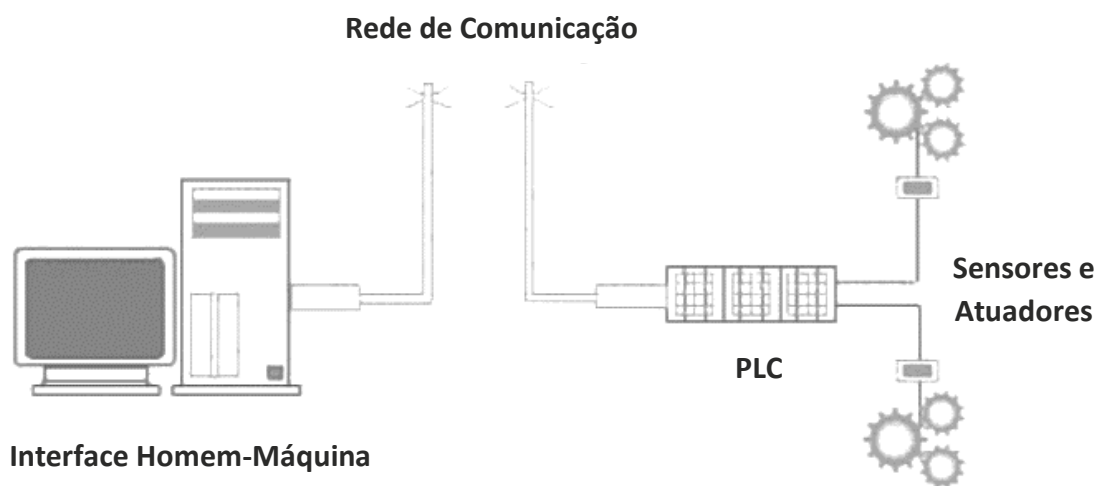


Figura 17 - Constituição de um sistema SCADA (Fonte: Boaretto, 2005)

No Anexo 1 presente no subcapítulo 6.1 é apresentada uma descrição do funcionamento dos três primeiros elementos: Sensores e Atuadores, Estações remotas de controlo e Rede de comunicação, assim como alguns exemplos presentes no processo produtivo em estudo.

Dos elementos apresentados a HMI é o elemento com o qual os operadores interagem de forma direta, por esse motivo trata-se do elemento com maior importância para o desenvolvimento do sistema de apoio à manutenção. Assim sendo neste capítulo será abordado com maior detalhe como funciona a HMI com que os operadores da Secção I e II interagem.

A HMI é um sinóptico do sistema, isto é, oferece uma “imagem” do sistema, a partir de esquemas e/ou figuras, permitindo a visualização dos seus constituintes e do seu estado de funcionamento. Além deste sinóptico do sistema, a interface também oferece a possibilidade de controlar as suas variáveis.

Na Figura 18 apresentam-se três interfaces presentes no sistema produtivo em estudo. Duas interfaces de controlo para a Secção I, uma para controlo do doseamento de resina (e outros químicos) e outra para controlo da extração do granulado de cortiça, aglomeração da cortiça com resina (e outros químicos) e alimentação da prensa. Por fim existe ainda a interface para a Secção II cujo propósito é auxiliar o controlo da prensa e dos seus restantes sistemas. As imagens apresentadas apenas representam uma pequena parte da interface Homem-Máquina existente na Unidade Industrial uma vez que o Sistema SCADA associado a estes sistemas de produção é muito complexo.

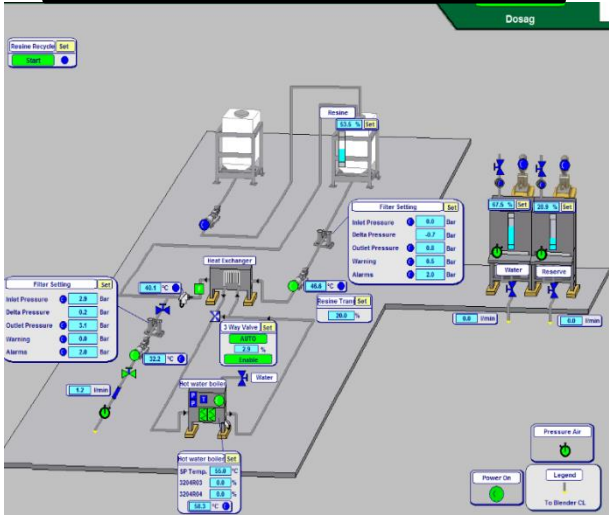
Uma das principais vantagens associadas a este sistema é a capacidade de, perante uma “situação de alarme”/situação anómala, alertar os operadores através da interface HMI para que estes possam intervir e regularizar a situação o mais rápido possível.

Uma característica importante no desenvolvimento de uma interface deste tipo é o tratamento dos alarmes, pois a deteção de situações anómalas permite que estas sejam resolvidas rapidamente.

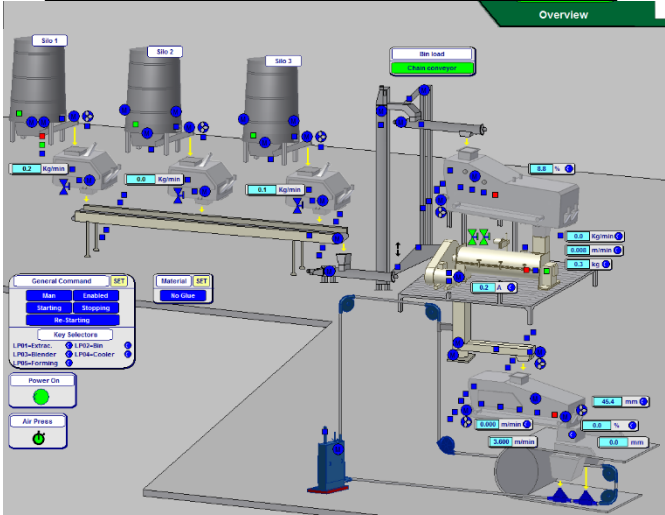


Sala de Controllo
1 ecrã para cada interface

Interface – Seção I: Controlo do Sistema de Doseamento de Resina e outro Químicos



Interface – Seção I: Controlo do Sistema de Extração, Aglomeração e Alimentação da Prensa



Interface – Seção II: Controlo da Prensa

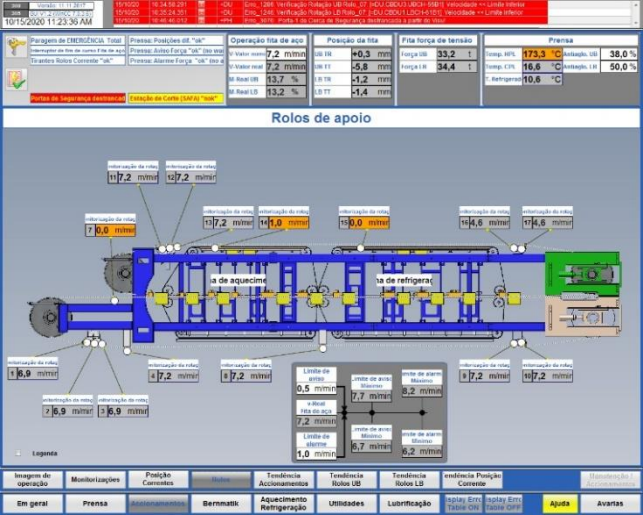


Figura 18 - Sala de controlo e interfaces Homem-Máquina obtidas através do Sistema SCADA

3.1.6 Secção III - Armazenamento e Estabilização dos Rolos Industriais

Após o rolo industrial ser fabricado, este é colocado numa estante onde permanece à temperatura ambiente durante 48 horas. Este processo é referido como estabilização, uma vez que é necessário que o rolo industrial ganhe estabilidade dimensional antes de ser processado nas secções de acabamento.

3.1.7 Secção IV - Lixagem

Após a aglomeração e estabilização do rolo, é necessário proceder a processos de acabamento dimensional. Recorrendo a um processo de lixagem, é necessário calibrar a espessura e lixar o material de acordo com os requisitos do cliente (ver Figura 19).



Figura 19 - Processo de lixagem

3.1.8 Secção V - Rebobinagem

Depois do processo de lixagem, os rolos são enviados para um processo de rebobinagem se o cliente pretender o produto em rolos comerciais. Os rolos industriais têm um diâmetro excessivo para serem transportados e por isso ,nesta secção, os rolos são rebobinados onde dão origem a rolos de menor diâmetro, rolos comerciais, tal como se pode ver Figura 20.



Figura 20 - Processo de Rebobinagem

3.1.9 Secção VI - Sheeter (Corte de Placas finas)

Alguns clientes pretendem receber o produto final sob a forma de placas/folhas. Nesse caso, o produto será enviado para o processo de corte de placas finas, apresentado na Figura 21.



Figura 21 - Processo de corte Placas finas ou Folhas

Após a conclusão das etapas apresentadas anteriormente os produtos estão prontos para serem enviados para o cliente. No Anexo 2 do subcapítulo 6.2 apresenta-se um fluxograma detalhado que engloba as várias fases e operações no sistema produtivo em questão.

3.2 Seleção dos processo(s) a analisar

De acordo com Ávila (2010) quando se pretende intervir num processo produtivo é importante iniciar o estudo pela identificação de quais os processos/equipamentos que devem ser alvo de maior atenção. Isto porque realizar um estudo de melhoria sobre todos os equipamentos representa um dispêndio de energia e recursos demasiado elevado se tivermos em conta que tipicamente uma grande parte dos problemas pode ser resolvida endereçando um conjunto restrito de processos/equipamentos.

O objetivo principal do projeto é a melhoria do OEE. Tal como já foi referido anteriormente, autores como Hall & Biller (2010), Gola (2017) e Dreher et al. (2019) demonstram que umas das melhores formas de aumentar o OEE é atuando sobre a disponibilidade do sistema produtivo. Segundo Gómez De León Hijes & Cartagena (2006) a identificação dos equipamentos críticos trata-se de um passo indispensável quando se pretende aumentar a disponibilidade destes.

Ao longo deste estudo adotou-se este princípio, ou seja, após o conhecimento detalhado do processo produtivo, determinou-se quais os equipamentos críticos da Unidade industrial e sobre estes efetuou-se a análise detalhada dos modos de falhas.

3.2.1 Identificação das secções e equipamentos críticos

Com vista a identificar quais as secções e os equipamentos mais críticos recorreu-se à análise de Pareto. O princípio de Pareto tem sido aplicado em vários estudos na análise de tempos improdutivo (M. L. Rahman et al., 2014). De acordo com esta análise cerca de 20% das causas são responsáveis por 80% do tempo de inatividade e por isso estas devem ser priorizadas.

O parâmetro de seleção utilizado neste estudo para a construção do gráfico de Pareto é o número de avarias que geraram tempo improdutivo, ou seja, de avarias que conduziram a uma paragem do equipamento. Para esta análise foram apenas consideradas as avarias que geraram tempo improdutivo por serem estas que apresentam maior risco para a unidade industrial.

Para a realização da curva de Pareto recorreu-se ao histórico de avarias, que ocorreram nas secções I, II, IV, V e VI, nos últimos 4 anos até setembro de 2020. Neste histórico estão registadas 949 avarias (de notar que neste histórico não está presente o tempo de paragem associado a cada avaria). Na Tabela 9 é apresentado o número de avarias que ocorreram em cada secção e qual a percentagem destas que geraram tempo improdutivo.

Tabela 9 - Estudo de avarias por secção

Secções	Núm. de avarias	Núm. de avarias que geraram tempo improdutivo	% de avarias que geraram tempo improdutivo
I	309	178	58%
II	522	365	70%
IV	77	36	47%
V	18	16	89%
VI	23	10	43%

Pela análise do diagrama de Pareto, Figura 22, verifica-se que apenas 2 secções da Unidade Industrial, secção I e II, são responsáveis por aproximadamente 90% do número de avarias que geraram tempo improdutivo, ver Tabela 10.

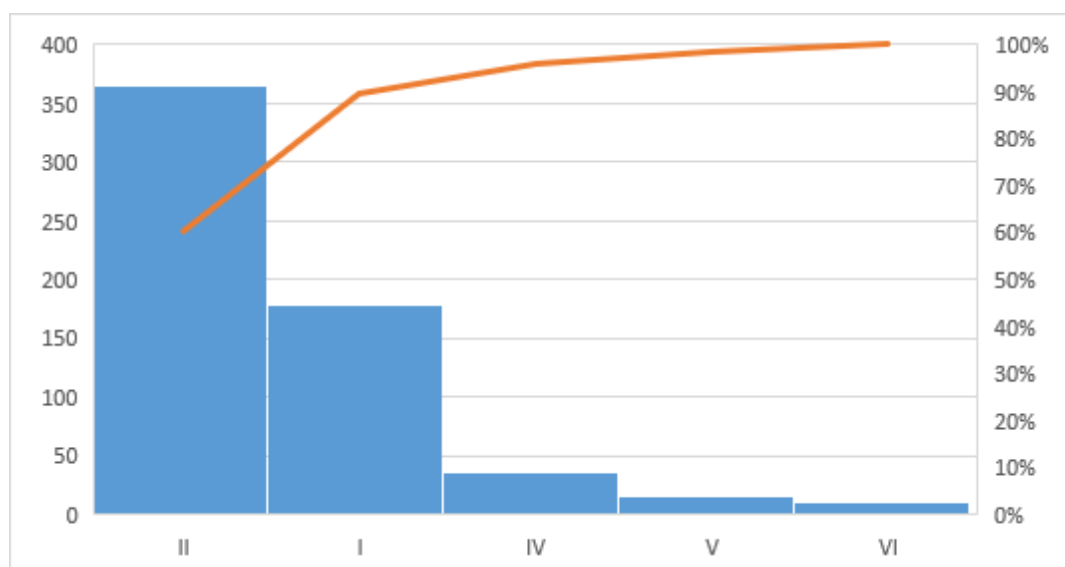


Figura 22 - Diagrama de Pareto do número de avarias que geraram tempo improdutivo por secção

Tabela 10 - Tabela de auxílio à construção do diagrama de Pareto por secção

Nome Secção	% Secção (categoria)	Núm. de avarias que geraram tempo improdutivo	% Avarias que geraram tempo improdutivo	% acumulada Avarias que geraram tempo improdutivo
II	16,67%	365	60,33%	60,33%
I	33,33%	178	29,42%	89,75%
IV	50,00%	36	5,95%	95,70%
VI	66,67%	10	1,65%	97,36%
V	100,00%	16	2,64%	100,00%

Além da análise Pareto, Gómez De León Hijes & Cartagena (2006) salientam que é preciso ter em conta a importância dos equipamentos para os objetivos da empresa. Tal como se pode ver no fluxograma presente na Figura 10, o rolo industrial resulta essencialmente de operações que ocorrem nestas duas secções, secções I e II, o que significa que avarias nestas secções podem gerar tempos improdutivos que impactam a produtividade de toda a linha de produção. Estas duas secções são as que apresentam maior carga horária na unidade industrial. Esta carga horária maior influencia o número de avarias, na medida em que os equipamentos e componentes destas secções estão sujeitos a um maior desgaste.

Em suma as secções I e II serão as secções prioritárias aquando da análise de avarias e dos seus modos de falhas, isto é, as secções críticas.

Tal como se pode verificar nos subcapítulos 3.1.3 e 3.1.4, as secções I e II são extremamente complexas e têm muitos equipamentos, o que dificulta o estudo de todos os equipamentos destas secções. Por este motivo existe também a necessidade

de priorizar quais os equipamentos destas secções que devem ser alvo de maior atenção ao longo deste estudo, tendo-se recorrido a outra análise Pareto. Para realizar esta análise houve a necessidade de identificar os equipamentos destas duas secções:

- Secção I
 - Silo + THSF (todos os três silos e respetivos transportadores);
 - Balanças (as três balanças);
 - Transportador com tapete rolante + THSF;
 - Sistema de Elevação + THSF;
 - *Bunker*;
 - Misturadora;
 - Sistema de Doseamento de Resina e outros químicos;
 - Sistema de Arrefecimento (Mistura);
 - Sistema de Aquecimento (Mistura);
 - THSF rotativo;
 - Formadora;
 - Transportador Mecânico;
 - Rede de ar comprimido.

- Secção II
 - Sistema de Prensagem (Prensa);
 - Sistema de Arrefecimento (Prensa);
 - Sistema de Aquecimento (Prensa);
 - Sistema de Lubrificação (Prensa);
 - Sistema de Desmoldante (Prensa);
 - Central hidráulica (Prensa);
 - Sistema de Rebobinagem (Prensa);
 - Sistema de Corte (Prensa).

Através do diagrama de Pareto realizado para o número de avarias que geraram tempos improdutivos nos equipamentos as secções I e II, ver Figura 23, conclui-se que apenas 4 equipamentos (cerca de 19% do total de equipamentos das secções) representam aproximadamente 72,54% do total de número de avarias que geraram tempos improdutivos na secção I e secção II.

Através da análise da Tabela 11 (tabela apenas apresenta as secções-equipamentos mais relevantes), verifica-se ainda que o Sistema de Prensagem representa cerca de 41,80% dos tempos improdutivos destas secções, sendo por isso o recurso que deverá ser alvo de uma análise mais detalhada. A eliminação das causas que provocam as avarias neste sistema da Prensa podem ter um impacto na redução do número de avarias nas secções mais críticas do processo produtivo que consequentemente podem vir a ter um impacto positivo significativo na disponibilidade da Prensa.

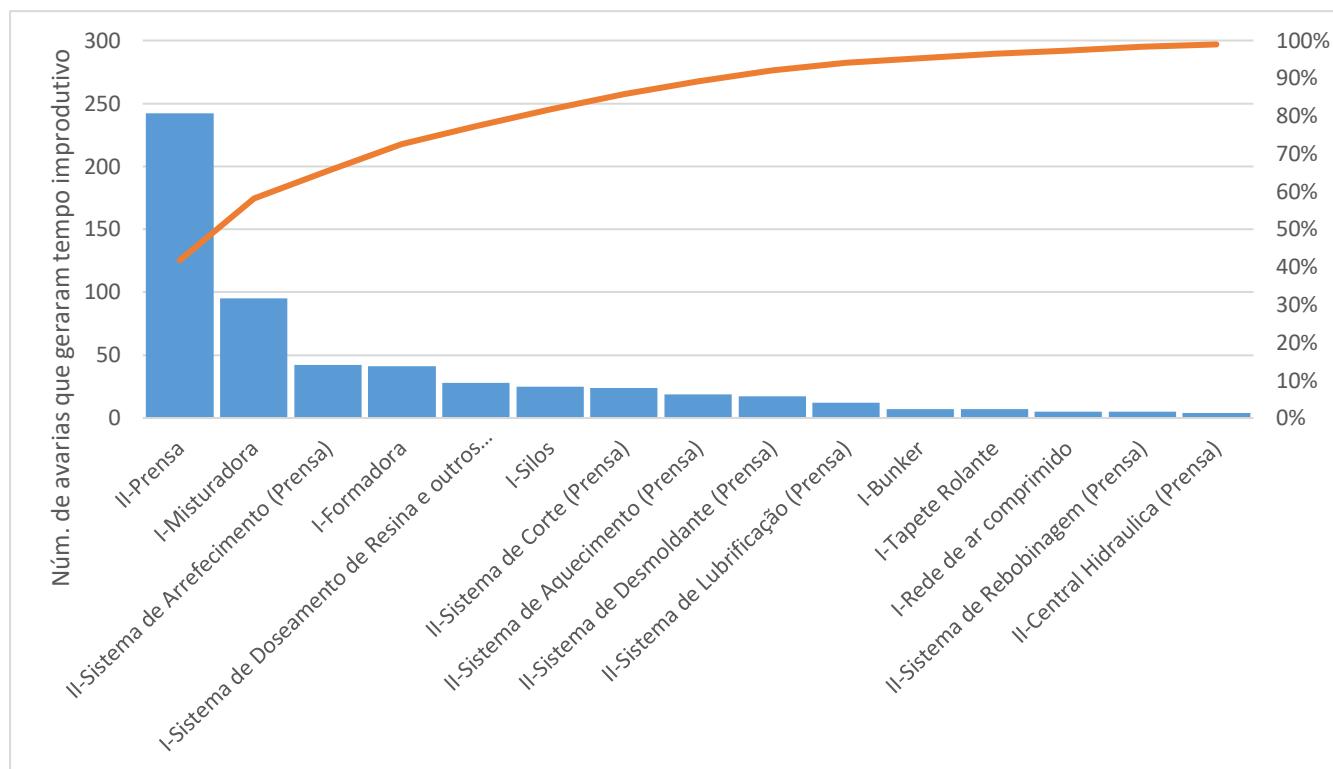


Figura 23 - Diagrama de Pareto do número de avarias que geraram tempo improdutivo por equipamento (Secção I e II)

Tabela 11 - Tabela de auxílio à construção do diagrama de Pareto por secção - equipamentos (I e II)

Secção - Equipamento	%Acumulada Secção-Equipamento	Nº de avarias que geraram tempo improdutivo	%Avarias que geraram tempo improdutivo	%Acumulada de Avarias que geraram tempo improdutivo
II - Sistema de Prensagem (Prensa)	4,76%	242	41,80%	41,80%
I - Misturadora	9,52%	95	16,41%	58,20%
I - Formadora	14,29%	42	7,25%	65,46%
II - Sistema de Arrefecimento (Prensa)	19,05%	41	7,08%	72,54%
I - Silos + THSF	23,81%	28	4,84%	77,37%
I - Sistema de Doseamento de Resina e outros químicos	28,57%	25	4,32%	81,69%
II - Sistema de Corte (Prensa)	33,33%	24	4,15%	85,84%

3.3 Análise da situação atual

Após definido o sistema sobre o qual se incidirá essencialmente neste projeto, analisou-se a situação atual do sistema produtivo em questão, focando na secção II. O objetivo desta análise é entender quais são os principais problemas desta secção assim como as causas que afetam a sua disponibilidade.

3.3.1 Quantificação do estado inicial

O objetivo do projeto centra-se no aumento do OEE com foco essencialmente no aumento da componente Disponibilidade. Assim sendo, um dos primeiros passos na análise da situação inicial consiste no cálculo do atual OEE da secção II que depois será usado como referência para análise do sucesso deste estudo. Para exemplificação do cálculo do OEE da linha em causa, apresenta-se detalhadamente o cálculo cada uma das componentes do OEE, disponibilidade, eficiência e qualidade para a semana X.

Para o cálculo do OEE é importante saber que semanalmente existe apenas uma única paragem planeada para limpeza dos equipamentos, que é realizada ao Domingo. No restante tempo disponível este equipamento está programado para trabalhar 24 horas. Apenas existem duas razões pela qual esta secção pode parar: tempo de *setup* associado à mudança de referência de produto ou paragens não planeadas, como avarias. Na Tabela 12 apresenta-se o cálculo da componente disponibilidade da semana X desta secção.

Tabela 12 - Cálculo da componente Disponibilidade da semana X

Parâmetros	Valor	Unidade
Tempo total	10080 (24hr*7dias*60)	min
Tempo Não Planeado	1440 (24hr*60)	min
Tempo Total de Operação	8640	min
Paragens Planeadas	60	min
Tempo Planeado de Produção	8580	min
Paragens Não Planeadas (avarias)	600	min
Tempo Bruto de Produção	7980	min
$Disponibilidade = \frac{8580 - 600}{8580} = \frac{7980}{8580} = 93\%$		(2.1)
Disponibilidade	93,0	%

Verifica-se que na semana X foram apenas despendidos 60 minutos para *setup*, uma vez que existe um esforço por parte da equipa de supervisão da produção em planear a

produção de modo a diminuir o tempo de *setup* necessário, e existe também um esforço a nível comercial em vender aos clientes um número muito limitado de referências. Tal como se pode verificar, devido às características desta linha de produção da secção II, esta apresenta valores elevados de disponibilidade, no entanto continua a ser um fator de preocupação para empresa uma vez que ainda existe potencial de redução do tempo despendido na resolução de avarias.

Em relação à eficiência da secção II, esta é determinada em função dos metros produzidos de rolo industrial por minuto. Tal como foi mencionado, o processo (com granulado de cortiça e aglutinante) apresentado é único no mundo tanto para a empresa como para o fornecedor do equipamento. Assim, no desenvolvimento e implementação desta linha de produção, foram realizados vários testes de modo a definir a velocidade ideal, com o foco na maximização da redução de desperdício da matéria-prima.

O valor definido é cerca de 7 m/min de rolo industrial. No final desta secção, existe um sistema de rebobinagem que, de forma automática, contabiliza os metros de rolo produzido, sendo por isto esta a fonte de informação para o cálculo da eficiência. Na Tabela 13 apresenta-se o cálculo da eficiência na semana considerada.

Tabela 13 - Cálculo da componente da Eficiência da semana X

Parâmetros	Valor	Unidade
Tempo de Ciclo Nominal para produzir 1 metro	1/7	min
Tempo de operação	7980	min
Produção Total Real	53660	m

$$Eficiência = \frac{1/7 * 53660}{7980} = 96,1\% \quad (2.2)$$

Fator de Eficiência	96,1	%
---------------------	------	---

Para o cálculo da qualidade, como não é possível haver recuperação do produto devido à mistura do granulado de cortiça com produtos aglutinantes, apenas é tido em conta a produção rejeitada. Tal como se pode ver na Tabela 14, os valores associados à componente da qualidade são extremamente elevados, o que está em linha com os testes realizados aquando da conceção da linha de produção.

Tabela 14 - Cálculo da componente Qualidade da semana X

Parâmetros	Valor	Unidade
Produção Rejeitada (Sucata)	245	Metros
Produção Boa (à primeira)	53335	Metros
$Qualidade = \frac{53660 - 245}{53660} = 99,5\% \quad (2.3)$		
Fator de Qualidade	99,5	%

Tendo em conta os índices anteriormente apresentado o valor do OEE da linha na semana X é cerca de 88,9%. Este valor é superior ao valor de referência de 85% para empresas apontado por vários autores como Zuashkiani et al. (2011).

Utilizando a metodologia apresentada conclui-se que no ano 2020 o valor médio mensal do OEE é de 86,02%. Na Figura 24 é apresentada a evolução do OEE e respetivos fatores no ano 2020. Verifica-se que a variação da componente Qualidade é mínima, nunca atingido valores inferiores a 99%, sendo que o valor médio desta componente em 2020 foi cerca de 99,33%. Já a componente Eficiência tem um valor médio de 94,5% e a componente Disponibilidade 91,67%. Verifica-se que estas duas últimas componentes estão interligadas entre si uma vez que na maior parte dos casos estas apresentam uma relação. Pelo facto de que sempre que existe uma paragem do sistema da secção II é necessário que a velocidade da Prensa seja aumentada de forma gradual para alinhar a tela metálica, uma vez que se a velocidade for de imediato 7 m/min além de haver um desperdício de material, também pode provocar danos na tela do sistema de prensagem da secção II.

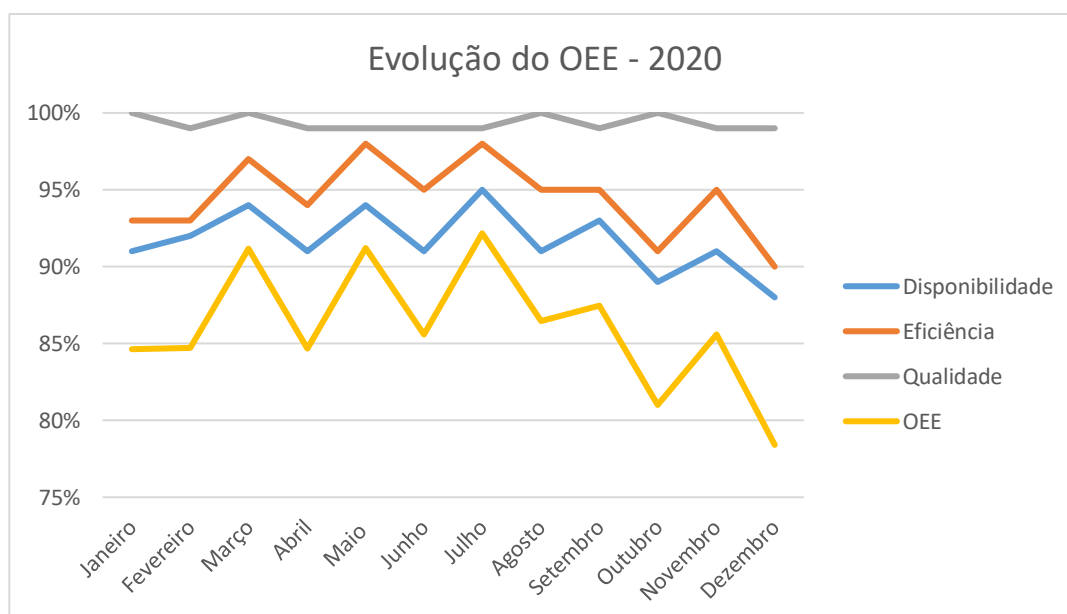


Figura 24 - Evolução do OEE e respetivos fatores no ano de 2020

3.3.2 Organização do departamento de Manutenção da empresa

Antes de abordar os principais problemas da manutenção do processo produtivo da secção II é necessário entender o funcionamento do departamento de Manutenção da empresa em questão.

A gestão da manutenção industrial encontra-se subdividida em três turnos por dia sendo que cada turno tem o respetivo responsável e equipa de técnicos de manutenção industrial. Cada turno tem a responsabilidade de efetuar os diferentes tipos de trabalhos de manutenção (corretiva e preventiva) em todas as unidades industriais da empresa. Estas equipas normalmente são compostas por vários técnicos de manutenção com diferentes especialidades (eletricidade, mecânica, etc.).

3.3.3 Identificação e análise dos principais problemas e respetivas causas na manutenção respetiva à secção II

Por forma a definir a metodologia a seguir no desenvolvimento deste projeto, optou-se por realizar sessões de *brainstorming* com vários responsáveis da manutenção industrial, as equipas de manutenção e os operadores do processo industrial em questão, e avaliar através de um diagrama causa efeito quais as principais causas que geram tempos improdutivos associados a avarias que impactam a disponibilidade da secção II.

Na Figura 25 apresenta-se um resumo dos principais problemas da manutenção e respetivas causas. Tal como se pode verificar a maior parte dos problemas identificados reduzem a eficácia das intervenções aumentando assim o tempo de paragem associado aos equipamentos o que reduz a disponibilidade destes.

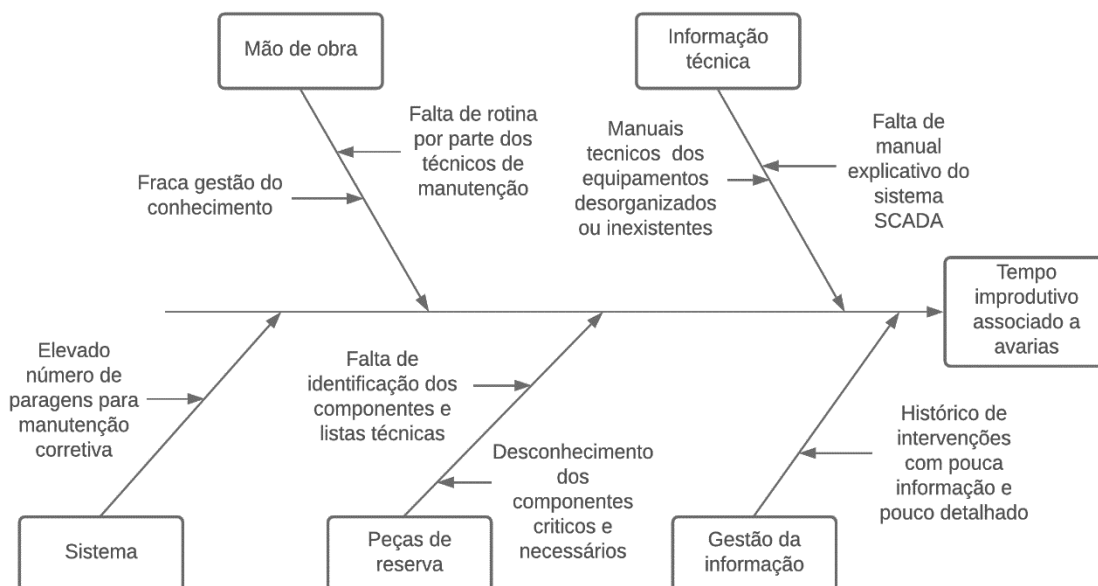


Figura 25 - Diagrama causa-efeito dos diferentes problemas da manutenção da secção II

A equipa da manutenção da empresa identifica vários problemas a nível de intervenções. Tal como se verificou, a secção em estudo é complexa. Este fator, combinado com a alocação do departamento da manutenção a várias unidades industriais, culmina na falta de rotina por parte da equipa da manutenção. A falta de rotina não permite aos técnicos obter o conhecimento e experiência necessários para intervenções mais eficazes neste processo produtivo.

Esta falta de experiência dos técnicos também resulta de uma falta de informação técnica relativamente aos equipamentos e ao sistema desta unidade industrial, que resulta de:

- Fraca gestão do conhecimento entre os turnos, uma vez que se verifica uma elevada concentração do conhecimento apenas num único técnico criando dependência que pode comprometer o futuro deste processo produtivo.
- Manuais técnicos dos equipamentos desorganizados ou inexistentes – mesmo os poucos que existem estão presentes em arquivos, o que torna ineficiente a procura ou uso destes;
- Inexistência de um manual de utilizador relativamente ao funcionamento do sistema SCADA e respetivo sistema de alarmes associado.

A falta desta informação técnica também tem como consequência uma maior dificuldade de planeamento das intervenções por partes dos responsáveis e técnicos uma vez que desconhecem os componentes de substituição necessários. Isto resulta em manutenções menos eficazes porque apenas quando ocorrem avarias, e consequentemente intervenções é que se procura perceber quais os componentes necessários. Em algumas situações, quando é necessário proceder à substituição de peças, as mesmas não estão disponíveis em armazém o que também obriga a uma maior necessidade de pedidos com caráter de urgência aos fornecedores, o que acarreta muitas vezes custos mais elevados. Em suma este problema está relacionado com a falta de identificação dos componentes e da quantidade destes presentes nos equipamentos.

Outra situação apontada é que, apesar da existência de um histórico de avarias, existem inúmeras falhas nesta informação, como por exemplo:

- Descrição das avarias pouco detalhada e que muitas vezes não se encontra associada ao alarme que surge no Sistema SCADA;
- Registos de intervenções e procedimentos de resolução de avarias inexistentes.

Um dos principais problemas identificados pela equipa multidisciplinar, no equipamento identificado como crítico, que afetam a disponibilidade da secção II é que existe um número elevado de paragens para manutenção corretiva. Neste sentido decidiu-se realizar uma análise FMEA de modo a identificar quais as causas e assim desenvolver propostas de melhoria que permitam reduzir este número de paragens.

3.3.4 FMEA

Segundo Shafiee (2015) e Braaksma et al. (2013) a realização de uma análise FMEA é algo complexo e existem diversos fatores que podem condicionar o seu sucesso, nomeadamente, o grau de conhecimento dos equipamentos e componentes assim como a experiência dos intervenientes no processo.

Tendo em conta esta informação, assim como as apresentadas na revisão bibliográfica apresentada anteriormente, antes da construção do FMEA, definiram-se dois passos fundamentais:

- Formação de uma equipa multidisciplinar envolvendo responsáveis e técnicos da manutenção juntamente com elementos da operação e do processo associado à Prensa;
- Definição de uma metodologia a adotar consoante as especificações do processo e da empresa.

A metodologia adotada foi apresentada no capítulo Revisão Bibliográfica e está esquematizada na Figura 6. O primeiro passo, ou seja, a definição do processo foi realizada recorrendo as análises de Pareto apresentadas anteriormente.

Como a empresa não possuía um *template* de análise de FMEA o primeiro passo passou pela elaboração do mesmo. Este *template*, apresentado na Tabela 15, foi aprovado pela equipa antes de ser aplicado. Em linha com o afirmado por van Leeuwen et al. (2009) procurou-se que o *template*, para além de ter um campo destinado à apresentação de propostas de melhorias a implementar, incluísse também um conjunto de campos relacionados com a implementação, nomeadamente os resultados das mesmas e o responsável, de modo a evitar que esta ferramenta fique estacionária.

Tabela 15 - Template análise FMEA

FMEA: Análise causa-falha

Nº FMEA: _____ Realizado por: _____ Data de Início: _____	Revisão Nº _____ Revisão por _____ Data de Revisão _____	Unidade Industrial _____	Notas _____
---	--	--------------------------	-------------



Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo			Avaliação de Risco		Ações Recomendadas/ Propostas de melhoria	Resultado das propostas de melhoria						
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	S (Severidade)	Potencial causa da falha	O (Ocorrência)	Dispositivos de deteção atual	D (Deteção)	RPN		Avaliação	Resp.	Data	Severidade	Ocorrência	Deteção	RPN

De seguida, para facilitar a identificação dos modos de falha mais críticos, e que merecem maior detalhe na sua análise, optou-se por dividir o sistema de Prensagem da Prensa em blocos funcionais tal como apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 - Blocos funcionais do sistema de Prensagem da Prensa

Sistema	Subsistema/componentes	Função
Sistema de prensagem da Prensa	Tela metálica	Compressão da mistura (componente que entra em contacto com a mistura)
	Correntes	Permite movimento dos roller rods
	Roller rods	Elementos responsáveis por compressão da tela mecânica
	Rodas dentadas	Transmissão de rotação à corrente
	Veios	Transmissão de rotação às rodas dentadas
	Guias	Controlo do movimento das correntes
	Sistema de limpeza (inclui escova e raspadores)	Sistema responsável pela limpeza da tela metálica (remoção de materiais do lado errado da tela, remoção do excesso de óleo, etc.)
	Sistema de controlo de tração	Sistema que regula o alinhamento da tela
	Quadro de controlo	Conjunto de válvulas e componentes eletrónicos responsáveis pelo controlo da posição e pressão dos cilindros

A análise dos modos de falha começou pela análise do histórico de avarias existente, para além de alguma documentação técnica de alguns componentes presentes neste sistema. Posteriormente, apresentaram-se estes modos de falha à equipa multidisciplinar para que fossem analisados e determinados os efeitos associados a estes. Os efeitos enumerados variam desde a redução da eficiência de produção da Prensa até à paragem forçada da produção durante vários dias, resultado de um dano provocado por uma avaria no sistema de prensagem.

Tal como recomenda a metodologia adotada, primeiro analisou-se cada um dos modos de falha quanto à sua Severidade. A classificação utilizada segue o critério apresentado na Tabela 2.

Após esta avaliação enumeraram-se as potenciais causas associadas aos vários modos de falhas e respetivo efeito. Segundo Batista et al. (2013) um dos passos fundamentais na análise FMEA é a identificação das diferentes potenciais causas porque a identificação destas é o primeiro passo para desenvolver uma ação de resposta de atuação para eliminar ou reduzir as causas. Neste sentido, autores como Latino (2004) recomendam o uso de técnicas como diagrama causa-efeito e os 5 Porquês (5 *Why's*) uma vez que permitem através de uma metodologia simples auxiliar a equipa multidisciplinar a identificar de forma sistemática as causas raiz para que depois se possa atuar sobre estas. O objetivo do uso da metodologia dos 5 porquês é garantir que através de múltiplas questões “porquê?” o resultado do processo são as verdadeiras causas das falhas e não sintomas que atuando sobre eles não eliminariam o problema.

Em linha com o recomendado anteriormente, nas sessões de *brainstorming* recorreu-se a diagramas causa-efeito e à metodologia dos 5 Porquês para identificação das causas raiz dos potenciais modos de falha. A utilização dos diagramas causa-efeito revelou-se benéfica uma vez que a existência de categorias serviu de base para a discussão e identificação de causas não tão evidentes, para além de facilitar uma abordagem mais estruturada na identificação de causas.

Desta metodologia resultaram diversos diagramas causa-efeito. Na Figura 26 apresenta-se o exemplo do diagrama construído para o modo de falha “Riscos na tela metálica”. As causas enumeradas para as diferentes categorias serão o ponto de partida para a construção do FMEA. As seis causas identificadas no diagrama causa efeito estão presentes no FMEA relacionado com o modo de falha em causa, tal como se pode verificar na Tabela 17.

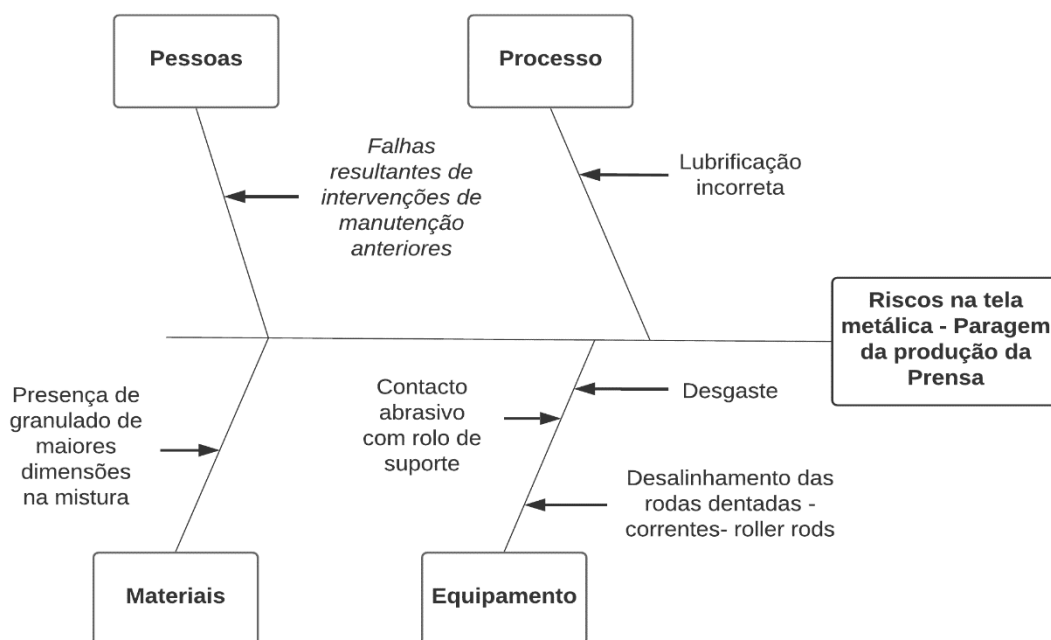


Figura 26 - Diagrama causa e efeito obtido do modo de falha “Riscos superficiais na tela metálica”

Tabela 17 - Excerto do FMEA referente as potenciais causas do modo de falha “Riscos presentes na tela metálica”

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	S	Potencial causa da falha
Sistema de prensagem da Prensa	Tela Metálica	Compressão da mistura (componente que entra em contacto com a mistura)	Riscos presentes na tela metálica	Defeito na tela superficial - Paragem da produção da Prensa	6	Presença de granulado de maiores dimensões (rede de peneiração com defeito)
					6	Desgaste
					6	Lubrificação incorreta
					6	Desalinhamento das rodas dentadas - correntes - roller rods
					6	Contacto abrasivo com o rolo de suporte
					6	Falhas resultantes de intervenções de manutenção anteriores

Após a classificação da Severidade e a identificação das potenciais causas dos modos de falhas segue-se o passo seguinte, a avaliação dos índices de ocorrência e deteção de cada causa. Para tal definiu-se em conjunto com a equipa multidisciplinar quais os critérios a utilizar que resultam de uma adaptação das Tabelas 3 e 4, apresentadas no subcapítulo 2.3.1, ao processo em estudo.

Na classificação do índice de ocorrência dos modos de falha será tida em conta a taxa de falha, ou seja, o número de avarias/falhas por hora de funcionamento tal como se apresenta na Tabela 28 do Anexo 6.3.1. Para tal recorreu-se ao histórico de avarias da empresa.

O índice de deteção deve ser atribuído em função da capacidade de detetar a causa da falha antes de esta provocar impacto/efeito, estando os critérios utilizados para a classificação estão apresentados na Tabela 29 no Anexo 6.3.1. Para esta classificação é possível recorrer a sensores, inspeção visual e outros dispositivos de controlo. A título de exemplo o sistema de controlo do desalinhamento da tela metálica apresenta um valor baixo de índice de deteção (alta capacidade de deteção) porque quando existe um desalinhamento, o sistema direciona a tela à sua posição correta. Mesmo que este sistema avarie o sistema SCADA é capaz de detetar e realizar uma paragem de emergência para além de alertar o operador na interface HMI.

Finalmente os índices de severidade, ocorrência e deteção são combinados dando origem ao grau de risco (RPN). Este é um indicador do grau de urgência das medidas a implementar, e pode ser dividido em várias categorias tal como apresentado na Tabela 18. Em função do grau de risco, o grau de urgência das medidas a implementar foi definido juntamente com a equipa multidisciplinar.

Tabela 18 - Classificação do grau de risco (RPN) aplicado (Adaptado de Smith & Mobley, 2005)

Grau de risco (RPN)		Grau de urgência das medidas a implementar
500 < NPR ≤ 1000	Risco urgente	Parar imediato produção e realizar ações imediatas e urgentes para diminuir o risco associado
100 < NPR ≤ 500	Risco alto	Requer ação imediata para diminuir o risco
50 < NPR ≤ 100	Risco médio	Devem ser tomadas ações logo que possível para diminuir o risco
0 ≤ NPR ≤ 50	Risco muito baixo	Devem ser tomadas medidas de melhoria sem caráter de urgência

A análise FMEA resultante deste processo encontra-se presente no Anexo 6.3.2, Tabela 30. De realçar que as ações recomendadas ou propostas de melhorias presentes na Tabela 30 resultam da conjugação do conhecimento teórico e prático da equipa envolvida.

Através da análise FMEA realizada conclui-se que não foram identificados modos de falha urgentes. Contudo existem nove modos de falha com risco alto num total de 90 identificados (ver Figura 27). Estes modos de falha com nível de risco alto serão o foco principal da avaliação dos resultados do FMEA.

Avaliação do risco	Núm. de potenciais modo de falha
Urgente	0
Alto	9
Médio	30
Baixo	51
Total	90

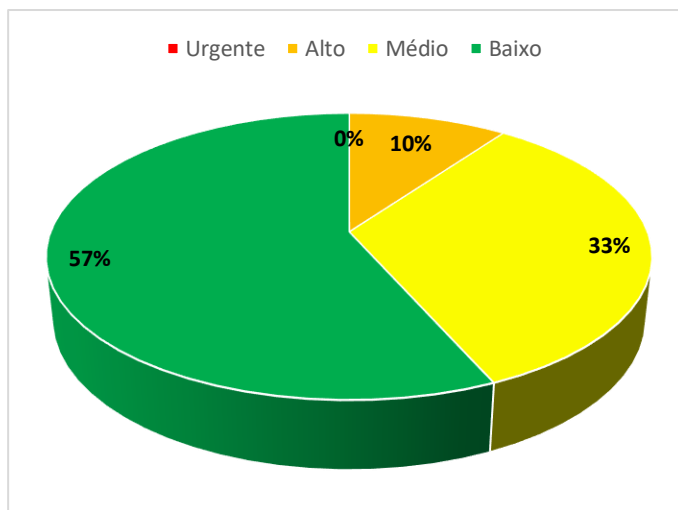


Figura 27 - Análise da avaliação de risco associada os potenciais modos de falhas identificados no FMEA

Pela análise de cada um dos fatores de forma isolada verifica-se que o índice de Severidade apresenta um valor médio superior aos restantes, cerca de 5,86. O índice de Detecção tem um valor médio de 4,89 e a média do índice de Ocorrência é a menor com o valor de 2,21.

Pelo gráfico apresentando na Figura 28 verifica-se que a média do índice de severidade apresenta um valor elevado porque os modos de falha de todos os blocos funcionais apresentados no FMEA (à exceção do sistema de limpeza) resultam em paragens da produção da Prensa e por isso são classificados com índices mais elevados. Verifica-se também que existem diversos modos de falha cujo índice de deteção é baixo, o que é justificado pelo facto de a linha ser muito automatizada e com alguns sistemas de controlo autónomos. Por outro lado, existem componentes mecânicos onde a existência de sensores não é possível o que dificulta a deteção. Já no índice de ocorrências, o valor médio é bastante baixo, no entanto existem *outliers* que são uma preocupação devido ao risco que representam para a disponibilidade da secção.

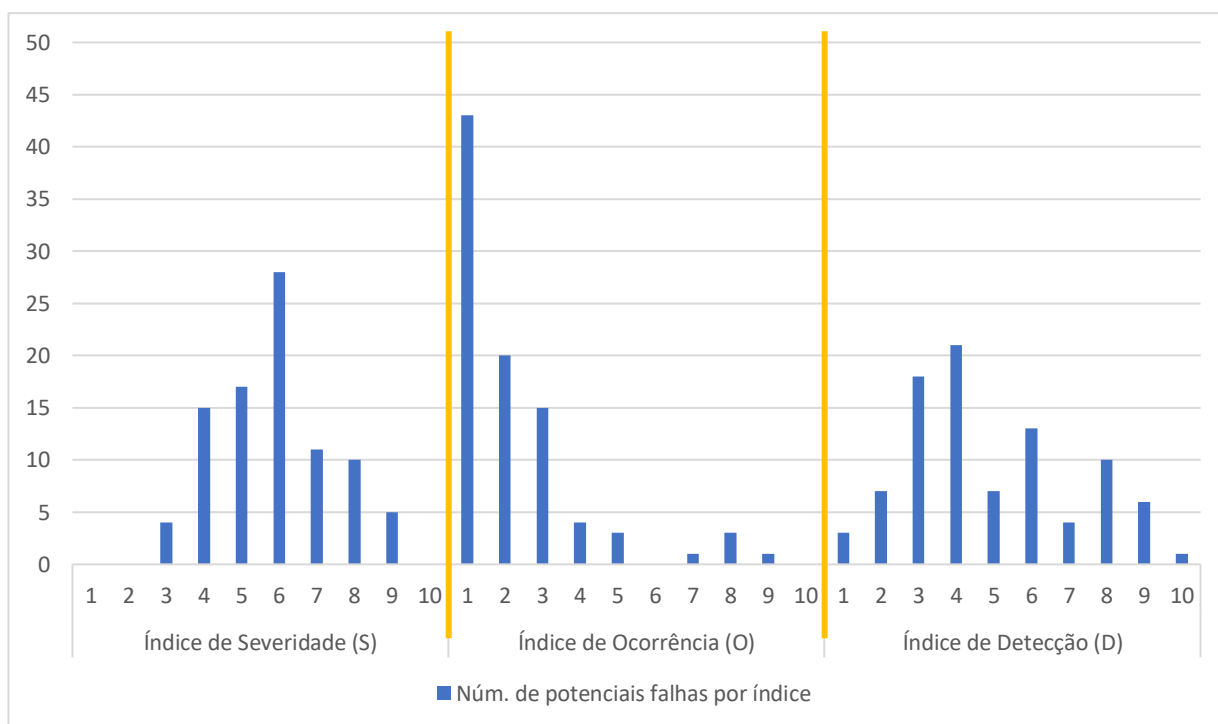


Figura 28 - Análise dos três índices (S, O e D) da análise FMEA efetuada

Tal como referido anteriormente existem nove falhas com risco alto, que serão alvo de atenção acrescida ao longo do estudo. Estas potenciais falhas são apresentadas na Tabela 19, onde se enumeram propostas de melhoria desenvolvidas no processo industrial em estudo com o objetivo de reduzir o nível de risco associado. Verifica-se que grande parte dos potenciais modos de falha presentes na Tabela 19 apresentam um índice de ocorrência e deteção acima da média. Isto indicia que a aplicação de propostas de melhoria que reduzam estes índices poderá conduzir à redução do risco e conduzir a melhorias consideráveis no processo.

Tabela 19 - Ações recomendadas para os potenciais modos de falha de risco alto

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Propostas de melhoria	
Sistema	Subsistema/Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	S	Potencial causa da falha	O	Dispositivos de deteção atual	D	RPN	Avaliação	Nº	Descrição
Sistema de compressão da Prensa	Tela Metálica	Compressão da mistura (componente que entra em contacto com a mistura)	Riscos com profundidade presentes na tela metálica	Defeito na tela - Paragem da produção da Prensa devido ao risco de aparecimento de um pequeno rasgo na tela proveniente deste risco	6	Presença de granulado de maiores dimensões (rede de peneiração com defeito)	5	Visual	4	120	Alto	1º	Colocação de uma rede vibratória mais fina
					6	Cargas severas contínuas (Desgaste)	4	Visual	6	144	Alto	2º	Inspeção autónoma ao fim de cada turno
	Corrente	Permite movimento dos roller rods que são responsáveis pela compressão da tela mecânica	Desgaste dos elos	Possível fissura no elo - Paragem da produção da Prensa	6	Escorregamento entre o carro de tração e a corrente	8	Visual	6	288	Alto	3º	Ocorrência elevada provém de uma das 4 correntes devido as condições que está sujeito - Investimento de uma nova corrente metálica e respetivos elementos (rodas dentadas, guias e outros) que permitem o seu funcionamento
					6	Abrasão e sujeito a cargas descendentes	8	Visual	6	288	Alto		
					7	Defeito na corrente - Paragem da produção da Prensa	7	Visual	5	245	Alto		
					7	Desalinhamento no movimento das correntes	Defeitos na tela metálica - Paragem da produção da Prensa	5	Visual – Sistema de controlo	6	210		
	Guias	Controlo do movimento das correntes	Desgaste anormal das guias	Movimento incorreto das correntes - Cria sobrecarga sobre a corrente levando danos nesta	5	Sobrecarga excessiva	5	Visual	8	200	Alto		
					5	Presença de mistura de cortiça e outros materiais abrasivos/corrosivos no movimento da corrente	5	Visual	8	200	Alto		
	Conjunto de válvulas e quadro de controlo	Responsáveis pelo controlo da posição e pressão dos cilindros	Paragem do controlo da posição e pressão dos cilindros	Paragem de produção da Prensa	6	Bloco de válvula avariado	5	Sistema Alarme	4	120	Alto	4º	Sistema de apoio à Manutenção Sistema de estudo de peças de reserva

3.4 Proposta e implementação de melhorias

Neste subcapítulo, através da identificação dos principais problemas e causas, será formulada uma proposta de plano de melhorias nas secções-equipamentos. Juntamente com a equipa multidisciplinar, decidiu-se projeto passaria por dois grupos de melhorias:

- **Grupo 1:** Desenvolvimento e implementação das propostas de melhoria dos modos de falha com risco alto obtidas a partir da análise FMEA;
- **Grupo 2:** Desenvolvimento e implementação de um Sistema de apoio à Manutenção e, consoante resultados e validação dos vários intervenientes deste projeto piloto, este poderia numa fase posterior ser implementado nas restantes secções da empresa. Com este sistema de apoio pretende-se seja possível:
 - Suporte aos alarmes que surgem no sistema SCADA presente na interface da secção II;
 - Identificação dos vários componentes presentes nos equipamentos e respetiva codificação presente do sistema SCADA. Criação de um fácil acesso à documentação técnica destes e outros documentos que podem vir a ser úteis durante uma intervenção;
 - Criação de um sistema de identificação das necessidades das peças de reserva e a criticidade destas.

3.4.1 Grupo 1: Proposta de melhorias obtidas a partir da análise FMEA

Proposta 1

Uma das características que definem a qualidade do produto final, ou seja, dos rolos de cortiça, é a baixa espessura destes. Para que os rolos de cortiça tenham espessuras muito reduzidas a mistura de granulado de cortiça com aglutinantes é sujeita a elevadas forças de prensagem por parte de uma tela metálica. Quando a prensa é alimentada com uma mistura que contém granulado de maiores dimensões isso exigirá maiores forças de prensagem para se obter um produto com a qualidade esperada, o que provoca maior desgaste na tela metálica podendo conduzir a aparecimento de riscos nesta.

Assim sendo, nesta primeira proposta de melhoria, com intuito de reduzir a presença de granulado de maiores dimensões, optou-se por trocar a rede vibratória da secção que faz a filtragem deste material (rede de 4mm), ver Figura 29, por uma rede com uma malha mais fina (rede de 3mm) reduzindo assim as dimensões do granulado de cortiça que faz parte da mistura.



Figura 29 - Rede peneira instalada antes da misturação



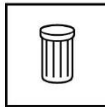






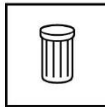






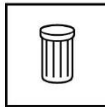





Proposta 2

Com a segunda proposta de melhoria pretende-se que, através da realização de inspeções mais frequentes sobre o estado da tela, seja possível de detetar riscos menores na tela metálica antes que estes evoluam para riscos de maiores dimensões ou mesmo fissuras.

A necessidade de criar esta nova tarefa de manutenção autónoma surge porque o tempo e o investimento necessários para a resolução de um risco muito superficial são consideravelmente menores do que para a resolução de riscos com alguma profundidade ou até fissuras. Para além disso a condição atual da tela metálica tem enfraquecido devido ao desgaste ao longo do tempo.

Para evitar que danos menores na tela evoluam para modos de falha com índices de severidade muito elevados, como é o caso de fissuras, passou a fazer parte dos procedimentos dos operadores realizarem inspeções à tela no início de cada turno. Este procedimento integra os procedimentos do plano de manutenção autónoma da empresa, tal como se pode verificar através da Tabela 20.

Tabela 20 - Excerto do Plano de Manutenção Autónoma - Revisão Nº1

Plano de Manutenção Autónoma - Revisão																					
Data de Inicio	-----			Nº de Revisão	1																
Responsável	-----			Responsável	Tiago Duarte																
Nota:				Data de revisão	25/11/20																
				Aprovado por	-----																
<p>Legenda:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Legenda dos Símbolos:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Inspecção</td> <td>Lubrificação</td> <td>Limpeza</td> <td>Intervenção</td> </tr> </table> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Legenda das cores (Frequência):</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>POR TURNO</td> <td>SEMANAL</td> <td>MENSAL</td> </tr> </table> </div> </div>												Inspecção	Lubrificação	Limpeza	Intervenção				POR TURNO	SEMANAL	MENSAL
																					
Inspecção	Lubrificação	Limpeza	Intervenção																		
																					
POR TURNO	SEMANAL	MENSAL																			
Equipamento	Tipo de intervenção	Órgão	Ferramentas	Instrução	Frequência	Quando fazer?	Tempo de execução														
Prensa		Tela	Lanterna	Verificação do estado da tela	Por turno	Equipamento em funcionamento	20 minutos														

Proposta 3

Na análise FMEA verificou-se que os potenciais modos de falha associados aos componentes Corrente e Guias apresentam os maiores valores de risco de toda a análise realizada, sendo que o fator que mais contribui para o elevado RPN é o alto índice de ocorrência que possuem.

Devido ao impacto que paragens frequentes têm na disponibilidade da linha, a equipa concluiu que existia a necessidade de intervir nestes componentes. Assim sendo, devido à complexidade dos equipamentos/componentes, houve a necessidade de a equipa multidisciplinar identificar e planear quais as tarefas a executar para reduzir o risco para a empresa.

Primeiro foram identificadas quais as correntes responsáveis pela maioria do tempo improdutivo do equipamento. A prensa possui quatro correntes, duas correntes presentes na zona de aquecimento e duas na de arrefecimento, tal como se pode ver na Figura 30.

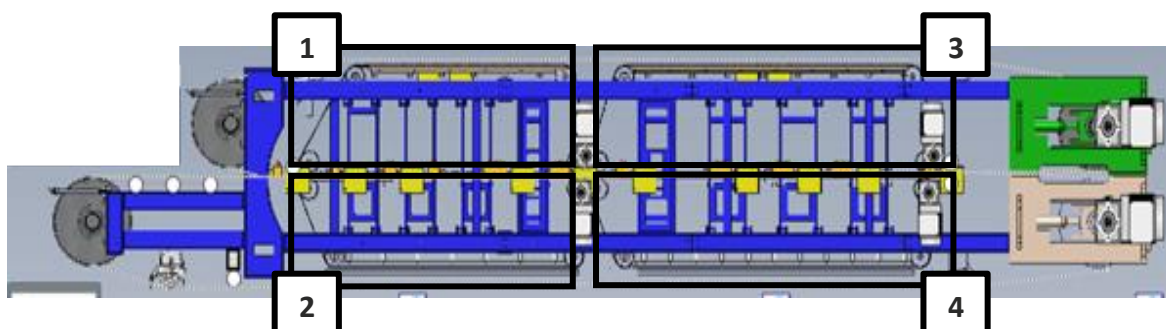


Figura 30 - Correntes presentes na Prensa (1 - Corrente superior de aquecimento, 2 - Corrente inferior de aquecimento, 3 - Corrente superior de arrefecimento e 4 - Corrente inferior de arrefecimento)

Tendo em conta o histórico de avarias, verifica-se que modos de falha associados ao sistema de correntes (rodas dentadas, elos, guias, entre outros) são responsáveis por cerca de 60% das avarias que geraram tempo improdutivo na secção II (144 avarias). Ao analisar de que forma as 144 avarias se distribuem pelas diferentes correntes que constituem o sistema, ver Tabela 21, verifica-se que as correntes inferiores são responsáveis pelo maior número de avarias.

Tabela 21 - Tabela de auxílio à construção do diagrama de Pareto por correntes

Correntes	Núm. de avarias que geraram tempo improdutivo	% Avarias que geraram tempo improdutivo	% Acum. avarias que geraram tempo improdutivo
Corrente inferior de aquecimento	88	61,1%	61,1%
Corrente inferior de arrefecimento	43	29,9%	90,6%
Corrente superior de aquecimento	11	7,6%	98,6%
Corrente superior de arrefecimento	2	1,4%	100,0%

Através da análise do diagrama de Pareto, Figura 31, verifica-se que aproximadamente 61% das avarias referentes às correntes provêm da corrente de aquecimento inferior. Para além disso, nos últimos anos o número de avarias associadas a este subsistema tem aumentado o que pode estar associado a um maior desgaste. Após esta análise, a equipa multidisciplinar concluiu que deveria ser levada a cabo a tarefa de substituição deste. Para tal houve a necessidade de planear e calendarizar as várias tarefas, devido à complexidade do equipamento e das atividades a desempenhar. O planeamento realizado através da ferramenta MS Project é apresentado no Anexo 4 presente no subcapítulo 6.4.

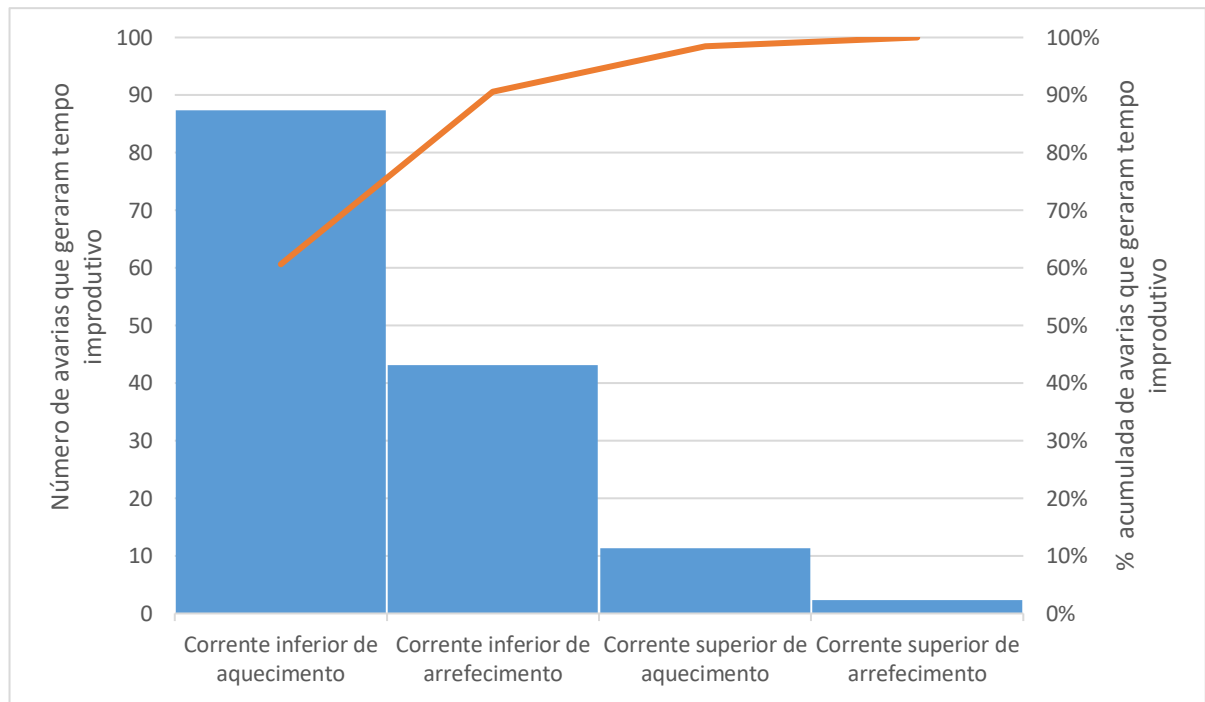


Figura 31 - Diagrama de Pareto do número de avarias que geraram tempo improdutivo por correntes na Prensa

Proposta 4

Desta análise FMEA resultou ainda uma quarta proposta de melhoria cujo objetivo é auxiliar os operadores a agir perante um determinado alarme, e passa pela construção de um sistema de apoio à manutenção. A falta de preparação perante situações como esta traduz-se em modos de falha com risco superior ao esperado, tal como acontece no modo de falha associado à proposta quatro.

Atualmente o sistema SCADA quando deteta uma situação anómala na Prensa emite um alerta que o operador pode consultar através da interface HMI. Contudo em muitas situações o alarme emitido não é intuitivo e/ou pode estar associado a diversas causas o que dificulta o trabalho dos operadores ou dos técnicos na identificação da causa e resolução da situação que está na origem do alarme. Para além disso, em algumas situações quando o procedimento de resolução envolve a substituição de um componente não existem as peças de reserva necessárias em inventário o que pode impactar o tempo e os custos associados à resolução da avaria.

Com a criação do sistema de apoio à manutenção pretende-se auxiliar os trabalhadores nas tarefas de manutenção assim como na gestão das peças de reserva.

3.4.2 Grupo 2: Sistema de Apoio à Manutenção da Secção II

A maior parte das avarias que surgem na secção II são identificadas pelo sistema SCADA e comunicadas ao operador através de alarmes emitidos na interface HMI deste sistema, tal como se apresenta assinalado a amarelo na Figura 32.

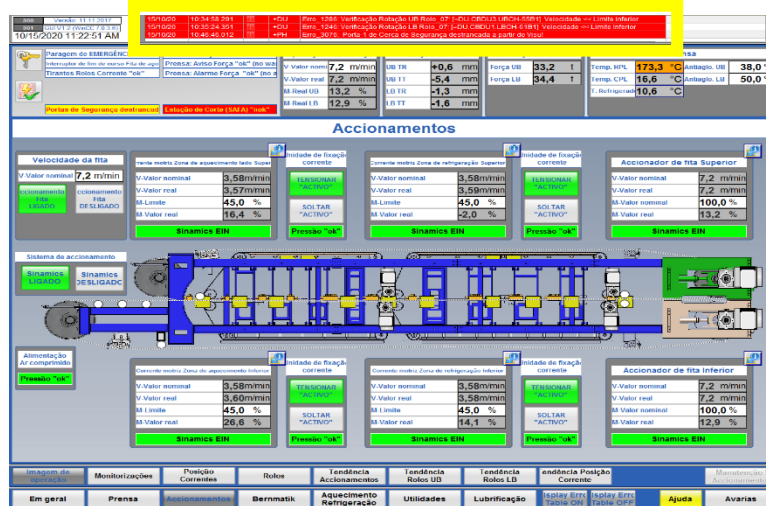


Figura 32 - Disposição dos alarmes na interface HMI no sistema SCADA da secção II

É ainda importante realçar que devido à complexidade de todo o processo, isto é, à complexidade dos equipamentos/componentes e sistema SCADA que compõem a linha de produção, quando ocorre uma avaria a equipa de manutenção e os operadores formam uma equipa dinâmica que se dedica à resolução da avaria até que a linha retome a atividade normal.

Como o processo em análise trabalha continuamente existem 3 turnos por dia, e dependendo do turno em que a avaria ocorre, a equipa formada será diferente. O facto de existirem equipas diferentes faz com que seja difícil a transmissão de conhecimento entre estas e existem equipas que não estão tão familiarizadas com determinados procedimentos de manutenção.

Uma vez que existe um número elevado de alarmes que podem surgir, não é expectável que tanto os operadores, como os técnicos, tenham a capacidade de decifrar e de proceder à resolução de todos de forma imediata. O processo de identificação do motivo da avaria e do procedimento para a sua resolução afeta a eficiência do processo de correção da avaria.

Com o intuito de facilitar a transmissão de conhecimento e acelerar o processo de resolução de avarias optou-se por desenvolver um Sistema de Apoio à Manutenção. Pretende-se que este sistema seja um repositório de informação que os operadores possam consultar e completar sempre que necessário. Este sistema terá dois segmentos principais:

- **Segmento Componentes** – Incluirá a identificação de todos os componentes associados ao sistema de prensagem e permitirá aos utilizadores identificar um dado componente através do código apresentado pelo sistema SCADA. Esta funcionalidade será útil porque em muitos dos alarmes emitidos existe uma codificação do equipamento onde ocorreu a avaria que está a gerar o alarme, cujo código não é intuitivo. Para além da correspondência entre o código apresentado na interface e o nome do equipamento será também possível aceder à documentação técnica do equipamento, oferecendo assim um suporte durante uma intervenção (por exemplo tabelas de *troubleshooting* criadas pelo fornecedor).
- **Segmento Troubleshooting** – Permitirá ao operador/técnico a partir da codificação do alarme emitido na interface HMI ter acesso a informações como potenciais causas e/ou procedimentos a seguir para resolução da avaria que deu origem ao alarme. Este segmento facilitará a partilha de conhecimento adquirido na resolução de avarias anteriores e permitirá aos técnicos de manutenção e operadores acelerar todo o processo de resolução de avarias.

Para a construção do Sistema de informação foi utilizado o software *Excel* recorrendo a programação VBA (*Virtual Basic for Applications*). Optou-se por usar um sistema simples e fácil de utilizar mesmo por colaboradores que possuam pouca experiência nestas ferramentas para garantir que o processo de implementação e manutenção do mesmo seja mais fácil de assegurar.

Antes de detalhar o desenvolvimento desta ferramenta é importante explicar como funciona o sistema de alarmes e a respetiva codificação.

3.4.2.1 SCADA - Sistema de alarmes

Em cada disposição de alarmes, surge a data e hora em que o alarme ocorreu (identificado respetivamente por número 1 e 2 na Figura 33), qual o sistema principal onde foi detetado o alarme (assinalado a 3) e descrição do alarme (assinalado a 4).

15/10/20	10:34:58.291	!	+DU	Erro_1286: Verificação Rotação UB Rolo_07: [=DU.CBDU3.UBCH-55B1] Velocidade << Limite Inferior
15/10/20	10:35:24.351	!	+DU	Erro_1246: Verificação Rotação LB Rolo_07: [=DU.CBDU1.LBCH-61B1] Velocidade << Limite Inferior
15/10/20	10:46:46.012	!	+PH	Erro_3076: Porta-1 de Cerca de Segurança destrancada a partir do Visu!

Figura 33 - Diferentes elementos presentes no surgimento de um alarme

Os campos de localização e de descrição do alarme são importantes e serão tidos em conta aquando do desenvolvimento da ferramenta porque são estes que permitem aos operadores e técnicos de manutenção detetar o problema e resolvê-lo. Nestes campos existe uma oportunidade de melhoria, nomeadamente na sua descodificação para facilitar a sua leitura.

Em grande parte das descrições dos erros surge uma codificação semelhante à que se apresenta na Figura 34. O ponto a) representa o número de alarme/erro/aviso que é diferente para todo o tipo de alarmes que possam surgir e b) refere-se ao componente ou equipamento onde a avaria que acionou o alarme foi detetada.

Erro_1246: Verificação Rotação LB Rolo_07 [=DU.CNDU3.UBCH-55B1] Velocidade << Limite inferior

a) b)

Figura 34 - Nomenclatura da descrição de alarmes na Secção II

Tendo em conta estes elementos de codificação, apresenta-se a construção do sistema subdividida nos dois segmentos apresentados anteriormente.

3.4.2.2 Segmento Componentes

Uma das fases fundamentais na construção do segmento Componentes do sistema é a identificação de todos os componentes e equipamentos presentes na secção II.

Tal como referido anteriormente existe dificuldade por parte dos operadores ou dos técnicos perante o código de um componente identificá-lo na linha de produção, uma vez que não existe identificação destes no equipamento. Por este motivo, à medida que se ia desenvolvendo o segmento Componentes da ferramenta, sinalizou-se, em conjunto com a equipa multidisciplinar, quais os códigos dos equipamentos no chão de fábrica recorrendo a etiquetas, tal como se pode verificar na Figura 35.

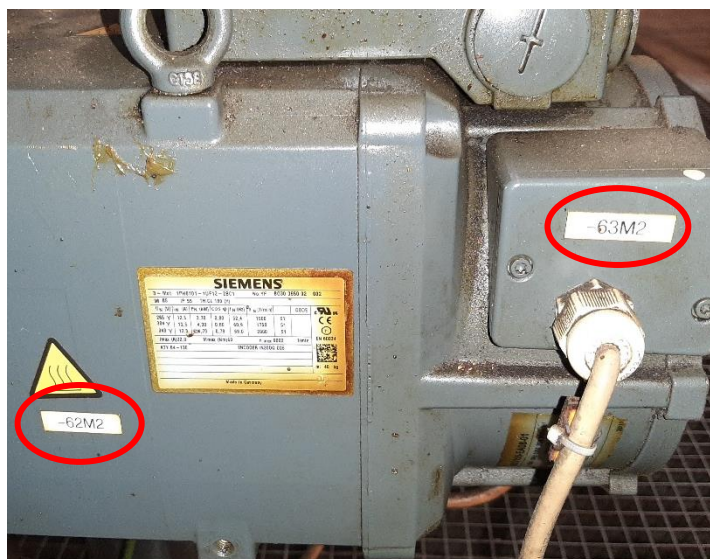


Figura 35 - Identificações dos respetivos componentes a qual possuem codificação (assinalados a vermelho)

Na Figura 36 estão esquematizadas as principais funcionalidades do sistema para auxiliar a gestão e identificação dos componentes da Prensa. A ferramenta construída é simples e em apenas três passos permite aos operadores/técnicos acederem à informação que pretendem.

O segmento dedicado à identificação dos componentes pode ser acessado clicando em “Pesquisar componentes”, os restantes botões do menu principal destinam-se a outras funcionalidades do sistema que serão exploradas posteriormente.

O utilizador poderá aceder automaticamente às informações do componente utilizando uma ou mais das especificações possíveis, ou seja, através da identificação da sua localização ou da sua codificação. No exemplo apresentado na Figura 36 tem-se as informações relativas aos equipamentos apresentados na Figura 35.

O segmento Componentes apresenta alguns pontos que merecem destaque, entre eles:

- **Ponto 1** - Codificação do componente em análise;
- **Ponto 2** - Informações relativas ao componente, tais como descrição da função do componente, fabricante e referência do produto;
- **Ponto 3** - Ponto de acesso aos documentos técnicos (manual técnico ou *datasheet*) dos componentes;
- **Ponto 4** - Remoção dos filtros na tabela dos componentes;
- **Ponto 5** - Ponto de acesso às pastas que contêm os documentos técnicos dos componentes (caso o utilizador pretenda alterar/adicionar um manual);
- **Ponto 6** - Ponto de acesso a um manual acerca do funcionamento do sistema geral da Prensa fornecido pelo fornecedor da Prensa;
- **Ponto 7** - Ponto de acesso ao esquema elétrico da secção II.

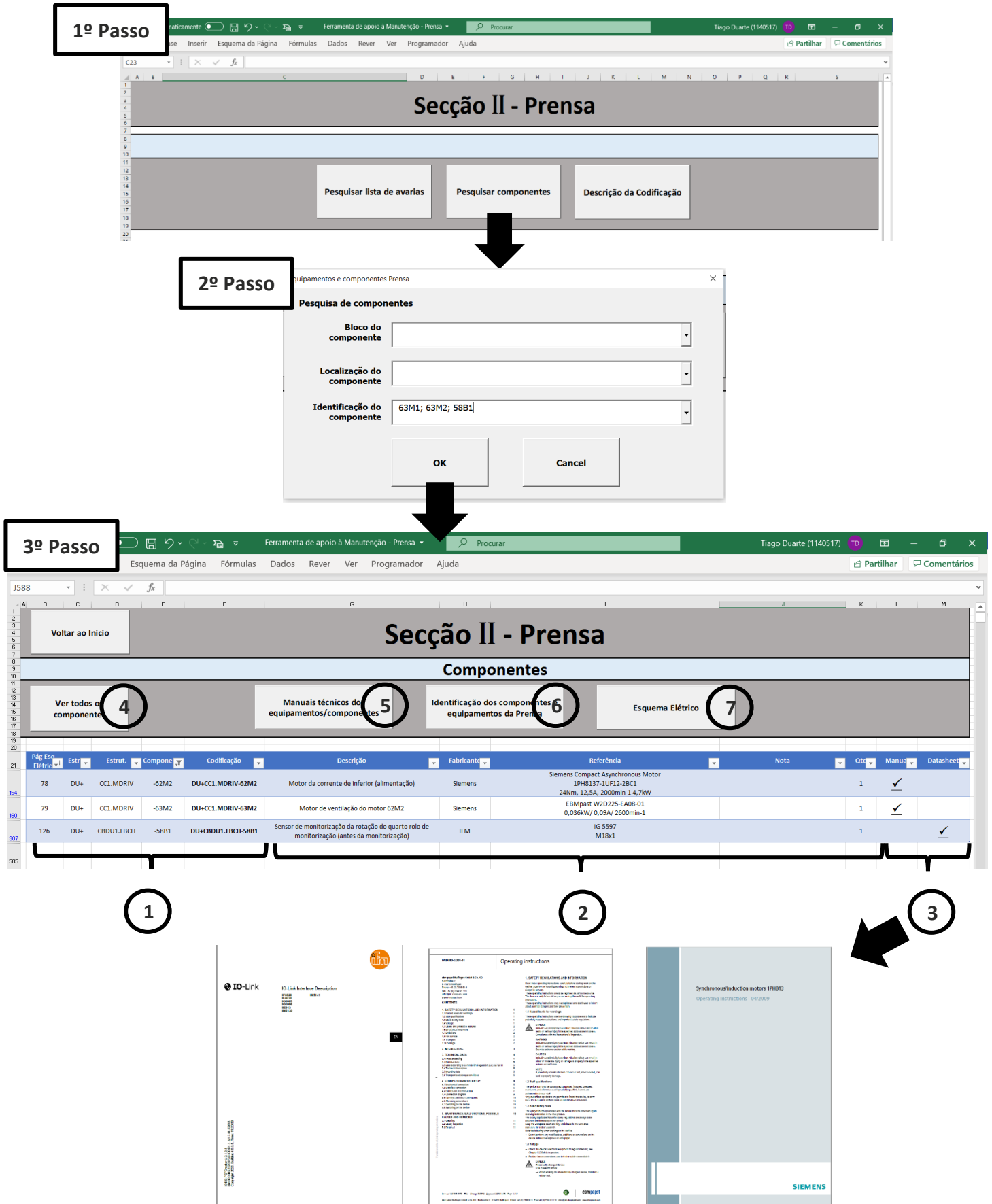


Figura 36 - Sistema de Apoio à Manutenção - Prensa (Segmento Componentes)

3.4.2.3 Segmento Troubleshooting

Na construção deste segmento, o primeiro passo consistiu na extração do histórico de alarmes da secção II no sistema SCADA, tendo sido identificados cerca de 1300 alarmes distintos. É importante referir que o sistema desenvolvido apenas foca os alarmes codificados, uma vez que as avarias que surgem e não são codificadas são poucas, e as que existem são frequentes e por isso já existe experiência na sua resolução. O objetivo desta ferramenta é auxiliar tanto os operadores como os técnicos de manutenção na identificação dos alarmes e no procedimento de resolução de modo a aumentar a eficiência da resolução de uma avaria. Permitirá também facilitar a transmissão de conhecimento entre turnos.

No menu principal da ferramenta, ver Figura 37, existe um botão “Pesquisar lista de avarias” a partir do qual o utilizador acederá a um formulário onde pode optar por consultar a listagem de todas as avarias ou então digitar o código da avaria que surge na interface HMI do sistema SCADA. Através desse código acederá a uma página semelhante à apresentada anteriormente, contudo neste caso inclui uma tabela com as seguintes especificações:

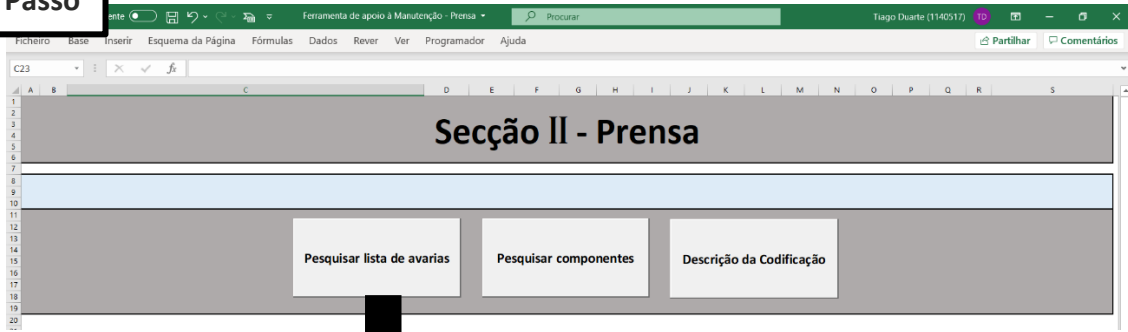
- **Ponto 1** - Codificação do alarme, inclui o número associado ao alarme e a descrição deste.
- **Ponto 2** - Análise de potenciais causas da falha e qual o efeito associado;
- **Ponto 3** - Campo que indica o procedimento mais indicado para resolução da avaria, inclui o responsável pelo diagnóstico e resolução. Para cada avaria as diferentes causas estão ordenadas por prioridade. Esta prioridade é definida de acordo com os seguintes critérios:
 - **1º** - Se a causa pode ser detetada/corrigida pelo operador terá prioridade sobre as que apenas podem ser detetadas pelos técnicos de manutenção.
 - **2º** - De seguida é analisada a gravidade do efeito e a facilidade de deteção da causa. Causas com efeitos mais severos e mais fáceis de detetar terão prioridade sobre as restantes.

O campo que identifica o responsável pelo diagnóstico foi incluído porque existem algumas avarias que devido à sua complexidade devem ser analisadas pelos técnicos de manutenção. Em algumas avarias as primeiras causas podem ser despistadas pelos operadores e as seguintes apenas podem ser detetadas/resolvidas pelos técnicos. Para garantir que os técnicos sabem qual o procedimento que o operador realizou, os técnicos conseguem aceder a toda a documentação/procedimento e não só a que está a seu cargo. Para facilitar a leitura da tabela foram atribuídas diferentes cores de modo a separar as tarefas associadas ao técnico de manutenção e operador.

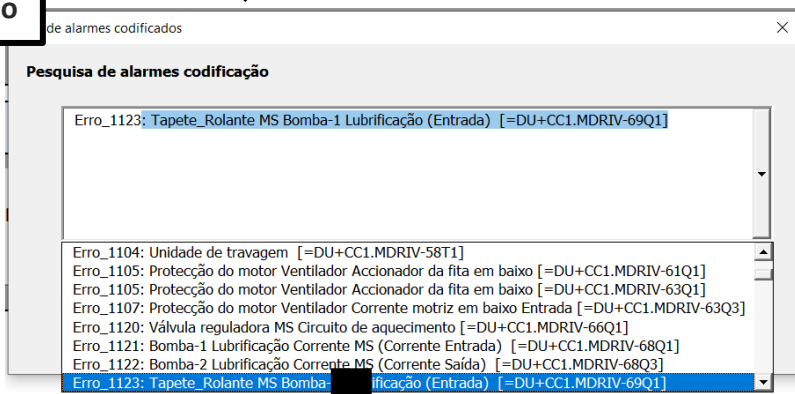
Tal como mencionado anteriormente algumas das causas apresentam qual o procedimento mais indicado para a resolução da avaria. Esta informação resulta de um levantamento que foi feito durante o estudo e validada por técnicos de manutenção da

linha. Para causas cujo procedimento não está identificado, seja porque não ocorreram ou porque não havia registo, existe a possibilidade de atualizar este campo na tabela.

1º Passo



2º Passo



3º Passo

Número de alarme	Símbolo	Número de alarme	Descrição do alarme	Potencial causa de falha	Potencial efeito de falha	Responsável Diagnóstico	Prioridade	Medidas a tomar pelo responsável diagnóstico
DU_ERROR_1120_1137	+DU	Ero_1123	Erro_1123: Tapete_Rolante MS Bomba-1 Lubrificação (Entrada) [=DU+CC1.MDRIV-69Q1]	Disjuntor da bomba desligado/avariado DU+CC1.MDRIV-69Q1	Paragem da bomba durante 60 minutos mesmo com a continuação da produção	Operador/Técnico	1	1º - Dirigir ao quadro CC1 e verificar se disjuntor se encontra desligado. 2º - Se o disjuntor estiver ligado, chamar técnico de manutenção e explicar o sucedido.
DU_ERROR_1120_1137	+DU	Ero_1123	Erro_1123: Tapete_Rolante MS Bomba-1 Lubrificação (Entrada) [=DU+CC1.MDRIV-69Q1]	Contactador do entre disjuntor e bomba avariado DU+CC1.MDRIV-69Q2	Paragem da produção	Técnico	2	1º - Dirigi ao quadro CC1.PLC e verificar LED diagnóstico do módulo eletrónico DU+CC1.PLC-24A3 (Ver manual correspondente ao componente Siemens EM 4/8 F-DI DC24V PROFIsafe na secção Componentes)
DU_ERROR_1120_1137	+DU	Ero_1123	Erro_1123: Tapete_Rolante MS Bomba-1 Lubrificação (Entrada) [=DU+CC1.MDRIV-69Q1]	Bomba avariada DU+CHCL-69M1	Paragem da produção	Técnico	3	1º - Dirigi ao quadro CC1.PLC e verificar LED diagnóstico do módulo eletrónico DU+CC1.PLC-24A5 (Ver manual correspondente ao componente Siemens EM 4/8 F-DI DC24V PROFIsafe na secção Componentes)
DU_ERROR_1120_1137	+DU	Ero_1123	Erro_1123: Tapete_Rolante MS Bomba-1 Lubrificação (Entrada) [=DU+CC1.MDRIV-69Q1]	Avaria no módulo eletrónico Siemens EM 4/8 F-DI DC24V PROFIsafe DU+CC1.MDRIV-69Q1 --> DU+CC1.PLC-24A3	Paragem da bomba durante 60 minutos mesmo com a continuação da produção	Técnico	4	1º - Ainda no quadro CC1, verificar contactor marcado com 69Q2 e verificar se os fios estão bem conectados. Se contactor não apresentar danos e os cabos estiverem bem conectados, então prosseguir à próxima causa.
DU_ERROR_1120_1137	+DU	Ero_1123	Erro_1123: Tapete_Rolante MS Bomba-1 Lubrificação (Entrada) [=DU+CC1.MDRIV-69Q1]	Avaria no módulo eletrónico Siemens EM 4/8 F-DI DC24V PROFIsafe DU+CC1.MDRIV-69Q2 --> DU+CC1.PLC-24A5	Paragem da bomba durante 60 minutos mesmo com a continuação da produção	Técnico	5	1º - Ir ao segmento Componentes e verificar Manual da Bomba de Lubrificação (CC1.MDRIV-69M1).

1

2

3

Figura 37 - Segmento Troubleshooting do Sistema de apoio à Manutenção

Os benefícios da utilização da ferramenta dependem do sucesso da sua implementação e este sucesso depende da alteração do procedimento dos operadores aquando da ocorrência de uma avaria. A alteração de comportamentos não é algo intuitivo e por esse motivo, para facilitar a implementação, foram organizadas sessões de formação

aos diferentes turnos para além da disponibilização de um manual de instruções. Nestas sessões foram apresentadas as funcionalidades do Sistema de Apoio desenvolvido e uma explicação detalhada de como percorrer os diferentes campos, recorrendo a casos práticos.

3.4.2.4 Sistema de classificação das peças de reserva

De acordo com Ferreira et al. (2018) e Van Horenbeek et al. (2013), a gestão de peças de reserva é influenciada pela política de manutenção da empresa, corretiva ou preventiva, e deve assegurar que as peças estão disponíveis quando necessárias sem descuidar os custos de compra e de armazenamento associados. Segundo estes autores a manutenção dos equipamentos e a gestão de peças de reserva não devem ser dissociadas.

Apesar de o estudo da gestão de peças de reserva não ser o foco principal deste estudo, ao longo do projeto a equipa multidisciplinar demonstrou que existia a preocupação de durante uma intervenção não existirem peças de reserva no armazém da manutenção da empresa. Assim sendo, neste projeto iremos implementar um sistema de classificação de peças de reserva que procura categorizar as diferentes peças em função da sua criticidade. Apesar de este sistema não definir quais as peças a encomendar, a quantidade ótima e a periodicidade de encomenda permitirá à empresa priorizar as peças a encomendar em função de critérios relevantes.

Para o desenvolvimento do sistema de classificação das peças de reserva será utilizada uma metodologia semelhante à apresentada na Figura 8. Atualmente, na empresa, existe um armazém de manutenção com peças de reserva para os diferentes processos industriais. Contudo, para o sistema de prensagem, existem poucas peças disponíveis. A definição das peças a ter em reserva não é realizada de forma estruturada, as peças que estão disponíveis no armazém foram compradas porque em alguma altura foi necessário comprar com emergência uma peça igual e optou-se por comprar mais uma para ter como reserva se o custo fosse reduzido. Ou seja, a aquisição de peças não teve em conta a criticidade do componente para o equipamento/linha de produção.

Ao longo deste projeto ocorreram algumas situações onde a existência de certas peças de reserva tinha reduzido consideravelmente o tempo de inatividade dos equipamentos e consequentemente aumentado a produtividade da linha. Foram ainda identificados casos onde a inexistência das peças de reserva e a urgência em retomar a produção conduziu a equipa de manutenção a procurar recuperar o componente danificado e, apesar de haver um elevado compromisso da equipa em alguns casos a reparação, e reinstalação destes levaram a graves consequências no equipamento principal, o que pode conduzir a paragens sucessivas e em situações extremas destruir do equipamento.

A classificação de peças de reserva implica a definição de critérios. Neste caso os critérios escolhidos foram adaptados do estudo realizado por Ferreira et al. (2018). Os

critérios foram definidos para se adaptarem ao sistema em análise, aos dados disponíveis e aos objetivos definidos. Estes critérios estão apresentados na Tabela 22.

A classificação da peça depende de quatro fatores: Criticidade do componente, Valor do componente, Tempo de reposição e número de potenciais fornecedores. A definição de cada um dos fatores foi realizada pela equipa multidisciplinar alocada ao projeto.

Cada componente, quanto à sua criticidade, é caracterizado em uma de três categorias: Vital, essencial e desejável. Quanto menor for o valor associado à peça, menor será o esforço da empresa em adquiri-la e, portanto, será priorizado o seu armazenamento face a peças mais onerosas. Assim sendo, a peças mais baratas será atribuída a Categoria A. Em relação ao tempo de reposição, será privilegiado o armazenamento de peças cujo tempo de reposição é mais longo, isto porque no caso de ocorrer uma avaria se estas peças não existirem em reserva o impacto nos tempos improdutivos é maior. Também o último critério que analisa o número de potenciais de fornecedores é importante para a classificação das peças de reserva porque se a peça for fornecida por apenas um fornecedor a empresa está dependente deste e da sua capacidade de fornecimento. Assim sendo, peças fornecidas por apenas um fornecedor serão classificadas como mais críticas do que as restantes.

Tabela 22 - Critérios adotados para a classificação das peças de reserva (adaptado de Ferreira et al. (2018))

Critério		Categorias		
		Vital (V)	Essencial (E)	Desejável (D)
Criticidade do equipamento		A falha do componente não permite o funcionamento do equipamento; Exigências legais e de segurança	O equipamento continua a funcionar, porem com restrição;	Não critico
Características de logística	Valor do componente	A	B	C
		<750€	750€<Valor<1500€	>1500€
	Tempo de reposição (Lead time)	X	Y	Z
		> 10 dias	3 dias a 10 dias	< 3 dias
Nº de potenciais Fornecedores	Único (V)	Essencial (E)	Múltiplo (D)	
	1	2 a 3	>3	

Os valores presentes no valor dos componentes baseiam-se nas compras do último ano. Já o tempo de reposição é definido em conjunto com a equipa multidisciplinar.

Após definidos os critérios é possível proceder à classificação das peças de reserva. Para tal é necessário atribuir um peso a cada critério, e neste caso recorreu-se ao método

AHP (Método de Processo Hierárquico). Através deste método é possível, através da comparação em pares realizar a decomposição e priorização dos critérios.

Segundo Krugier (2015) uma das formas de realizar esta comparação par a par é através da realização de vários questionários aos especialistas/decisores envolvidos no processo. Neste passo, a utilização de um número reduzido de critérios permite reduzir a complexidade dos questionários garantindo um *feedback* mais claro. Neste projeto cada um dos inquiridos respondeu a um conjunto de questionários, um para os critérios (criticidade do componente, valor do componente, tempo de reposição e número de potenciais fornecedores) e depois os restantes para avaliação das classes intrínsecas em cada critério. Exemplos dos questionários realizados podem ser consultados no anexo 5 no subcapítulo 6.5. Foram inquiridos diferentes intervenientes no processo, isto é, responsáveis da manutenção, o técnico da manutenção, o supervisor da produção do processo e ainda o responsável pelo armazém das peças de reserva.

Obtidos os resultados dos questionários e respetiva análise destes, é possível obter a importância atribuída a cada critério. Esta importância e hierarquização da criticidade (método AHP) realizou-se recorrendo ao software de cálculo em *Excel* criado por Goepel (2018). Nas Tabela 23 e Tabela 24, tem-se um exemplo de como a partir dos *inputs* dos decisores é possível obter a importância atribuída a cada critério.

Tabela 23 - Resultados do questionário 1 obtido do decisor nº 1

Critérios		Mais importante?	Escala
A	B	(A ou B)	(1-9)
Criticidade do componente	Valor do componente	A	5
	Tempo de entrega	A	3
	Número potenciais de fornecedores	A	8
Previsão do consumo	Tempo de entrega	B	3
	Número de potenciais de fornecedores	A	4
Tempo de entrega	Número de potenciais de fornecedores	A	7

Tabela 24 - Importância obtida a partir dos resultados do decisor nº 1 no questionário 1 recorrendo ao modelo AHP

Nº	Critério	% Peso
1	Criticidade do componente	56,5%
2	Valor do componente	12,0%
3	Tempo de entrega	27,2%
4	Número potenciais de fornecedores	4,4%

Após este processo para todos os decisores obteve-se a importância para cada critério e respetivas classes, tal como se verifica na Figura 38.

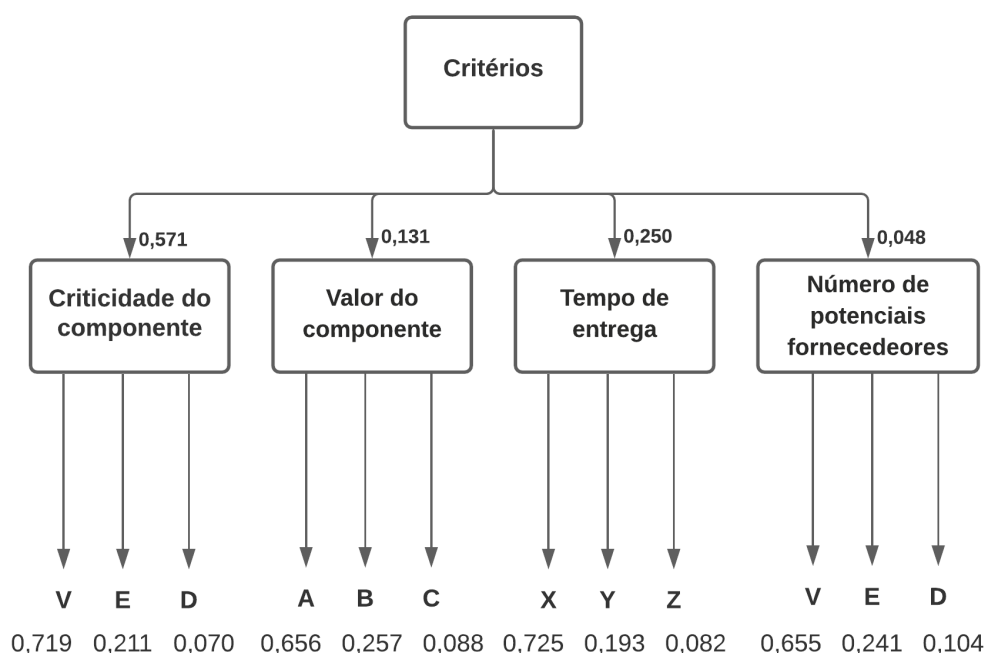


Figura 38 - Importância de cada critério e respetiva classificação

Após definida a importância de cada critério e respetiva categoria, procedeu-se à etapa final, ou seja, a atribuição da classificação às peças de reserva. Para tal desenvolveu-se um processo em MS *Excel* que após preenchimento dos dados referente à peça de reserva atribui a classe de cada critério, e em função desta e da importância calculada pelo método anterior, automaticamente classifica a peça em uma de três categorias: A, B ou C, sendo que peças codificadas com A são mais prioritárias. Este sistema é apresentado no Anexo 6 presente no subcapítulo 6.6.

O procedimento para a identificação de quais as peças A, B ou C implica a ordenação das classificações obtidas por ordem decrescente e os cortes são realizados quando são detetados “saltos” nos valores de classificação. Os cortes selecionados estão apresentados na Figura 39 e foram validados pela equipa multidisciplinar. Após esta análise, verifica-se que cerca de 33 peças foram classificadas como classe A, 55 como B e 30 como C. No futuro é importante que a equipa multidisciplinar ao avaliar novas peças de reserva faça uma revisão e nova validação destes limites.

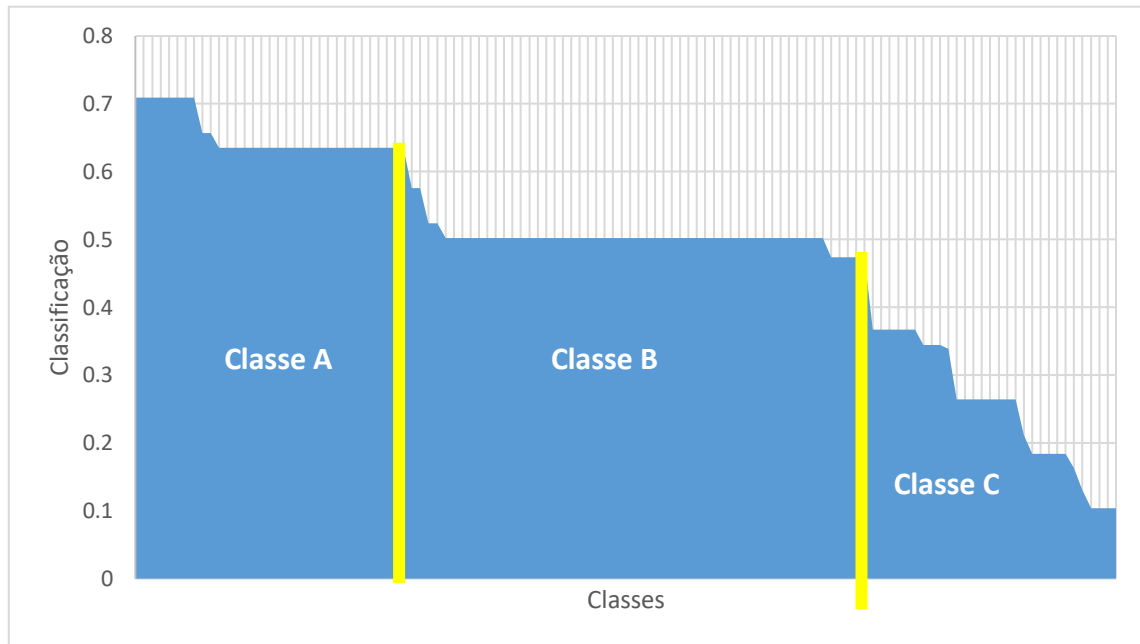


Figura 39 - Classificação das peças de reserva e respectivas classes

É importante referir que a separação em diferentes classes não invalida uma posterior análise individual de cada componente. Assim esta separação em classes permite tomar decisões relativas a qual o tipo de peças que devem ser analisadas primeiro e assim consideradas para posterior constituição de stock destas (peças de classe A).

3.5 Resultados obtidos

Neste subcapítulo são apresentados os resultados obtidos após a implementação das diferentes propostas de melhoria identificadas ao longo deste estudo. Como algumas destas propostas são mais difíceis de quantificar, a sua utilidade/impacto será demonstrada através de exemplos práticos reais. Neste subcapítulo é ainda apresentada uma análise FMEA após a implementação destas propostas e a análise do impacto destas alterações no número de modos de falha com risco elevado.

No final deste capítulo é ainda analisada a evolução do índice de OEE, assim como a contribuição de cada um dos seus componentes, para verificar se as melhorias implementadas contribuíram para o objetivo final do desenvolvimento deste estudo, ou seja, para o aumento da capacidade produtiva da linha de produção.

Uma das propostas de melhoria implementada a partir da análise FMEA foi a substituição da rede peneira por uma rede com uma malha de menores dimensões para reduzir a probabilidade de granulado de maiores dimensões danificar a tela metálica no processo de prensagem.

Após a substituição da rede verificou-se que devido à redução das dimensões da rede existiu uma redução no volume de material peneirado o que impactava a eficiência da

linha. Para contornar este efeito foi acrescentado um componente vibratório que permitiu manter a eficiência desta, tal como se verifica na Figura 40. Em suma, as alterações realizadas permitiram reduzir a probabilidade de aparecimento de granulado de cortiça de maiores dimensões no sistema de compressão da Prensa, mantendo a eficiência na passagem de granulado para a misturadora.



Figura 40 - Estado da rede peneira após implementação da proposta de melhoria

Esta alteração permitiu reduzir o grau de risco do modo de falha de “Riscos com profundidade presentes na tela metálica” causado pela presença de cortiça de maior granularidade de “risco alto” para “risco médio”, tal como se verifica na Tabela 26. Esta alteração resulta da redução do índice de ocorrência do modo de falha de 5 para 4. Esta reavaliação de risco foi realizada após algum tempo decorrido depois da troca da rede e foi realizada pela equipa multidisciplinar que construiu o FMEA.

Importa ainda realçar que apesar de o risco associado a este modo de falha ter reduzido esta alteração, teve implicações no modo de falha “Rutura da rede peneira”, uma vez que a colocação do segundo componente vibratório aumenta o desgaste da rede. Apesar de haver a necessidade da troca da rede com uma periodicidade trimestral, a rutura da rede peneira tem um grau de risco baixo e a sua substituição implica um dispêndio de tempo e de investimento muito menor do que a substituição/reparação da tela metálica.

De modo a prevenir que riscos menores na tela metálica evoluam para riscos de maiores dimensões ou mesmo fissuras surgiu a segunda proposta de melhoria. Nesta definiu-se que deveriam ser realizadas inspeções autónomas mais frequentes sobre o estado da tela. Esta implementação permitiu reduzir o grau de risco de “risco alto” para “risco médio”, que neste caso resultou de uma redução do índice de deteção. A implementação desta medida implicou que os operadores tivessem formação no terreno para facilitar o trabalho de identificação de riscos na tela metálica. Durante algum tempo a atividade de fiscalização foi monitorizada para garantir que a medida estava a ser realizada da forma correta.

Outra proposta de melhoria consistiu na substituição das correntes inferiores de aquecimento e respetivos componentes mecânicos. Após a intervenção verificou-se uma redução no número de avarias no sistema de correntes, tal como se verifica na Figura 41. No primeiro trimestre de 2020, o número de avarias devido a problemas nas correntes inferiores de aquecimento que geraram tempo improdutivo foi de 8, enquanto no primeiro trimestre de 2021 ocorreram apenas 2, sendo que umas destas resultou de um defeito que ocorreu durante a intervenção da troca de correntes.

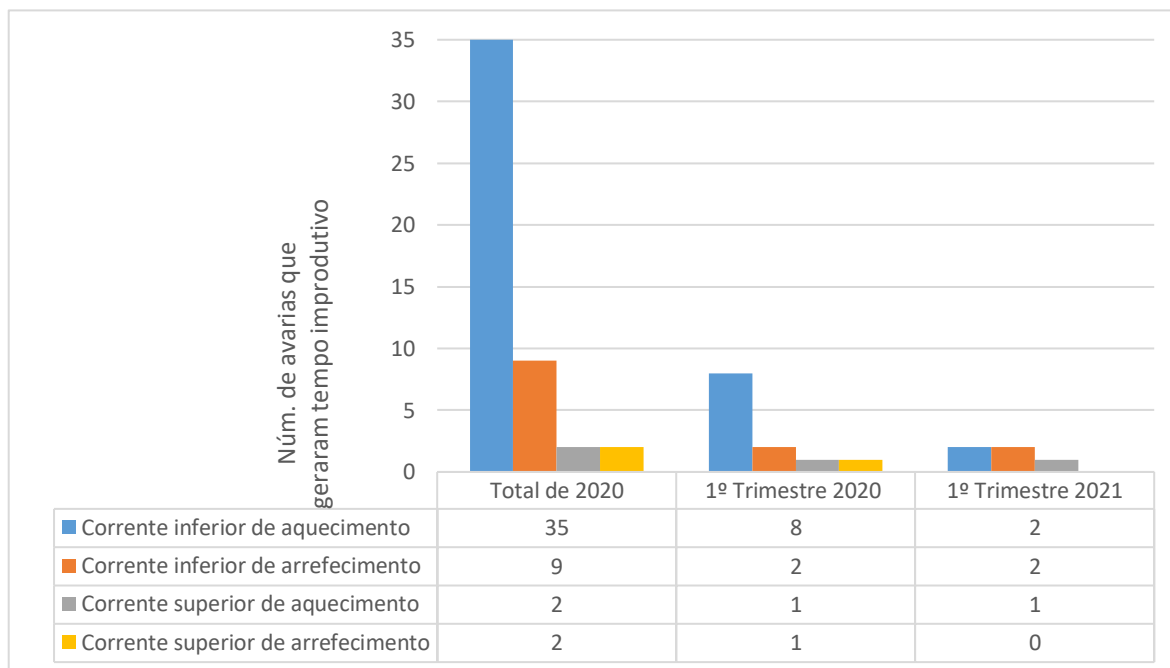


Figura 41 - Número de avarias que geraram tempo improdutivo no subsistema correntes

Quando se comparam períodos homólogos entre 2020 e 2021 (1º trimestre) verifica-se que o número total de avarias na corrente inferior de aquecimento do sistema de prensagem reduziu cerca de 75%, como se verifica na Figura 41. Tendo em conta que tipicamente cada intervenção dura 2 horas, teve-se um ganho aproximado de 12 horas disponíveis para produção no primeiro trimestre de 2021 face ao de 2020 (8×2 horas = 16 horas reduziu para $2 \text{ avarias} \times 2 \text{ horas} = 4$ horas).

Relativamente à última e quarta proposta, a implementação do sistema de suporte aos alarmes e apoio à gestão das peças de reserva permite diminuir o índice de severidade associado a este modo de falha uma vez que diminui o tempo de paragem necessário para intervenções por parte da manutenção.

De seguida são apresentados alguns exemplos práticos que ocorreram durante o projeto e que validam a pertinência e a utilidade do desenvolvimento e implementação do sistema de apoio à manutenção.

Na presença de um alarme apresentado na Figura 42 o procedimento consiste em identificar o local do componente que acionou o alarme recorrendo à descrição da avaria. Este processo apesar de parecer simples, antes da criação do sistema representava um dispêndio de tempo considerável na resolução da avaria, porque não

existia um local onde esta informação estivesse concentrada nem identificação da codificação nos equipamentos no chão de fábrica. Este procedimento era particularmente demorado em avarias pouco frequentes na linha e nas quais a equipa responsável tinha pouca experiência.

Aviso_2420: Hidráulico +BTS: Filtro de Oleo Saturado (=PH+CBDU.HDRIV-44S1)

Figura 42 - Possível alarme presente na interface HMI da secção II

Recorrendo ao sistema de apoio à manutenção, e mais especificamente ao segmento de componentes, foi possível identificar imediatamente qual o componente e a sua localização através da sua codificação (=PU+CBDU.HDRIV-44S1).

Uma vez identificado o componente, o acesso à documentação técnica (disponível na ferramenta), permitiu identificar as causas que originaram o alarme. Anteriormente este processo de identificação das causas estava unicamente dependente do conhecimento dos operadores/técnicos de manutenção. Caso houvesse a necessidade de aceder a esta documentação técnica precisavam de se dirigir ao arquivo de manutenção o que podia ser complexo devido ao excesso/organização de informação e havia a possibilidade de esta não estar disponível (em algumas situações era mesmo necessário recorrer a fornecedores externos para aceder à informação).

Neste caso como a informação técnica do componente já estava disponível no sistema criado, a equipa de manutenção recorreu a esta para identificar as causas. Segundo os intervenientes neste processo se esta informação não estivesse disponível a equipa teria adotado uma estratégia de identificação de causas mais instintiva e por isso menos estruturada e eficiente. O processo de inclusão desta informação na ferramenta já tinha sido realizado aquando da construção da mesma e envolveu o contacto com o fornecedor porque a informação não constava no arquivo.

Desta forma verifica-se que o recurso à ferramenta permitiu reduzir consideravelmente o tempo de diagnóstico associado a esta intervenção. Este tempo de acordo com alguns autores nomeadamente Labib (1998) é um desperdício e deve ser reduzido o máximo possível.

Um outro exemplo no qual a ferramenta se provou útil ocorreu durante o segundo turno onde surgiu o alarme apresentado na Figura 43.

Erro_1076: Paragem de emergência Estação de corte [=DU+CC1.EMST.CUT-43S1]

Figura 43 - Possível alarme presente na interface HMI da secção II

Este alarme já tinha ocorrido durante um outro turno e a informação com a identificação das causas e do procedimento de resolução foi incluída na ferramenta. Como os operadores do segundo turno recorreram à ferramenta para a identificação da avaria, facilmente acederam ao motivo da mesma e ao procedimento de resolução. No primeiro turno o tempo associado à resolução da avaria demorou aproximadamente uma hora enquanto no segundo turno o processo demorou apenas um quarto do tempo. Este caso

provou que a ferramenta permitiu reduzir consideravelmente os três tempos associados à resolução da avaria de um equipamento:

- **Fase de resposta** - Na segunda vez que o alarme surgiu não foi necessário esperar pelos técnicos de manutenção que foram chamadas da primeira vez;
- **Fase de diagnóstico** - Com a ferramenta os operadores acederam à lista de causas que continha a causa que tinha originado o alarme da primeira vez que surgiu;
- **Fase de reparação** - Como o procedimento a realizar já estava disponível na ferramenta os operadores apenas tiveram de o executar.

Este caso, apesar de ser o único que ocorreu durante o desenvolvimento do projeto que recorreu ao segmento de Troubleshooting da ferramenta, demonstra o potencial desta. No entanto o seu sucesso está dependente da correta e regular atualização do sistema por parte dos seus intervenientes.

Finalmente após a implementação de todas as melhorias apresentadas anteriormente, procedeu-se à atualização da análise FMEA em conjunto com a equipa multidisciplinar, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 26. Através da implementação das melhorias foi possível reduzir o número de modos de falhas com grau de risco alto de 9 para 5. Para além disto, verifica-se que o valor total de RPN associado aos modos com risco alto diminui aproximadamente 36% tal como apresenta na Tabela 25.

Tabela 25 - Análise do RPN médio após implementação das melhorias

Avaliação do risco	Antes da implementação das melhorias		Depois da implementação das melhorias	
	Núm. de potenciais de modos de falha	Valor médio RPN	Núm. de potenciais de modos de falha	Valor médio RPN
Urgente	0	-	0	-
Alto	9	185	5	119
Médio	30	66	34	72
Baixo	51	29	51	29

Tabela 26 - Avaliação da análise FMEA do sistema de Prensagem da secção II

Análise da Falha		Processo de controlo					Avaliação de Risco		Propostas de melhoria		Resultado das propostas de melhoria						
Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	S	Potencial causa da falha	O	Dispositivos de deteção atual	D	NPR	Avaliação	Nº	Descrição	Resp.	Data	S	O	D	NPR	Avaliação
Riscos com profundidade presentes na tela metálica	Defeito na tela - Paragem da produção da Prensa devido ao risco de aparecimento de um pequeno rasgo na tela proveniente deste risco	6	Presença de granulado de maiores dimensões (rede de peneiração com defeito)	5	Visual	4	120	Alto	1º	Colocação de uma rede vibratória mais fina	Tiago Duarte	6/11/2020	6	4	4	96	Médio
		6	Cargas severas contínuas (Desgaste)	4	Visual	6	144	Alto	2º	Inspeção autónoma ao fim de cada turno	Tiago Duarte	25/11/2020	6	4	4	96	Médio
Desgaste dos elos	Possível fissura no elo - Paragem da produção da Prensa	6	Escorregamento entre o carreto de tração e a corrente	8	Visual	6	288	Alto	3º	Ocorrência elevada provém de uma das 4 correntes devido as condições que está sujeito - Investimento de uma nova corrente metálica e respetivos elementos (rodas dentadas, guias e outros) que permitem o seu funcionamento	Equipa	19/12/2020	6	3	6	108	Alto
		6	Abrasão e sujeito a cargas descendentes	8	Visual	6	288	Alto					6	4	6	144	Alto
7	Desgaste dos elos	7	Visual	5	245	Alto	7	3					5	105	Alto		
7	Desgaste nos dentes das rodas dentadas	5	Visual – Sistema de controlo	6	210	Alto	7	2					6	84	Médio		
Desgaste anormal das guias	Movimento incorreto das correntes - Cria sobrecarga sobre a corrente levando danos nesta	5	Sobrecarga excessiva	5	Visual	8	200	Alto					5	3	8	120	Alto
		5	Presença de mistura de cortiça e outros materiais abrasivos/corrosivos no movimento da corrente	5	Visual	8	200	Alto					5	3	8	120	Alto
Paragem do controlo da posição e pressão dos cilindros	Paragem de produção da Prensa	6	Bloco de válvula avariado	5	Sistema Alarme	4	120	Alto					4º	Sistema de estudo de peças de reserva - Sistema de apoio à Manutenção	Tiago Duarte	10/05/2021	5

Uma vez que um dos principais objetivos definidos para este estudo passava pelo aumento da capacidade da linha de produção é importante analisar o impacto que as melhorias implementadas tiveram no OEE da linha em causa. Um dos pontos de partida de análise do sistema de produção passou pelo cálculo do OEE inicial e verificou-se que a capacidade produtiva da secção era já bastante elevada, cerca de 86%. A componente com menor índice era a Disponibilidade e as medidas implementadas tiveram como objetivo aumentar este índice e conseqüentemente o OEE.

Para avaliar o sucesso destas propostas analisou-se a evolução do OEE durante o período de realização deste estudo. Pela análise da Figura 44 verifica-se uma tendência de crescimento na curva do OEE, sendo que este apresentou um valor médio de 91,23% nos primeiros cinco meses de 2021. Verifica-se que o valor médio de OEE aumentou nos primeiros meses deste ano o que coincide com o período de implementação das propostas apresentadas. É importante realçar que as propostas foram sendo implementadas de forma gradual e algumas delas devido à complexidade de desenvolvimento foram implementadas apenas numa fase posterior deste estudo. Apesar de se verificar um impacto direto destas propostas no valor do OEE é importante realçar que não se espera que todas as propostas implementadas, nomeadamente o sistema de apoio à manutenção, tenham impactos consideráveis no OEE assim que foi construído e implementado. Esta ferramenta terá maior impacto no aumento da disponibilidade da linha quando utilizada com regularidade e enriquecida com conhecimento que vai sendo adquirido à medida que as ações corretivas vão surgindo.

Apesar de no início deste estudo se ter apontado o aumento da disponibilidade como o principal meio para melhorar o OEE da linha, pela análise do gráfico verifica-se que as melhorias implementadas não impactaram só a disponibilidade da linha, mas também a sua eficiência e ambas contribuíram para o aumento da capacidade produtiva. A relação entre o aumento da disponibilidade e da eficiência da linha é explicada pelo facto de que quando ocorrem avarias, estas prejudicam o índice de disponibilidade da linha, contudo como a linha é altamente otimizada, no arranque após paragem do equipamento por avaria existe um tempo inicial onde é necessário que a velocidade de produção seja inferior a 7m/min por isso a redução do número de avarias traduziu-se numa redução direta destes tempos, ou seja no aumento da eficiência da mesma.

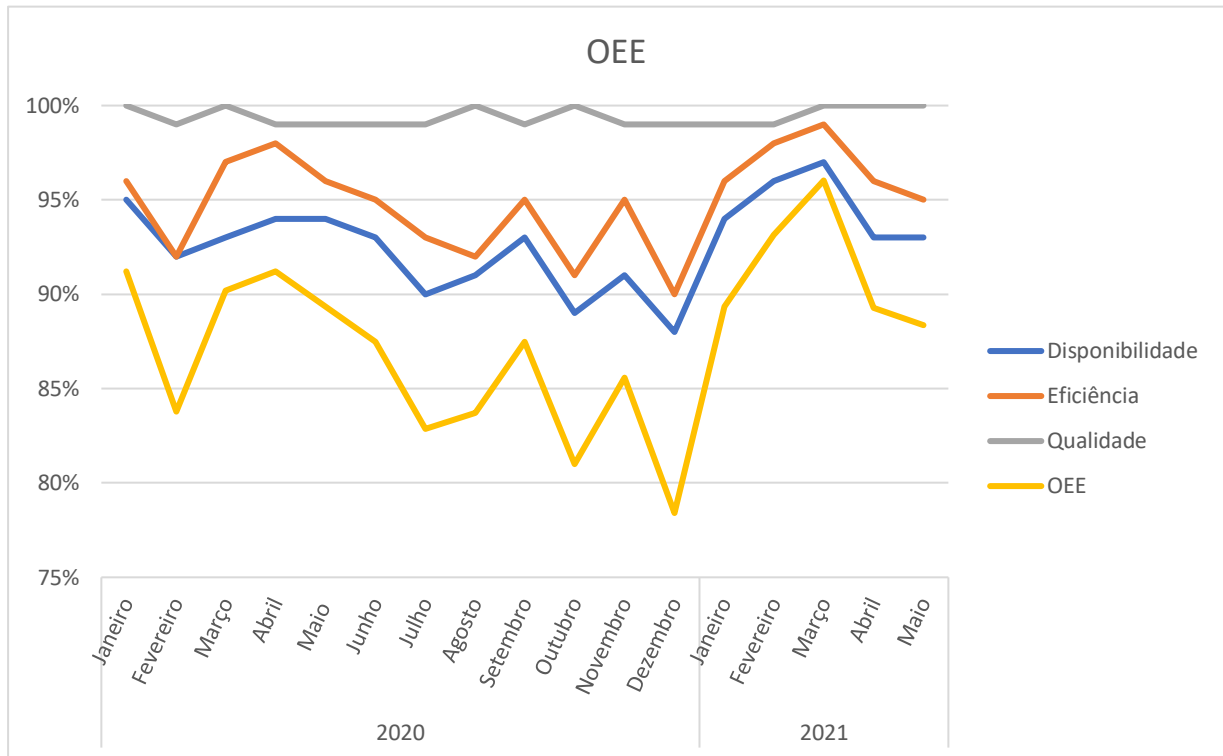


Figura 44 - Evolução do OEE e respectivos elementos desde 2020 até ao final do projeto

CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

O aumento da disponibilidade e da eficiência da linha de produção é crucial para que a empresa onde este estudo foi desenvolvido consiga acompanhar o aumento da procura garantindo o cumprimento dos compromissos estabelecidos com os clientes que procuram qualidade e excelência no produto, mas também no serviço.

Neste contexto, ao longo do projeto foram identificadas e implementadas diversas propostas de melhoria cujo objetivo era aumentar a eficiência global da linha de produção em causa.

O facto de numa fase inicial deste projeto terem sido identificadas as secções críticas com maior potencial para melhoria permitiu direccionar os esforços e o investimento realizado sem que o resultado final fosse prejudicado. Esta fase é particularmente importante em secções/linhas muito complexas e com muitos equipamentos como é o caso da que foi alvo deste estudo.

De seguida, recorrendo a uma equipa multidisciplinar e a ferramentas como diagrama causa efeito e análise FMEA, foram definidas diversas propostas de melhoria que foram agrupadas em dois grupos. O primeiro grupo de melhorias propostas resultaram essencialmente da análise FMEA e incluíram algumas propostas cujo objetivo era reduzir o número de interrupções não planeadas para manutenção corretiva. Pela análise dos resultados verifica-se que estas alterações conseguiram alcançar o objetivo, tendo-se verificado uma redução tanto no número de avarias classificadas com risco elevado como no número de avarias nos equipamentos intervencionados.

Por outro lado no segundo grupo, o desenvolvimento e implementação do sistema de apoio à Manutenção permitiu reduzir o tempo dedicado às intervenções corretivas e garantiu uma melhor gestão do conhecimento disponível na empresa uma vez que o conhecimento não fica apenas concentrado num conjunto de operadores e técnicos de manutenção. Este sistema facilita inclusive a transmissão de conhecimento entre turnos.

Para além do sistema de apoio à manutenção suportar as atividades de manutenção corretiva, o facto de o sistema de apoio permitir a identificação e acesso à documentação técnica de componentes permite melhorias noutros campos. A inclusão da funcionalidade de classificação de peças de reserva em função de vários critérios

permitiu à empresa reduzir a vulnerabilidade a paragens prolongadas por falta de peças de reserva em armazém.

A implementação das diferentes propostas de melhoria permitiu à empresa, cujo OEE médio do ano 2020 foi 86%, alcançar o objetivo pretendido, ou seja, aumentar o OEE para valores superiores a 90%.

Entre a implementação das melhorias e o final deste projeto o OEE médio aumentou aproximadamente 5 pontos percentuais, ou seja, passou a ser 91%. O maior aumento da capacidade da linha verificou-se após a implementação das primeiras propostas de melhoria, isto é, a troca do sistema de correntes e a substituição da rede vibratória. Apesar de o sistema de apoio à Manutenção também ter contribuído para o aumento do OEE, o seu impacto não é tão visível nesta análise porque devido ao tempo de desenvolvimento do mesmo a sua implementação foi mais tardia. Ainda assim durante este estudo foi possível verificar casos onde se provou utilidade do sistema no aumento da eficiência das intervenções de manutenção corretiva.

Além da melhoria no OEE a implementação destas propostas também tem um impacto direto na redução dos custos indiretos associados à manutenção da empresa, uma vez que estas estratégias têm implicações diretas na redução do tempo de inatividade por falha de equipamentos, na perda de reputação por incumprimento de prazos entre outros.

4.2 Limitações e proposta de trabalho futuros

Como no histórico de avarias da empresa não consta o tempo improdutivo associado a cada avaria, neste estudo para a identificação das secções críticas a variável de decisão usada foi o número de avarias que geraram tempo improdutivo. Isto é uma limitação porque não existe a garantia de que os equipamentos com mais avarias são os que geram mais tempo improdutivo.

Para a análise da situação atual e enumeração de melhorias recorreu-se à análise FMEA que por si só já tem algumas limitações, nomeadamente a dependência da experiência dos envolvidos. Para colmatar essa limitação foi criada uma equipa multidisciplinar com muito know-how acerca da linha e do processo de produção.

Numa análise FMEA futura seria interessante estudar o impacto de considerar diferentes pesos para cada um dos fatores que originam o RPN, algo que nesta análise não foi realizado, e seria ainda interessante avaliar a impacto de incorporar outros fatores, nomeadamente fatores económicos.

Por outro lado, devido à complexidade da linha e ao volume de informação necessária incorporar ao sistema de apoio à manutenção, a implementação deste realizou-se apenas numa fase posterior do estudo, e assim tornou-se mais difícil quantificar o seu contributo para o objetivo deste estudo. Apesar desta limitação, ao longo deste estudo apresentou-se, através de casos práticos reais, o potencial do sistema de apoio.

Ainda em relação ao sistema de apoio à manutenção, uma das principais limitações do mesmo é o facto do seu potencial estar dependente da correta utilização/alimentação de informação no segmento Troubleshooting. Este foi um dos pontos realçado ao longo das diferentes formações dadas aos utilizadores da ferramenta.

Uma das propostas de melhoria obtidas a partir da análise FMEA é a atualização dos planos de manutenção autónoma. Como os planos foram realizados nos primeiros anos desta linha, este não tem em conta o estado atual do equipamento, por isso atualizar estes planos com informação baseada na condição atual do sistema pode levar a redução de paragens dos equipamentos por avaria.

A ferramenta de apoio desenvolvida permite ao departamento da manutenção ter uma noção das peças que deveriam ser consideradas para serem colocadas em armazém. No entanto, de modo a fortalecer esta classificação outros critérios como a previsão de procura devem ser considerados em análises futuras.

Por fim, em relação ao sistema de apoio, tanto na vertente de apoio às intervenções ou da classificação das peças de reserva, torna-se fundamental realizar uma avaliação da sua performance de modo a verificar se o sistema está ser utilizado como esperado.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- Abudayyeh, O., Khan, T., Yehia, S., & Randolph, D. (2005). The design and implementation of a maintenance information model for rural municipalities. *Advances in Engineering Software*, 36(8), 540–548. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2005.01.007>
- AFNOR. (2002). *FD X 60-000 Maintenance industrielle Fonction maintenance Maintenance industrielle*. 33(0), 1–29.
- Alsyouf, I. (2007). The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.06.057>
- Amorim Cork Composites. (2016). *Reinventing how cork engages the World*. 7(2), 1–16.
- APCOR. (2018). *Anuário Cortiça da Associação Portuguesa da Cortiça*.
- APCOR. (2019). *Relatório Anual de Caracterização da Situação Económico-Financeira das Empresas do Setor da Cortiça*.
- Ávila, P. (2010). *Capítulo-I - Metodologia de Análise e Melhoria do Processo*.
- Bacchetti, A., & Sacconi, N. (2012). Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. *Omega*, 40(6), 722–737. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.06.008>
- Ballou, R. H. (2004). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística empresarial* (Quinta edi).
- Bandi, R., Vaishnavi, V., & Turk, D. (2003). Predicting maintenance performance using object-oriented design complexity metrics. *IEEE*, 77–87.
- Batista, M., Fernandes, J., & Veríssimo, A. (2013). *Simple approach to failure modes using a maintenance organisation and management software*. 1.
- Bieser, J., Hoffmann, K., & Menzel, K. (2018). Assessing a Facility Maintenance Model of Data Centers: A Methodology for Advanced Maintenance Management for Data Centers. *ICCCBE, Finland, June*. <https://www.researchgate.net/publication/338066527>
- Boaretto, N. (2005). *Tecnologia de comunicação em sistema SCADA - Enfoque em comunicação wireless com espalhamento espectral*. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.
- Bom, L. F. R. T. (2010). *Comportamento à compressão e tracção da cortiça : estudo numérico*. Universidade de Aveiro.
- Borracha, A. (2012). *Laboratório Remoto de Automação Industrial (Lab - RAI)*. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.

- Braaksma, A. J. J., Klingenberg, W., & Veldman, J. (2013). *Failure mode and effect analysis in asset maintenance : a multiple case study in the process industry*. 7543(May 2012). <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.674648>
- Braglia, M., Carmignani, G., Frosolini, M., & Grassi, A. (2006). AHP-based evaluation of CMMS software. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(5), 585–602. <https://doi.org/10.1108/17410380610668531>
- British Standards Institution. (2010). *BSI Standards Publication Maintenance — Maintenance terminology*. 36.
- Cabral, J. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção: dos conceitos à Prática*. Lidel.
- Campbell, J. D., & Jardine, A. K. S. (2016). *Maintenance Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions*.
- Cardoso, H. (2012). *Implementação de Uma Ferramenta Informática Para Gestão da Manutenção de um Edifício*. 201. <https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/2099>
- Carvalho, P. (2008). *Análise do Comportamento Mecânico e Identificação do Tipo de Falha em Estruturas Sandwich com Núcleos de Cortiça* [Instituto Superior Técnico de Lisboa].
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Análise+do+comportamento+mecânico+e+identificação+do+tipo+de+falha+em+estruturas+sandwich+com+núcleos+de+cortiça#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Análise+do+Co>
- Cavalcante, C. A. V., & Costa, A. P. C. S. (2006). Multicriteria Model of Preventive Maintenance. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 3(1), 71–86.
- Chang, K. H., & Cheng, C. H. (2011). Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(2), 113–129. <https://doi.org/10.1007/s10845-009-0266-x>
- COPADATA. (2020). *O que é o SCADA?*
<https://www.copadata.com/pt/produtos/zenon-software-platform/visualizacao-controle/o-que-e-o-scada/>
- Corrêa, C. A., & Corrêa, H. L. (2007). *Administração da Produção e Operações: uma abordagem estratégica*. Editora Altas.
- DENIS. (2020). *Extracteur Rotatif ECR240*. <https://www.denis.fr/materiels/vidange-extraction/extracteurs-de-cellules-rondes/53-extracteur-rotatif-ecr240.html>
- Dreher, D., José, J., & Andrade, D. O. (2019). *Application of OEE for productivity analysis : a case study of a production line from the pulp and paper industry • Aplicación del OEE para análisis de la productividad : un estudio de caso aplicado en una línea de producción en una industria de pulpa y p*. 86(211), 9–16.
- Duffuaa, S. O., & Raouf, A. (2015). Computerized Maintenance Management Systems. *Planning and Control of Maintenance Systems: Modelling and Analysis*, 1–348. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19803-3>
- Duffuaa, S. O., Raouf, A., & Campbell, J. D. (1998). *Planning and Control of Maintenance Systems: Modeling and Analysis*. Wiley.
- Dunn, S. (1997). *Implementing a computerized maintenance management system: why*

- most CMMS implementations fail to provide the promised benefits* (Paper presented at Maintenance in Mining Conference).
- Dunn, S. (1998). Re-inventing the maintenance process - Towards Zero Downtime. *A Conference Paper Presented to the Queensland Maintenance Conference*.
- Fernandez, O., Labib, A. W., Walmsley, R., & Petty, D. J. (2003). A decision support maintenance management system: Development and implementation. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 20(8), 965–979. <https://doi.org/10.1108/02656710310493652>
- Ferreira, L. M. D. F., Maganha, I., Magalhães, V. S. M., & Almeida, M. (2018). A Multicriteria Decision Framework for the Management of Maintenance Spares - A Case Study. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 531–537. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.373>
- Fleischer, J., Weismann, U., & Niggeschmidt, S. (2006). Calculation and optimisation model for costs and effects of availability relevant service elements. *Proceedings of the 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, LCE 2006, Figure 2*, 675–680.
- Fraser, K., Hvolby, H. H., & Tseng, T. L. B. (2015). Reliability paper Maintenance management models: A study of the published literature to identify empirical evidence a greater practical focus is needed. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 32(6), 635–664. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2013-0185>
- Gallichan, D., & Charles, T. (2017). *After The Fall: Cost, Causes and Consequences of Unplanned Downtime*. 13. [https://lp.servicemax.com/rs/020-PCR-876/images/After The Fall whitepaper - updated global numbers FINAL refresh.pdf](https://lp.servicemax.com/rs/020-PCR-876/images/After%20The%20Fall%20whitepaper%20-%20updated%20global%20numbers%20FINAL%20refresh.pdf)
- Ghalayini, A. M., Noble, J. S., & Crowe, T. J. (1997). An integrated dynamic performance measurement system for improving manufacturing competitiveness. *International Journal of Production Economics*, 48(3), 207–225. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(96\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(96)00093-X)
- Goepel, A. K. D. (2018). *AHP Excel Template with multiple Inputs*.
- Gola, A. (2017). *Application of OEE Coefficient for Manufacturing Lines Reliability Improvement*. 31(Msmi), 189–194.
- Gómez De León Higes, F. C., & Cartagena, J. J. R. (2006). Maintenance strategy based on a multicriterion classification of equipments. *Reliability Engineering and System Safety*, 91(4), 444–451. <https://doi.org/10.1016/j.res.2005.03.001>
- Gonçalves, J. (2019). *Desenvolvimento de um modelo de manutenção da rede de transportadores de garrafas de vidro*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Gouveia, L., & Ranito, J. (2004). Sistemas de informação de apoio à decisão. In *Brasília méd* (Vol. 37, Issue 1/2).
- Hall, H. S., & Biller, S. (2010). *Transient Analysis of Downtimes and Bottleneck Dynamics in. October 2014*. <https://doi.org/10.1115/1.4002562>
- Hans, L. (1999). Management of industrial maintenance - economic evaluation of maintenance policies. *International Journal*, 19(7). <http://www.emerald-library.com>

- Haroun, A. (2009). *Maintenance Organization Maintenance Organization*. April 2015, 2–15. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0>
- Henderson, S. J., & Feiner, S. K. (2007). Augmented Reality for Maintenance and Repair (ARMAR). *Distribution*, 62. <http://graphics.cs.columbia.edu/projects/armar/>
- Herpich, C., & Fogliatto, F. S. (2013). Aplicação de FMECA para Definição de Estratégias de Manutenção em um Sistema de Controlo e Instrumentação de Turbogeneradores. *Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial*, 70–88. [http://pakacademicsearch.com/pdf-files/eng/321/70-88 Vol 5, No 9 \(2013\).pdf](http://pakacademicsearch.com/pdf-files/eng/321/70-88 Vol 5, No 9 (2013).pdf)
- Huiskonen, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International Journal of Production Economics*, 71(1–3), 125–133. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00112-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00112-2)
- NP EN 13306, 1 (2007).
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M. gorzata, & Piechowski, M. (2016). *Practical Aspects of OEE in Automotive Company - Case Study*. *Msmi*, 213–218. <https://doi.org/10.2991/msmi-16.2016.51>
- Jonsson, P., & Lesshammar, M. (1999). Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE Patrik Jonsson Magnus Lesshammar Article. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(1), 55–78. <http://dx.doi.org/10.1108/01443579910244223>
- Kardec, A., & Nascif, J. (2009). *Manutenção Função Estratégica* (p. 384). QualityMark.
- Kontargyri, V., Tsirekis, C., Kabanaros, S., Sakarellos, A., Moronis, A., & Kolliopoulos, N. (2007). *An Expert System for Fault Diagnosis, Repairing and Maintenance of Electrical Machines*. 166–171.
- Krieger, H. (2015). *Classificação Multicritério de peças de reposição*. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.
- Labib, A. W. (1998). World-class maintenance using a computerised maintenance management system. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 4(1), 66–75. <https://doi.org/10.1108/13552519810207470>
- Labib, A. W. (2004). A decision analysis model for maintenance policy selection using a CMMS. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 10(3), 191–202. <https://doi.org/10.1108/13552510410553244>
- Lang, D., Wunderlich, P., Heinz, M., & Wisniewski, L. (2018). *Assistance System to Support Troubleshooting of Complex Industrial Systems*.
- Latino, R. J. (2004). Optimizing FMEA and RCA efforts in health care. *Journal of Healthcare Risk Management: The Journal of the American Society for Healthcare Risk Management*, 24(3), 21–28. <https://doi.org/10.1002/jhrm.5600240305>
- Levitt, J. (1997). *The Handbook of Maintenance Management*. Industrial Press Inc.,.
- Lipol, L. S., & Haq, J. (2011). Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations. *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 11(5), 74–82.
- 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>

- Liu, H., Liu, L., Bian, Q., Lin, Q., Dong, N., & Xu, P. (2011). Expert Systems with Applications Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory. *Expert Systems With Applications*, 38(4), 4403–4415. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.110>
- Lopes, I., Senra, P., Vilarinho, S., Sá, V., Teixeira, C., Lopes, J., Alves, A., Oliveira, J. A., & Figueiredo, M. (2016). Requirements Specification of a Computerized Maintenance Management System - A Case Study. *Procedia CIRP*, 52, 268–273. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.047>
- Luís Gil. (n.d.). *A cortiça como material de construção - Manual Técnico*.
- M. L. Rahman, C., Uddin, S., & Hoque, M. (2014). Assessment of Total Productive Maintenance Implementation through Downtime and Mean Downtime Analysis (Case study: a Semi-automated Manufacturing Company of Bangladesh). *IOSR Journal of Engineering*, 4(9), 38–47. <https://doi.org/10.9790/3021-04943847>
- Márcio, J., & Fernandes, R. (2006). *Proposta de um Método para Integração entre QFD e FMEA*.
- Marcos, A. (2006). *Controle de Estoque de Materiais com Diferentes Padrões de Demanda : Estudo de Caso em uma Indústria Química*.
- Márquez, A. (2007). *The Maintenance Management Framework - Models and Methods for Complex Systems Maintenance*.
- Martins, F. (2015). *Aglomerção de cortiça por compressão a quente*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Martins, S. (2014). *Implementação da ferramenta Failure Mode and Effects Analysis numa empresa do setor automóvel*. Universidade do Minho.
- Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattullo, M., Uva, E., Fiorentino, M., Carrabba, E., & Di, M. (2017). Supporting remote maintenance in industry 4.0 through augmented reality. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 1296–1302. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.257>
- McDermott, R. E., Mikulak, R. J., & Beauregard, M. R. (2009). The Basics Of FMEA 2nd Edition. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). CRC Press.
- Miller, R., & Behring, D. (2006). *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA , FMECA)*.
- Mobley, R. (2002). *An introduction to Predictive Maintenance* (Second Ed). Butterworth-Heinemann.
- Moran, T. (2004). Troubleshooting Procedures – Technical Writing Lessons That Challenge. *American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*.
- Moreira, J. (2020). *Fiabilidade e Manutenção - Objetivos, Estratégia e Responsabilidade da Manutenção*.
- Moresi, E. A. D. (2000). Delineando o valor do sistema de informação de uma organização. *Ciência Da Informação*, 29(1), 14–24. <https://doi.org/10.1590/s0100-19652000000100002>
- Moura, C. (2000). *Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial - Manual de Referência*.

<http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/amario/UnidadesCurriculares/Inovação/Textos apoio/FMEA.pdf>

- Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 46(13), 3517–3535. <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>
- Nakajima, S. (1988). Introduction to Total Productive Maintenance. *Productivity Press Inc.*
- Oliveira, M. A., Lopes, I., & Figueiredo, D. L. (2013). *Maintenance Management Based on Organization Maturity Level*. 2(4), 1–10.
- Oliveira, T. (2016). *Eficiência de equipamentos numa área de trituração de cortiça*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Pedrosa, B. (2014). *Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) aplicada a um Secador Industrial*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Pinto, F. (2015). *Análise e Desenvolvimento do Modelo de Gestão da Manutenção*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Ple, E. T. G., Flares, E., & Whybark, D. C. (1988). MULTIPLE CRITERIA ABC ANALYSIS. 5, 191–195.
- Puente, J., Pino, Â., & Priore, P. (2002). A decision support system for applying failure mode and effects analysis. 19(2), 137–150. <https://doi.org/10.1108/02656710210413480>
- Radhouane, M., & Jabeur, K. (2015). A New Model for Multi-criteria ABC Inventory Classification: PROAFTN Method [The Author(s)]. In *Procedia - Procedia Computer Science* (Vol. 96). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.233>
- Rajamanickam, V. (2018). *Analysis and Implementation of FMECA Methodology - Vacuum Machine*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Rastegari, A., & Mobin, M. (2016). Maintenance decision making, supported by computerized maintenance management system. *Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2016-April*(August). <https://doi.org/10.1109/RAMS.2016.7448086>
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Samuel de Almeida, P. (2015). *Manutenção Mecânica Industrial: Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada*. Érica.
- Santos, M. (2009). *Gestão da Manutenção do Equipamento*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Santos, S. (2014). *Framework para classificação de SKUs - Caso de estudo na indústria automóvel*. Universidade de Aveiro.
- Selcuk, S. (2017). Predictive maintenance, its implementation and latest trends. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 231(9), 1670–1679.

<https://doi.org/10.1177/0954405415601640>

- Shafiee, M. (2015). Maintenance strategy selection problem : An MCDM overview. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 32.
- Sierra-Pérez, J., Boschmonart-Rives, J., & Gabarrell, X. (2015). Production and trade analysis in the Iberian cork sector: Economic characterization of a forest industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 98, 55–66.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.011>
- Silva, J. P. A. R. da. (2013). OEE – A Forma de Medir a Eficácia dos Equipamentos. *Sites The Journal Of 20Th Century Contemporary French Studies*, 1–15.
- Smith, R., & Mobley, R. (2005). *Rules of Thumb For Maintenance And Reability Engineers* (Issue April). Butterworth-Heinemann.
- Sousa, C. (2009). *TPM - Nas Linhas Finais de Montagem*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Stamatis, D. . (2011). *The OEE Primer: Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability and Maintainability*. CRC Press.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution* (Second Edi, Issue 2). ASQ Quality Press Milwaukee, Wisconsin.
<https://doi.org/10.2307/1268911>
- Sudit, E. (2011). *Effectiveness, Quality and Efficiency: A Management Oriented Approach* (Springer (ed.)).
- Swanson, L. (1997). Computerized Maintenance Management Systems: A Study of System Design and Use. *Production and Inventory Management Journal*, 38, 4.
- Syntetos, A., Keyes, M., & Babai, M. Z. (2014). Demand categorisation in a European spare parts logistics network. *International Journal of Operations & Production Management*. <https://doi.org/10.1108/01443570910939005>
- Teixeira, A. C. V. (2016). *Gestão da Manutenção na Simoldes Plásticos: Reestruturação do Sistema de Informação* [Universidade de Aveiro].
<https://ria.ua.pt/handle/10773/21297>
- The Clement Institute. (n.d.). *Maintenance Management System (MMS) Implementation*. Retrieved January 21, 2021, from <https://thecementinstitute.com/maintenance-management-system/>
- Thomazini, D., & Albuquerque, P. (2020). *Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações*. Érica.
- Toledo, J. C. De, & Amaral, D. C. (2000). *FMEA - Análise do Tipo e Efeito de Falha*.
- Tsarouhas, P. (2018). *Improving operation of the croissant production line through overall equipment effectiveness (OEE) A case study*.
<https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2018-0060>
- Van Horenbeek, A., Buré, J., Cattrysse, D., Pintelon, L., & Vansteenwegen, P. (2013). Joint maintenance and inventory optimization systems: A review. *International Journal of Production Economics*, 143(2), 499–508.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.04.001>

- van Leeuwen, J. F., Nauta, M. J., de Kaste, D., Odekerken-Rombouts, Y. M. C. F., Oldenhof, M. T., Vredenburg, M. J., & Barends, D. M. (2009). Risk analysis by FMEA as an element of analytical validation. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 50(5), 1085–1087. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2009.06.049>
- Veiga, G. G. D. (2011). *Estudo e Implementação Piloto de um Sistema SCADA na SWEDWOOD Portugal*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Velmurugan, R., Selvamuthukumar, S., & Manavalan, R. (2011). *Multi criteria decision making to select the suitable method for the preparation of nanoparticles using an analytical hierarchy process*. March 2015. <https://doi.org/10.1691/ph.2011.1034>
- Villani, V., Battilani, N., Lotti, G., & Fantuzzi, C. (2016). MyAID: a Troubleshooting Application for Supporting Human Operators in Industrial Environment. *IFAC-PapersOnLine*, 49(19), 391–396. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.597>
- Watson, R. (2008). *Information Systems*. Global Text Project.
- Xiao, N., Huang, H. Z., Li, Y., He, L., & Jin, T. (2011). Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA. *Engineering Failure Analysis*, 18(4), 1162–1170. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.02.004>
- Zammori, F., & Gabbrielli, R. (2011). *ANP / RPN : A Multi Criteria Evaluation of the Risk Priority Number*. June. <https://doi.org/10.1002/qre.1217>
- Zapata, S., Parejo, F., Branco, A., Gutiérrez, M., Jiménez Blanco, J., Piazzetta, R., & Voth, A. (2009). Manufacture and Trade of cork products: An international perspective. *Cork Oak Woodlands on the Edge. Ecology, Adaptive Management and Restoration, January 2018*, 189–200.
- Zorrinho, C. (1991). *Gestão da informação* (1ª edição). Editorial Presença.
- Zuashkiani, A., Rahmandad, H., & Jardine, A. K. S. (2011). *Mapping the dynamics of overall equipment effectiveness to enhance asset management practices*. <https://doi.org/10.1108/13552511111116268>

ANEXOS

- 6.1 ANEXO 1 - Secção I e II: Elementos constituintes do Sistema SCADA
- 6.2 ANEXO 2 - Fluxograma do processo produtivo
- 6.3 ANEXO 3 - Análise FMEA do Sistema de compressão da Prensa (Secção II)
- 6.4 ANEXO 4 - Planeamento da Intervenção de troca de correntes inferior de aquecimento (Proposta 3)
- 6.5 ANEXO 5 - Questionários: Avaliação dos critérios para as peças de reserva
- 6.6 ANEXO 6 - Sistema de classificação das peças de reserva

6 ANEXOS

6.1 ANEXO 1 - Secção I e II: Elementos constituintes do Sistema SCADA

Neste anexo apresenta-se os vários elementos constituintes do sistema SCADA não abordados no subcapítulo respetivo. Com este pretende-se explicar a sua função (e como estes podem afetar as atividades de manutenção) além de se mostrar diferentes exemplos destes elementos presentes no processo produtivo em questão.

6.1.1 Sensores e Atuadores

Os sensores são dispositivos que trabalham com diferentes medidas de grandeza físicas tais como: temperatura, pressão, presença, níveis líquidos, intensidade luminosa, entre outros (Veiga, 2011). Estas grandezas são assim convertidas em grandezas elétricas, tais como sinais analógicos ou digitais que são enviados e interpretados para estações remotas (Veiga, 2011). Recorrendo a estes componentes, o sistema de supervisão consegue efetuar medições ou deteção do estado de determinadas variáveis dentro do processo.

Existem diversos tipos de sensores analógicos e digitais utilizados na automação industrial, entre os quais se referem os seguintes:

Sensores de fim de curso ou de limite

Os sensores de fim-de-curso, também conhecidas como sensores de limite, são dispositivos eletromecânicos utilizados para detetar a passagem ou a posição de objetos, através do contacto mecânico da haste do sensor com o objeto (ou dispositivo mecânico auxiliar) (Veiga, 2011).

Na Figura 45 apresenta-se um dos vários sensores de limite presente no sistema produtivo em estudo, neste caso, este sensor controla a posição do Tapete Rolante do equipamento Transportador com tapete rolante (presente após as Balanças de cinta). Se o tapete desalinhar, este sensor irá emitir um sinal eletrónico que posteriormente recorrendo ao restantes componentes aciona um alarme no sistema SCADA ao qual o operador tem acesso.

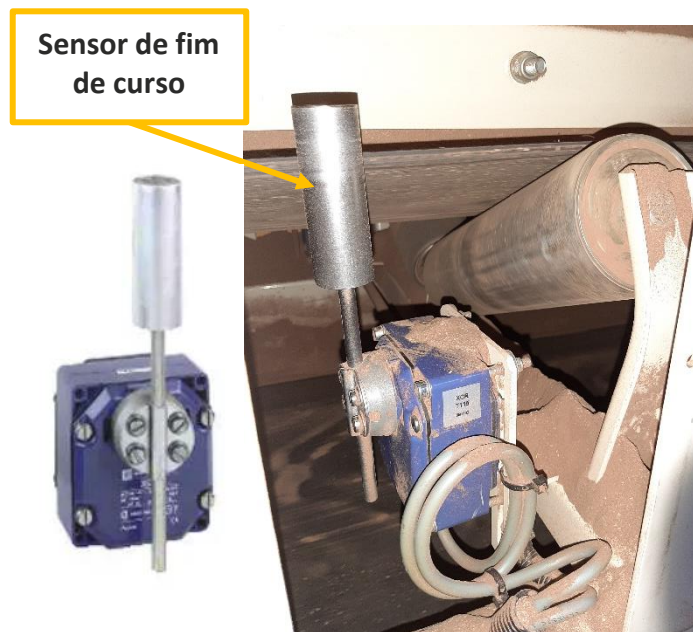


Figura 45 - Sensor fim de curso presente no sistema produtivo em estudo

Sensores indutivos:

Os sensores indutivos, podem ser aplicados como detetores de presença, proximidade, movimento ou de passagem de objetos. São emissores de sinal que detetam, sem contacto físico, materiais quando estes estiverem a uma determinada distância ou paragem de um certo movimento típico do equipamento (Veiga, 2011).

Na Figura 46, tem-se um sensor indutivo da presença que é utilizado como detetor de presença de Roller rods e se necessário juntamente com a unidade remota aciona uma paragem de emergência de todo o sistema produtivo da Prensa. Uma vez que se algum Roller rod não estiver presente nas correntes da Prensa pode indicar que este se soltou e pode ter danificado outros elementos, tais como a tela metálica, da Prensa.



Figura 46 - Sensor indutivo utilizado no sistema de prensagem da Prensa

Sensores capacitivos:

Os sensores capacitivos, tal como os sensores indutivos, são capazes de detetar a aproximação de objetos sem a necessidade de contacto físico. O seu princípio de funcionamento baseia-se na variação do campo eletrostático criado na sua área de deteção (Veiga, 2011). O sensor aciona-se quando um certo objeto se aproxima a uma certa distância ou se posiciona-se em frente da sua zona ativa criando assim um sinal de saída (Veiga, 2011).

Na Figura 47 tem-se a presença de utilização de sensores capacitivos no Depósito Doseador com Balança de cinta (referenciado como Bunker). Estes sensores são utilizados para detetar a quantidade de granulado de cortiça que está presente no *Bunker*.

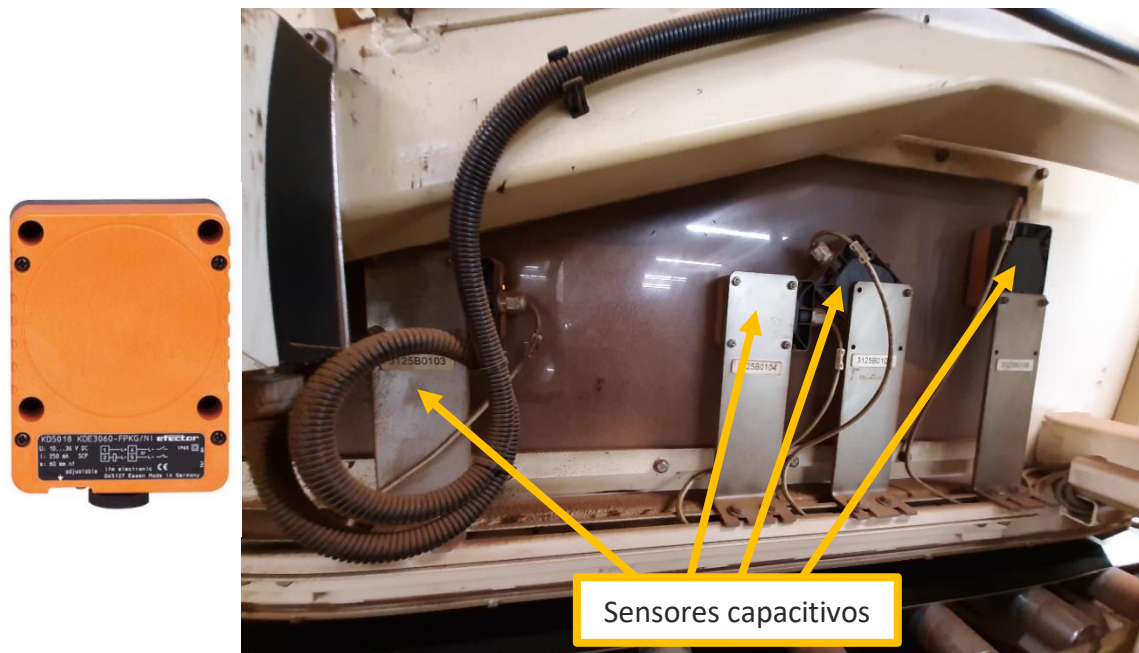


Figura 47 - Sensores Capacitivos utilizados no sistema produtivo da Secção I

Sensores ultrassónicos

Os sensores ultrassónicos permitem detetar diferentes objetos, materiais, formas, cores e texturas e por isso apresentam várias aplicações (Veiga, 2011):

- Deteção de nível e altura;
- Medida de separação;
- Deteção de objetos transparentes, independentes da cor e presentes em ambientes sujos ou com vapores.

O princípio de funcionamento dos sensores ultrassónicos está baseado na emissão de uma onda sonora de alta frequência e na medição do tempo que leva a receção do eco produzido quando a onda choca com um objeto capaz de refletir o som (Thomazini & Albuquerque, 2020). Estes emitem impulsos ultrassónicos ciclicamente e quando um

objeto reflete estes impulsos, o eco resultante é recebido e convertido num sinal elétrico (Thomazini & Albuquerque, 2020).

Existem vários sensores ultrassónicos presentes no sistema estudado, um deles está presente no Sistema de Doseamento tal como se apresenta na Figura 48. Este sensor tem função de ler o nível de catalisador presente no tanque.



Figura 48 - Sensor Ultrassónico presente na Sistema de Doseamento da primeira secção

Os sensores apresentados anteriormente apenas representam uma pequena fração dos sensores presentes nas secções um e dois.

Já os atuadores são utilizados para atuar sobre o sistema de modo a ligar e a desligar determinado equipamento. O atuador é um elemento capaz de modificar grandezas físicas no sistema ao qual pertence (geralmente produzindo movimento) atendendo a comandos que podem ser manuais ou automáticas (Borracha, 2012).

Os atuadores costumam-se classificar nos três tipos seguintes: Pneumáticos, Elétricos e Hidráulicos (Thomazini & Albuquerque, 2020). No sistema produtivo em estudo existem principalmente atuadores pneumáticos que estão presentes ao longo de vários equipamentos no sistema produtivo. Na Figura 49 apresenta-se um exemplo de um conjunto que apresenta um atuador pneumático.

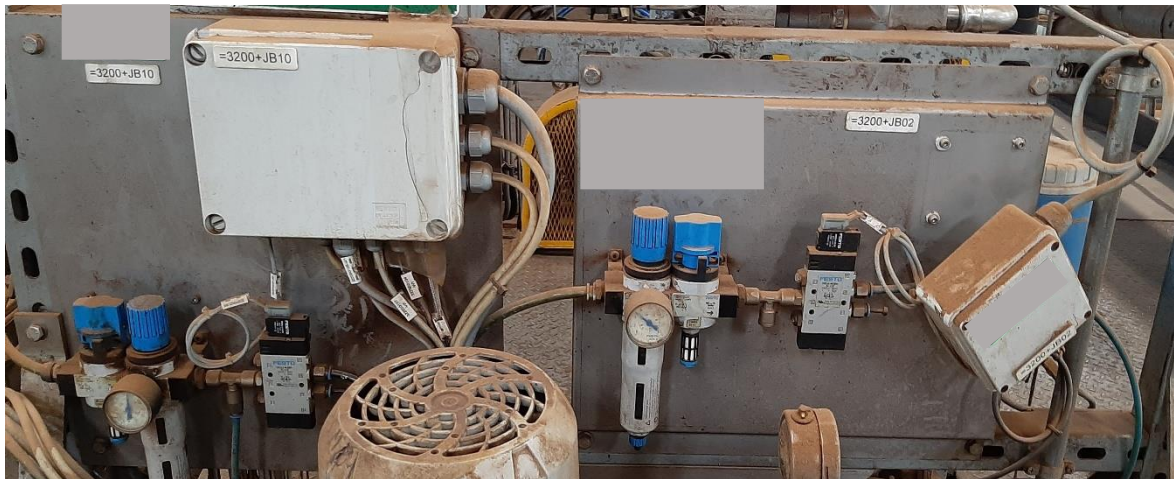


Figura 49 - Sistema de controlo pneumáticos presentes na Linha em estudo

6.1.2 Estações Remotas para Aquisição e Controlo e Sistema de comunicação

A aquisição de dados envolve a transmissão dos dados recolhidos pelos diversos sensores, até as estações centrais de controlo.

O processo de controlo local e aquisição de dados inicia-se nas estações remotas. Os PLCs e as Unidades Terminais Remotas (RTUs) fazem a leitura dos valores apresentados pelos dispositivos que estão associados a cada estação (COPADATA, 2020). O processo de aquisição de dados é concluído com o respetivo armazenamento numa base de dados no sistema de controlo central (COPADATA, 2020).

Os sistemas RTU usam comunicação sem fio por isso adequados em situações onde a passagem de cabos é difícil, enquanto o PLC são mais adequados e fiáveis para ambientes industriais de controlo local uma vez que necessita da passagem de cabos e também são mais resistentes a ruídos elétricos, vibrações, impactos e variações de temperatura (Veiga, 2011).

A troca de informação entre os PLCs e o sistema SCADA ocorre através de uma rede de comunicação. Para a implementação da rede de comunicação deve ser feito um estudo prévio, considerando os requisitos do sistema e a distância a cobrir devido à necessidade de uso de fibras óticas, cabos Ethernet, linhas dedicadas, entre outros (Veiga, 2011).

Na seção I e II existem vários quadros elétricos que possuem os PLC e os sistemas de controlo manual dos vários equipamentos. Cada equipamento tem correspondência ao seu quadro elétrico onde estão dispostos os PLC que servem de estações remotas de controlos destes equipamentos, tal como se pode ver na Figura 50.



Figura 50 - Quadro elétrico associado ao equipamento Bunker (Secção I) e respetiva estação de controlo remoto

6.2 ANEXO 2 - Fluxograma do processo produtivo

O fluxograma referente ao processo produtivo é apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 - Fluxograma do Processo produtivo em estudo

Nº da seção	Equipamento	Nº de operação	Descrição do Método	Operação	Transporte	Inspeção	Espera	Armazen.
VII			Armazenamento de químicos					▲
VII			Inspeção de químicos			■		
I	Silos	1	Silos	●	→			
I	Silos		Limpeza dos Silos			■		▲
I	Silos		Armazenamento dos Granulados					▲
I	Transportador sem fim		Transporte do Granulado		→			
I	Balança	2	Balança – Pesagem contínua	●	→			
I	Tapete Rolante		Transporte no Tapete Rolante da Balança		→			
I	Tapete Rolante		Controlo da humidade e densidade do granulado			■		
I	Transportador sem fim		Transporte do Granulado		→			
I	Nora		Transporte do Granulado		→			
I	Transportador sem fim	3	Transporte do Granulado		→			
I	Bunker		Pesagem contínua do granulado de cortiça	●	→			
I	Bunker		Registo do valor do peso			■		
I	Sistema de Dosagem		Armazenamento da Resina					▲
I	Sistema de Dosagem		Transporte da Resina		→			
I	Sistema de Dosagem		Armazenamento intermédio de resina					▲
I	Sistema de Dosagem		Transporte e aquecimento da recirculação de resina PU		→			
I	Sistema de Dosagem	4	Doseamento automático do peso da resina	●	→			
I	Sistema de Dosagem		Registo automático da resina			■		

I	Misturadora	5	Mistura entre granulado de cortiça e Resina					
I	Transportador Rotativo	6	Espalhamento correto do granulado de cortiça sobre o tapete da formadora					
I	Formadora	7	Disposição correta da mistura (granulado + resina)					
I	Formadora	8	Controlo da altura do tapete da mistura e alimentação da Prensa					
I	Transportador Mecânico	9	Reciclagem da mistura desperdiçada pela Formadora					
I	Transportador Mecânico		Transporte de volta para Parafuso Oscilante					
II	Prensa	10	Prensagem da mistura					
II	Prensa	11	Corte longitudinal do rolo formado à largura definida					
II	Prensa	12	Rebobinadora da Prensa					
II	Prensa		Controlo da largura, densidade, espessura, identificação de rolos e extração de amostras para controlo da qualidade					
II	Prensa	a)	Estabilização do rolo e do material					
II	Prensa		Controlo do rolo após tempo de estabilização					
III	Armazém		Estabilização do rolo e do material					
IV	Lixadora	13	Lixagem do Rolo					
IV	Lixadora		Controlo da espessura e humidade do Rolo					
V	Rebobinadora	14	Rebobinagem do Rolo					
V	Rebobinadora		Controlo da largura, espessura, comprimento e quantidade dos rolos					
VI	Sheeter	15	Corte em placas					
VI	Sheeter		Controlo da quantidade, largura, comprimento das placas de cortiça					
-		b)	Identificação e entrada no sistema de controlo					
-		1	Embalamento					

Nota: Setas de diferentes cores indicam processos paralelos ou processos alternativos:

- A seta azul representa o fluxo normal do fabrico do produto;
- A seta a cinzento representa o fluxo do sistema de doseamento de Resina;
- A seta a verde representa o reaproveitamento de mistura (granulado de cortiça + resina);
- A seta a vermelho representa o fluxo se o cliente pretende placas em vez de rolos.

Legenda					
	Operação	Transporte	Inspeção	Espera	Armazém

6.3 ANEXO 3 - Análise FMEA do Sistema de compressão da Prensa (Secção II)

6.3.1 Classificação dos índices de ocorrência e deteção

Tabela 28 - Índice de ocorrência (O) aplicado

Efeito	Taxa de falha possível	Índice de Ocorrência
Muito alta: A falha é quase inevitável	1 em 2 horas	10
	1 em 12 horas	9
Alta: Geralmente associada a processos que apresentam falhas frequentes	1 em 1 dias	8
	1 em 3 dias	7
Moderada: Geralmente associada a processos que apresentam falhas ocasionais	1 em 15 dias	6
	1 em 30 dias	5
	1 em 3 meses	4
Baixa: Associadas a processos que apresentam poucas falhas	1 em 6 meses	3
Muito baixa: Associada a processos que apresentam falhas isoladas	1 em 1 ano	2
Improvável: Processos que quase nunca apresentam falhas	1 em 3 anos	1

Tabela 29 - Índice deteção (D) aplicado

Deteção	Critério (Probabilidade de deteção pelo Controlo do Processo)	Índice de Deteção
Quase impossível	Não é conhecido controlo disponível para detetar o modo de falha	10
Muito baixa	Probabilidade muito baixa de que o controlo atual detete o modo de falha.	9-8
Baixa	Probabilidade baixa de que o controlo atual detete o modo de falha.	7-6
Moderada	Probabilidade moderada de que o controlo atual detete o modo de falha.	5
Moderadamente alta	Probabilidade moderada alta de que o controlo atual detete o modo de falha.	4
Alta	Probabilidade alta de que o controlo atual detete o modo de falha.	3-2
Quase certo	Controlo atual irá detetar o modo de falha	1

6.3.2 Análise FMEA - Sistema de Prensagem (secção II)

Tabela 30 - Análise FMEA: Sistema de Prensagem (Secção II)

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)

Nº FMEA: _____
 Realizado por: _____
 Data de Início: _____

Revisão Nº _____
 Revisão por _____
 Data de Revisão _____

Unidade Industrial _____

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas
Sistema	Subsistema/Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação	
Sistema de compressão da Prensa	Tela Metálica	Compressão da mistura (componente que entra em contacto com a mistura)	Rasgo da tela (com diâmetro ou comprimento superior a 10 cm)	Defeito grave na tela - Paragem da produção da Prensa	9	Presença de componente metálico na mistura durante a compressão (ex: parafuso)	1	Ruído enorme	10	90	Médio	Colocar rede mais fina na entrada do material da Formadora
					9	Desgaste	1	Visual	3	27	Baixo	Inspeção autónoma ao fim de cada turno
					9	Lubrificação incorreta	1	Sistema de controlo/Visual	4	36	Baixo	-
					9	Falhas resultantes de intervenções de manutenção anteriores	1	Ruído	5	45	Baixo	Após intervenção, acompanhamento exaustivo do funcionamento da Prensa

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas		
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação			
Sistema de compressão da Prensa	Tela Metálica	Compressão da mistura (componente que entra em contacto com a mistura)	Pequeno Rasgo na Tela (comprimento ou diâmetro do rasgo inferior a 5 cm)	Defeito na tela - Paragem da produção da Prensa	8	Desgaste	2	Visual	4	64	Médio	Inspeção autónoma ao fim de cada turno		
					8	Lubrificação incorreta	2	Sistema de controlo/Visual	4	64	Médio	-		
					8	Falhas resultantes de intervenções de manutenção anteriores	2	Visual	4	64	Médio	Após intervenção, acompanhamento exaustivo do funcionamento da Prensa		
					Riscos com profundidade presentes na tela metálica	Defeito na tela - Paragem da produção da Prensa devido ao risco de aparecimento de um pequeno rasgo na tela proveniente deste risco	6	Presença de granulado de maiores dimensões (rede de peneiração com defeito)	5	Visual	4	120	Alto	Inspeção autónoma ao fim de cada turno - se necessária troca da rede vibratória
							6	Cargas severas contínuas (Desgaste)	4	Visual	6	144	Alto	Inspeção autónoma ao fim de cada turno - Estudo de investimento de uma nova tela metálica
							6	Lubrificação incorreta	2	Sistema de controlo/Visual	4	56	Médio	-

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação	
Sistema de compressão da Prensa	Tela Metálica	Compressão da mistura (componente que entra em contacto com a mistura)	Riscos com profundidade presentes na tela metálica	defeito na tela - Paragem da produção da Prensa devido ao risco de aparecimento de um pequeno rasgo na tela proveniente deste risco	6	Desalinhamento das rodas dentadas - correntes - roller rods	1	Sistema de controlo/Visual	4	28	Baixo	-
					6	Contacto abrasivo com o rolo de suporte	1	Visual	8	56	Médio	-
					6	Falhas resultantes de intervenções de manutenção anteriores	1	Visual	5	35	Baixo	Após intervenção, acompanhamento exaustivo do funcionamento da Prensa
			Amolgadela na tela metálica	Qualidade do produto afetada (criação de desperdício)	4	Desgaste	2	Visual	5	40	Baixo	
					4	Compressão desnivelada	2	Sistema de controlo/Visual	2	16	Baixo	-
					4	Falhas resultantes de intervenções de manutenção anteriores	1	Visual	8	32	Baixo	Após intervenção, acompanhamento exaustivo do funcionamento da Prensa

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo			Avaliação de Risco		Ações Recomendadas	
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN		Avaliação
Sistema de compressão da Prensa	Tela Metálica	Compressão da mistura (componente que entra em contacto com a mistura)	Desalinhamento da tela	Defeito na tela - Paragem da produção da Prensa	7	Desalinhamento das rodas dentadas - correntes - roller rods	9	Sistema de controlo/Visual	1	63	Médio	O sistema de controlo realiza controlo automático do alinhamento da tela - devido à grande ocorrência deve-se perceber a origem deste desalinhamento constante
					4	Desgaste no fim de cursos	3	Visual	2	24	Baixo	Troca de lado do fim de cursos a cada 6 meses
					7	Rotura/Perda do fim de cursos	1	Sistema em alerta - Visual	2	14	Baixo	Troca de lado do fim de cursos a cada 6 meses
					7	Avaria no sistema de tração de controlo do alinhamento da tela	1	Sistema de controlo - Paragem de emergência	1	7	Baixo	-
			Paragem da rotação da tela	Paragem da produção da Prensa	5	Motor parou	2	Sistema em alerta - Visual	2	20	Baixo	-
					5	Redutor apresenta defeito	1	Sistema em alerta - Visual	2	10	Baixo	-

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação	
Sistema de compressão da Prensa	Tela Metálica	Compressão da mistura (componente que entra em contacto com a mistura)	Paragem da rotação da tela	Paragem da produção da Prensa	5	Sensor de guia lineares avariados	2	Sistema de controlo - Paragem de emergência	1	10	Baixo	-
	Corrente	Permite movimento dos roller rods que são responsáveis pela compressão da tela mecânica	Rotura do pino	Defeitos no movimento da corrente - Paragem da produção da Prensa	6	Fadiga por corrosão	1	Visual	9	54	Médio	-
					6	Sobrecarga repentina e/ou excessiva	1	Visual	9	54	Médio	-
			Desgaste do pino	Defeitos no movimento da corrente	4	Abrasão	1	Visual	9	36	Baixo	-
					4	Lubrificação incorreta	3	Sistema de controlo/Visual	3	36	Baixo	-
					4	Sobrecargas severas	3	Sistema de controlo/Visual	3	36	Baixo	-
					4	Presença de mistura de cortiça e outros materiais abrasivos/corrosivos	3	Visual	6	72	Médio	-

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação	
Sistema de compressão da Prensa	Corrente	Permite movimento dos roller rods que são responsáveis pela compressão da tela mecânica	Flexão do pino	Defeitos no alinhamento da corrente	4	Sobrecargas severas	2	Sistema de controlo/Visual	4	32	Baixo	-
			Fadiga nos furos nas placas	Defeitos no alinhamento da corrente	4	Sobrecargas severas	2	Sistema de controlo/Visual	4	32	Baixo	-
			Aderência da articulação	Defeitos no alinhamento da corrente	4	Desgaste	2	Visual	8	64	Médio	Inspeção autónoma ao fim de cada turno
					4	Presença de mistura de cortiça e outros materiais abrasivos/corrosivos	3	Visual	6	72	Médio	Inspeção autónoma ao fim de cada turno
			Quebra da bucha	Defeito na corrente	5	Presença de mistura de cortiça e outros materiais abrasivos/corrosivos	2	Visual	6	60	Médio	-
					5	Sobrecargas severas	2	Sistema de controlo/Visual	4	40	Baixo	-

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação	
Sistema de compressão da Prensa	Corrente	Permite movimento dos roller rods que são responsáveis pela compressão da tela mecânica	Buchas esmagadas	Defeito no movimento da corrente	4	Cargas de impacto severas	1	Sistema de controlo/Visual	4	16	Baixo	-
			Rolos esmagados	Defeito no movimento da corrente - Paragem da produção da Prensa	6	Cargas de impacto severas	1	Sistema de controlo/Visual	4	24	Baixo	-
			Desgaste dos elos	Possível fissura no elo - Paragem completa da produção	6	Escorregamento entre o carreto de tração e a corrente	8	Visual	6	288	Alto	Ocorrência elevada provém de uma das 4 correntes devido as condições que está sujeito - sugestão: troca desta corrente
					6	Abrasão e sujeito a cargas descendentes	8	Visual	6	288	Alto	
			Rotura dos elos	Defeito na corrente - Paragem completa da produção	7	Desgaste dos elos	7	Visual	5	245	Alto	
			Elo solto	Defeito na corrente - Paragem completa da produção	4	Falhas resultantes de intervenções de manutenção anteriores	2	Visual	5	40	Baixo	

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação	
Sistema de compressão da Prensa	Corrente	Permite movimento dos roller rods que são responsáveis pela compressão da tela mecânica	Desgaste anormal da corrente, carretos e perfis	Defeitos nas correntes	4	Desalinhamento	8	Sistema de controlo/Visual	3	96	Médio	Maior desgaste da corrente em uso - contactar fornecedor para verificar causas do desalinhamento e mitigar efeitos
			Alongamento da corrente	Defeito no movimento da corrente - Paragem da produção da Prensa	6	Sobrecargas severas	2	Sistema de controlo/Visual	4	48	Baixo	-
			Desalinhamento no movimento das correntes	Defeitos na tela metálica - Paragem da produção da Prensa	8	Desgaste do veio	1	Visual	9	72	Médio	Período de paragem da Prensa para limpeza - A manutenção deve realizar inspeção sobre o estado destes elementos
					8	Defeitos na chaveta paralela/anel elástico que fixa o conjunto roda dentada e cepo	1	Visual	9	72	Médio	
					8	Desgaste do cepo	1	Visual	8	64	Médio	
					7	Desgaste nos dentes das rodas dentadas	5	Visual	5	210	Alto	

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação	
Sistema de compressão da Prensa	Roller rods	Elementos responsáveis por compressão da tela mecânica	Flexão do roller rod	Defeito nos roller rods - Defeitos provocados na tela	6	Desalinhamento das rodas dentadas	1	Sistema de controlo/Visual	3	18	Baixo	-
					6	Desgaste	1	Visual	7	42	Baixo	-
					6	Desgaste dos pratos	1	Visual	8	48	Baixo	-
			Rotura do roller rod	Paragem da produção da Prensa - Defeito nos roller rods - Defeitos provocados na tela	7	Sobrecarga excessiva	1	Sistema de controlo/Visual	3	21	Baixo	-
					7	Cargas de impacto severas	1	Sistema de controlo/Visual	4	28	Baixo	-
			Desalinhamento do roller rod	Defeito nos roller rods - Defeitos provocados na tela	6	Desalinhamento das rodas dentadas	1	Sistema de controlo/Visual	5	30	Baixo	-
					6	Presença de mistura de cortiça e outros materiais abrasivos/corrosivos	3	Visual	5	90	Médio	-
					6	Cargas de impacto severas	1	Sistema de controlo/Visual	4	24	Baixo	-

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação	
Sistema de compressão da Prensa	Rodas dentadas	Transmissão da rotação à corrente	Desgaste dos dentes das rodas dentadas	Desalinhamento da corrente - Paragem da produção da Prensa	7	Desalinhamento das correntes	1	Sistema de controlo/Visual	3	21	Baixo	-
					7	Sobrecarga excessiva	1	Sistema de controlo/Visual	3	21	Baixo	-
					7	Lubrificação incorreta	2	Sistema de controlo/Visual	4	56	Médio	-
			Paragem do movimento das rodas dentadas	Paragem da produção da Prensa	6	Defeito na chaveta paralela que transmite rotação do cepo à roda dentada	1	Visual	9	54	Médio	Período de paragem da Prensa para limpeza - realizar inspeção sobre o estado destes elementos
					5	Motor parado	2	Sistema de controlo	8	80	Médio	
					6	Desalinhamento do veio	1	Visual	8	48	Baixo	
		6			Pinos de ligação entre cepo e roda dentadas removidos ou desgastados	2	Visual	8	96	Médio		

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação	
Sistema de compressão da Prensa	Guias	Controlo do movimento das correntes	Desgaste anormal das guias	Movimento incorreto das correntes - Criar sobrecarga sobre a corrente levando danos nesta	5	Lubrificação inadequada	1	Visual	6	30	Baixo	Desgaste elevado sobre a corrente - Ocorrência elevada provém de uma das 4 correntes devido as condições que está sujeito - sugestão: troca desta corrente
					5	Sobrecarga excessiva	5	Visual	8	200	Alto	
					5	Presença de mistura de cortiça e outros materiais abrasivos/corrosivos no movimento da corrente	5	Visual	8	200	Alto	
	Veios	Transmissão da rotação as rodas dentadas	Paragem de rotação dos veios	Paragem da produção da Prensa	5	Motor parado	2	Sistema de controlo	4	40	Baixo	
					5	Defeito no redutor do motor	1	Visual	6	30	Baixo	

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação	
Sistema de compressão da Prensa	Veios	Transmissão da rotação as rodas dentadas	Desgaste dos veios	Desalinhamento do movimento da corrente e da tela mecânica	5	Presença de mistura de cortiça e outros materiais abrasivos/corrosivos	2	Visual	6	60	Médio	-
					5	Sobrecargas severas	1	Sistema de controlo	3	15	Baixo	-
			Rotura do pino de acoplamento da estrutura do veio	Paragem da produção da Prensa	8	Impacto severo	1	Sistema de controlo	3	24	Baixo	-
			Perda da tensão da corrente	Perda do esticamento da corrente - Danos na Prensa - Paragem completa da Prensa	9	Avaria no atuador pneumático	1	Sistema de controlo - Paragem de emergência	2	18	Baixo	-

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação	
	Sistema de limpeza da Prensa	Responsável pela limpeza da tela metálica (remoção de materiais mistura do lado errado da tela, por exemplo)	Paragem da rotação da escova	Paragem da produção da Prensa - possível desgaste da tela -	6	Motor avariado	3	Sistema em alerta	3	54	Médio	Realizar manutenção autónoma ao motor da escova
					6	Rotura dos elementos de apoio do sistema de limpeza	1	Visual	7	42	Baixo	-
					6	Rotura da chumaceira	1	Visual	7	42	Baixo	-
			Desgaste da escova	Redução da eficiência da limpeza da Prensa	3	Degradação provocada abrasão constante	3	Visual	7	63	Médio	Realizar troca de rolo de 6 em 6 meses
			Paragem do movimento oscilante	Redução da eficiência da limpeza da Prensa	3	Avaria no atuador pneumático	1	Sistema em alerta	3	9	Baixo	-
			Paragem do movimento de retração da escova	Atraso do arranque da produção da Prensa	3	Avaria no atuador pneumático	1	Sistema em alerta	3	9	Baixo	-

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação	
	Raspadores	Controlo do nível de óleo e remoção de outros materiais	Desgaste dos raspadores	Redução da eficiência da limpeza da Prensa	3	Presença de mistura de cortiça e outros materiais abrasivos e corrosivos	4	Visual	4	48	Baixo	Realizar troca dos raspadores de 6 em 6 meses
			Rotura dos elementos que seguram os raspadores	Danos criados na tela metálica	8	Impactos severos	1	Visual	6	48	Baixo	-
					8	Degradação dos elementos de ligação	1	Visual	6	48	Baixo	-
	Sistema de controlo de tração do movimento da tela	Sistema que regula o alinhamento da tela	Paragem de rotação dos cilindros de suporte	Paragem de produção da Prensa	5	Corrente solta	1	Sistema em alerta/Visual	3	15	Baixo	-
					5	Motor avariado	2	Sistema em alerta	3	30	Baixo	-
					5	Desgaste dos dentes das rodas dentadas	1	Visual	6	30	Baixo	-
					5	Lubrificação incorreta	3	Sistema de controlo	4	60	Médio	Inspeção regular da lubrificação destes elementos

Ponto da Falha			Análise da Falha			Processo de controlo				Avaliação de Risco		Ações Recomendadas	
Sistema	Subsistema/ Componente	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade	Potencial causa da falha	Ocorrência	Dispositivos de deteção atual	Deteção	RPN	Avaliação		
	Sistema de controlo de tração do movimento da tela	Sistema que regula o alinhamento da tela	Paragem de controlo de tração	Paragem de produção da Prensa	7	Sensor ou PLC avariado	1	Sistema de controlo - Paragem de emergência	2	14	Baixo	-	
	Conjunto de válvulas e quadro de controlo	Responsáveis pelo controlo da posição e pressão dos cilindros	Paragem do controlo da posição e pressão dos cilindros	Paragem de produção da Prensa	7	Sensor de pressão avariado	3	Sistema	3	63	Médio	Sistema de apoio à manutenção - Sistema de estudo de peças de reserva - Verificação das necessidades destes componentes	
					6	Bloco de válvula avariado	5	Sistema	4	120	Alto		
					6	Sensor de linearidade avariado	3	Sistema	3	54	Médio		
					6	Sistema de controlo avariado	3	Sistema	3	54	Médio		-
					5	Fuga de fluído nos cilindros de pressão	3	Visual	6	90	Médio		Inspeção periódica dos cilindros

6.4 ANEXO 4 - Planeamento da Intervenção de troca de correntes inferior de aquecimento (Proposta 3)

Apresenta-se o planeamento da intervenção realizada para a troca de corrente inferior de aquecimento que corresponde a proposta de melhoria número 3. Este tipo de intervenção devido à complexidade exigiu fornecedores externos da empresa e por isso os nomes destes serão omitidos e tratados por Fornecedor 1, Fornecedor 2 e assim sucessivamente. A equipa A refere-se aos colaboradores da empresa designados para supervisionar e dar suporte a toda a intervenção realizada (membros do departamento Manutenção e Processo Industrial em estudo).

Na Tabela 31 apresenta-se a tabela de planeamento das diferentes tarefas a realizar durante a intervenção da Prensa que auxiliou a construção do Diagrama de *Gantt* presente na Figura 51.

Tabela 31 - Planeamento das diferentes tarefas da Intervenção da Prensa

ID	Descrição da tarefa	Duração	Início	Fim	Precedentes
1	Intervenção Prensa	174 hrs	19 de dezembro de 2020 06:00	30 de dezembro de 2020 12:00	
2	Preparação Chegada Fornecedor 3 (Fabricante da Prensa)	85 hrs	20 de dezembro de 2020 06:00	26 de dezembro de 2020 19:00	
3	Remoção Rollerlods	8 hrs	21 de dezembro de 2020 06:00	21 de dezembro de 2020 14:00	
4	Remoção correntes	8 hrs	22 de dezembro de 2020 14:00	22 de dezembro de 2020 22:00	3
5	Mudança de guias	69 hrs	21 de dezembro de 2020 22:00	26 de dezembro de 2020 19:00	4
6	Remoção guias 1ª parte	8 hrs	22 de dezembro de 2020 22:00	23 de dezembro de 2020 06:00	4
7	Remoção guias 2ª parte	8 hrs	22 de dezembro de 2020 22:00	23 de dezembro de 2020 06:00	4
8	Furação guias	12 hrs	23 de dezembro de 2020 06:00	23 de dezembro de 2020 18:00	6;7
9	Montagem guias 1ª parte	11 hrs	23 de dezembro de 2020 18:00	26 de dezembro de 2020 05:00	8
10	Montagem guias 2ª parte	11 hrs	26 de dezembro de 2020 08:00	26 de dezembro de 2020 19:00	8
11	Substituição de rolamentos (do veio "louco") e rodas	45 hrs	22 de dezembro de 2020 22:00	26 de dezembro de 2020 19:00	3
12	Chegada Fornecedor 3	71 hrs	27 de dezembro de 2020 13:00	30 de dezembro de 2020 12:00	
13	Verificação do alinhamento de guias e corrente	7 hrs	27 de dezembro de 2020 13:00	27 de dezembro de 2020 20:00	9;10
14	Montagem correntes	11 hrs	28 de dezembro de 2020 08:00	28 de dezembro de 2020 19:00	13
15	Montagem rollerlods 1ª parte	8 hrs	28 de dezembro de 2020 22:00	29 de dezembro de 2020 06:00	14
16	Afinação de correntes/sensores e conclusão da montagem da corrente	11 hrs	29 de dezembro de 2020 08:00	29 de dezembro de 2020 19:00	15
17	Montagem rollerlods 2ª parte	8 hrs	29 de dezembro de 2020 22:00	30 de dezembro de 2020 06:00	16
18	Testes/Afinações com Prensa em funcionamento	5 hrs	30 de dezembro de 2020 07:00	30 de dezembro de 2020 12:00	17

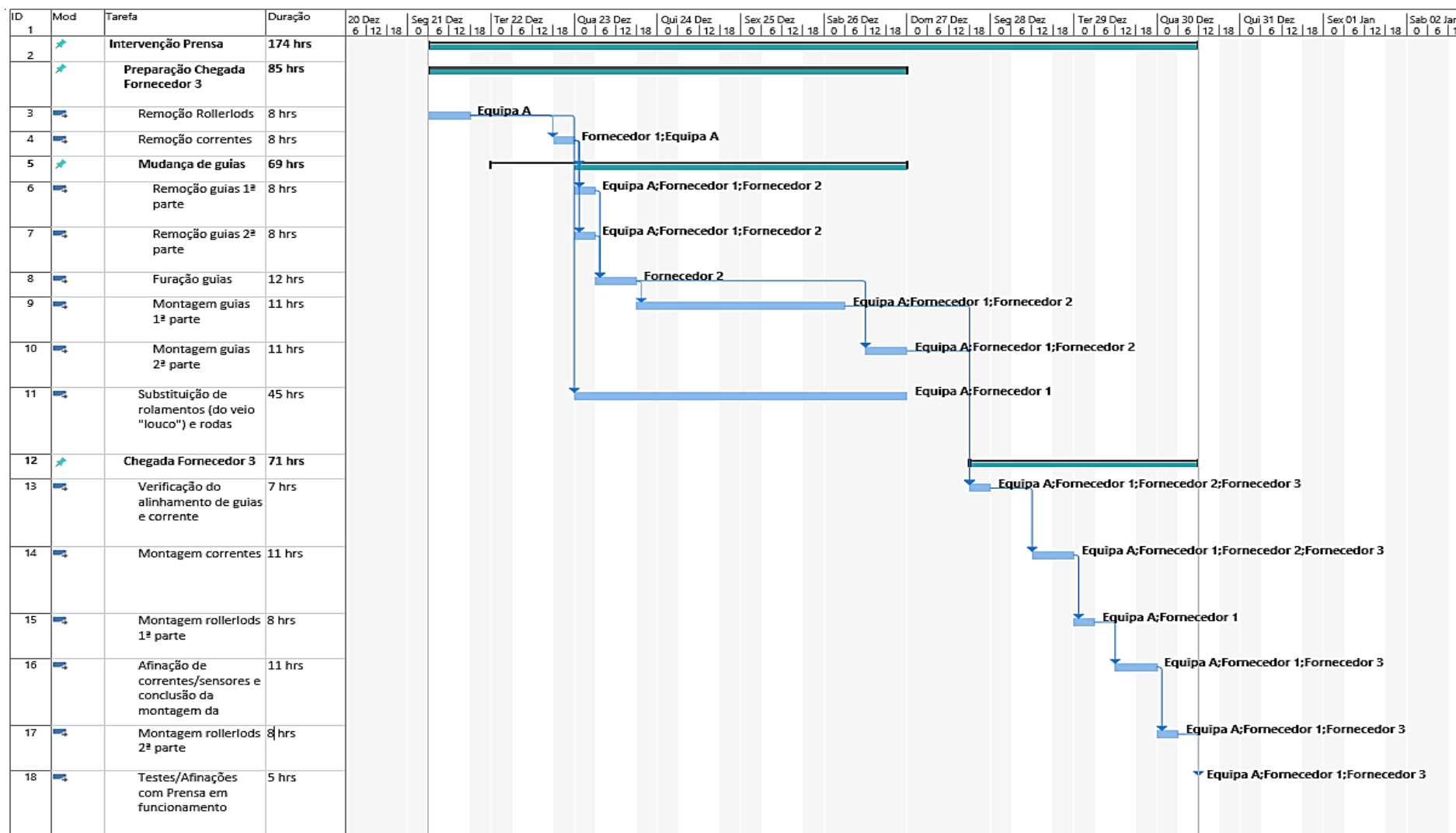


Figura 51 - Diagrama Gantt intervenção da Prensa (MS Project)

6.5 ANEXO 5 - Questionários: Avaliação dos critérios para as peças de reserva

Questionário 1

Este questionário tem o âmbito de obtenção das importâncias dos diferentes critérios de classificação utilizados para a avaliação das peças de reserva. Os critérios definidos para classificação das peças de reserva são:

- **Critério 1 - C1: Criticidade do componente** = Critério de avaliação da criticidade do componente para o funcionamento do respetivo equipamento e consequente da linha de produção em que está instalado;
- **Critério 2 - C2: Valor do componente** = Critério de avaliação do valor de aquisição do componente ao fornecedor;
- **Critério 3 - C3: Tempo de reposição** = Critério de avaliação do lead time da chegada do componente ao processo produtivo em questão;
- **Critério 4 – C4: Número de potenciais fornecedores** = Avaliação do número de potenciais fornecedores, a importância de existência de mais que um fornecedor ou se a peça é customizada ou não.

Este questionário é criado para avaliação critério versus critério. Por isso nas seguintes questões vai ser possível avaliar entre dois critérios entre 1 a 9, tendo estes o significado na Tabela 32.

Tabela 32 - Escala de importância do Método AHP (Adaptado de Saaty, 1987)

Valor	Definição	Explicação
1	Importância igual	Os dois critérios possuem a mesma importância
3	Importância moderada	Um dos critérios é um pouco mais importante que do que o outro
5	Importância elevada	Um dos critérios é visivelmente mais importante que o outro
7	Importância muito elevada	Um dos critérios é muito mais importante do que o outro
9	Importância extrema	Um dos critérios é absolutamente mais importante do que o outro
2, 4, 6, 8 pode ser usado para valor intermédios nestes		

Tendo em conta esta escala de importância responda as seguintes questões. As questões seguintes trata-se de comparações par a par entre os diferentes critérios. As diferentes perguntas, responda: Qual o grau de importância entre os diferentes critérios?

1ª Pergunta												
	C1 - Criticidade do equipamento	9	7	5	3	1	3	5	7	9	C2 - Valor de aquisição do componente (Preço)	
2ª Pergunta												
	C1 - Criticidade do equipamento	9	7	5	3	1	3	5	7	9	C3 - Tempo de reposição	
3ª Pergunta												
	C1 - Criticidade do equipamento	9	7	5	3	1	3	5	7	9	C4 - Número potenciais de fornecedores	
4ª Pergunta												
	C2 - Valor de aquisição do componente (Preço)	9	7	5	3	1	3	5	7	9	C3 - Tempo de reposição	
5ª Pergunta												
	C2 - Valor de aquisição do componente (Preço)	9	7	5	3	1	3	5	7	9	C4 - Número potenciais de fornecedores	
6ª Pergunta												
	C3 - Tempo de reposição	9	7	5	3	1	3	5	7	9	C4 - Número potenciais de fornecedores	

Agora, é necessário realizar-se o questionário para se atribuir a importância para cada categoria de cada critério. No total, estes representam cerca de 4 questionários, no entanto neste anexo apenas se apresenta um deles como forma de exemplo.

Questionário 2

Este questionário tem o âmbito de obtenção das importâncias das classes do critério Criticidade do componente. As classes para o critério C1: Criticidade do componente são as seguintes:

- **C1C1 - Classificação 1: Vital (V)** = A falha do componente provoca a paragem total do equipamento que está inserido sendo que provoca também a paragem da produção da secção a que está inserido e/ou compromete os riscos legais e de segurança do processo produtivo.
- **C1C2 - Classificação 2: Essencial (E)** = A falha do componente reduz a eficiência do equipamento que funciona com restrição.
- **C1C3 - Classificação 3: Desejável** = Falha do componente não é crítico para o sistema produtivo.

Este questionário é criado para avaliação das classes versus classe. Por isso nas seguintes questões vai ser possível avaliar entre duas entre 1 a 9, tendo estes o significado na Tabela 33.

Tabela 33 - Escala de importância do Método AHP (Adaptado de Saaty, 1987)

Valor	Definição	Explicação
1	Importância igual	As duas classificações possuem a mesma importância
3	Importância moderada	Uma das classificações é um pouco mais importante que do que o outro
5	Importância elevada	Uma das classificações é visivelmente mais importante que o outro
7	Importância muito elevada	Uma das classificações é muito mais importante do que o outro
9	Importância extrema	Uma das classificações é absolutamente mais importante do que o outro
2, 4, 6, 8 pode ser usado para valor intermédios nestes		

Tendo em conta esta escala de importância responda as seguintes questões. As questões seguintes tratam-se de comparações par a par entre as diferentes classificações.

1º Pergunta												
	C1C1 - Classificação 1: Vital	9	7	5	3	1	3	5	7	9	C1C2 - Classificação 2: Essencial	
2º Pergunta												
	C1C1 - Classificação 1: Vital	9	7	5	3	1	3	5	7	9	C1C3 - Classificação 3: Desejável	
3º Pergunta												
	C1C2 - Classificação 2: Essencial	9	7	5	3	1	3	5	7	9	C1C3 - Classificação 3: Desejável	

6.6 ANEXO 6 - Sistema de classificação das peças de reserva

Neste subcapítulo apresenta-se o sistema de classificação das peças de reserva criado apresentado na Figura 52. Esta é composta por vários campos:

- **Descrição da peça**, onde se coloca as informações relativas à peça em estudo no sistema (ver Tabela 34);
- **Avaliação dos critérios definidos**, isto é, criticidade do componente, número de potenciais fornecedores, valor do componente e tempo de reposição (ver Tabela 35);
- **Classificação das peças de reserva**, consoante os valores colocados no campo anterior, é atribuída a classificação (ver Tabela 36).

Sistema de classificação de peças de reserva																						
Peça							Criticidade para o funcionamento do equipamento		Nº de potenciais fornecedores		Valor componente		Tempo de reposição			Documentação	Classificação					
Sistema	Equipamento	Componente	Fabricante	Referencia	Qty	Código SAP	Existente em armazém?	Criticidade para o funcionamento do equipamento	Classif.	Nome do fornecedor	Classif.	Valor do componente	Classif.	Tempo real de entrega	Tempo de reposição	Classif.	Orçamentos	Criticidade	Nº de potenciais de fornecedores	Valor	Lead Time	Resultado
Prensa	Hidráulicos - Prensa	Servo Válvula	MOOG	D633-303B,R02K01MONSM2	2		Não	A falha do componente não permite o funcionamento do equipamento; Exigências legais e de segurança.	Vital	HANSA FLEX	Único	2397,20	A	10 semanas	Superior a 2 semanas	X	S33092421E Quotations.pdf	0,411	0,031	0,086	0,181	0,709

Descrição da peça

Avaliação nos critérios definidos

Classificação das peças

Figura 52 - Exemplo do sistema de classificação das peças de reserva

Tabela 34 - Campo Descrição da peça no sistema de classificação das peças de reserva

Peça							
Sistema	Equipamento	Componente	Fabricante	Referencia	Quantidade	Código SAP	Existente em armazém?
Prensa	Hidráulicos - Prensa	Servo Válvula	MOOG	D633-303B,R02K01MONSM2	2		Não

Tabela 35 - Campo avaliação nos critérios definidos no sistema de classificação das peças de reserva

Criticidade para o funcionamento do equipamento		Nº de potenciais fornecedores		Valor componente		Tempo de reposição			Documentação
Criticidade para o funcionamento do equipamento	Classif.	Nome do fornecedor	Classif.	Valor do componente	Classif.	Tempo real de entrega	Tempo de reposição	Classif.	Orçamentos
A falha do componente não permite o funcionamento do equipamento; Exigências legais e de segurança	Vital	HANSA FLEX	Único	2 397,20 €	A	10 semanas	Superior a 10 dias	X	5330016424 HF Quotation.pdf

Tabela 36 - Campo Classificação da no sistema de classificação das peças de reserva

Classificação				
Criticidade	Nº de potenciais de fornecedores	Valor	Lead Time	Resultado
0,411	0,031	0,086	0,181	0,709