

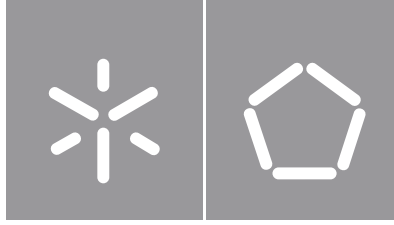


Catarrina da Conceição Pereira Teixeira

Classificação e gestão de stocks de sobressalentes

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Catarina da Conceição Pereira Teixeira

**Classificação e gestão de stocks de
sobressalentes**

Tese de Doutoramento
Programa Doutoral em Engenharia Industrial e de
Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Isabel da Silva Lopes
e do
Professor Doutor Manuel Carlos Barbosa Figueiredo

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição
CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Com o término desta tese de doutoramento não posso deixar de lado um agradecimento especial àqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a sua realização.

Aos meus orientadores, Professora Isabel Lopes e Professor Manuel Carlos Figueiredo do Departamento de Produção e Sistemas, da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, pela orientação, disponibilidade, transmissão de conhecimento, críticas e opiniões que permitiram solucionar as dúvidas e problemas que foram surgindo ao longo da realização desta tese.

À organização envolvida neste trabalho pela sua valiosa contribuição, disponibilidade e tempo despendido.

Às pessoas com quem me fui cruzando ao longo desta jornada e que de alguma forma foram contribuindo para o desenvolvimento desta tese.

Às minhas amigas e amigos que partilharam comigo os altos e baixos desta jornada e tiveram sempre uma palavra de apoio, o meu obrigada.

À minha família, em especial à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão, por serem o meu porto seguro. Agradeço todo o carinho, apoio e motivação.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

CLASSIFICAÇÃO E GESTÃO DE STOCKS DE SOBRESSALENTES

A gestão de sobressalentes é uma função de suporte à gestão da manutenção que visa apoiar as atividades de manutenção. O ideal é que seja possível fornecer dados em tempo real sobre as quantidades disponíveis para cada sobressalente e adotar políticas de gestão de *stocks* que garantam a sua disponibilidade ao menor custo. O objetivo desta investigação foi desenvolver uma metodologia de classificação para a gestão global de sobressalentes, que visa agrupar os sobressalentes, tendo em consideração as suas especificidades (combinando a perspetiva da manutenção e da gestão de *stocks*) e atribuir a política de gestão de *stocks* mais adequada a cada grupo de peças.

A presente investigação iniciou-se com a revisão crítica da literatura, que permitiu em primeiro lugar obter os principais conceitos da gestão da manutenção e gestão de *stocks* e, relativamente, à gestão de sobressalentes foram identificadas as principais lacunas da literatura sobre esta temática. A principal lacuna identificada na revisão crítica da literatura foi que nos modelos que visam a gestão global de sobressalentes, estes não englobam todos os aspetos, para uma gestão de sobressalentes eficiente.

Foi desenvolvida uma metodologia de classificação multicritério que combina a perspetiva da manutenção e da gestão de *stocks*, recorrendo ao uso de critérios das duas perspetivas e, após selecionar os critérios, foi definido o método de classificação que permitiu agregar os sobressalentes em cinco grupos. Foram definidas políticas de gestão de *stocks* adequadas às características dos grupos de sobressalentes definidos. Com isso pretendeu-se minimizar os custos de gestão de *stocks* e garantir o bom funcionamento das atividades de manutenção. Para validar a abordagem definida foi realizado um estudo de caso em uma organização que produz sistemas eletrónicos para o setor automóvel. Este estudo permitiu, através de uma amostra representativa dos sobressalentes da organização, validar a metodologia de classificação multicritério assim como as políticas de gestão de *stocks*. Concluindo-se que estas são adequadas às especificidades de cada grupo e que a análise realizada permitiu balancear os custos de inexistência de uma peça e custo de manter a peça em *stock*.

PALAVRAS-CHAVE

Classificação multicritério; gestão da manutenção; gestão de sobressalentes; gestão de *stocks*; sobressalentes.

ABSTRACT

CLASSIFICATION AND STOCKS MANAGEMENT OF SPARE PARTS

Spare management is a function of maintenance management that aims to support maintenance activities. Ideally, it should be possible to provide real-time information on the quantities available for each spare part and adopt stock management policies that guarantee its availability at the lowest cost. The objective of this investigation was to develop a classification methodology for the global management of spare parts, which aims to group the spare parts considering their specificities (combining the perspective of maintenance and stock management) and assign the most appropriate stock management policy to each group of parts.

The present investigation began with a critical review of the literature, which firstly allowed us to obtain the main concepts of maintenance management and stock management and, concerning the management of spare parts, the main gaps in the literature on this topic were identified.

A multi-criteria classification methodology was developed that combines the perspective of maintenance and stock management, using criteria from both perspectives, after selecting the criteria, the classification method was defined that allowed the aggregation of spare parts in five groups. Inventory management policies adapted to the characteristics of the defined groups of spare parts were defined. This was intended to minimize stock management costs and ensure the proper functioning of maintenance activities. To validate the defined approach, a case study was carried out in an organization that produces electronic systems for the automotive sector. This study allowed, through a representative sample of the organization's spare parts, to validate the multi-criteria classification methodology as well as the stock management policies. It was concluded that the stock management policies are adequate to the specificities of each group and that the analysis carried out allowed us to balance the costs of the non-existence of a part and the cost of keeping the part in stock.

KEYWORDS

Maintenance management; multicriteria classification; spare parts; spare parts management; stocks management

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas	xiv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xix
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e Motivação.....	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Organização do Documento.....	4
2. Gestão da Manutenção.....	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 A Evolução da Manutenção.....	6
2.3 Planeamento da Manutenção.....	7
2.4 Tipos de Manutenção	8
2.5 Manutenção Produtiva Total.....	10
2.6 Manutenção Centrada na Fiabilidade	13
2.7 Análise da Fiabilidade.....	17
2.7.1 Importância da Fiabilidade.....	17
2.7.2 Função Estatística da Fiabilidade	18
2.7.3 Fiabilidade de Sistemas Não Reparáveis.....	19
2.7.4 Fiabilidade de Sistemas Reparáveis.....	20
2.7.5 Curva da Banheira.....	20

2.8 Manutibilidade.....	21
2.9 Custo do Ciclo de Vida.....	22
2.10 Sistemas de Informação para a Manutenção.....	23
2.11 Avaliação de Desempenho.....	25
2.11.1 Seleção de Indicadores de Desempenho.....	25
2.11.2 Overall Equipment Effectiveness (OEE).....	29
2.11.3 Norma NP EN 15341 (2009).....	30
2.12 Conclusão.....	32
3. Gestão de <i>Stocks</i>	33
3.1 Introdução.....	33
3.2 Métodos de Controlo de Inventário.....	35
3.2.1 Modelos Determinísticos.....	36
3.2.2 Modelos Estocásticos.....	37
3.3 Previsão da Procura.....	38
3.3.1 Caracterização da Procura.....	38
3.3.2 Técnicas de Previsão.....	40
3.3.3 Modelos de Séries Temporais.....	42
3.3.4 Avaliação das Previsões.....	47
3.4 Conclusão.....	48
4. Gestão de Sobressalentes.....	50
4.1 Introdução.....	50
4.2 Classificação de Sobressalentes.....	52
4.2.1 Métodos e Modelos de Classificação.....	53
4.2.2 Critérios.....	56
4.3 Previsão da Procura de Sobressalentes.....	58

4.3.1	Previsões Baseadas nas Séries Temporais dos Sobressalentes	59
4.3.2	Previsão Baseada na Fiabilidade	64
4.3.3	Previsão Baseada nos Julgamentos.....	65
4.4	Políticas e Modelos de Gestão de <i>Stocks</i> de Sobressalentes	65
4.4.1	Políticas de Gestão de <i>Stock</i>	66
4.4.2	Modelos de Otimização.....	67
4.4.3	Métodos de Gestão Global de <i>Stocks</i>	70
4.5	Conclusão	72
5.	Metodologia de Investigação	74
5.1	Introdução.....	74
5.2	Seleção da Metodologia de Investigação.....	75
5.3	Estudo de Caso	76
5.4	Conclusão	77
6.	Metodologia de Classificação Multicritério de Sobressalentes.....	78
6.1	Introdução.....	78
6.2	Etapas para Definição da Metodologia de Classificação Multicritério.....	78
6.3	Definição de Critérios de Manutenção	79
6.4	Definição de Critérios de Gestão de <i>Stocks</i>	83
6.4.1	Prazo de Entrega	83
6.4.2	Preço	86
6.5	Definição dos Grupos de Sobressalentes	87
6.6	Definição do Método de Classificação.....	89
6.6.1	Grupo A e B.....	90
6.6.2	Grupo C, D e E	92
6.6.3	Validação dos Grupos	99

6.7 Conclusão	104
7. Procedimento para Atribuição de Políticas de Gestão de <i>Stocks</i>	106
7.1 Introdução.....	106
7.2 Definição da Amostra de Sobressalentes	106
7.3 Análise e Previsão da Procura	110
7.3.1 Previsão Baseada em Séries Temporais	110
7.3.2 Distribuição da Procura.....	114
7.4 Definição e Atribuição de Políticas de Gestão de <i>Stocks</i>	122
7.4.1 Contextualização.....	122
7.4.2 Grupo A e B - Sobressalentes que Seguem a Distribuição Normal.....	124
7.4.3 Grupos A e B - Sobressalentes que Não Seguem a Distribuição Normal	128
7.4.4 Grupos C, D e E.....	144
7.5 Dados Necessários para a Implementação	159
7.6 Conclusão e Discussão de Resultados.....	161
8. Conclusão e Trabalho futuro	165
8.1 Conclusão	165
8.2 Limitações.....	166
8.3 Trabalho Futuro	167
Referências Bibliográficas	168
Apêndices	178
Apêndice I – Testes de Qualidade de Ajuste da Procura.....	178
Apêndice II – Aplicação da Política ao Grupo A – A Procura Segue a Distribuição Normal.....	181
Apêndice III – Resultados da Análise Efetuada aos Sobressalentes dos Grupos A e B – que Não Seguem a Distribuição Normal	192
Apêndice IV - Aplicação da Política ao Grupo A e B– a Procura Não Segue a Distribuição Normal .	199

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução das expectativas da manutenção (adaptado de Moubray, 1997).....	7
Figura 2 - Processo de gestão da manutenção (adaptado de Tsang (1998)).....	8
Figura 3 - Representação dos tipos de manutenção de acordo com a norma EN 13306 (2017).....	9
Figura 4 - Pilares TPM (adaptado de Ahuja & Khamba, 2008).	11
Figura 5 - Etapas para implementação do RCM (adaptado de Jardine e Tsang (2013)).	15
Figura 6 - Curva da banheira.....	21
Figura 7 - Áreas de valor para a manutenção (adaptado de Stenström et al. (2013)).....	28
Figura 8 - Tipo de stocks (adaptado de Waters, 2003).	34
Figura 9 - Tipos de sistemas de controlo de inventário (adaptado de Waters, 2003).	35
Figura 10 - Classificação da procura (Syntetos, 2001).	39
Figura 11 - Categorização dos padrões de procura que não segue uma distribuição normal (Boylan et al., 2008).....	40
Figura 12 - Estrutura de previsão (adaptado de Silver et al., 2016).	41
Figura 13 - Fases para a gestão de sobressalentes (adaptado de Cavalieri et al. (2008)).....	52
Figura 14 - Framework do processo de investigação de Saunders et al. (2009).....	74
Figura 15 - Etapas para definição da metodologia de classificação.....	79
Figura 16 - Matriz de combinações.	81
Figura 17 - Distribuição dos valores do prazo de entrega.	84
Figura 18 - Distribuição do preço unitário dos sobressalentes.....	86
Figura 19 - Árvore de decisão para nível de criticidade vital.	91
Figura 20 - Árvore de decisão para o nível de criticidade essencial.....	92
Figura 21 - Árvore de decisão para o nível de criticidade desejável.....	92
Figura 22 - Extrato da tabela com os diversos cenários para o cálculo da probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega.....	95

Figura 23 - Probabilidade de falha dentro do prazo de entrega em função do número de máquinas. ..	96
Figura 24 - Árvore de decisão para nível de criticidade vital.	97
Figura 25 - Árvore de decisão para nível de criticidade essencial.	98
Figura 26 - Árvore de decisão para nível de criticidade desejável.	99
Figura 27 - Procura real e previsão da média móvel, AES, Croston e SBA sobressalente 8600.866.060.	111
Figura 28 - Gráfico de probabilidade de 8600.850.626.	116
Figura 29 - Gráfico de probabilidade de 8600.856.667	116
Figura 30 - Gráfico de probabilidade de 8600.860.797.	117
Figura 31 - Gráficos de probabilidade de 8600.858.383, 8600.863.373, 8600.864.987 e 8600.866.060.	117
Figura 32 - Gráfico de probabilidade de 8600.868.019, 8600.857.998 e 8600.857.999	118
Figura 33 - Gráfico de probabilidade de 8600.855.423 e 8600.859.758.	118
Figura 34 - Gráfico de probabilidade de 8600.856.667 e 8600.860.797(ações de manutenção corretiva).	119
Figura 35 - Diferença entre o custo total para o nível de rutura admissível de 2% e de 5%.	127
Figura 36 - Histograma da procura dos sobressalentes 8600.857.998, 8600.857.999, 8600.863.373 e 8600.864987.	129
Figura 37 – Histograma da procura dos sobressalentes 8600.866.060, 8600.856.667 e 8600.860.797.	130
Figura 38 - Histogramas da procura dos sobressalentes 8600.855.423, 8600.858.383,8600.859.758 e 8600.868.019.....	130
Figura 39 - Diferença entre o custo total para o nível de serviço de 95% e 98%.	133
Figura 40 - Diferença entre o custo total para o nível de serviço de 95% e 98%.	136
Figura 41 - Diferença entre o custo total para o nível de serviço de 95% e 98%.	138
Figura 42 - Diferença custo total sobressalentes 8600.863.373 (a), 8600.864.987 (b), 8600.866.060 (c) e 8600.856.667 (d).	139

Figura 43 - Diferença entre o custo total para o nível de serviço de 90% e 95%.	142
Figura 44 - Diferença custo total sobressalentes 8600.858.383 (a), 8600.859.758 (b) e 8600.868.019 (c).	143
Figura 45 - Custo de posse para os grupos C e D (8600.867.756).	149
Figura 46 - Custo de rutura para os grupos C, D e E (sobressalente 8600.867.756).	149
Figura 47 - Custo de posse, de rutura e total dos grupos C e D (sobressalente 8600.867.756).	150
Figura 48 - Custo de posse para os grupos C e D (8600.868.982).	151
Figura 49 - Custo de rutura para os grupos C, D e E (8600.868.982).	151
Figura 50 - Custo de posse, de rutura e total dos grupos C e D (8600.868.982).	152
Figura 51 - Custo de posse para os grupos C e D (8600.861.695).	153
Figura 52 - Custo de rutura para os grupos C, D e E (8600.861.695).	153
Figura 53 - Custo de posse, de rutura e total para os grupos C e D (8600.861.695).	154
Figura 54 - Custo de posse para os grupos C e D (8600.864.506).	155
Figura 55 - Custo de rutura para os grupos C, D e E (8600.864.506).	155
Figura 56 - Custo de posse, de rutura e total para os grupos C e D (8600.864.506).	156
Figura 57 - Custo de posse para os grupos C e D (8600.868.194).	157
Figura 58 - Custo de rutura para os grupos C, D e E (8600.868.194).	157
Figura 59 - Custo de posse, de rutura e total para os grupos C e D (8600.868.194).	158
Figura 60 - Custo de posse para o grupo C e D (8600.869.878).	159

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios usados em casos de estudo.....	57
Tabela 2 - Comparação de modelos de previsão.....	62
Tabela 3 - Matriz de políticas de gestão de <i>stocks</i> (Braglia, Grassi e Montanari, 2004).....	71
Tabela 4 - Exemplo da classificação de sobressalentes.....	82
Tabela 5 - Definição dos intervalos do prazo de entrega.....	85
Tabela 6 - Intervalos dos níveis do critério preço.....	87
Tabela 7 - Características dos grupos de sobressalentes.....	88
Tabela 8 - Políticas de gestão de <i>stocks</i> grupo C, D e E.....	93
Tabela 9 - Dados e resultados da amostra.....	96
Tabela 10 - Valores dos níveis do prazo de entrega para cada cenário.....	101
Tabela 11 - Custo de rutura considerando um custo de perda de produção para o nível vital, essencial de 5,24€ e desejável.....	101
Tabela 12 - Custo de rutura considerando um custo de perda de produção para o nível essencial de 20,96€.....	102
Tabela 13 - Custo de rutura considerando um custo de perda de produção para o nível essencial de 41,92€.....	103
Tabela 14 - Custo de rutura considerando um custo de perda de produção para o nível essencial de 62,88€.....	103
Tabela 15 - Custo de rutura considerando um custo de perda de produção para o nível essencial de 78,60€.....	103
Tabela 16 - Amostra de sobressalentes.....	108
Tabela 17 - Comparação dos modelos de previsão.....	111
Tabela 18 - Teste de qualidade de ajuste de 8600.850.626.....	119
Tabela 19 - Teste de qualidade de ajuste de 8600.858.383.....	120
Tabela 20 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.869.987.....	121

Tabela 21 - Objetivo para cada grupo.....	122
Tabela 22 - Valores do custo de perda de produção por hora para cada nível do impacto na produção.	124
Tabela 23 - Resultados da política de nível de encomenda para um risco de rutura admissível de 2% (sobressalente 8600.850.626).	125
Tabela 24 - Resultados da política de nível de encomenda para um risco de rutura admissível de 5% (sobressalente 8600.850.626).	126
Tabela 25 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.857.998.	131
Tabela 26 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.857.998).	132
Tabela 27 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.857.998).	132
Tabela 28 - Valor da aplicação dos resultados do modelo à procura observada sobressalente 8600.857.998.	133
Tabela 29 – Tabela de frequências do sobressalente 8660.857.999.	134
Tabela 30 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (8600.857.999).	135
Tabela 31 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (8600.857.999).	135
Tabela 32 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.860.797.	137
Tabela 33 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (8600.860.797).	137
Tabela 34 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.860.797).	137
Tabela 35 - Valor da procura média.	138
Tabela 36 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.855.423.	140
Tabela 37 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.855.423).	141

Tabela 38 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.855.423).	141
Tabela 39 - Valor da procura média.	142
Tabela 40 - Dados para cálculo dos custos de posse e rutura.	147
Tabela 41 - Aplicação da política de gestão de stocks atribuída ao sobressalente 8600.867.756.	150
Tabela 42 - Aplicação da política de gestão de stocks atribuída ao sobressalente 8600.868.982.	152
Tabela 43 - Aplicação da política de gestão de stocks atribuída ao 8600.861.695.	154
Tabela 44 - Aplicação da política de gestão de stocks atribuída ao 8600.864.506.	156
Tabela 45 - Aplicação da política de gestão de stocks atribuída ao 8600.868.194.	158
Tabela 46 - Valores reais do prazo de entrega.	160
Tabela 47 - Resultados da aplicação da metodologia multicritério.	162
Tabela 48 - Distribuição dos sobressalentes pelos grupos.	163
Tabela 49 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.866.060.	179
Tabela 50 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.868.019.	179
Tabela 51 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.854.002.	179
Tabela 52 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.857.998.	180
Tabela 53 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.855.423.	180
Tabela 54 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.859.091.	180
Tabela 55 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.856.667.	181
Tabela 56 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.860.797.	181
Tabela 57 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.850.626, <i>stock</i> inicial de 300 unidades	182
Tabela 58 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.863.373.	192
Tabela 59 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.863.373).	192

Tabela 60 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.863.373).	192
Tabela 61 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.864.987.	193
Tabela 62 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.864.987).	193
Tabela 63 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.864.987).	193
Tabela 64 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.866.060.	193
Tabela 65 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.866.060).	194
Tabela 66 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.866.060).	194
Tabela 67 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.856.667.	194
Tabela 68 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.856.667).	194
Tabela 69 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.864.987).	195
Tabela 70 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.855.423.	195
Tabela 71 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.858.383.	195
Tabela 72 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.858.383).	196
Tabela 73 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.858.383).	196
Tabela 74 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.859.758.	196
Tabela 75 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.859.758).	196
Tabela 76 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.859.758).	197

Tabela 77 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.868.019.	197
Tabela 78 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8660.868.019).	197
Tabela 79 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8660.868.019)	197
Tabela 80 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.857.999.....	199
Tabela 81 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.863.373.....	199
Tabela 82 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.864.987.....	199
Tabela 83 - Valor da aplicação dos resultados do modelo à procura observada sobressalente 8600.866.060.	200
Tabela 84 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.856.667.....	201
Tabela 85 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.860.797.....	202
Tabela 86 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.855.423.....	202
Tabela 87 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.858.383.....	202
Tabela 88 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.859.758.....	204
Tabela 89 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.868.019.....	204

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AD	<i>Anderson-Darling</i>
AES	Alisamento Exponencial Simples
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ARIMA	<i>Autoregressive Integrated Moving Average</i>
BSC	<i>Balanced Scorecard</i>
CBM	<i>Condition-Based Maintenance</i>
CMMS	<i>Computerized Maintenance Management Systems</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DRSA	<i>Dominance-based Rough Set Approach</i>
FAHP	<i>Fuzzy AHP</i>
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FSN	<i>Fast-moving, F, Slow-moving, S, e Non-moving, N</i>
K-S	<i>Kolmogorov-Sminorv Test</i>
LCC	<i>Life Cycle Cost</i>
MAD	<i>Mean Absolute Deviation</i>
MAPE	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>
MASTA	<i>Multi-Attribute Spare Tree Analysis</i>
MDT	Mean Down Time
MRP	<i>Material Requirement Planning</i>
MSE	<i>Mean Square Error</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i>
MTTF	<i>Mean Time To Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PE	Percentual Error
QEE	Quantidade Económica de Encomenda
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
RGRMSE	<i>Relative Geometric Root Mean Square Error</i>

ROCOF	<i>Rate of Occurrence of Failures</i>
SAC	Stock Antes de Consumo
SBA	Syntetos-Boylan Approximation
SDC	Stock Depois de Consumo
SS	<i>Stock de Segurança</i>
SVM	<i>Support Vector Machines</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TRV P	Teste Razão Verossimilhança
TTF	<i>Time To Failure</i>
TTR	<i>Time To Repair</i>
VAL	Valor Atual Líquido
VDM	<i>Value-Driven Maintenance</i>
VED	Vital, Essencial e Desejável

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e Motivação

A gestão da manutenção ganhou um papel estratégico nas organizações ao longo das últimas décadas. A competitividade do mercado e a necessidade de responder rapidamente às suas solicitações deram à função manutenção um papel fulcral nas unidades industriais. As organizações para se tornarem ou se manterem competitivas no mercado devem apostar na melhoria contínua dos seus processos, ou seja, devem apostar na gestão eficaz dos seus recursos e processos, incluindo as questões associadas à manutenção.

Até 1940, as atividades de manutenção não eram planeadas, apenas se realizavam quando ocorria uma falha, o que levava a que os custos de manutenção representassem uma grande parte dos custos de operação (Murthy, Atrens, & Eccleston, 2002). Entre 1950 e 1960 surgiram as primeiras abordagens científicas relativas à gestão da manutenção, passou-se do paradigma de manutenção corretiva para o paradigma de manutenção preventiva, diminuindo as paragens não planeadas na produção (Dekker, 1996).

Com o planeamento da manutenção os seus custos são mais facilmente controlados e reduzidos. Estes custos advêm não só do custo de mão-de-obra e de sobressalentes, mas também de custos de paragens de produção relacionados com falhas nos equipamentos.

A gestão de manutenção divide-se em várias áreas que a suportam, tais como: modelos de otimização da manutenção, técnicas de manutenção, escalonamento da manutenção, medição de desempenho, sistemas de informação para a manutenção e políticas de manutenção (Garg & Deshmukh, 2006).

Os sobressalentes são utilizados em grande parte das ações de manutenção. De acordo com EN 13306 (2017), um bem de substituição ou sobressalente é um bem destinado a substituir um bem correspondente, com vista a reestabelecer a função requerida de origem. Ao longo da presente tese será utilizado o termo sobressalente para designar peças sobressalentes, ou seja, peças/componentes que não são reparáveis após a sua falha.

Por um lado, pode existir um excesso de inventário de sobressalentes, o que significa custos avultados, por outro, a inexistência de um sobressalente pode representar um custo de paragem de produção

elevado. Assim a gestão eficiente e eficaz de sobressalentes é fundamental para a gestão da manutenção. Portanto, a gestão de *stocks* de sobressalentes, necessários aos equipamentos de produção, afeta o desempenho da gestão de manutenção e, conseqüentemente, a produtividade das organizações.

Boone, Craighead, & Hanna (2008) realizaram um estudo, recorrendo ao método de Delphi, sobre os principais desafios da gestão de sobressalentes. Para tal, foram realizadas 18 entrevistas a 18 gestores de sobressalentes, de empresas de vários setores de atividade e foram encontrados 10 desafios para a gestão de sobressalentes, a saber:

1. Falta de um sistema ou perspectiva holística;
2. Imprecisão das previsões de procura de sobressalentes;
3. Falta de integração entre fornecedores, técnicos de reparação, clientes e prestadores de serviço;
4. Variabilidade do prazo de entrega;
5. Garantir a precisão dos dados de gestão e revisão de produtos;
6. Minimizar a obsolescência dos sobressalentes;
7. Planear os requisitos de serviço de produtos antigos e a reparação de peças antigas;
8. Planear a entrada de novos produtos;
9. Garantir a ordem do ciclo de reparações;
10. Planear o local e a distribuição de sobressalentes.

Na literatura é possível encontrar várias áreas que suportam a gestão de sobressalentes, nomeadamente, a classificação, em que se recorre a vários métodos e modelos multicritério para classificar as peças, a previsão da procura, em que para além dos métodos mais clássicos de previsão também se verifica a criação de métodos e modelos específicos para o caso dos sobressalentes e ainda a gestão de *stocks*, onde é possível encontrar as políticas, modelos e métodos mais adequados para a gestão deste tipo de peças.

A classificação de sobressalentes é crucial para controlar o vasto número de peças que apresentam muita variedade. Como tal a categorização dos sobressalentes é uma forma de controlar a sua diversidade e especificidade (Molenaers, Baets, Pintelon, & Waeyenbergh, 2012). A previsão da procura de sobressalentes é um requisito básico da gestão deste tipo de peças. Dadas as suas características é difícil prever com precisão a procura de sobressalentes. Por isso, na literatura foram surgindo investigações direcionadas para esta área (Hu, Boylan, Chen, & Labib, 2018).

O controlo de *stocks* de sobressalentes é particularmente desafiante devido à natureza da sua procura. Como as políticas de gestão de *stocks* dependem da distribuição da procura no prazo de entrega, a seleção da política vai afetar o desempenho e determinar os custos para a organização, que serão elevados se a política não se ajustar à procura (Turrini & Meissner, 2019).

Com esta investigação pretende-se desenvolver uma metodologia de gestão capaz de encontrar um ponto de equilíbrio entre as problemáticas da gestão da manutenção e da gestão de *stocks*.

Ao longo do documento serão referidos várias vezes os termos gestão de *stocks* de sobressalentes e gestão de sobressalentes; entende-se que no primeiro caso apenas se faz referência às questões ligadas com as políticas de gestão de *stock*; no segundo caso, entende-se toda a gestão relacionada com a utilização de um determinado sobressalente.

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta investigação é propor uma metodologia de gestão de sobressalentes tendo em consideração uma classificação multicritério. Pretende-se responder à seguinte pergunta de investigação “Como gerir de forma eficiente o *stock* de sobressalentes, tendo em consideração as suas especificidades?”.

A metodologia de gestão de sobressalentes visa ter em consideração um conjunto de critérios e dados ligados à produção, manutenção e gestão de *stocks*. A metodologia permitirá atribuir aos sobressalentes a política de gestão de *stocks* mais adequada.

Como tal foram definidos objetivos específicos que pretendem ir de encontro ao objetivo principal:

- Identificar a criticidade do sobressalente para a produção e manutenção;
- Identificar os fatores relevantes relativos à gestão de *stocks* associados aos sobressalentes;
- Definir um método de classificação para agrupamento de sobressalentes, tendo em consideração as suas características;
- Identificar as técnicas de previsão mais adequadas para a procura de sobressalentes;
- Identificar políticas de gestão de *stocks* associadas a cada grupo.

A abordagem que integra o modelo de gestão de sobressalentes pretende dar suporte ao departamento de manutenção, dando-lhe a conhecer em tempo real as quantidades disponíveis e pretende auxiliar o departamento da manutenção na atribuição da política de gestão de *stocks* de cada sobressalente.

1.3 Organização do Documento

O presente documento encontra-se dividido em 8 capítulos. O primeiro capítulo diz respeito à introdução que, para além desta seção (organização do documento), inclui o enquadramento e motivação e os objetivos. No segundo capítulo é apresentada a revisão da literatura sobre gestão da manutenção, que engloba os seguintes pontos: a evolução da manutenção, planeamento da manutenção, tipos de manutenção, Manutenção Produtiva Total, Manutenção Centrada na Fiabilidade, análise da fiabilidade, manutibilidade, custo do ciclo de vida, sistemas de informação para a manutenção, avaliação de desempenho. De seguida, no terceiro capítulo, encontra-se a revisão da literatura sobre gestão de *stocks*, incluindo os métodos de controlo de inventário (modelos determinísticos e modelos estocásticos) e a previsão da procura (caracterização da procura, técnicas de previsão, modelos de séries temporais e avaliação das previsões). O quarto capítulo apresenta a revisão de literatura sobre a gestão de sobressalentes e aborda os seguintes tópicos: classificação de sobressalentes, previsão da procura de sobressalentes e políticas e modelos de gestão de *stocks* de sobressalentes.

No quinto capítulo é abordada a metodologia de investigação que suportou a presente investigação. Este capítulo inclui a seleção da metodologia de investigação e o estudo de caso.

No sexto capítulo é apresentada a metodologia de classificação multicritério resultante da investigação. Neste capítulo são abordados os seguintes pontos: as etapas para a definição da metodologia de classificação multicritério, definição de critérios de manutenção, definição de critérios de gestão de *stocks*, definição dos grupos de sobressalentes e seleção do método de classificação. O sétimo capítulo apresenta o procedimento para atribuição de políticas de gestão de *stocks* e inclui: a definição da amostra, a análise e previsão da procura, a definição e atribuição de políticas de gestão de *stocks*, os dados necessários para a implementação e a conclusão e discussão de resultados. Por fim, no capítulo oito é apresentada a conclusão, as limitações e o trabalho futuro.

2. GESTÃO DA MANUTENÇÃO

2.1 Introdução

A gestão de ativos permite às organizações maximizar o valor dos serviços prestados quando é praticada uma gestão eficaz dos seus ativos físicos ao longo dos seus ciclos de vida (ISO 55000, 2014). O processo de gestão de ativos deve englobar desde a conceção, aquisição e instalação até à operação, manutenção e final de vida útil do ativo, ou seja, ao longo de todo o seu ciclo de vida (Schuman & Brent, 2005). Uma das preocupações da gestão de ativos físicos é a otimização da manutenção. Os ativos complexos deterioram-se no decorrer da sua operação, o que leva a um aumento do risco de falha. O custo da avaria dos ativos pode ser bastante significativo, pelo que a manutenção é um ponto importante na sua gestão (Tam & Price, 2008).

A gestão da manutenção tornou-se importante nas organizações, dado que ao longo dos anos tem-se assistido a uma mecanização e automação generalizada dos processos produtivos (Garg & Deshmukh, 2006). A manutenção desempenha um papel fundamental no desempenho global das organizações, simultaneamente com outras funções, como produtividade, qualidade, segurança e meio ambiente. Por este motivo, as organizações sentiram a necessidade de melhorar o desempenho da manutenção (De Groote, 1995).

A manutenção de equipamentos origina uma parte significativa dos custos operacionais de muitas organizações industriais. A sua gestão eficiente requer uma abordagem multidisciplinar, sendo importante para a estratégia geral do negócio. As principais características de uma abordagem multidisciplinar são: integração das questões técnicas e comerciais, uma abordagem quantitativa recorrendo a modelos matemáticos, o uso de todos os dados relevantes e a melhoria contínua das atividades da gestão da manutenção (Murthy *et al.*, 2002).

O conceito de manutenção é definido pela norma EN 13306 (2017) é definido como a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um item, destinadas a conservar ou a restaurar o estado em que este pode realizar a função requerida. De acordo com a mesma norma a gestão da manutenção pode ser entendida como todas as atividades de gestão que determinam os objetivos, a estratégia e as responsabilidades respeitantes à manutenção e que os implementam por diversos meios tais como o planeamento, o controlo e a supervisão da manutenção e a melhoria de métodos na organização, incluindo os aspetos económicos (EN 13306, 2017).

No presente capítulo é feita uma revisão da literatura referente à evolução da manutenção, planeamento da manutenção, tipos de manutenção, manutenção produtiva total, manutenção centrada na fiabilidade, análise da fiabilidade, manutibilidade, custo do ciclo de vida, sistemas de informação para a manutenção e avaliação de desempenho.

2.2A Evolução da Manutenção

O conceito de manutenção pode ser rastreado desde 1930, e divide-se em três gerações: A primeira geração está associada ao período anterior à segunda Guerra Mundial. Nesta época os equipamentos eram bastante fiáveis, dado que eram simples e pouco mecanizados, por este motivo as reparações realizadas nos equipamentos eram bastante fáceis. Isso levava a que a prevenção de falhas não fosse uma prioridade para a grande parte dos gestores (Moubray, 1997).

Durante a segunda Guerra Mundial, ocorreram grandes mudanças (Alsyouf, 2007). A procura por bens de vários tipos aumentou, mas a oferta de mão-de-obra industrial estava a diminuir. Com isto surgiu a necessidade de melhorar os equipamentos industriais tornando-os mais mecanizados e, em consequência mais complexos. A indústria estava assim mais dependente das máquinas. O aumento da dependência levou a que fosse dada mais atenção ao tempo de inatividade provocado pelas falhas (Moubray, 1997). Deste modo, percebeu-se que era possível evitar as falhas, o que levou ao aparecimento do conceito de manutenção preventiva, que consistia em atuar mediante intervalos fixos (Moubray, 1997; Waeyenbergh & Pintelon, 2002). Os custos de manutenção começaram a aumentar relativamente aos custos operacionais, e com isso aumentaram os sistemas de planeamento e controlo de manutenção. Também o investimento em capital fixo aumentou, bem como o custo desse capital, o que levou à procura de formas de maximizar a vida útil dos ativos (Moubray, 1997).

Durante a década de 1970, as fábricas viram os seus equipamentos tornarem-se ainda mais automatizados e complexos (Alsyouf, 2007). As mudanças ocorridas podem ser classificadas como novas expectativas, novas pesquisas e novas técnicas. Neste âmbito, a necessidade de aumentar a vida útil dos equipamentos e de controlar os custos intensificou-se. O tipo de manutenção preventiva existente até ao momento tornou-se incapaz de dar resposta a esta problemática, pelo que surgiram novas técnicas, como a análise de efeitos e modos de falha (FMEA), a monitorização da condição e o *design* focado na fiabilidade e manutibilidade (Moubray, 1997).

A Figura 1 apresenta a evolução ao longo do tempo das expectativas para a manutenção e evidencia as 3 gerações dessa evolução geralmente referidas, sendo que a primeira geração diz respeito ao período

entre 1940 e 1950, a segunda inicia em 1950 e vai até meados dos anos 70, seguindo-se a terceira geração.

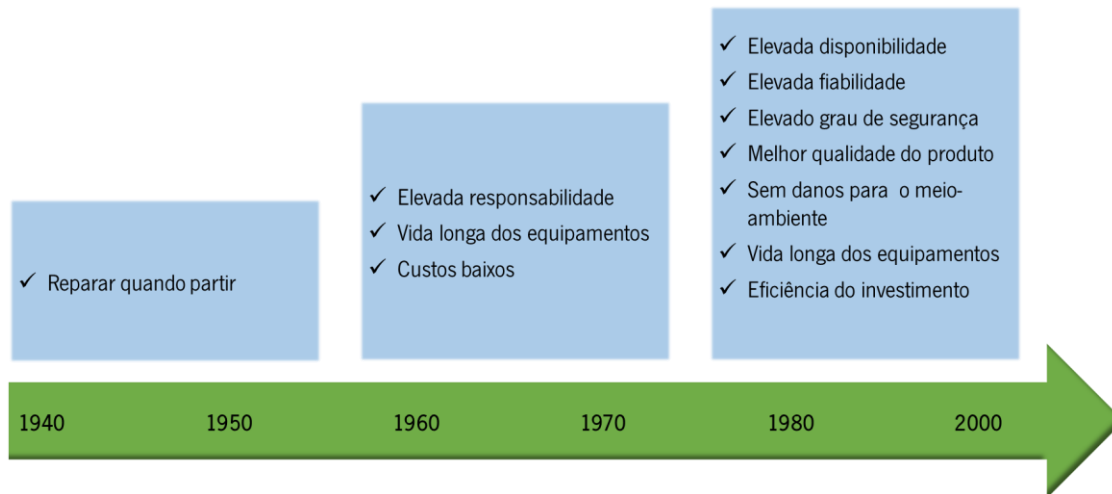


Figura 1 - Evolução das expectativas da manutenção (adaptado de Moubray, 1997).

2.3 Planeamento da Manutenção

O processo de gestão da manutenção divide-se em duas partes principais: a definição da estratégia e a implementação da estratégia (Marquez, 2007). A definição da estratégia de manutenção a aplicar deve considerar a satisfação dos objetivos da organização e desta forma deve ser definida pelos *stakeholders* (Márquez, 2007; Tsang, 1998). Essa parte inicial do processo de gestão de manutenção regula o sucesso da manutenção e a eficácia da implementação dos planos de manutenção, cronogramas, controlos e melhorias. A capacidade de alcançar uma estratégia de manutenção eficaz reflete a aptidão de prever os requisitos corretos de manutenção ao longo do tempo, ou seja, a capacidade de antecipar esses requisitos em conformidade com os requisitos de produção (Márquez, 2007). Posto isto, obtém-se a definição teórica da estratégia, mensurável através da formulação de metas e indicadores.

De seguida, é desenvolvido e implementado o plano de ação que visa dar resposta aos objetivos e indicadores definidos (Tsang, 1998). A forma de lidar com os problemas relacionados com a manutenção de equipamentos permitirá minimizar os custos diretos de manutenção, tais como: mão-de-obra e restantes recursos necessários. Nesta segunda fase do processo é analisada a eficiência que compara a quantidade de serviço fornecida com a quantidade de recursos gastos (Márquez, 2007).

Tsang (1998) apresenta um diagrama de fluxo de um processo de gestão de manutenção direcionado para o sucesso da organização (Figura 2).



Figura 2 - Processo de gestão da manutenção (adaptado de Tsang (1998)).

O plano de manutenção de uma organização pode abranger vários tipos de manutenção. No entanto, para que as decisões táticas sejam lógicas e justificáveis em matéria de manutenção, é necessário conhecer claramente as vantagens e desvantagens de cada tipo de manutenção (Geert Waeyenbergh & Pintelon, 2004).

2.4 Tipos de Manutenção

A escolha do tipo de manutenção mais adequada tem como objetivo prolongar o tempo de vida operacional efetivo, melhorar a fiabilidade e garantir a disponibilidade dos sistemas, com a finalidade de assegurar a entrega e a qualidade dos seus produtos (Ding & Kamaruddin, 2015).

Tradicionalmente, muitas empresas adotavam uma estratégia reativa para a manutenção, reparando as máquinas somente quando estas deixavam de funcionar. Mais recentemente, as melhorias que as tecnologias sofreram e o aumento das competências por parte dos recursos humanos ligados à manutenção levaram a que as empresas tivessem de substituir a abordagem reativa. Uma estratégia pró-ativa para a manutenção recorre a atividades de manutenção preventiva e preditiva que impedem a ocorrência de falhas no equipamento. Uma estratégia agressiva, como a Manutenção Produtiva Total (TPM), concentra-se em melhorar a função e o *design* do equipamento de produção. Apesar desta estratégia exigir um maior compromisso em relação às competências necessárias, também oferece um melhor desempenho dos equipamentos e, conseqüentemente, da fábrica (Swanson, 2001).

A função manutenção envolve duas intervenções básicas: manutenção corretiva e manutenção preventiva (Waeyenbergh & Pintelon, 2004), no entanto, foram surgindo novos tipos e estratégias de manutenção. Na norma EN 13306 (2017) são apresentados e definidos os vários tipos de manutenção, que podem ser observados na Figura 3.



Figura 3 - Representação dos tipos de manutenção de acordo com a norma EN 13306 (2017).

Em seguida, é apresentada a definição de cada um dos tipos de manutenção, de acordo com a norma EN 13306 (2017):

- **Manutenção Corretiva:** Manutenção efetuada depois da deteção de uma avaria e destinada a repor um item num estado em que pode realizar a função requerida.
- **Manutenção Corretiva Diferida:** Manutenção corretiva que não é efetuada imediatamente depois da deteção de um estado de falha, mas que é retardada de acordo com regras determinadas.
- **Manutenção Corretiva Imediata:** Manutenção corretiva que é efetuada imediatamente após a deteção de um estado de falha para evitar consequências inaceitáveis.
- **Manutenção Preventiva:** Manutenção realizada com o objetivo de avaliar e / ou mitigar a degradação e reduzir a probabilidade de falha de um item.
- **Manutenção Sistemática:** Manutenção preventiva efetuada de acordo com um calendário pré-estabelecido ou segundo um número definido de unidades de utilização, mas sem controlo prévio do estado do item.
- **Manutenção Condicionada:** Manutenção preventiva, que inclui a avaliação das condições físicas, a análise e as possíveis ações de manutenção subsequentes.

- **Manutenção Preditiva:** Manutenção condicionada efetuada de acordo com as previsões extrapoladas de análises repetidas ou características conhecidas e da avaliação de parâmetros significativos da degradação do item.
- **Manutenção de Melhoria:** Combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, destinadas a melhorar a fiabilidade intrínseca e/ou a manutenção e/ou segurança de um item sem alterar a função original.

De acordo com a investigação realizada por Garg e Deshmukh (2006), existem várias técnicas e metodologias ligadas à manutenção, tais como: manutenção preventiva, manutenção baseada na condição ou *Condition-Based Maintenance* (CBM), TPM, manutenção centrada na fiabilidade ou *Reliability Centered Maintenance* (RCM), manutenção preditiva, *outsourcing* de manutenção, manutenção centrada na eficácia, gestão da manutenção estratégica e manutenção baseada no risco. As áreas mais relevantes para a investigação serão abordadas ao longo deste capítulo.

2.5 Manutenção Produtiva Total

A metodologia TPM surge em 1971 no Japão, desenvolvida na organização Nippondenso Co. Ltd. (Ahuja & Khamba, 2008). Esta metodologia de manutenção visa compreender todo o ciclo de vida de um equipamento (Nakajima, 1988). Deste modo, descreve as sinergias entre as várias funções organizacionais, em particular entre a produção e a manutenção, e também entre a melhoria contínua da qualidade do produto, a eficiência operacional e a segurança (Chan, Lau, Ip, Chan, & Kong, 2005).

O TPM pretende melhorar a competitividade organizacional e engloba uma abordagem estruturada para mudar a mentalidade dos recursos humanos, com o intuito de mudar a cultura de trabalho organizacional. Com esta abordagem pretende-se também que os recursos humanos dos vários departamentos e níveis hierárquicos estejam envolvidos para garantir o funcionamento eficaz do equipamento (Ahuja & Khamba, 2008). A metodologia TPM pode ser dividida em aspetos de longo e curto prazo. Relativamente ao longo prazo, a abordagem recai sobre o *design* de novos equipamentos e a eliminação de causas de perdas de tempo nos equipamentos. No curto prazo, as atividades do TPM estão relacionadas com a manutenção autónoma, que visa a melhoria de eficiência dos equipamentos desenvolvendo a capacidade dos operadores para a execução de pequenas reparações, de modo a antecipar potenciais problemas (McKone, Schroeder, & Cua, 2001).

O grupo Toyota, ao qual pertence a Nippondenso Co. Ltd, começou a implementar o TPM por forma a eliminar o desperdício. A Toyota mede no seu sistema de produção seis categorias de perdas nos

equipamentos: falhas dos equipamentos, perdas de *setup* e ajustamentos, paragens pequenas e operação em vazio, redução de velocidade, defeitos no processo e redução do rendimento. Estas seis perdas são contabilizadas através do indicador *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) (Park & Han, 2001) que é um indicador que se associa ao TPM.

As práticas básicas do TPM são frequentemente designadas de pilares. Nakajima (1988) propôs oito pilares para alcançar os objetivos do TPM, e estes incluem (Figura 4): manutenção autónoma, melhorias específicas ou também designado de melhorias no equipamento e no processo, manutenção planeada, gestão da qualidade do processo, gestão de novos equipamentos, educação e formação, saúde, segurança e meio-ambiente e por fim, TPM em áreas administrativas.

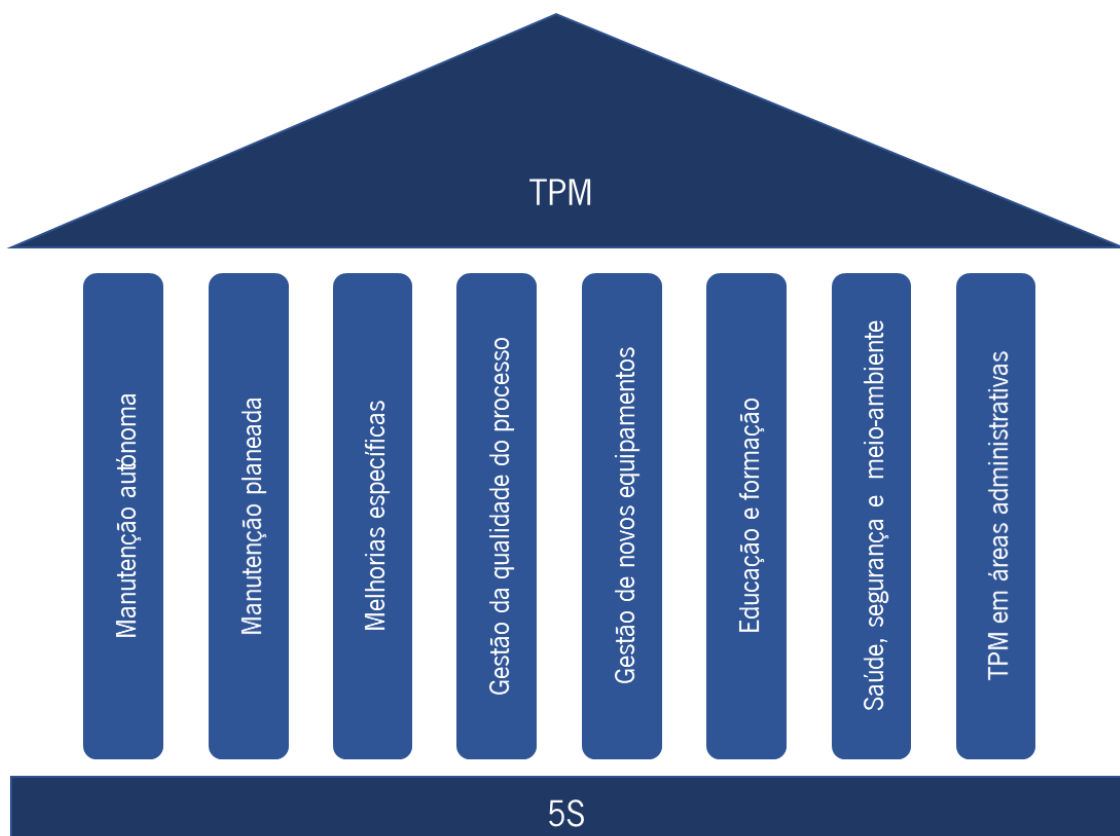


Figura 4 - Pilares TPM (adaptado de Ahuja & Khamba, 2008).

De seguida é apresentada a descrição de Ahuja & Khamba (2008) para os 8 pilares:

- **Manutenção autónoma:** Execução de pequenas operações de manutenção pelos operadores, tais como: limpeza, inspeção e lubrificação de partes do equipamento.

- **Manutenção planejada:** Intervenções de manutenção planejadas de forma a evitar avarias, por exemplo, substituição de componentes do equipamento.
- **Melhorias específicas:** Reconhecimento contínuo de possíveis melhorias e aplicação das mesmas para uma maior eficácia dos equipamentos.
- **Gestão da qualidade do processo:** Analisar os problemas e as suas causas-raiz para estabelecer as condições necessárias para atingir os “zeros desperdícios”.
- **Gestão de novos equipamentos:** Recorrer à experiência ganha relativamente aos equipamentos existentes, com o intuito de corrigir os problemas no desenvolvimento de novos equipamentos.
- **Educação e formação:** Disponibilizar uma aprendizagem contínua a todos os recursos humanos e inculcando-lhes a cultura associada ao TPM, tendo à disposição os meios para obtenção de competências. A formação contínua dos operadores permite que estes adquiram um conjunto de competências técnicas para desempenharem as suas funções de forma mais eficiente.
- **Segurança, saúde e meio ambiente:** Garantir um local de trabalho seguro, com as condições ergonómicas necessárias e ainda ter em consideração as preocupações ambientais.

A implementação da metodologia TPM é baseada num processo estruturado e repetitivo (Pomorski, 2004). O processo de implementação do TPM sugerido por Nakajima (1988) divide-se em 12 passos, agrupados em quatro fases: preparação, introdução, implementação e consolidação.

Para uma implementação do TPM eficaz e sistemática são apresentados na literatura vários critérios. Para garantir que o potencial da metodologia é totalmente aproveitado é importante que as metas e objetivos do TPM estejam integradas com os planos estratégicos das organizações (Ahuja & Khamba, 2008). Swanson (1997) recomenda que para uma implementação bem-sucedida sejam tidos em consideração os seguintes aspetos: formação dos colaboradores, manutenção preventiva, envolvimento dos operadores e equipas.

As organizações que implementam a metodologia TPM têm conseguido uma melhoria contínua das competências e conhecimentos dos recursos humanos e uma melhoria do ambiente de trabalho (Park & Han, 2001). Uma implementação bem-sucedida do TPM pode ajudar a organização a obter um melhor desempenho na produtividade, alcançando uma vantagem competitiva sobre os seus concorrentes (Ahuja & Khamba, 2008).

2.6 Manutenção Centrada na Fiabilidade

O RCM tem a sua origem na década de 60 na indústria de aviação e depois de vários anos de experiência, em 1978, o departamento de defesa dos Estados Unidos da América publicou um documento onde definiu o conceito RCM e declarou que este deveria ser usado no sistema militar (Nowlan & Heap, 1978). Na década de 1980, o RCM foi introduzido na indústria da energia nuclear. Atualmente, o RCM é usado nas variadas indústrias (Afefy, 2010; Jasiulewicz-Kaczmarek, 2015). A Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) também aplica o RCM, tendo publicado um guia sobre o RCM (NASA, 2008).

De acordo com (Moubray, 1997), o RCM é uma metodologia utilizada para o planeamento da manutenção, que permite determinar o que deve ser feito para assegurar que um determinado bem físico continue a fazer o que os seus utilizadores querem que ele faça, no seu contexto atual de operação. O RCM visa a otimização dos recursos para desenvolver e aprimorar a gestão da manutenção. O processo do RCM permite ao gestor de manutenção identificar as situações críticas de forma a assegurar as operações e reduzir os custos com a manutenção (Wilmeth & Usrey, 2000). O processo do RCM pode ser considerado um processo lógico e estruturado usado para determinar os requisitos de manutenção de qualquer ativo físico no contexto operacional, identificando as suas funções, causas das falhas e efeitos das falhas (Ahuja & Khamba, 2008).

O RCM combina os vários tipos de manutenção de forma a potenciar os pontos fortes de cada um. Com isto pretende-se maximizar a fiabilidade das instalações e dos equipamentos, minimizando os custos ao longo ciclo de vida (Afefy, 2010). O RCM obriga a que as decisões de manutenção tenham uma justificação económica e técnica consistente. A abordagem também tem como finalidade considerar a consequência da falha de um determinado componente (NASA, 2008).

De acordo com Carretero *et al.* (2003), a metodologia RCM rege-se por três aspetos principais:

- Aumentar a segurança e a fiabilidade dos sistemas, concentrando-se nas funções mais relevantes;
- Mitigar ou evitar as consequências das falhas;
- Reduzir os custos de manutenção, excluindo as ações de manutenção que não são estritamente necessárias, dado que nem todas as falhas podem ser evitadas recorrendo à manutenção preventiva.

A metodologia RCM visa responder a 7 questões aplicadas a cada órgão, equipamento ou sistema. As questões são as seguintes (Assis, 2014):

1. Quais as funções do equipamento (capacidade, qualidade, nível de serviço, custos, ambiente e segurança) e os *standards* de desempenho requeridos?
2. De que maneira podem estas funções falhar? (falhas funcionais)
3. O que causa cada falha funcional? (modo de falha)
4. O que acontece quando ocorre uma falha? (efeito da falha)
5. Qual a importância de cada falha? (consequência da falha)
6. O que pode ser feito para evitar a falha?
7. O que fazer quando não é possível ou justificável uma política de manutenção preventiva?

Para dar resposta às perguntas acima referidas e ir de encontro aos seus principais objetivos, a metodologia RCM contempla um conjunto de métodos. Os métodos RCM podem ser implementados e orientados de várias formas e podem suportar-se em vários tipos de dados. Um dos métodos utilizados é o FMEA que se baseia em: probabilidades de falha calculadas com base numa combinação de dados históricos, dados experimentais e modelação (NASA, 2008).

Foram identificadas pela NASA duas abordagens para o RCM, a abordagem rigorosa ou clássica e a abordagem simplificada. A abordagem rigorosa do RCM fornece o máximo de conhecimento e dados sobre as funções do sistema, modos de falha e ações de manutenção. Esta abordagem tem vindo a ser utilizada em indústrias onde as falhas funcionais colocam em causa a vida humana, tem implicações na segurança nacional ou tem um impacto ambiental extremo. A análise é usada para determinar quais as tarefas de manutenção mais adequadas ou possíveis requisitos de reengenharia. Deste modo, uma abordagem rigorosa deve ser limitada às seguintes situações (NASA, 2008):

- Da consequência da falha resultam riscos catastróficos em termos de meio-ambiente, saúde, segurança ou perda total do negócio.
- Os custos de manutenção e a fiabilidade apresentam valores inaceitáveis mesmo após a implementação de um FMEA simplificado.
- O conhecimento operacional das funções e falhas funcionais relativamente a um novo sistema ou equipamento é insuficiente.

A abordagem simplificada ou intuitiva do RCM segue os mesmos princípios da análise rigorosa, mas não analisa todos os modos de falha. Esta abordagem identifica e implementa ações de manutenção óbvias, fundamentadas em condições e com análises mínimas. Deve-se utilizar a abordagem intuitiva nas seguintes situações:

- A função do sistema ou equipamento é bem compreendida.
- A falha funcional do sistema ou equipamento não provoca perda de vidas, impacto extremo sobre o meio ambiente e não origina perda do negócio.

De acordo com Jardine e Tsang (2013) a implementação deve seguir um conjunto de etapas representadas na Figura 5.

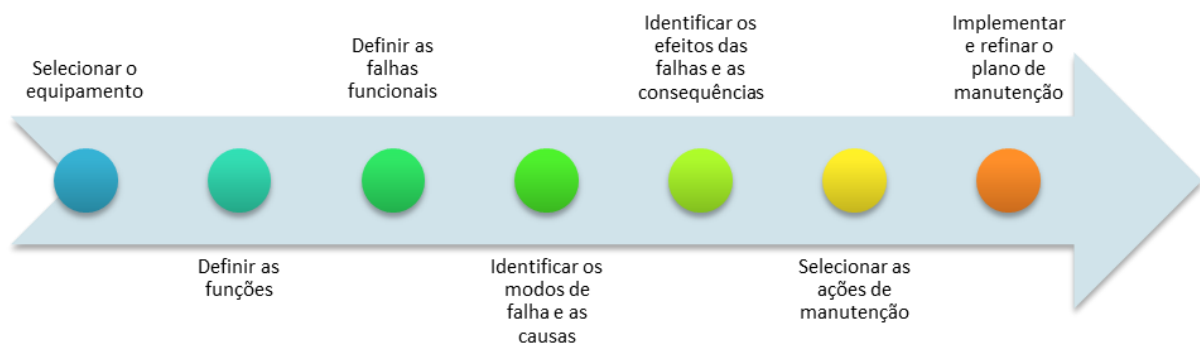


Figura 5 - Etapas para implementação do RCM (adaptado de Jardine e Tsang (2013)).

As etapas apresentadas na Figura 5 podem ser descritas da seguinte forma (Jardine & Tsang, 2013):

1. Selecionar o equipamento: realização de uma análise ao processo de produção para identificar os principais ativos físicos e priorizá-los de acordo com a sua criticidade.
2. Definir as funções: As funções de cada equipamento são definidas. Para cada função existem limites que definem a operação normal num ambiente específico.
3. Definir as falhas funcionais: Quando o sistema está a operar fora dos parâmetros normais, é considerado que falhou, observando-se assim uma falha funcional. As falhas funcionais podem ser parciais ou totais.
4. Identificar os modos de falha e as causas: O modo de falha é a forma como o sistema falha ao executar a sua função. Assim sendo, é identificada a cadeia de eventos que ocorrem aquando de uma falha. É necessário perceber qual foi o evento que provocou a falha, tendo em consideração que para cada falha poderá existir mais que uma causa.

5. Identificar efeitos das falhas e consequências: Determinar o que irá acontecer quando ocorre uma falha funcional, e avaliar a severidade do efeito da falha na segurança, ambiente, operação e manutenção.
6. Selecionar as ações de manutenção: Recorre-se a uma árvore de decisão para identificar as ações de manutenção que irão mitigar as falhas funcionais.
7. Implementar e refinar o plano de manutenção: O plano de manutenção definido na etapa anterior é implementado e é feita uma análise aos resultados obtidos com a sua implementação com o intuito de perceber se o plano necessita de ser melhorado ou alterado de modo a garantir a sua eficácia.

Na implementação da metodologia RCM existem algumas dificuldades, tais como as apresentadas por Carretero *et al.* (2003):

- A implementação de projetos RCM tem uma duração elevada, que pode em alguns casos variar entre dois e três anos. Nestes projetos de duração elevada são consumidos muitos recursos, tempo e energia que representa custos para a organização que não obtém benefícios imediatos.
- A envolvimento dos recursos humanos das organizações, gestores e operários, é fundamental para o sucesso da implementação da metodologia. Os especialistas terão um papel fundamental na apresentação e explicação dos benefícios da metodologia aos grupos de colaboradores envolvidos.
- Os especialistas do RCM geralmente solicitam dados relativos a taxas de avarias, ao tempo médio entre avarias (MTBF), diversos custos, entre outros, e estes muitas vezes não são conhecidos.

Segundo Campbell & Jardine (2001) existe um conjunto de motivos que levam à falha da implementação do RCM, e estes estão relacionados com as dificuldades apresentadas anteriormente:

- Falta de gestão e liderança.
- Pouca compreensão dos objetivos e potencialidades do RCM.
- Escassez de recursos para executar o programa.
- Falta de informação acerca do equipamento.
- Falta de avaliação do programa RCM nas fases iniciais (há a necessidade de definir indicadores para acompanhamento do programa RCM).

- Os resultados alcançados demoram a tornarem-se observáveis (de modo a verificar se as ações de manutenção são apropriadas).

2.7 Análise da Fiabilidade

2.7.1 Importância da Fiabilidade

Conhecer a fiabilidade de um ativo é fundamental por várias razões (Gulati & Smith, 2009a):

- **Satisfação do cliente:** um ativo não fiável afeta a satisfação do cliente;
- **Reputação:** a reputação da organização que produz o ativo está diretamente relacionada com a fiabilidade do seu ativo.
- **Vantagem competitiva:** algumas empresas líderes apostaram na fiabilidade dos seus ativos e com isso conseguiram ganhar vantagem sobre a concorrência.

Os principais elementos ligados à fiabilidade são: a probabilidade, a operação satisfatória, o tempo e as condições da operação (Pascual & Kumar, 2016).

O primeiro elemento relacionado com a fiabilidade é a probabilidade, normalmente é apenas necessária uma expressão matemática, como uma fração ou uma percentagem que divide os eventos favoráveis pelo número total de eventos. No entanto, quando um número de elementos idênticos opera sob condições idênticas, falhas podem ocorrer em momentos diferentes e desconhecidos. A aleatoriedade das ocorrências pode ser determinada através da análise estatística. Portanto, as falhas são descritas como eventos probabilísticos e a definição da fiabilidade depende de conceitos oriundos da teoria da probabilidade.

Relativamente à operação satisfatória são definidos um conjunto de critérios específicos de forma a esclarecer o que é uma operação satisfatória. Normalmente, recorre-se à combinação de fatores de caráter quantitativo e qualitativo para estabelecer as funções que o sistema ou produto deve desempenhar para ser considerado funcional.

O tempo de operação é um dos mais importantes elementos da fiabilidade, pois é através da medição que se conhece o desempenho do sistema. O conhecimento do parâmetro tempo é fundamental para avaliar a probabilidade de que uma tarefa seja terminada ou que uma função seja executada de acordo com o previsto. Por fim, as condições de operação são constituídas por fatores ambientais, como a localização geográfica de onde o sistema opera, perfil operacional, humidade, ciclos de temperatura, vibrações, transporte entre outros fatores.

Os fatores mencionados devem ser considerados não só no período de operação, mas também durante os períodos em que o sistema se encontra em reserva ou em deslocação. Os períodos em que o sistema se encontra em transporte, manipulação e armazenamento podem ser mais críticos do ponto de vista da fiabilidade do que as condições de operação normal (Pascual & Kumar, 2016).

De um modo geral pode-se afirmar que a fiabilidade de um ativo significa uma operação bem-sucedida ou ausência de falha. Conclui-se que um produto que falha várias vezes tem uma baixa fiabilidade e vice-versa (Assis, 2014).

De seguida são apresentadas algumas definições de conceitos, com o intuito de uniformizar as terminologias utilizadas. A falha define-se como o fim da capacidade do elemento para executar a função requerida e, depois de ocorrida a falha, o elemento encontra-se avariado. Desta forma, pode-se referir que a avaria diz respeito ao acontecimento e a falha ao estado (EN 13306, 2017).

De acordo com a norma EN 13306 (2017) a fiabilidade pode ser definida como “Aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo.” Assim sendo, a definição de fiabilidade traduz-se na probabilidade de um sistema operar durante um determinado período.

A forma como se avalia a fiabilidade depende do tipo de sistema, ou seja, se é um sistema reparável ou não reparável. Um sistema é considerado reparável se é tecnicamente reparável e se a sua reparação é viável do ponto de vista económico. Num sistema reparável o fim de vida surge quando o custo de manutenção ultrapassa o custo de substituição (vida útil) ou quando se torna obsoleto, sendo assim mais económico recorrer à substituição (vida económica). No caso de um sistema não reparável, quando ocorre uma falha este tem de ser substituído. Na literatura o termo componente é, geralmente, utilizado para descrever um sistema não reparável (Jardine & Tsang, 2013).

2.7.2 Função Estatística da Fiabilidade

A definição matemática considera que a fiabilidade $R(t)$ é a probabilidade de um sistema ser bem sucedido no intervalo de 0 ao tempo t , onde T é uma variável aleatória que indica o tempo até à falha (Pham, 2006):

$$R(t) = P(T > t) \wedge t \geq 0 \quad (1)$$

A expressão matemática que define a função de distribuição acumulada do tempo de falha de um dado sistema é:

$$F(t) = P(T \leq t) \wedge t \geq 0 \quad (2)$$

A expressão da função fiabilidade pode ser obtida através do integral da função densidade de probabilidade:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (3)$$

2.7.3 Fiabilidade de Sistemas Não Reparáveis

De acordo com O'Connor e Kleyner (2012), a fiabilidade de um sistema não reparável é descrita pela probabilidade de funcionamento, acima de um determinado período de tempo, podendo ocorrer apenas uma falha. Desta forma quando se trata de sistemas não reparáveis, a fiabilidade pode ser calculada recorrendo à análise estatística de tempos de sobrevivência de vários componentes do mesmo tipo utilizados num ou mais equipamentos. O tempo que decorre desde a colocação em serviço do componente novo e a ocorrência da sua falha, é representado pelo tempo até à falha ou *time to failure* (TTF).

A fiabilidade dos componentes como já referido anteriormente pode ser descrita pela sua função fiabilidade, função densidade de probabilidade do tempo de vida, pelo *Mean Time To Failure* ou tempo médio entre falhas (MTTF) ou pela função de risco.

O MTTF pode ser obtido através do valor esperado do tempo de falha de um componente (Assis, 2014):

$$MTTF = \int_{t=0}^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt = \int_{t=0}^{\infty} R(t) \cdot dt \quad (4)$$

A probabilidade condicional de falha no intervalo $(t, t + dt)$ de um componente que foi colocado em serviço no momento $t = 0$ e se sabe que sobreviveu até t designa-se de função de risco, $h(t)$.

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (5)$$

A função de risco pode ter vários comportamentos, pode ser uma função constante, crescente ou decrescente com o tempo (O'Connor & Kleyner, 2012).

2.7.4 Fiabilidade de Sistemas Reparáveis

A fiabilidade de um sistema reparável representa a probabilidade de não ocorrência de avarias durante um determinado período de tempo, na qual é possível ocorrerem mais do que uma avaria (O'Connor & Kleyner, 2012).

A avaliação da fiabilidade deste tipo de sistemas pode ser realizada recorrendo à taxa de avarias. A taxa de avarias $\lambda(t)$ ou taxa de ocorrência de falhas de um sistema (ROCOF – *Rate of Occurrence of Failures*) é definida como sendo a derivada em ordem ao tempo do número esperado de falhas até ao instante t .

$$\lambda(t) = \frac{dE[N(t)]}{dt} \quad (6)$$

Sendo que $N(t)$ é o número de falhas no sistema no intervalo $(0, t)$ e $E[N(t)]$ é o número esperado de falhas. O conceito de taxa de avarias deve ser relacionado a acontecimentos frequentes e observados por unidade de tempo, sendo um indicador usado, unicamente, na quantificação de sistemas reparáveis. A variação da taxa de avarias ao longo do tempo é representada pela curva da banheira.

O tempo médio entre falhas, MTBF, é uma medida de fiabilidade quando se trata de sistemas reparáveis. Este mede o tempo médio em que o equipamento permanece em funcionamento até a ocorrência de uma avaria. O valor pontual ou instantâneo do MTBF é dado pelo inverso da taxa de avarias (Pascual & Kumar, 2016).

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} \quad (7)$$

2.7.5 Curva da Banheira

A curva da banheira representa o comportamento de um sistema reparável diante a falha (Figura 6). Nesta curva distinguem-se três períodos característicos: período de infância, período vida útil ou maturidade e período de degradação (Assis, 2014).

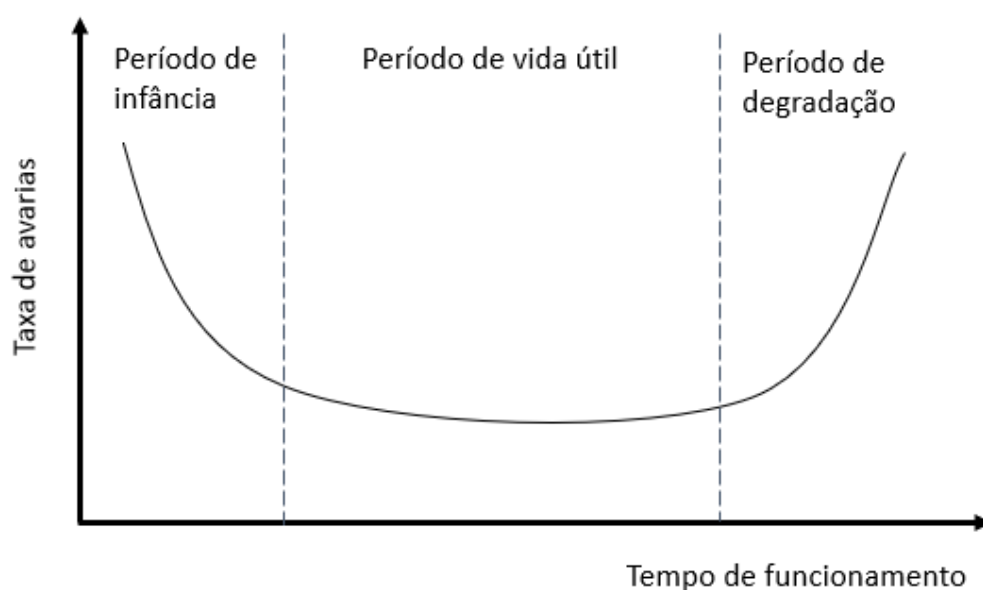


Figura 6 - Curva da banheira.

Na primeira fase, o sistema apresenta uma taxa de avarias decrescente, conhecidas como um período de mortalidade infantil. Na segunda fase, a taxa de avarias é constante, designada como um intervalo de falhas aleatórias. Na última fase, a taxa de avarias é crescente e também designada como um período de falhas crescentes (Gulati & Smith, 2009a).

2.8 Manutibilidade

A norma EN 13306 (2017) define a manutibilidade como “aptidão de um bem, sob condições de utilização definidas, para ser mantido ou restaurado, de tal modo que possa cumprir uma função requerida, quando a manutenção é realizada em condições definidas, utilizando procedimentos e recursos prescritos”. A manutibilidade está relacionada com a conceção e a fabricação do ativo. Aquando da realização dos estudos de manutibilidade são considerados todos os aspetos que sejam suscetíveis de influenciar a aptidão de um órgão para receber manutenção. Conclui-se assim que, a manutibilidade é a capacidade de um sistema ser mantido em boas condições operacionais, e a manutenção representa o conjunto de ações delineadas com a finalidade de repor o sistema em falha nas condições operacionais adequadas. Ou seja a manutibilidade é um parâmetro de *design* e a manutenção é o resultado do *design* do sistema (Assis, 2014).

A manutibilidade pode ser expressa através do tempo de manutenção, da frequência de manutenção e dos custos de manutenção, expressos da seguinte forma (Pascual & Kumar, 2016):

- Através da probabilidade de um item continuar em operação ou ser restaurado para sua condição de operação num determinado período, quando a ação de manutenção for executada de acordo com os procedimentos e recursos definidos.
- Expresso através da probabilidade de não ser necessário realizar mais do que um determinado número de ações de manutenção, para um período em que o sistema está em funcionamento de acordo com os procedimentos previamente estabelecidos.
- Expresso como a probabilidade de o custo de manutenção de um sistema não exceder um determinado valor para um determinado período, em que o sistema está em funcionamento de acordo com os procedimentos previamente estabelecidos.

A manutibilidade, geralmente, é representada pelo tempo médio de reparação ou *mean time to repair* (MTTR) ou, em alguns casos, pelo *time to repair* (TTR) (Gulati & Smith, 2009). A função de distribuição da variável aleatória tempos de manutenção ou *time to repair* TTR é designada de função de manutibilidade. Esta função expressa a probabilidade de a operação do sistema ser reestabelecida no tempo t . Sendo $M(t)$ a função de manutibilidade, então (Pascual & Kumar, 2016):

$$M(t) = \Pr(TTR \leq t) = \int_0^t m(t)dt \quad (8)$$

Em que, $m(t)$ é a função densidade da variável TTR. As distribuições mais comuns para esta variável são: Exponencial Negativa, Normal e *Weibull*. De acordo com O'Connor & Kleyner (2012) a manutibilidade afeta diretamente a disponibilidade, visto que o tempo despendido em reparações de falhas e/ou numa intervenção de manutenção preventiva retira, geralmente, o sistema de um estado de disponibilidade. Assumindo um estado estacionário, e que as intervenções de manutenção ocorram a uma taxa constante e os indicadores estejam expressos na mesma unidade de medida, a disponibilidade é expressa por (Gulati & Smith, 2009):

$$A_a = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (9)$$

2.9 Custo do Ciclo de Vida

O custo do ciclo de vida é um conceito associado à engenharia, economia, finanças e técnicas estatísticas, e considera todos os custos relativos a um ativo durante todos os períodos de propriedade

(Gopalakrishnan & Banerji, 2015). De acordo com a norma NP EN 13306 (2007) o custo do ciclo de vida ou *life cycle cost* (LCC) define-se por: “todos os custos gerados durante o ciclo de vida do bem”.

Um modelo de custos que pretenda estimar o custo de todo o ciclo de vida do sistema deve incluir os custos relativos à pesquisa e desenvolvimento, engenharia, projeto, produção, operação, manutenção e eliminação. Nem sempre é possível quantificar com precisão alguns destes custos, mas estes são importantes para demonstrar a eficácia de um sistema (Pascual & Kumar, 2016).

Segundo Assis (2014), o LCC de um equipamento inclui dois custos: o custo de propriedade e o custo de operação. O custo de propriedade é composto pela soma do custo de aquisição e instalação, com o custo de manutenção e ainda o custo de desativação e eliminação. O custo de operação diz apenas respeito aos custos variáveis, relativos aos recursos utilizados na produção de bens e serviços. Poderão também ser incluídos nesta rubrica os custos de oportunidade.

O conceito de LCC é utilizado para a análise de investimentos, ou seja, em estudos comparativos de alternativas de projetos, como por exemplo: substituição de equipamentos, grandes reparações e modificações de equipamentos.

A existência de um grande número de variáveis que têm que ser geridas de modo a estimar os custos reais de um equipamento, durante a sua vida útil, origina incerteza (Durairaj, 2002). Frequentemente o custo total de um sistema de produção não é estático, e os fatores que originam essa variabilidade (Márquez, 2007):

- Inflação;
- Aumento/ diminuição de custos;
- Aumento/diminuição do poder de compra;
- Limitações de orçamento;
- Aumento da concorrência.

2.10 Sistemas de Informação para a Manutenção

A tomada de decisão deve ser suportada por um conjunto de informações retiradas dos dados existentes, como tal existe a necessidade de que os dados estejam disponíveis em tempo real. Desta forma destaca-se a importância dos sistemas de informação na gestão da manutenção (Labib, 2004).

Os CMMS são uma ferramenta de apoio à estratégia de manutenção das organizações. O sistema de informação e o conjunto de funções que processam os dados para produzir indicadores suportam as atividades de manutenção (Sharma & Govindaraju, 2010).

De acordo com Labib (2004), os CMMS são um elemento central dos departamentos de manutenção de muitas organizações e oferece suporte a vários níveis, tais como:

- Suportar a manutenção baseada em condições (CBM) das máquinas;
- Acompanhar a movimentação de sobressalentes;
- Permitir que os operadores comuniquem as falhas rapidamente, permitindo à equipa de manutenção uma resolução de problemas mais rápida;
- Facilitar o aperfeiçoamento da comunicação entre o pessoal da produção e da manutenção;
- Fornecer aos planeadores da manutenção a informação necessária para o planeamento das intervenções de manutenção;
- Fornecer aos gestores de manutenção e às chefias as informações sobre o desempenho do departamento de manutenção.

De acordo com Wienker, Henderson e Volkerts (2016), a implementação de um CMMS permite uma comunicação rápida e eficaz e traz muitos benefícios, como melhor planeamento e escalonamento, fácil acesso a dados históricos e geração de relatórios, permitindo a redução de custos associados aos sobressalentes e atividades de manutenção.

A capacidade dos CMMS de gerir os dados de manutenção contribui para melhorar a comunicação e a tomada de decisão na gestão da manutenção. A acessibilidade das ligações de informação e comunicação nos CMMS proporcionam uma melhor comunicação das necessidades de reparação e prioridades de trabalho, melhor coordenação através de relações de trabalho mais estreitas entre manutenção e produção e maior capacidade de resposta da manutenção (Ahuja & Khamba, 2008).

No que diz respeito aos sobressalentes, permite acompanhar o movimento dos sobressalentes e requisições quando necessário (Labib, 2004) e facilita a integração das perspetivas de logística e manutenção. As decisões de logística e manutenção integradas permitirão uma programação e execução de intervenções de manutenção mais eficientes (Cavalieri, Garetti, Macchi, & Pinto, 2008).

Labib (2004) apontou a falta de apoio à tomada de decisão como sendo a principal fraqueza dos CMMS comercializados. O uso da tecnologia como suporte à manutenção levou ao aparecimento do conceito

de *e-maintenance*. O termo surgiu em 2000 e é geralmente definido como um conceito onde os ativos são monitorizados e geridos através da internet (Levrat, lung, & Marquez, 2008). Atualmente, o conceito *e-maintenance* apresentado pela indústria refere-se à integração de tecnologias de informação e comunicação e estratégias de manutenção, como uma abordagem disruptiva para apoiar a integração de novas tecnologias em todas as áreas da organização (Muller, Crespo Marquez, & lung, 2008).

2.11 Avaliação de Desempenho

A avaliação do desempenho da manutenção está dependente dos objetivos definidos nos vários níveis organizacionais, ou seja, nível estratégico, tático e operacional. Os objetivos nestes níveis influenciam o desempenho e qualidade da manutenção (Parida & Chattopadhyay, 2007). A capacidade de sobrevivência de uma organização está também ligada à eficiência e eficácia do sistema de manutenção. Como tal, é importante medir o desempenho do sistema, recorrendo ao uso de técnicas de medição de desempenho (Parida & Kumar, 2006). Um sistema de medição de desempenho assenta num conjunto de métricas usadas para quantificar a eficiência e eficácia das ações (Parida & Kumar, 2006). De modo a facilitar a identificação de tendências com variações no nível de produtividade ao longo do tempo, e as comparações realizadas entre organizações de diferentes escalas, geralmente recorre-se ao uso de indicadores de desempenho na manutenção (Tsang, Jardine, & Kolodny, 1999).

De seguida aborda-se a seleção de indicadores de desempenho, o indicador OEE (dada a sua relevância para a manutenção), a norma europeia NP EN 15341 (2009) (fazendo referência aos indicadores mais relevantes para esta investigação), por fim é realizado um levantamento de alguns métodos e modelos de medição de desempenho utilizados na gestão da manutenção.

2.11.1 Seleção de Indicadores de Desempenho

Os indicadores de desempenho visam destacar as ineficiências de uma organização e com isso identificar os problemas associados às ineficiências. Um indicador de desempenho é utilizado para comparar as condições atuais e um conjunto de condições de referência (Parida, Kumar, Galar, & Stenström, 2015). Segundo Parida & Chattopadhyay (2007), os indicadores de desempenho da manutenção estão relacionados com a qualidade, a melhoria da produtividade, a saúde, a segurança, a utilização da capacidade, a redução de custos, os desperdícios e o tempo.

Muchiri, Pintelon, Gelders, & Martin (2011) concluíram que a literatura propõe várias listas de indicadores de desempenho, mas falta uma abordagem metodológica para selecioná-los, de modo que os utilizadores escolhem os indicadores mais relevantes para a sua organização. Os autores referem que

os indicadores de desempenho devem ser definidos após uma análise rigorosa da interação entre a área da manutenção e as restantes áreas organizacionais.

A seleção dos indicadores que melhor se ajustam ao processo de cada organização é fundamental para garantir a eficácia, ou seja, os indicadores têm de estar em concordância com os objetivos da organização. É fundamental selecionar os critérios que serão monitorizados continuamente e garantir que o custo da sua monitorização não é superior ao benefício real. Pode-se destacar quatro questões básicas para avaliar se determinado indicador deve ser implementado e/ou monitorizado (Pascual & Kumar, 2016):

- É fácil de medir?
- É medido rapidamente?
- Fornece dados relevantes de maneira simples?
- É facilmente representado?

Alguns dos indicadores mais utilizados na área da gestão da manutenção estão relacionados diretamente com a fiabilidade e já foram abordados nos pontos anteriores, e são: o MTBF, o MTTF, o MTTR e a taxa de avarias (Qingfeng, Wenbin, Xin, Jianfeng, & Qingbin, 2011). Outro indicador muito utilizado para medir o desempenho da manutenção é o OEE, esta métrica foi introduzida por Nakajima (1988) associado à metodologia TPM.

Ao longo dos anos têm sido desenvolvidos vários métodos e modelos para medir o desempenho da manutenção (Parida & Kumar, 2006). Uma estrutura conceptual é capaz de mostrar graficamente ou em narrativa, destacando os principais fatores, construções ou variáveis e as relações entre eles. As estruturas podem ser elaboradas de forma mais rudimentar ou mais elaborada, orientadas para a teoria ou para o senso comum, e ainda podem ser descritivas ou causais (Parida et al., 2015). O principal objetivo de uma estrutura de medição de desempenho é definir etapas que permitam definir os indicadores mais relevantes para avaliar o desempenho. Os indicadores devem ser definidos tendo em consideração as várias funções e os objetivos da organização. De seguida são explicadas de forma sucinta algumas estruturas referidas na literatura, que suportam a medição de desempenho na área da manutenção.

O *Balanced Scorecard* (BSC) fornece uma abordagem alternativa e holística à mensuração, esta foi desenvolvida tendo por base que nenhuma medida isolada é suficiente para indicar o desempenho total de um sistema (Garg & Deshmukh, 2006). O BSC apresenta uma abordagem multidimensional que tem

como objetivo medir o desempenho das organizações, baseia-se em quatro perspetivas, a saber, financeira, clientes, processos internos, formação e desenvolvimento. Apesar das quatro perspetivas serem as mais comuns, a sua utilidade e uso vai depender da organização, estratégia de negócio, entre outros (Pascual & Kumar, 2016). De seguida são apresentadas as quatro perspetivas do BSC pelo ponto de vista da manutenção (Galar, Parida, Kumar, Stenstrom, & Berges, 2011):

1. Perspetiva financeira: na perspetiva financeira da manutenção o que se pretende é alcançar a disponibilidade dos equipamentos, com o menor custo possível, máxima segurança e sem afetar o meio-ambiente. Isto deve ser alcançado através de uma gestão da manutenção adequada que se refletirá nas métricas analisadas nesta perspetiva.
2. Perspetiva do cliente: os clientes da manutenção são os vários departamentos da organização que necessitam dos seus serviços. Nesta perspetiva devem ser consideradas as melhorias na satisfação com a prestação dos serviços, tais como, resultado da ação de manutenção, tempo de resposta, disponibilidade dos equipamentos, entre outros.
3. Perspetiva dos processos internos: nesta perspetiva devem ser incluídos indicadores relacionados com a qualidade do processo de manutenção. Esta inclui assim todas os dados que respondem às seguintes perguntas: o que é feito, como é feito, quando foi, onde, qual é a fiabilidade e como é controlado.
4. Perspetiva formação e desenvolvimento: expressa as metas relacionadas com a aprendizagem e inovação dos recursos humanos afetos à manutenção.

A aplicação do BSC na manutenção requer a identificação dos intervenientes envolvidos no processo. A manutenção deve definir os seus sistemas de gestão e medição de acordo com a estratégia organizacional e os requisitos dos *stakeholders*. O conjunto de medidas é uma forma de comunicar a visão e a estratégias da organização tendo por base um conjunto coerente e equilibrado de medidas de desempenho (Pascual & Kumar, 2016).

De acordo com estudos onde se aplicaram o BSC para desenvolver o processo de gestão de operações e desempenho, pode-se aferir que é realçado o valor e não o custo das operações e da manutenção no ambiente de negócios, e que é enfatizada a necessidade de ter uma política baseada no processo de fabrico com uma abordagem orientada para os negócios de mais ou menos longo prazo (Garg & Deshmukh, 2006).

Outra abordagem que permite a avaliação de desempenho da manutenção é o *Value-Driven Maintenance* (VDM) que está dividida em quatro áreas de valor para a manutenção: utilização de ativos, controlo de custos, alocação de recursos e saúde, segurança e ambiente. Estas áreas são utilizadas para calcular o valor das estratégias de manutenção recorrendo à fórmula do valor atual líquido (VAL) (Parida et al., 2015). As áreas de valor para a manutenção mencionadas representam o núcleo da função manutenção nas organizações (Figura 7). Como tal, é importante que exista um equilíbrio entre as quatro áreas de forma a maximizar o valor para as partes interessadas (Stenström, Parida, Kumar, & Galar, 2013).

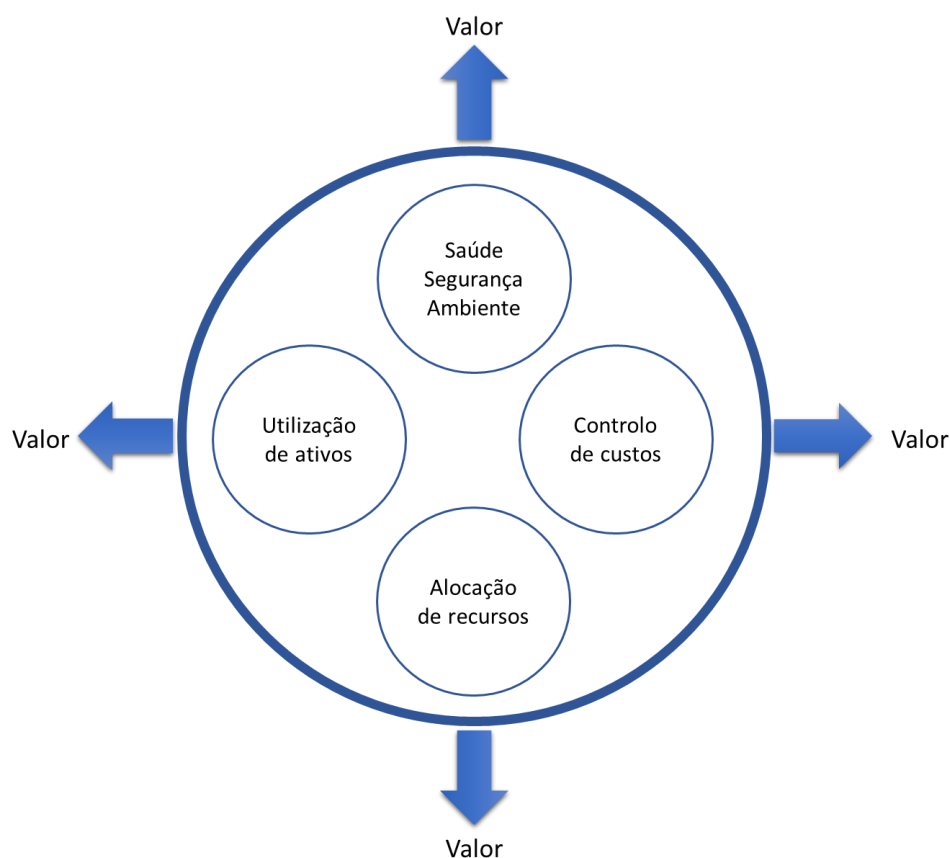


Figura 7 - Áreas de valor para a manutenção (adaptado de Stenström *et al.* (2013)).

Muchiri *et al.* (2011) apresentam uma estrutura que visa mostrar que os indicadores de desempenho não devem ser definidos isoladamente. A estrutura conceptual está dividida em três secções principais (alinhamento da manutenção com a produção, esforço da manutenção/análise de processo e análise de resultados de manutenção) que visam definir o processo de tomada de decisão recorrendo ao alinhamento dos objetivos corporativos e de produção.

A primeira secção da estrutura conceptual visa o alinhamento dos objetivos da manutenção com a estratégia corporativa e de produção. Analisando os requisitos das partes interessadas, os requisitos de desempenho do sistema de produção podem ser definidos. A segunda secção está relacionada com a

gestão do processo de manutenção/esforço da manutenção, esta secção é necessária para atingir os resultados esperados e os objetivos da manutenção. A última secção diz respeito à análise de resultados de manutenção que após a conclusão dos processos de manutenção, visa a monitorização dos resultados durante um determinado período. Os resultados são medidos considerando a condição e desempenho dos equipamentos, custos de manutenção e uso efetivos dos recursos (Muchiri *et al.*, 2011). Para gerir o processo de manutenção é necessário definir indicadores de desempenho para cada secção, sendo que os indicadores relacionados com o processo de manutenção são designados de *leading indicators*. Após a conclusão do processo de manutenção é necessário monitorizar os resultados da manutenção para um determinado período. Os indicadores associados aos resultados da manutenção são designados de *lagging indicators*, pois são conhecidos após um determinado período ou ocorrência de eventos (Muchiri *et al.*, 2011).

A implementação de estruturas de medição de desempenho da manutenção deve recorrer a métricas que possibilitem aumentar o desempenho e a competitividade das organizações. Mas é de salientar que a sua implementação é complexa, tornando-se num grande desafio para os gestores (Parida *et al.*, 2015). O uso ineficaz de dados para melhorar a operação sem o recurso a ferramentas adequadas, a falta de envolvimento ativo por parte da gestão, a falta de comunicação e divulgação de resultados e a falta de alinhamento entre a medição de desempenho e os objetivos estratégicos da organização, são alguns dos fatores que tornam complexa a implementação de estruturas de medição de desempenho (Parida & Kumar, 2006).

2.11.2 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

O OEE é uma métrica quantitativa que tem como objetivo medir a produtividade individual dos equipamentos (Muchiri & Pintelon, 2008). O indicador revela uma boa perspetiva de melhoria de produção, mas deve ser conjugado com outras medidas operacionais, de forma a obter uma perspetiva geral da fábrica. Salienta-se que o OEE é mais adequado para ambientes fabris com um elevado número de processos, onde a utilização da capacidade é uma prioridade e as paragens e interrupções trazem custos elevados pela perda de capacidade de produção (Dal, Tugwell, & Greatbanks, 2000).

O OEE é obtido tendo em consideração um conjunto de perdas agrupadas em três fatores: disponibilidade, *performance* e qualidade, e o resultado é obtido através da multiplicação dos três fatores (Dal *et al.*, 2000; De Groote, 1995; Parida & Kumar, 2006).

O fator disponibilidade inclui perdas por avaria, *setup* ou ajustes. No fator *performance* são consideradas as perdas por redução de velocidade e paragens de curta duração por fim, o fator qualidade está relacionado com as perdas por produto não conforme (Dal et al., 2000).

2.11.3 Norma NP EN 15341 (2009)

A Norma NP EN 15341 (2009) estabelece um conjunto de indicadores de desempenho da manutenção, que visam apoiar a gestão com o intuito de atingir a excelência da manutenção.

Os indicadores apresentados na norma europeia medem o desempenho da manutenção tendo por base a influência de um conjunto de fatores. Estes fatores dividem-se em três categorias: indicadores económicos, organizacionais e técnicos em cada grupo existem três níveis de indicadores (NP EN 15341, 2009).

De seguida são apresentados alguns indicadores apresentados na norma. A escolha recaiu sobre a sua relevância para esta investigação. Os indicadores da norma NP EN 15341 (2009) podem ser utilizados para medir o desempenho de toda a produção, de uma linha ou de um determinado bem ou equipamento. Os indicadores são organizados através de níveis (1 a 3), sendo que os de nível inferior são descrições mais detalhadas dos indicadores de nível superior.

Alguns indicadores económicos mais relevantes são:

$$E1 = \frac{\text{Custo total da manutenção}}{\text{Valor de substituição dos bens imobilizados}} \times 100 \quad (10)$$

$$E7 = \frac{\text{valor médio do inventário dos materiais de manutenção}}{\text{Valor de substituição dos bens imobilizados}} \times 100 \quad (11)$$

$$E11 = \frac{\text{Custo total dos materiais de manutenção}}{\text{Custo total da manutenção}} \times 100 \quad (12)$$

$$E12 = \frac{\text{Custo total dos materiais de manutenção}}{\text{Valor médio do inventário dos materiais de manutenção}} \quad (13)$$

O indicador E12, apresentado na equação (13) representa a taxa de rotação ou *turnover* do armazém.

$$E15 = \frac{\text{Custo da manutenção corretiva}}{\text{Custo total da manutenção}} \times 100 \quad (14)$$

$$E16 = \frac{\text{Custo da manutenção preventiva}}{\text{Custo total da manutenção}} \times 100 \quad (15)$$

De seguida são também apresentados alguns indicadores classificados como técnicos pela norma NP EN 15341 (2009).

$$T1 = \frac{\text{Tempo total de funcionamento}}{\text{Tempo total de funcionamento} + \text{tempo de indisponibilidade por manutenções}} \times 100 \quad (16)$$

$$T8 = \frac{\text{Tempo de indisponibilidade provocado por manutenção preventiva}}{\text{Tempo total de indisponibilidade devido à manutenção}} \times 100 \quad (17)$$

$$T15 = \frac{\text{Tempo total de funcionamento}}{\text{N}^\circ \text{ de ordens de trabalho de manutenção que causaram indisponibilidade}} \times 100 \quad (18)$$

$$T17 = \frac{\text{Tempo total de funcionamento}}{\text{Número total de avarias}} \quad (19)$$

O indicador T17 (equação (19)) é designado de MTBF, este já foi referido na subsecção 2.7.4 ao abordar a fiabilidade dos sistemas reparáveis.

De seguida são apresentados alguns indicadores organizacionais presentes na norma.

$$O1 = \frac{\text{Efectivo do pessoal interno de manutenção}}{\text{Efectivo interno total}} \times 100 \quad (20)$$

$$O11 = \frac{\text{Tempo dispendido em manutenção corretiva de urgencia}}{\text{Tempo total de indisponibilidade devido à manutenção}} \times 100 \quad (21)$$

$$O26 = \frac{\text{N}^\circ \text{ de sobressalentes fornecidas pelo armazém}}{\text{N}^\circ \text{ total de peças de reserva requisitadas pela manutenção}} \times 100 \quad (22)$$

2.12 Conclusão

O presente capítulo, referente à gestão da manutenção, teve como objetivo expor uma análise da literatura realizada para suportar o desenvolvimento da metodologia de gestão de *stocks* de sobressalentes. Os sobressalentes estão presentes em muitas das ações de manutenção o que os torna parte importante no processo de gestão da manutenção. Posto isto, em primeiro lugar foi realizado um enquadramento da evolução da manutenção com o intuito de perceber o progresso da gestão da manutenção ao longo dos anos.

Após o conhecimento básico do conceito de manutenção foi abordado o planeamento da manutenção e os tipos de manutenção, pois o consumo de sobressalentes de uma organização está relacionado com o planeamento da manutenção e com os tipos de manutenção que necessitam deles. Considerou-se também relevante abordar o TPM e o RCM. O TPM é um sistema de manutenção que compreende todo o ciclo de vida de um equipamento, ou seja, inclui o planeamento, produção e manutenção. Considera as sinergias entre as várias funções organizacionais, em particular entre a produção e a manutenção, e considera também a melhoria contínua da qualidade do produto, a eficiência operacional e a segurança (Chan et al., 2005). O RCM é uma metodologia utilizada no planeamento da manutenção, que visa determinar o que deve ser feito para assegurar que um determinado bem físico continue a fazer o que os seus utilizadores querem que ele faça, no seu contexto atual de operação. O RCM pretende otimizar os recursos para desenvolver e aprimorar a gestão da manutenção (Moubray, 1997).

A análise da fiabilidade foi também um ponto abordado neste capítulo, não só pela sua importância para a satisfação do cliente, reputação da organização e vantagem competitiva, mas também porque conhecer os seus conceitos básicos pode ser importante na previsão de sobressalentes.

De seguida, foram abordados de forma breve e sucinta os conceitos de manutibilidade e de custo de ciclo de vida, que permitem ajudar a alargar o conhecimento sobre gestão da manutenção. É também feita uma revisão da literatura sobre os CMMS, que são uma ferramenta de apoio à estratégia de manutenção das organizações (Sharma & Govindaraju, 2010). O sistema de informação e o conjunto de funções que processam os dados para produzir os indicadores que suportam as atividades de manutenção e podem acompanhar o movimento dos sobressalentes e requisições quando necessário, facilitando a integração do conhecimento da logística com o conhecimento da manutenção (Labib, 2004).

Por fim, foi abordada a avaliação de desempenho tendo como foco a importância da seleção de indicadores, o OEE, os indicadores da Norma NP EN 15341 (2009) e os principais métodos e modelos usados na medição de desempenho da gestão da manutenção.

3. GESTÃO DE *STOCKS*

3.1 Introdução

Neste capítulo foram abordados os métodos de controlo de inventário, onde se incluem os modelos determinísticos e os modelos estocásticos, e a previsão da procura, onde foram abordados a caracterização da procura, as técnicas de previsão, os modelos de séries temporais e a avaliação das previsões.

A gestão de *stocks* representa uma parte da gestão da cadeia de abastecimento e visa planear, implementar e controlar o fluxo do armazenamento, dos bens e dos dados, com a finalidade de atender às necessidades dos clientes (Singh & Verma, 2018).

Manter *stocks* acarreta custos para as organizações, relacionados com espaço necessário, horas de trabalho e mão de obra para tratar das encomendas, riscos de deterioração, danos, obsolescência ou roubo dos materiais armazenados, para além do custo de oportunidade do capital investido. Assim, muitas vezes o inventário é visto como um desperdício. No entanto, em determinados ambientes industriais onde existe incerteza na procura, incerteza nos prazos de entrega e na qualidade dos materiais recebidos o inventário desempenha um papel importante. Desta forma, algumas das razões mais relevantes para manter inventários (Muller, 2011):

- Previsibilidade: o controlo da quantidade de matéria-prima e peças é importante no planeamento e controlo da produção.
- Flutuações na procura: nem sempre é possível prever as quantidades que irão ser necessárias em para determinado momento.
- Fornecimento instável: o inventário é uma segurança quando os fornecedores não são fiáveis ou quando o item é escasso e é difícil manter um fornecimento estável. No caso dos fornecedores menos estáveis é necessário adotar medidas para melhorar o serviço, ou caso seja possível, substituí-los.
- Proteção contra subida do preço: a aquisição de uma quantidade de um item, para inventário, em determinado momento, ajuda a evitar os custos decorrentes das subidas de preço.
- Descontos de quantidade: a compra de uma maior quantidade de um item poderá implicar um custo de aquisição mais baixo decorrente de ter um maior desconto no preço.

- Custos de encomenda mais baixos: a aquisição de uma maior quantidade reduzirá a frequência do número de encomendas, deste modo, os custos de encomenda e transporte poderão ser menores.

Uma realidade de todas as organizações é o inventário, este inclui matérias-primas, produto em vias de fabrico, produto acabado, sobressalentes e consumíveis (Figura 8).

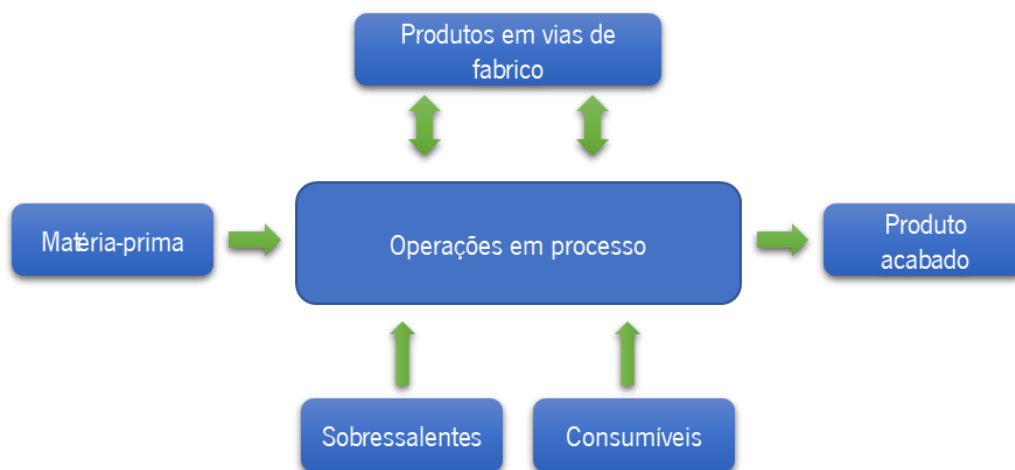


Figura 8 - Tipo de *stocks* (adaptado de Waters, 2003).

Quando se trata da gestão de *stocks* existem um conjunto de questões às quais se deve dar resposta (Fortuin & Martin, 1999):

- Que peças devem ser mantidas em *stock*?
- Quando deverá ser colocada uma nova encomenda?
- Que quantidade deve ser encomendada?

A gestão de *stocks* a nível operacional dedica-se a responder às questões mencionadas anteriormente. Os métodos de controlo de inventários a utilizar vão depender antes de mais da natureza da procura, conforme se pode ver na Figura 9. A procura é designada de independente, quando a procura de um item é independente da procura de qualquer outro item. A procura agregada para cada item é composta pela soma da procura de muitos clientes separados. A procura é designada de dependente, quando a procura de um determinado item está associada à procura de outro item. Portanto, a procura de cada uma das partes intervenientes num processo é diretamente proporcional ao número de artigos a produzir (Waters, 2003).

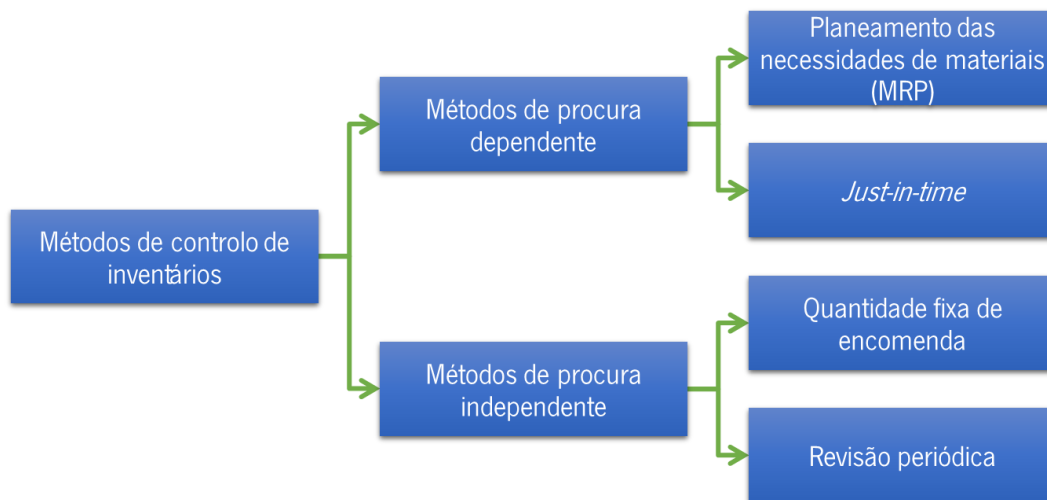


Figura 9 - Tipos de sistemas de controlo de inventário (adaptado de Waters, 2003).

3.2 Métodos de Controlo de Inventário

Dos métodos apresentados, anteriormente, apenas serão abordados os usados no caso de procura independente, ou seja, os modelos de quantidade fixa de encomenda (também designados de revisão contínua) e os modelos de revisão periódica. Tendo em conta o comportamento da oferta e da procura os modelos podem ser de duas vertentes: modelos determinísticos e modelos estocásticos.

Um sistema de controlo de inventário pode ser projetado para que seja revisto de modo contínuo, ou seja, sempre que o *stock* atinge determinado valor, é despoletada uma ordem de entrega com um valor fixo, considerando um determinado prazo de entrega (L). Alternativamente, ao modelo de revisão contínua, o modelo de revisão periódica revê o valor em *stock* em determinados momentos no tempo. O intervalo de tempo que ocorre entre essas revisões é fixo e designa-se período de revisão (T). Ambos os modelos apresentam vantagens e desvantagens, mas os modelos de revisão contínua reduzem o *stock* de segurança necessário. Num modelo de revisão contínua o valor existente em *stock*, quando é despoletada a ordem de encomenda, deve proteger contra as variações da procura durante o prazo de entrega. O modelo também é vantajoso quando se pretende coordenar pedidos para itens diferentes, pois reduz os custos do sistema de controlo de inventário, principalmente, em casos de itens com procura elevada (Axsäter, 2006).

A revisão periódica tem um período de planeamento que corresponde a $(T + L)$ durante o qual poderá haver incerteza relativamente à procura e ao prazo de entrega do fornecedor. Este modelo poderá ser mais vantajoso para itens de baixa procura (Axsäter, 2006).

3.2.1 Modelos Determinísticos

Um dos primeiros modelos de gestão de *stocks* a ser amplamente usado é o modelo da quantidade económica de encomenda (QEE) também conhecido como modelo clássico. A QEE tem como objetivo determinar a quantidade da encomenda de tamanho fixo que minimiza os custos de existência e de reaprovisionamento dos artigos. Este modelo é a base para vários sistemas utilizados em situações de procura independente. Os pressupostos do modelo simples da QEE são (Waters, 2003):

- A procura é conhecida (determinística), contínua e constante ao longo do tempo;
- Todos os custos são conhecidos e não variáveis;
- Não é permitida penúria;
- O prazo de entrega é nulo;
- O preço de compra e custos de nova encomenda não variam com a quantidade encomendada;
- Cada item do inventário é independente.

Para além da QEE existem outros modelos, que apesar de manterem a condição de que todas as variáveis são conhecidas não seguem os mesmos pressupostos que o modelo da QEE. De forma a que o modelo corresponda o mais possível à realidade e se obtenham os valores mais indicados é necessário realizar ajustamentos ao modelo (Waters, 2003).

Os fornecedores, geralmente, pretendem vender a maior quantidade possível, como tal oferecem descontos de quantidade. Ou seja, no modelo da QEE são considerados os descontos de quantidade que recaem sobre o preço unitário, mas os custos de encomenda também podem variar com o tamanho do pedido, bem como o custo de transporte. Os custos tendem a variar de acordo com a quantidade solicitada. Um exemplo bastante recorrente é a redução no custo unitário para quantidades de encomenda maiores. Neste caso, uma solução é desenhar um conjunto de curvas e encontrar a curva de custo total válida. O ponto mais baixo é um mínimo válido ou um ponto de interrupção de custo. A identificação do ponto mínimo e do melhor tamanho de encomenda é realizada através de um procedimento padrão. Pode-se alterar o procedimento para lidar com outras situações, como o aumento discreto no custo de colocação de uma nova encomenda.

Reposição Não Instantânea e Penúria Não Permitida é um modelo que se aplica quando a taxa de produção, P , é superior à procura, D , então observa-se uma acumulação de produtos a uma taxa de $P - D$. Por isso, ao fim de um determinado tempo, é necessário parar a produção pois já foi atingido

um nível de inventário considerado adequado. O Reabastecimento de *stock*, geralmente, ocorre a uma taxa finita e não instantânea.

O modelo de Reposição Instantânea com Penúria Permitida é utilizado quando é admitida existência de rutura de inventário. Existem vários casos em que a posse de inventário é demasiado dispendiosa, sendo preferível admitir a possibilidade de rutura. Em algumas situações é útil ter escassez planeada especialmente quando o pedido do cliente não é perdido. Os atrasos acarretam alguns custos, que podem ser expressos como custos de escassez dependentes do tempo podendo-se usar essa informação para determinar os valores ideais do tamanho e valor da encomenda.

Outra adaptação do modelo QEE está relacionada com eventuais restrições decorrentes do contexto da organização em causa. Nos modelos anteriormente descritos os itens em inventário são considerados independentes uns dos outros, por isso, é calculada uma política ótima para cada item individualmente. Todavia, na prática podem acontecer algumas situações de interdependência, tais como: itens provenientes do mesmo fornecedor, restrições no espaço de armazenamento (os itens têm que partilhar o mesmo espaço), o valor máximo do investimento em inventário é limitado, entre outras (Waters, 2003).

3.2.2 Modelos Estocásticos

Os modelos estocásticos, contrariamente aos modelos determinísticos, assumem a existência de incerteza relativamente a vários fatores relevantes, tais como: procura, prazo de entrega, custos e quantidade entregue. A gestão tem como objetivo minimizar a incerteza destes fatores, mas, normalmente, não é possível eliminá-la totalmente. Nestes casos a incerteza reside principalmente na duração do prazo de entrega e na procura que irá ocorrer durante esse prazo de entrega (Waters, 2003).

No caso particular de uma procura intermitente que acontece frequentemente no caso dos sobressalentes e em muitos componentes necessários à produção por lotes, a dificuldade é conseguir estimar adequadamente a procura. Uma abordagem usada para este problema passa por definir o número esperado de períodos entre procuras sucessivas (E_T) e o valor esperado de cada procura (E_r). Deste modo, a probabilidade de haver procura em qualquer período é $1/E_T$ e a procura prevista, em cada período será E_r/E_T . Se o custo de rutura for conhecido poderá assim determinar-se o nível ótimo de inventário, minimizando o custo total esperado.

No modelo da quantidade económica de encomenda com penúria recorre-se a um modelo semelhante ao da QEE, só que se considera que a procura é probabilística, discreta e a penúria é permitida em pequenas quantidades. A QEE não permite escassez, portanto, tende a subestimar a quantidade ótima.

A adição dos custos de escassez para procura discreta permite o cálculo conjunto da quantidade do pedido e do nível de reabastecimento.

O nível de serviço é definido como a probabilidade de não haver rutura num determinado período de tempo e pode ser avaliado de diversas formas, tais como (Waters, 2003):

- Percentagem de encomendas satisfeitas a partir do inventário;
- Percentagem de unidades satisfeitas a partir do inventário (por exemplo: número de clientes satisfeitos);
- Percentagem de unidades entregues atempadamente;
- Percentagem de tempo em que existe inventário disponível;
- Percentagem de ciclos de inventário sem ocorrência de rutura.

No caso de o nível de serviço ser definido para um ciclo, então este representa a probabilidade de satisfazer a procura durante o ciclo. Deste modo, para um nível de serviço de 90% a probabilidade de ocorrer uma rutura em cada ciclo é de 0,1. Para evitar os custos de rutura, as organizações mantêm mais *stock* do que o que estimam usar. Este *stock* de segurança é usado quando as entregas estão atrasadas ou a procura no prazo de entrega é superior ao antecipado, garantindo-se assim um nível de serviço mais alto. *Stocks* de segurança mais elevados são necessários para níveis de serviço mais elevados fazendo face a uma maior variabilidade da procura no prazo de entrega (Waters, 2003).

O *stock* de segurança (SS) é definido como o nível médio de *stock líquido existente* imediatamente antes da chegada de um reabastecimento. Um SS positivo garante assim uma proteção contra uma procura superior à média durante o tempo de reposição efetivo. Previsão da Procura

3.3.1 Caracterização da Procura

Williams (1984) foi o primeiro autor a apresentar um estudo que abordou a classificação da procura. O esquema de classificação proposto categoriza a procura em três categorias: *slow-moving*, *smooth*, e *sporadic*, com base na variância e com o objetivo de identificar os métodos de previsão e os métodos de controlo de *stocks mais adequados* para cada categoria.

Ao longo dos anos foram surgindo novas abordagens alternativas à apresentada por Williams. Syntetos (2001) modificou o modelo para classificar os padrões da procura em quatro categorias recorrendo ao intervalo médio entre procuras (p) e ao coeficiente de variação ao quadrado (CV^2) (Figura 10). Pode-se então definir a procura como:

- **Intermitente (*intermittent*)**: alguns períodos aleatórios com procura nula;
- **Errática (*erratic*)**: a procura é altamente variável, a irregularidade está relacionada com o tamanho da procura e não com a procura por unidade de tempo;
- **Lumpy**: a procura irregular aparece aleatoriamente, com períodos sem procura. Para além disso, a procura, quando ocorre, é variável;
- **Smooth**: a procura caracteriza-se por ter baixa variabilidade, quer em frequência quer em volume.

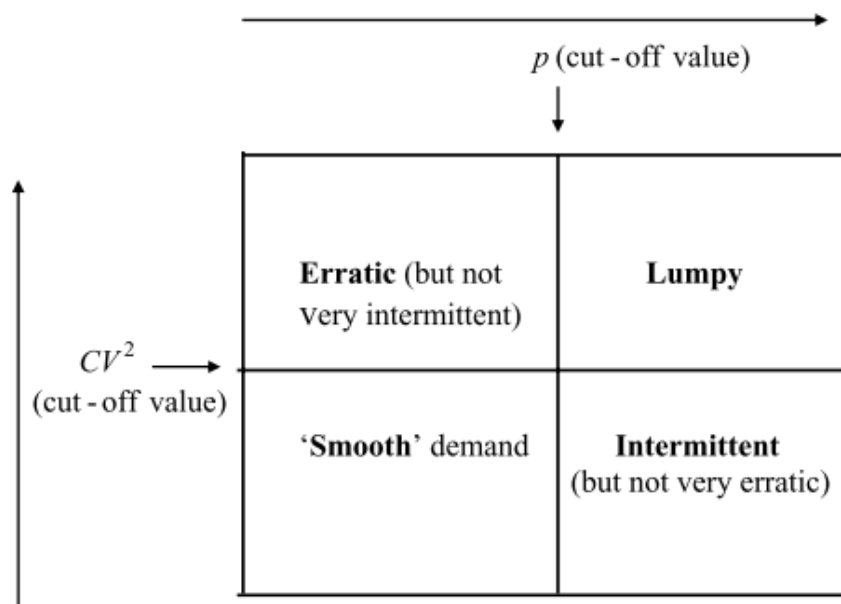


Figura 10 - Classificação da procura (Syntetos, 2001).

Boylan, Syntetos & Karakostas (2008) desenvolveram uma estrutura (Figura 11) que define os padrões de procura que não seguem uma distribuição Normal. Na Figura 11 são apresentados os três fatores que definem os padrões de procura não Normais e os tipos de procura, a saber: intermitente/não-intermitente, errática/não-errática, *slow*, *lumpy* e *clumped*.

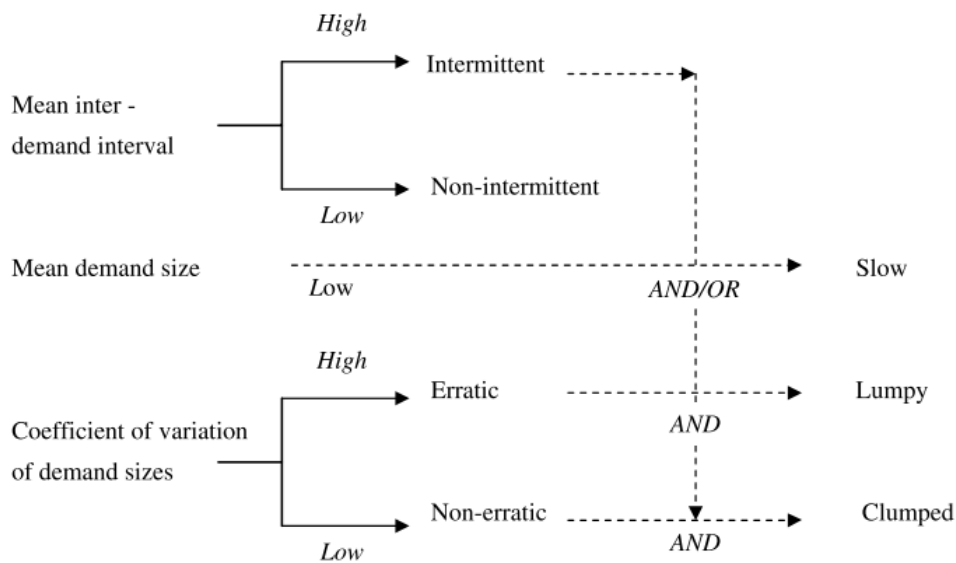


Figura 11 - Categorização dos padrões de procura que não seguem uma distribuição normal (Boylan *et al.*, 2008).

Para além dos tipos de procura já definidos Boylan, Syntetos e Karakostas (2008) apresentam mais dois tipos de procura que são definidos como:

- **Slow:** a procura média por período é baixa, podendo ocorrer períodos de procura pouco frequentes, a um tamanho pequeno de procura média ou ambos os casos.
- **Clumped:** a procura é intermitente, mas quando ocorre é constante (ou quase constante).

3.3.2 Técnicas de Previsão

As previsões podem ser obtidas através da combinação de uma extrapolação do que foi observado no passado (previsões estatísticas) e de julgamentos informados sobre eventos que ocorrerão no futuro. No caso de itens com dados históricos de procura atualizado, pode-se aplicar os modelos de séries temporais. No modelo de séries temporais usa-se o histórico da procura de um item para construir uma previsão para a procura desse item para o futuro. Na literatura, é possível observar uma estrutura para um sistema de previsões que considera o julgamento humano, e que compara as previsões obtidas com os valores reais de procura para obter o erro associado à previsão. Pode-se observar essa estrutura na Figura 12 (Silver, Pyke, & Thomas, 2016). A monitorização das previsões é importante por pelo menos três motivos. Primeiro, a quantidade de *stock* de segurança dependerá da amplitude dos erros. Segundo, a previsão estatística é baseada num modelo matemático que assume pressupostos para os seus parâmetros. Por último, os erros são uma possível abordagem para obter o *feedback* sobre o desempenho da componente subjetiva das previsões (Silver *et al.*, 2016).

Os métodos de previsão podem ser divididos em dois tipos: métodos qualitativos ou de julgamento e os métodos quantitativos. Alguns métodos qualitativos são: intuição, pesquisa de mercado analogia histórica, método de *Delphi*, entre outros. Os métodos quantitativos estão divididos em duas categorias, os modelos causais e os modelos de séries temporais. Nesta secção serão apenas abordados os modelos de séries temporais.

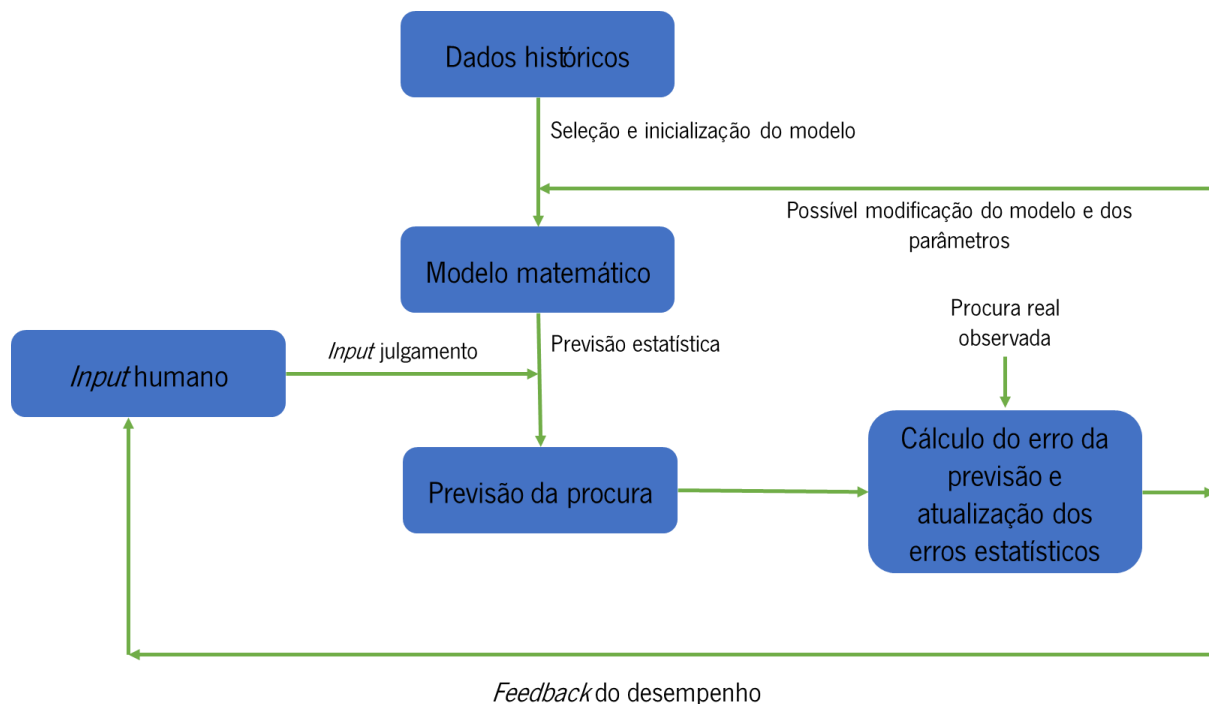


Figura 12 - Estrutura de previsão (adaptado de Silver *et al.*, 2016).

Uma série temporal é um conjunto de observações de uma determinada variável registadas a intervalos de tempo regulares. Qualquer série temporal pode ser decomposta em cinco componentes: nível, tendência, sazonalidade, ciclo e variações aleatórias. Silver *et al.* (2016) apresenta três etapas para a previsão estatística da procura de uma série temporal:

- Etapa 1: selecionar o modelo apropriado do padrão da procura;
- Etapa 2: selecionar os valores dos parâmetros associados ao modelo;
- Etapa 3: utilizar o modelo selecionado na etapa 1 com os parâmetros definidos na etapa 2.

A escolha do modelo a utilizar para determinado item ou procura agregada pode ser condicionada pelo custo de obtenção dos dados necessários à aplicação do modelo. Os modelos mais sofisticados são geralmente mais apropriados para previsões de médio ou longo prazo de uma série temporal agregada e possivelmente para previsões de curto prazo dos itens mais importantes. Tendência e sazonalidade devem ser introduzidos com cuidado. É frequente que itens classificados como B e C não tenham dados

históricos fiáveis suficientes para permitir estimar adequadamente a componente sazonal (Silver et al., 2016). A análise dos dados históricos é importante para escolher os modelos que parecem ser mais apropriados para determinada série temporal.

A análise ABC é usada para classificar *stocks* dividindo os itens em três classes, A, B e C, de acordo com a sua importância avaliada de acordo com um critério considerado adequado ao contexto em análise. Os itens da classe A são os mais importantes e os da classe C os de menor importância, a classe B situa-se entre as classes A e C (Torabi, Hatefi, & Saleck Pay, 2012).

3.3.3 Modelos de Séries Temporais

Os modelos de séries temporais podem ser aditivos, multiplicativos ou mistos. O modelo que é frequentemente mais utilizado é o multiplicativo, sendo que este é especialmente necessário se a amplitude das oscilações (ciclo e/ou sazonalidade) é proporcional à tendência. De seguida serão apresentados alguns dos modelos.

O modelo da média móvel diz respeito ao cálculo do valor médio de um certo conjunto de observações, a designação de média móvel é utilizada porque sempre que que é observado um novo valor é calculado um novo valor para a média, substituindo o valor mais antigo pela nova observação. Geralmente, cada valor observado tem o mesmo peso, mas em algumas situações pode ser necessário atribuir pesos diferentes às observações, nesse caso recorre-se à média móvel ponderada (Silver et al., 2016). A média móvel pode ser aplicada a séries estacionárias, contudo também pode ser aplicada no caso de séries com tendência e sazonalidade, nesse caso é necessário introduzir mais procedimentos. Os métodos abordados a seguir são os mais indicados para esse tipo de séries. De seguida é apresentada a expressão e respetiva nomenclatura:

Média móvel

$$F_{t+1} = \frac{\sum_{i=t-N+1}^t X_t}{N} \quad (23)$$

Em que,

F_{t+1} – Previsão para o período $t + 1$;

X_t – Valor observado no período t ;

N – Número de observações;

No caso do alisamento exponencial existem vários métodos, mas todos têm em comum o facto de que os valores mais recentes recebem um peso superior comparativamente com as observações mais antigas. No alisamento exponencial existem um ou mais parâmetros de alisamento que têm que ser determinados, e essas opções determinam os pesos atribuídos às observações (Makridakis, Wheelwright, & Hyndman, 1997).

Um dos métodos que usa o alisamento exponencial é o alisamento exponencial simples. Este é possivelmente o método estatístico mais utilizado para as previsões, visto que é fácil de utilizar quando a procura é composta pelo nível e variações aleatórias. Posteriormente, foi feita uma extensão ao método de alisamento exponencial simples para inicialmente permitir o tratamento de séries com tendência e posteriormente para incluir a sazonalidade, este método designa-se método de Holt-Winters e baseia-se em três equações, uma para o nível, uma para a tendência e outra para a sazonalidade. Este método pode ter duas variações dependendo se a sazonalidade é calculada da forma aditiva ou multiplicativa (Makridakis et al., 1997). De seguida são apresentadas as expressões dos modelos baseados em séries temporais, Alisamento Exponencial Simples (AES) e Croston e a respetiva nomenclatura:

AES

$$F_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha) F_t \quad (24)$$

Em que,

F_{t+1} – Previsão para o período $t + 1$;

F_t – Previsão para o período t ;

X_t – Valor observado no período t ;

α – Constante de alisamento;

Croston

A previsão é obtida para os períodos de procura não nula, através da seguinte expressão:

$$F_{t+1} = \frac{X_{t+1}}{P_{t+1}} \quad (25)$$

Onde:

$$X_{t+1} = X_t + \alpha(X_t - Z_t) \quad (26)$$

$$P_{t+1} = P_t + \alpha(q - P_t) \quad (27)$$

Em que,

F_{t+1} – Previsão para o período $t + 1$;

X_t – Valor observado no período t ;

α – Constante de alisamento;

Z_t – Tamanho (magnitude) da transação no período t ;

P_t – Intervalo médio entre procura

q – Número de intervalos consecutivos com procura;

Os Modelos de Média Móvel Integrada Autorregressiva (ARIMA) foram desenvolvidos por George Box e Gwilym Jenkins que dão o nome a este tipo de modelos, que normalmente são designados por modelos Box-Jenkins. Esta metodologia consiste em três fases principais, identificação do modelo, estimativa dos parâmetros e teste. A aplicação da metodologia pressupõe que a série seja estacionária. Na maioria dos casos isso não acontece e, como tal, é necessário proceder à transformação prévia dos dados para ajudar a estabilizar a variância da série e a eliminar tendências ou variações sazonais.

Existe uma vasta variedade de modelos ARIMA, o modelo não-sazonal geral é conhecido como $(p; d; q)$ (Axsäter, 2006):

- AR (p): Ordem do processo autorregressivo;
- I (d): grau de diferenciação envolvido;
- MA (q): ordem do processo de média móvel.

A notação dos modelos ARIMA pode ser alargada de forma a incluir os aspetos sazonais, de acordo com a seguinte notação (Makridakis et al., 1997):

$$\text{ARIMA } (p; q; d)(P; D; Q)^s \quad (28)$$

A variedade de modelos ARIMA é extensa, assim sendo pode se tornar difícil decidir qual o modelo mais apropriado para determinado conjunto de dados. De seguida são apresentadas as etapas da definição do modelo:

- Traçar os gráficos da série, identificar as observações incomuns e decidir se é necessário realizar uma transformação para estabilizar a variação;
- Considerar se a série apresenta dados estacionários através dos gráficos;
- Caso os dados não sejam estacionários, é preciso transformá-los através do processo de diferenciação;
- Na série transformada e estacionária, examinam-se as autocorrelações e as autocorrelações parciais para ver se existe algum padrão típico que facilite a identificação do modelo mais adequado.

Após a identificação do modelo é necessário estimar o valor dos seus parâmetros de forma a conseguir um bom ajustamento aos dados. Por fim, o modelo deve ser testado analisando-se a significância dos parâmetros estimados e os erros do modelo (Makridakis et al., 1997).

Os modelos de regressão podem ser simples ou múltiplos, a regressão simples caracteriza-se pela existência de duas variáveis, uma é a variável independente ou explicativa (X) e a outra é a variável dependente (Y). No caso da regressão múltipla, há uma variável para prever, mas há duas ou mais variáveis explicativas. Com o uso da regressão em séries temporais existem alguns problemas, tais como: a possível falta de independência nos resíduos, a possibilidade de ter que permitir os efeitos relacionados com o tempo, como a tendência e sazonalidade e por fim, o facto de para prever a variável Y serem necessárias previsões para cada uma das variáveis explicativas (Makridakis et al., 1997).

Na literatura, é ainda possível encontrar modelos mais avançados para previsão da procura, tais como: regressão com erros ARIMA, modelos de regressão dinâmica, análise de intervenção, modelos autorregressivos multivariados, modelos não-lineares, previsão de rede neuronal, entre outros.

Os modelos referidos, anteriormente, apresentam melhores resultados se aplicados em itens de consumo regular. De seguida serão apresentados alguns modelos que foram desenvolvidos para itens que apresentam procuras muito irregulares.

Os modelos clássicos, como o alisamento exponencial simples, demonstraram sobrestimar o nível médio de procuras intermitentes, quando aplicados logo após uma ocorrência de procura (Syntetos, Boylan, & Disney, 2009). A grande parte dos modelos aplicados para previsão de procura *intermitente* são

baseados no estudo de Croston (1972). O modelo sugere o uso do alisamento exponencial simples para prever isoladamente o intervalo entre ocorrências de procura e os tamanhos da procura. Para estimar a procura média por período usa-se a razão entre o último e o primeiro. O modelo apresentou benefícios quando comparado com o alisamento exponencial, sendo assim uma boa opção para prever em situações de procura intermitente (Willemain, Smart, Shockor, & DeSautels, 1994). Outra abordagem propõe um método de previsão não paramétrico, que tem como base uma heurística que combina o *bootstrapping*, o processo de Markov, e o “*jittering*” para simular uma distribuição completa para a procura no prazo de entrega. Este modelo foi comparado com o método de Croston e com o alisamento exponencial e apresentou bons resultados nas suas previsões, mas outra vantagem é que este modelo pode ser facilmente modificado para incluir prazos de entrega variáveis (Willemain, Smart, & Schwarz, 2004).

Syntetos & Boylan (2005) propuseram uma modificação ao modelo de Croston, designado de Aproximação de Syntetos-Boylan (SBA) o método modificado aplica um fator de correção. O fator é linear na constante de suavização, que tem como objetivo atualizar o intervalo entre procuras. De seguida é apresentada a expressão e respetiva nomenclatura:

SBA (Croston Modificado)

$$F_{t+1} = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{X_{t+1}}{P_{t+1}} \quad (29)$$

As restantes variáveis são obtidas de acordo com o modelo original (Croston).

Em que,

F_{t+1} – Previsão para o período $t + 1$;

X_t – Valor observado no período t ;

α – Constante de alisamento;

P_t – Intervalo médio entre procura.

Teunter & Sani (2009) apresentaram um estimador próximo da imparcialidade, comparativamente com SBA, este tem uma variação um pouco maior nas estimativas. Neste caso, foi concluído que a aplicação do método de Croston e do *Bootstrapping* superam a média móvel e o alisamento exponencial. Os autores também mostraram que o método de Croston e do *Bootstrapping* podem ver o seu desempenho

melhorado se tiver em consideração que um pedido realizado num período é despoletado por uma procura nesse período.

Na literatura são apresentados mais modelos que visam estimar a procura intermitente, estes serão abordados na secção 4.3 para o caso específico da previsão da procura de sobressalentes.

3.3.4 Avaliação das Previsões

A avaliação da qualidade das previsões é importante por dois motivos: conhecer o desempenho histórico de um processo de previsão e o acompanhamento de um processo de previsão ao longo do tempo ajuda a melhorar o processo (Silver et al., 2016). A comparação dos vários modelos pode ser feita recorrendo a um vasto número de critérios, apesar de não existir um critério que permita afirmar em absoluto que um determinado método é melhor que outro. Contudo, se um método é consistentemente melhor em vários critérios, significa que provavelmente esse método é o melhor para aquele processo. De seguida, é apresentado o método de cálculo de alguns critérios que ajudam na avaliação e comparação das previsões, bem como a nomenclatura usada (Makridakis et al., 1997).

Média

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y_i \quad (30)$$

Mean absolute deviation ou erro absoluto médio (MAD)

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}| \quad (31)$$

Mean square error ou Erro quadrático médio (MSE)

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (32)$$

Desvio padrão

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (33)$$

Erro percentual (PE)

$$PE_i = \left(\frac{Y_i - F_i}{Y_i} \right) \times 100 \quad (34)$$

Erro absoluto médio percentual (MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |PE_i| \quad (35)$$

Em que,

- y_i – Valor observado no período i ;
- N – Número de observações;
- \bar{y} – Médio dos valores observados;
- F_i – Previsão para o período i ;
- PE_i – Erro percentual no período i .

3.3 Conclusão

O capítulo da gestão de *stocks* tem como objetivo fazer uma análise da literatura que permita suportar o desenvolvimento da metodologia de gestão de *stocks* de sobressalentes. Os conceitos abordados são os métodos de controlo de inventário e a previsão da procura. A gestão de sobressalentes é um caso específico da gestão de *stocks* e como tal será abordado no capítulo seguinte.

A natureza da procura determina o método de controlo de inventário a utilizar. Nos casos de procura dependente utiliza-se o MRP (Material Requirement Planning) e o *Just-in-time*. Nos casos de procura independente recorre-se a métodos que dependem essencialmente da incerteza na procura e dos prazos de entrega dos fornecedores. Dadas as características desta investigação os métodos de procura independente assumem particular relevância.

No caso dos métodos determinísticos destaca-se a QEE que tem como objetivo determinar a quantidade da encomenda de tamanho fixo que minimiza os custos, este modelo é a base para vários métodos de procura independente. Os modelos estocásticos assumem a existência de incerteza relativa a vários fatores. Esta incerteza reside principalmente na duração dos prazos de entrega e na procura que ocorrerá durante esse período de tempo) (Waters, 2003).

Relativamente à previsão da procura o primeiro tópico a ser abordado foi a caracterização da procura, de seguida as técnicas de previsão, os modelos de séries temporais e por fim a avaliação das previsões.

A caracterização da procura tem sido obtida recorrendo ao intervalo de tempo médio entre procuras (p) e ao coeficiente de variação ao quadrado (CV^2), podendo ser classificada como intermitente, errática,

lumpy, smoth, slow ou clumped. Para cada tipo de procura devem ser escolhidas as técnicas de previsão mais adequadas. Foram descritos alguns modelos de séries temporais, tais como: média móvel, modelos de alisamento exponencial, modelos ARIMA, Croston e SBA. Alguns destes modelos serão abordados novamente na secção 4, de forma a estudar a sua aplicabilidade ao caso específico dos sobressalentes. Por fim, são ainda apresentados alguns critérios que permitem avaliar o desempenho das técnicas de previsão.

4. GESTÃO DE SOBRESSALENTES

4.1 Introdução

Nas últimas décadas a gestão de sobressalentes tem ganho relevância na literatura. Vários tópicos são referidos quando se refere a gestão de sobressalentes, tais como: controlo de inventário, previsão da procura, fiabilidade e gestão da cadeia de abastecimento (Molenaers et al., 2012).

De acordo com Cavalieri *et al.* (2008) existem vários materiais que são utilizados nas atividades de manutenção. Estes podem ser divididos em quatro tipos:

- **Consumíveis ou materiais auxiliares:** Estes itens são caracterizados por um consumo constante e contínuo e um vasto número de fornecedores.
- **Sobressalentes genéricos:** Este tipo de sobressalentes pode ser utilizado em mais que um tipo de equipamento. Normalmente, são facilmente encontrados no mercado.
- **Sobressalentes específicos:** O sobressalente é específico de um determinado equipamento e/ou só está disponível através de um fornecedor específico.
- **Sobressalentes estratégicos:** Este tipo de sobressalentes é considerado estratégico pois apresenta um tempo de desgaste esperado não previsível, um prazo de entrega elevado, custos elevados e procura esporádica.

A necessidade de sobressalentes ocorre quando numa intervenção de manutenção corretiva ou preventiva um componente falha ou precisa de ser substituído (Boylan & Syntetos, 2008; Fortuin & Martin, 1999). A função dos sobressalentes passa por ajudar a gestão de manutenção de equipamentos e sistemas em estado operacional, dando resposta às políticas de gestão de manutenção (Boone et al., 2008).

A disponibilidade dos sobressalentes é importante para as organizações, dado que os sobressalentes são fundamentais para uma eficiente operação dos equipamentos. Quando uma falha ocorre num equipamento, o tempo de inatividade pode ser reduzido significativamente se todos os sobressalentes necessários estiverem imediatamente disponíveis. Por vezes, os custos com os sobressalentes são elevados, como tal não é fácil estimar que sobressalentes devemos ter em *stock* e em que quantidades (Jaarsveld & Dekker, 2011).

Uma grande parte das organizações tem problemas relacionados com a gestão de manutenção, devido à inexistência de políticas de gestão de *stocks* adequadas às necessidades da manutenção. A gestão de

stocks de sobressalentes tem como função dar suporte ao departamento de manutenção, com o intuito de garantir a operacionalidade dos sistemas instalados (Cavaliere *et al.*, 2008; Porras & Dekker, 2008; Roda, Macchi, Fumagalli, & Viveros, 2014).

A gestão de *stocks* de sobressalentes é muitas vezes considerada um caso especial da gestão de *stocks* geral dado apresentar características peculiares, o que torna a sua gestão mais difícil (Hu *et al.*, 2018; Roda *et al.*, 2014). Algumas das características peculiares que a diferencia da gestão de *stocks* de produtos acabados são as seguintes (Kennedy, Wayne Patterson, & Fredendall, 2002):

- Decisão do nível de *stock* de sobressalentes, neste caso podem ser tomadas dois tipos de decisão: reparar a peça ou substituí-la.
- Geralmente, a informação em relação à fiabilidade dos sobressalentes não é conhecida, não existindo assim a informação necessária para a previsão de tempos de falha.
- A obsolescência pode ser um problema, uma vez que as máquinas para as quais as peças foram projetadas tornam-se obsoletas e são substituídas.
- Dificuldade em quantificar os custos associados à falta de um sobressalente, pois incluem os custos associados a perdas de produção e de qualidade.

Os inventários de sobressalentes não são produtos em vias de fabrico ou finais que tem como objetivo a venda a um cliente final. A gestão de *stocks* de sobressalentes suporta as atividades da manutenção, garantindo o funcionamento das máquinas. Portanto, as políticas de gestão de *stocks* de sobressalentes diferem das políticas de gestão de *stocks* de produtos acabados (Kennedy *et al.*, 2002). A gestão de *stocks* de sobressalentes representa um papel cada vez mais fulcral na gestão de operações moderna. O compromisso é claro: por um lado, um grande número de sobressalentes representa uma grande imobilização de capital e, por outro lado a sua inexistência provoca custos por paragem da produção (Aronis, Magou, Dekker e Tagaras, 2004).

Os níveis de *stock* de sobressalentes são em grande parte função de como o equipamento é usado e mantido. Uma ação de manutenção que requer um determinado tipo de peça às vezes pode ser adiada ou não realizada, e a escolha de uma ação de manutenção pode ter um impacto imediato nos inventários de sobressalentes (Kennedy *et al.*, 2002).

A gestão de sobressalentes deve ser incluída nos CMMS das organizações. Cavaliere *et al.* (2008) apresentaram um esquema dividido em cinco etapas que ajuda na tomada de decisão. Em cada fase do

esquema é necessário definir as metodologias e técnicas que melhor se adequam a cada organização (Figura 13).

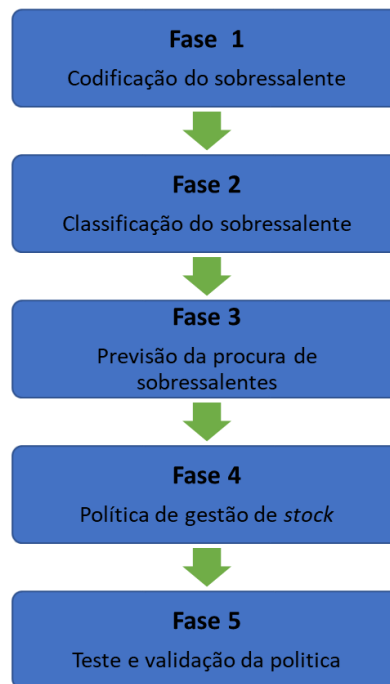


Figura 13 - Fases para a gestão de sobressalentes (adaptado de Cavalieri *et al.* (2008)).

No presente capítulo é apresentada a revisão crítica da literatura relativa à classificação de sobressalentes, à previsão da procura de sobressalentes e às políticas e modelos de gestão de *stocks* de sobressalentes.

4.2 Classificação de Sobressalentes

A classificação de sobressalentes é um passo que ajuda a orientar o processo de gestão, a classificação é importante para saber quais as peças mais relevantes e que devem ser alvo de maior atenção (Cavalieri *et al.*, 2008; Syntetos *et al.*, 2009).

A classificação de sobressalentes permite identificar as peças mais importantes e, posteriormente identificar as melhores estratégias para a gestão de sobressalentes (Hu *et al.*, 2018). Através da classificação das peças pode-se alinhar a gestão dos *stocks* com a criticidade e a previsão da procura, e a gestão de sobressalentes pode ser realizada tendo em consideração as várias classes de sobressalentes. Deste modo, podem ser realizadas ações de melhoria de desempenho tendo em consideração as classes mais críticas, facilitando assim a gestão dos sobressalentes (Roda, Macchi, Fumagalli, & Viveros, 2014).

4.2.1 Métodos e Modelos de Classificação

De acordo com Cavalieri *et al.* (2008) os métodos e modelos de classificação mais utilizados pelas organizações na classificação de sobressalentes são: a análise de Pareto (ABC), a análise *Fast-moving Slow-moving and Non-moving* (FSN), o Vital, Essencial e Desejável (VED) e o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e a ainda modelos que combinam o AHP e o VED (Cavalieri et al., 2008).

A análise ABC tem como objetivo ajudar as organizações na simplificação da gestão de *stocks*, classificando os itens em três classes: A (itens muito importantes); B (itens moderadamente importantes) e C (itens sem importância) (Hatefi, Torabi, & Bagheri, 2014). Esta análise é fácil de usar e suporta a gestão de *stocks* de materiais de natureza homogênea (Flores & Whybark, 1986). Normalmente, os critérios utilizados para classificar os materiais são a procura anual e o preço médio por unidade (Ramanathan, 2006). De acordo com Huiskonen (2001), a classificação unidimensional ABC não abrange a variedade de características de controlo dos diferentes tipos de itens. Deste modo, tem sido geralmente reconhecido que uma análise ABC “clássica” pode não ser capaz de fornecer uma boa classificação na prática (Partovi & Anandarajan, 2002).

A análise ABC tradicional não consegue capturar as várias dimensões de gestão de sobressalentes, pois utiliza apenas um critério, ignorando os critérios apresentados em vários estudos, tais como: criticidade, prazo de entrega, procura e obsolescência. O uso de múltiplos critérios na classificação de sobressalentes é mais adequado pois tenta considerar todos os requisitos de gestão e controlo de operações relacionadas com este tipo de itens. De forma a solucionar este problema foram surgindo na literatura novas abordagens que consideram múltiplos critérios (Hu, Chakhar, Siraj, & Labib, 2017).

Outro método, normalmente, usado nas organizações para a classificação de sobressalentes é o FSN, que classifica os itens em três classes: *fast-moving*, F, *slow-moving*, S, e *non-moving*, N. O método baseia-se na análise dos padrões da procura, sendo a classificação centrada nas taxas de rotação dos sobressalentes (Cavalieri et al., 2008).

São ainda usados métodos e modelos para a classificação de sobressalentes que são baseados em julgamentos subjetivos ou em métodos de pontuação (Cavalieri et al., 2008). O sistema de classificação VED é um método que recorre ao conhecimento dos especialistas em manutenção. Os sobressalentes podem ser classificadas como vitais, essenciais ou desejáveis (Cavalieri et al., 2008). Embora a sua aparente simplicidade, a estruturação pode ser uma tarefa difícil porque a sua implementação pode sofrer de julgamentos subjetivos dos envolvidos. Gajpal, Ganesh e Rajendran (1994) sugerem a

aplicação da classificação VED com o método AHP de modo a combater o problema dos julgamentos subjetivos.

Como se pode ver é prática comum agrupar os sobressalentes, para uma gestão de *stocks* mais eficaz, recorrendo a algum método de classificação. Na literatura têm sido propostas várias abordagens para tratar o problema da classificação de forma a auxiliar a gestão de sobressalentes.

Flores & Whybark (1986; 1987) apresentaram uma abordagem de classificação ABC de dois critérios. A abordagem recorre a uma matriz cruzada para a classificação. A metodologia desenvolvida por Partovi e Anandarajan (2002) apresenta o uso de redes neuronais artificiais para a classificação ABC de sobressalentes. Nas redes neuronais artificiais foram usados dois tipos de métodos de aprendizagem, o algoritmo *back propagation* e os algoritmos genéticos para avaliar a sua capacidade de classificação. Estes modelos replicam a decisão do gestor tendo por base os dados dos critérios para a classificação de cada sobressalente.

Outra abordagem baseada na análise ABC para a classificação multicritério é uma abordagem tridimensional, denominada ABC-XYZ (Stoll, Kopf, Schneider, & Lanza, 2015). Neste caso, são aplicadas duas dimensões, uma para classificar o preço recorrendo à análise ABC, e outra relacionada com a previsão da procura de sobressalentes com o recurso a uma análise denominada XYZ. A terceira dimensão é a aplicação do VED para classificar as peças quanto à criticidade. O AHP é utilizado para resolver os problemas de decisão com os vários critérios nos diferentes nós da árvore de decisão (Stoll et al., 2015).

À semelhança do apresentado em Stoll *et al.* (2015), encontram-se na literatura diversos métodos e modelos de classificação multicritério que recorrem ao AHP. O AHP, criado por Saaty (1980), é usado numa ampla gama de áreas, especialmente na gestão de operações, de forma a resolver problemas de decisão complexos utilizando a priorização de alternativas (Gass & Rapcsák, 2004; Subramanian & Ramanathan, 2012). Esta técnica pode ser utilizada quando é requerida a consideração de fatores qualitativos e quantitativos e ajuda a definir os fatores críticos através da definição de uma estrutura hierárquica semelhante a uma árvore genealógica (Bevilacqua & Braglia, 2000). Neste caso, os dados relevantes são obtidos a partir da utilização de um conjunto de comparações par a par. Com a aplicação do AHP pretende-se reduzir as decisões complexas a uma série de comparações simples e, conseqüentemente, ajudar a sintetizar os resultados apresentando a melhor decisão (Bevilacqua & Braglia, 2000). O AHP usa uma estrutura hierárquica de vários níveis de objetivos, critérios, subcritérios e alternativas. Essas comparações são utilizadas para definir o peso de cada critério e as medidas de

desempenho relativamente às alternativas para cada critério. Esse método também verifica a consistência das comparações e fornece um mecanismo para melhorá-lo nos casos em que as comparações não são consistentes (Triantaphyllou & Mann, 1995).

Flores, Olson & Dorai (1992) apresentam um modelo que recorre à utilização do AHP para incorporar vários critérios de classificação. Este modelo necessita de mais tempo para ser implementado devido à necessidade de recolha de uma maior quantidade de informação devido ao elevado número de critérios. Partovi & Burton (1993) propõem uma metodologia baseada no AHP, que pode incorporar todos os critérios quantitativos e qualitativos relevantes para a classificação de sobressalentes. Foi realizado um conjunto de experimentos de simulação para perceber os benefícios da metodologia. Os resultados da implementação deste método de classificação mostraram que, por um lado, houve um aumento do custo marginal na aquisição de sobressalentes e, por outro lado, houve uma redução substancial do tempo de inatividade da produção e do investimento médio em *stock*. A metodologia proposta foi testada recorrendo a uma amostra de sobressalentes, mas para corroborar as conclusões obtidas foi sugerido um estudo mais alargado.

A metodologia de classificação proposta por Braglia, Grassi & Montanari (2004), designada de *Multi-Attribute Spare Tree Analysis* (MASTA), visa a utilização de vários critérios para agrupar os sobressalentes e atribuir-lhes uma política de gestão de *stocks*. No estudo foram selecionados dezassete critérios divididos em quatro áreas (criticidade dos sobressalentes, características de abastecimento dos sobressalentes, problemas de inventário e taxa de utilização) que, através de uma árvore lógica, permitem agrupar os sobressalentes em quatro classes. O método AHP é usado para suportar a decisão em cada nó da árvore lógica.

Na abordagem proposta por Molenaers *et al.* (2012), o método de classificação multicritério proposto para além de ser baseado no AHP inclui também uma árvore lógica e, através da combinação dessas duas técnicas, os vários atributos que influenciam a criticidade dos sobressalentes são tidos em consideração. O AHP é usado para determinar a pontuação geral alternativa que permite classificar os sobressalentes nas classes desejável, essencial ou vital, considerando a combinação das avaliações individuais dos subcritérios. A árvore lógica tem como função direcionar o utilizador para o nível de criticidade apropriado a cada item.

Na literatura são ainda apresentados modelos onde são usadas novas variações ao AHP original. Como é o caso do *fuzzy* AHP (FAHP) usado nos estudos de Cakir e Canbolat (2008), Çebi, Kahraman e Bolat (2010), Kabir & Hasin (2012), Kabir & Hasin (2013), e ainda um modelo que combina o FAHP com o

data envelopment analysis (DEA), designado por FAHP-DEA (Hadi-Vencheh & Mohamadghasemi, 2011). Surgiram ainda na literatura outros métodos, como é o caso da aplicação de um novo método de atribuição linear difusa para a tomada de decisão em grupo com vários atributos (Baykasoğlu, Subulan, & Karaslan, 2016) e da abordagem de classificação multicritério trifásica para a gestão de sobressalentes recorrendo à *dominance-based rough set approach* (DRSA). Refere-se ainda o modelo de Antosz e Ratnayake (2016) que faz uma classificação recorrendo a critérios fixos que são divididos em níveis e a cada nível é atribuído um valor, através da soma dos vários critérios de cada ponto de vista (manutenção e logística) é obtido um valor a que corresponderá uma classificação A, B, C. Posteriormente, a perspectiva logística e manutenção são agregadas para alocar os sobressalentes à categoria apropriada, por fim são identificadas as atividades de gestão ideais para cada grupo.

Os métodos referidos anteriormente necessitam de uma elevada quantidade de dados para suportarem a sua aplicação e implementação nas organizações. Por um lado, são apresentados estudos que recorrem a um vasto número de critérios (mais de cinco) (Antosz & Ratnayake, 2016; Braglia et al., 2004; Molenaers et al., 2012; Stoll et al., 2015) e, neste caso é necessário que as organizações tenham a informação disponível e atualizada. Por outro lado, há estudos na literatura que devido ao método escolhido de classificação, necessitam de softwares sofisticados e de especialistas para poderem ser implementados nas organizações (Antosz & Ratnayake, 2016; Baykasoğlu et al., 2016; Cakir & Canbolat, 2008; Hadi-Vencheh & Mohamadghasemi, 2011; Hu et al., 2017; Kabir & Hasin, 2012, 2013).

4.2.2 Critérios

Para além da seleção do método de classificação de sobressalentes, é fundamental a seleção adequada dos critérios. A escolha acertada dos critérios a utilizar é difícil, pois esta depende muito do contexto organizacional, da experiência e conhecimento do gestor de sobressalentes (Fortuin & Martin, 1999). O uso de múltiplos critérios para a classificação de sobressalentes é abrangente, pois tenta considerar todos os requisitos para a gestão e controlo dos diferentes tipos de sobressalentes (Hu et al., 2017). A Tabela 1 faz uma síntese dos critérios utilizados em vários estudos de caso de classificação multicritério de sobressalentes.

Tabela 1 - Critérios usados em casos de estudo.

Critério								
Referência	Criticidade	Prazo de entrega	Preço	Frequência de falha	Consumo anual	Procura	Nº de potenciais fornecedores	Outro
(Flores & Whybark, 1986)	✓				✓			
(Flores & Whybark, 1987)	✓				✓			
(Partovi & Burton, 1993)	✓	✓	✓			✓		✓
(Botter & Fortuin, 2000)	✓	✓	✓			✓		✓
(Partovi & Anandarajan, 2002)		✓	✓			✓		✓
(Braglia, Grassi, & Montanari, 2004)		✓	✓	✓			✓	✓
(Chu, Liang, & Liao, 2008)	✓							✓
(Bošnjaković, 2010)		✓	✓					✓
(Molenaers, Baets, Pintelon, & Waeyenbergh, 2012)	✓			✓			✓	✓
(Stoll, Kopf, Schneider, & Lanza, 2015)		✓		✓				✓
(Antosz & Ratnayake, 2016)		✓	✓	✓			✓	✓
(Hu, Chakhar, Siraj, & Labib, 2017)	✓	✓	✓		✓			

Na Tabela 1 é possível identificar os critérios que são mais utilizados na classificação de sobressalentes, destacando-se a criticidade, prazo de entrega e preço. Para além desses foram ainda referidos na literatura critérios como, frequência de falha, consumo anual, procura e número de potenciais fornecedores.

Para além dos critérios enumerados na Tabela 1 é ainda importante falar da criticidade esta tem sido muito referida na literatura quando se trata da gestão de sobressalentes. Dekker, Kleijn e Rooij (1998) definem a criticidade como o nível de importância de um equipamento para sustentar a produção de forma eficiente e segura. A classificação baseada na criticidade tem como objetivo evidenciar os sobressalentes que merecem mais atenção e devem ser mantidos em stock.

A criticidade tem sido a principal característica evidenciada na classificação de sobressalentes. Em relação à criticidade dos sobressalentes não existe na literatura um consenso no que diz respeito à sua quantificação. Normalmente a criticidade de um sobressalente considera o impacto da falha para a produção, a segurança e o meio ambiente (Molenaers et al., 2012). Por um lado temos a criticidade na perspectiva da manutenção e, por outro, bem diferente, a perspectiva da logística e financeira (Roda *et al.*, 2014).

A criticidade tem sido apresentada em alguns casos como um critério para a classificação dos sobressalentes (Braglia *et al.*, 2004; Chu *et al.*, 2008; Flores & Clay Whybark, 1986; Flores & Whybark, 1987; Hu *et al.*, 2017; Molenaers *et al.*, 2012; Partovi & Burton, 1993). Noutros casos, na literatura, a criticidade é apresentada como o resultado da classificação multicritério de sobressalentes (Antosz & Ratnayake, 2016; Bošnjaković, 2010; Botter & Fortuin, 2000; Braglia et al., 2004; Gajpal et al., 1994; Molenaers et al., 2012; Stoll et al., 2015).

4.3 Previsão da Procura de Sobressalentes

A procura por sobressalentes é caracterizada por um comportamento esporádico e uma variabilidade elevada. Portanto, a taxa de consumo não é estacionária, as propriedades estatísticas da procura não são independentes do tempo (Cavaliere et al., 2008). A procura por sobressalentes está relacionada com a falha ou substituição de uma determinada peça. Tipicamente, a procura é de natureza intermitente e é caracterizada por longos períodos com procura nula (Boylan & Syntetos, 2010; Eaves & Kingsman, 2004; Huiskonen, 2001; Iraqi, El Biyaali, & El Barkany, 2016; Kennedy *et al.*, 2002; Regattieri, Gamberi, Gamberini, & Manzini, 2005; Roda, Macchi, Fumagalli, & Viveros, 2012; Syntetos & Boylan, 2006; Teunter & Duncan, 2009).

A procura de sobressalentes pode ser baseada no tempo, no uso ou em ambos. A procura com base no tempo pode ser mais fácil de prever do que a procura de sobressalentes com base no uso, que depende da produção realizada pela máquina. A procura de sobressalentes é influenciada por dois tipos de ambiente: o externo, relacionado com as condições de mercado (disponibilidade de fornecedores), e o ambiente interno que está relacionado com os problemas do chão de fábrica (avarias, planeamento, etc.) (Zheng & Wu, 2017).

A previsão da procura de sobressalentes é um requisito básico da gestão de sobressalentes. Dadas as características da procura de sobressalentes é difícil prever com precisão (Hu et al., 2018). A série temporal da procura de sobressalentes pode mostrar padrões diversificados, dependendo da peça e do setor específico. A taxa de consumo não é estacionária, logo, as propriedades estatísticas da procura não são independentes do tempo (Cavalieri et al., 2008). A procura de sobressalentes, geralmente, não segue uma distribuição Normal e a distribuição que melhor se ajusta tende a depender da duração média do intervalo entre procuras e do coeficiente de variação (CV^2) do tamanho da procura (Turrini & Meissner, 2019).

A previsão de sobressalentes foi dividida em duas classes por Cavalieri *et al.* (2008): previsão baseada na fiabilidade e previsão baseada nas séries temporais. Para além destas duas classes, Hu *et al.* (2018) referem ainda as previsões baseadas no julgamento.

Na literatura existem várias técnicas de previsão, algumas delas já foram abordadas na secção 0 de seguida serão apenas abordados os modelos aplicados ao caso específico dos sobressalentes.

4.3.1 Previsões Baseadas nas Séries Temporais dos Sobressalentes

De acordo com Cavalieri *et al.*, (2008), as empresas industriais tendem a usar o alisamento exponencial para estimar a procura. No entanto, como foi demonstrado pela primeira vez por Croston (1972), este método leva geralmente a níveis inadequados de inventário, uma vez que as previsões têm uma tendência a subestimar a procura antes de ocorrer um consumo e uma tendência de a sobrestimar depois da ocorrência desse consumo resultando em níveis excessivos de inventário. Como os sobressalentes são itens de procura lenta, normalmente com muitos períodos de procura nula, o método padrão para este tipo de procura é o método de Croston (Syntetos & Boylan, 2005). Portanto, a previsão de uma série temporal de sobressalentes requer uma técnica de previsão que considere os períodos de procura nula (Cavalieri et al., 2008).

No estudo apresentado por Syntetos & Boylan (2005) o método de Croston sofreu melhorias para colmatar algumas falhas na previsão, dando origem ao método SBA (Syntetos & Boylan, 2005) que gera previsões de sobressalentes não enviesadas. Outro modelo usado na previsão de sobressalentes é o apresentado por Teunter, Syntetos, & Babai (2011), que atualiza as previsões no final de cada período, contrariamente aos métodos de Croston e SBA, que as atualizam apenas após uma ocorrência de procura. Isto torna-se vantajoso pois ajuda na tomada de decisões relativamente a quando parar de realizar encomendas de itens em risco de obsolescência (Hu et al., 2018).

Os métodos de *bootstrapping* também são utilizados para prever a procura de sobressalentes (Willemain et al., 2004; Zhou & Viswanathan, 2011). Também foram encontrados na literatura modelos de redes neuronais para prever a procura de sobressalentes, como é o caso de: Chen, Chen & Kuo (2010), Li & Kuo (2008) e Gutierrez, Solis & Mukhopadhyay (2008).

Hua & Zhang (2006) apresentam uma abordagem baseada nas *support vector machines* (SVM), para prever ocorrências de procura diferentes de zero. Os autores propõem um mecanismo híbrido que visa integrar os resultados da previsão, realizada pela SVM, com a relação de ocorrência de procura diferente de zero com variáveis explicativas. Yelland (2010) apresenta um modelo que recorre à abordagem estatística *bayesiana* que pretende prever a procura de sobressalentes, incorporando uma descrição paramétrica do ciclo de vida da peça, que antecipa a ocorrência de mudanças na procura ao longo do tempo. O modelo também é capaz de agregar padrões de procura para conjunto de peças, fazendo previsões para novas peças.

Romeijnders, Teunter & Van Jaarsveld (2012) propõem um método de duas etapas para a previsão de sobressalentes. O método de previsão atualiza, separadamente, o número médio de peças necessárias por substituição e o número de reparações para cada tipo de componente. Este difere de outros métodos pois inclui dados sobre o planeamento da manutenção o que fez com que apresente melhor desempenho, neste caso, que o método de Croston.

A investigação de Regattieri, Gamberi, Gamberini & Manzini (2005), compara vários métodos de previsão para a procura irregular de sobressalentes. Os métodos que apresentaram melhor desempenho foram a média móvel ponderada, o método de Croston e a média móvel ponderada exponencialmente. Nas investigações desenvolvidas por Eaves & Kingsman (2004) e Syntetos & Boylan (2006) foi demonstrado que o modelo SBA é superior em comparação com o modelo de Croston, alisamento exponencial simples e média móvel. No estudo de Teunter & Duncan (2009), o método SBA continua a apresentar um resultado superior, mas também o método de Croston e *Bootstrapping* apresentam resultados superiores

face à média móvel e alisamento exponencial simples. Nas investigações apresentadas não existiu consenso relativamente ao método mais adequado para a previsão da procura de sobressalentes.

Li e Kuo (2008) apresentam um sistema de apoio à decisão baseado nas redes neuronais difusas melhoradas com o objetivo de gerir os *stocks* de sobressalentes de automóveis. As redes neuronais difusas são utilizadas para prever a procura de sobressalentes. Neste caso, as redes neuronais difusas melhoradas geram pesos de conexão com base no (AHP) difuso e através do algoritmo genético são geradas as funções de ativação mais abrangentes que visam expressar com precisão uma ampla gama de modelos não lineares. Por fim, é introduzida uma variável de entrada adaptável com o intuito de diminuir o efeito “chicote” nas previsões. O sistema de apoio à decisão de gestão de *stocks* de sobressalentes consiste em três partes, primeiro, o desenvolvimento da estrutura hierárquica recorrendo ao AHP difuso, segundo, a determinação de pesos e, por último, a tomada de decisão de acordo com as redes neuronais difusas melhoradas. Gutierrez *et al.* (2008) obteve bons resultados na sua abordagem de rede neuronal, mas Kourentzes (2013) apresenta uma nova versão do método e concluiu que o novo método de rede neuronal já não mostrou resultados tão satisfatórios. De acordo com Syntetos, Babai & Gardner (2015), os métodos paramétricos simples apresentam um bom desempenho, e questionam se a complexidade dos modelos ajustados é favorável.

Na literatura é ainda possível encontrar estudos focados na comparação das distribuições que melhor se ajustam aos dados da procura. No estudo desenvolvido por Porras & Dekker (2008) foi definida uma metodologia empírica tendo por base os dados relativos aos sobressalentes de uma refinaria de petróleo. Assim sendo, são testados vários modelos de inventário com dados reais de sobressalentes, recorrendo a duas abordagens *ex-post* e *ex-ante*. Na abordagem *ex-post* é usado o mesmo conjunto de dados para fins de ajuste a uma distribuição de probabilidade e teste. Por oposição, no procedimento *ex-ante* uma vez atribuída a distribuição mais adequada aos dados, é utilizado um conjunto de dados totalmente diferente para fins de teste. A abordagem *ex-ante* é a mais relevante, mas também a mais difícil de implementar, visto que os dados relativos aos sobressalentes são limitados. Tanto na abordagem *ex-ante* como na *ex-post* foi comparada a procura real por sobressalentes da organização com as previsões recorrendo a várias distribuições: distribuição Normal, distribuição de *Poisson*, modelo empírico e o modelo de Willemain. Todos os modelos superaram o sistema atual da organização. O modelo da distribuição Normal de forma geral apresentou bons resultados face aos restantes modelos, apesar da procura por sobressalentes, geralmente, não seguir uma distribuição Normal (Porras & Dekker, 2008).

Através da análise realizada foi possível concluir que ao longo dos anos os modelos de previsão de sobressalentes têm sido melhorados de forma a serem os mais adequados às especificidades da procura de sobressalentes. Apesar de terem sido apresentados novos métodos, na literatura os métodos clássicos como a média móvel, o alisamento exponencial e o método de Croston, continuam a ser utilizados. Em alguns casos existe uma análise comparativa entre vários métodos (Eaves & Kingsman, 2004; Gutierrez *et al.*, 2008; Kourentzes, 2013; Regattieri *et al.*, 2005; Syntetos & Boylan, 2006; Syntetos & Boylan, 2005; Syntetos *et al.*, 2015; Teunter & Duncan, 2009). A análise comparativa não apresentou unanimidade aos métodos mais eficazes para a previsão da procura de sobressalentes, destacando-se o SBA, os modelos de redes neuronais apesar de apresentarem bons resultados em alguns estudos têm como limitação a dificuldade de implementação face aos modelos mais tradicionais. Na Tabela 2 é apresentada uma compilação das investigações em que são realizadas comparações entre modelos de previsão, bem como os critérios de comparação utilizados para avaliar o desempenho dos métodos e os modelos de previsão que apresentam melhores resultados.

Tabela 2 - Comparação de modelos de previsão.

	Modelo de previsão						Método de comparação	Modelo de previsão com melhores resultados
	Média móvel	Alisamento exponencial duplo	Croston	Alisamento exponencial simples	SBA	Outros		
(Eaves & Kingsman, 2004)	✓		✓	✓	✓		Erro médio MAD MSE Relative Geometric Root Mean Square Error (RGRMSE)	SBA
(Regattieri <i>et al.</i> , 2005)	✓	✓	✓	✓		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Método de Winters multiplicativo ✓ Método de Winters aditivo ✓ Modelo de regressão sazonal ✓ Média móvel ponderada exponencialmente ✓ Alisamento exponencial ajustado por tendência 	MAD	<ul style="list-style-type: none"> Croston Alisamento exponencial ajustado por tendência Média móvel ponderada exponencialmente Média móvel

	Modelo de previsão						Método de comparação	Modelo de previsão com melhores resultados
	Média móvel	Alisamento exponencial duplo	Croston	Alisamento exponencial simples	SBA	Outros		
						✓ Alisamento exponencial de taxa de resposta adaptativa única		
(A Syntetos & Boylan, 2006; Aris A. 2015)	✓		✓	✓	✓		Erro médio MAD MSE RGRMSE	SBA
(Gutierrez et al., 2008)			✓	✓	✓	Rede neuronal	MAPE RGRMSE Melhor percentagem	Rede neuronal
(R. H. Teunter & Duncan, 2009)	✓		✓	✓	✓	<i>Bootstrapping</i>	Erro médio MAD MSE RGRMSE	Croston SBA
(Kourentzes, 2013)			✓	✓	✓	Rede neuronal	Erro médio MAD	Rede Neuronal
(Aris A. Syntetos et al., 2015)			✓	✓	✓	<i>Bootstrapping</i>	MSE Nível de serviço do ciclo	<i>Bootstrapping</i>

4.3.2 Previsão Baseada na Fiabilidade

Existem dois modelos matemáticos para a previsão da procura de sobressalentes baseada na fiabilidade que são mais usuais, a saber, o modelo baseado no processo de *Poisson* e o baseado na teoria da renovação. O processo de *Poisson* é utilizado quando a taxa de falha é constante, o que significa que o tempo até à ocorrência do modo de falha segue uma distribuição exponencial negativa. Quando a taxa de falha não é constante, recorre-se ao uso da teoria da renovação (Ghodrati & Kumar, 2005) e ao uso de outras distribuições de probabilidade para modelar a taxa de avarias.

As condições em que o equipamento está a operar influenciam a fiabilidade. O ambiente operacional e os seus fatores, representados através das covariáveis, devem ser considerados. A inclusão desses parâmetros facilita a logística na otimização do nível de *stock* de sobressalentes, do valor de encomenda e do tempo entre encomendas (Ghodrati, 2005).

De acordo com Ghodrati, Ahmadi & Galar (2013), os fatores ambientais operacionais podem afetar a função de risco. Um modelo estatístico valioso para estimar o risco de falha do equipamento quando submetido ao seu ambiente e condições é o modelo de riscos proporcionais. O estudo apresentado pelos autores mostra que a análise da manutenção e previsão de sobressalentes necessários, realizada com base nas características técnicas e no ambiente operacional do sistema, são uma boa forma de evitar interrupções. Os parâmetros ambientais que mais influenciam o funcionamento devem ser destacados ao longo da análise.

Barabadi (2012) apresenta uma abordagem que tem como objetivo analisar o efeito das covariáveis dependentes e independentes do tempo, para tal, o autor recorre a uma extensão do modelo de riscos proporcionais ou à abordagem de estratificação. Posteriormente, considerando a fiabilidade do item, pode ser estimado o número necessário de sobressalentes. Wang & Syntetos (2011) apresentam uma abordagem para a previsão de sobressalentes baseada no modelo de atraso. Esta abordagem foi comparada com o método de séries temporais, SBA, e foram obtidos bons resultados.

Nesta secção foi feita uma análise a métodos de previsão da procura de sobressalentes que se baseiam na fiabilidade. Relativamente, à previsão para apoio à gestão de *stocks*, não foi possível perceber através da análise quais os métodos que apresentam melhores resultados, à exceção do método apresentado por Wang & Syntetos (2011) que foi comparado com o método SBA, e apresentou resultados satisfatórios.

4.3.3 Previsão Baseada nos Julgamentos

De um modo geral todas as previsões podem passar pelo julgamento e crítica dos gestores, mesmo quando se trata de uma previsão quantitativa, ou seja, estas podem ser ajustadas pelo gestor (Syntetos *et al.*, 2009). Na literatura não existem muitos estudos que mostrem os resultados dos ajustes baseados em julgamentos (Syntetos, Nikolopoulos, Boylan, Fildes, & Goodwin, 2009).

Fildes, Goodwin, Lawrence & Nikolopoulos (2009) realizaram um estudo, para investigar as consequências dos ajustes realizados às previsões da procura realizados pelos gestores/planeadores. As conclusões deste estudo foram obtidas usando dados de quatro empresas, sendo que em três delas foram obtidos resultados semelhantes. O estudo demonstrou que os ajustes positivos, i.e., que aumentam a previsão estatística, oferecem uma melhoria menos significativa na precisão das previsões do que os ajustes negativos. Quanto maior for o valor do ajuste (positivo ou negativo) melhor será a precisão das previsões, os ajustes de menor valor (positivo ou negativo), geralmente, prejudicam a precisão das previsões.

O estudo apresentado por Syntetos, Nikolopoulos, Boylan, Fildes & Goodwin (2009), analisa previsões mensais de itens de procura intermitente, que não sendo sobressalentes apresentam uma procura semelhante à dos sobressalentes. A organização em estudo realizou as suas previsões recorrendo a um sistema estatístico e, posteriormente, as previsões foram ajustadas com base em dados de marketing recolhidos antecipadamente. Os benefícios deste estudo foram verificados através da comparação das vendas reais com as previsões. Os resultados mostraram que, de um modo geral, há uma melhoria na precisão das previsões recorrendo aos ajustes com base nos julgamentos.

4.4 Políticas e Modelos de Gestão de *Stocks* de Sobressalentes

Os sobressalentes não são produtos em vias de fabrico nem produtos acabados que têm como objetivo a venda a um cliente final. Os *stocks* de sobressalentes suportam as atividades da manutenção, garantindo o funcionamento das máquinas. Portanto, as políticas de gestão de *stocks* de sobressalentes diferem das políticas de gestão de *stocks* de produtos acabados (Kennedy *et al.*, 2002).

Os sobressalentes caracterizam-se por uma grande variedade, uma procura intermitente e, geralmente, custos de rotura elevados. Como tal, os modelos de gestão de sobressalentes visam melhorar a disponibilidade e diminuir o investimento em *stocks* de sobressalentes (Van der Auweraer & Boute,

2019). Na literatura é possível encontrar vários estudos direcionados à gestão de *stocks* de sobressalentes. Nas subsecções seguintes são abordadas as políticas de gestão de *stock*, os modelos de otimização e os métodos de gestão global de *stocks*.

4.4.1 Políticas de Gestão de *Stock*

De acordo com Cavalieri, Garetti, Macchi, & Pinto (2008) as políticas de gestão de *stocks* podem ser caracterizadas por dois parâmetros (x, y) :

- x – Representa o critério que especifica as condições para a emissão de uma nova ordem de sobressalentes;
- y – Representa o ponto de referência para a quantidade a encomendar.

O x e o y podem assumir valores diferentes dependendo do tipo de revisão (periódica ou contínua) e do tamanho ótimo da ordem de encomenda. Normalmente são utilizadas quatro políticas de *stocks* na gestão de sobressalentes (Cavalieri et al., 2008; Hu et al., 2018):

- Revisão contínua, com ponto de reabastecimento fixo (r) e quantidade de encomenda fixa (Q), referido como (r, Q) .
- Revisão contínua, com ponto de reabastecimento fixo (s) e quantidade de encomenda até um nível (S), referido como (s, S) .
- Revisão periódica, com intervalo de reabastecimento fixo (T) e quantidade de encomenda até um nível (R), referido como (T, R) .
- Revisão contínua com quantidade de encomenda até ao nível (S), num modo de reabastecimento de um para um, referido como $(S - 1, S)$.

A política de inventário, revisão contínua (s, S) tem sido indicada teoricamente como sendo a melhor para a gestão de itens de procura baixa e intermitente. Em contraste, a revisão periódica é, geralmente, selecionada na gestão de sobressalentes devido à conveniência da existência de pedidos em períodos regulares (Cavalieri et al., 2008).

Quando se trata do reabastecimento de *stock* com base na previsão nos modelos (r, Q) e $(S - 1, S)$ os parâmetros r, Q, S são determinados. Por outro lado, no caso dos modelos (s, S) e (T, R) a quantidade de encomenda está dependente da previsão da procura em tempo real durante o prazo de entrega e no próximo ciclo de previsão (Hu et al., 2018).

4.4.2 Modelos de Otimização

A gestão de *stocks* tem como grande desafio conseguir uma alta disponibilidade do sistema recorrendo a um *stock* mínimo, por isso foram desenvolvidos vários modelos de otimização para determinação dos parâmetros das políticas de gestão de *stocks* (Hu et al., 2018).

Na investigação desenvolvida por Aronis *et al.* (2004) é apresentado um estudo de caso que recorre à abordagem *bayesiana* para prever a procura e, posteriormente, determinar o valor apropriado do parâmetro (\mathcal{S}) num sistema de inventário de revisão contínua ($\mathcal{S} - 1, \mathcal{S}$). O método usado assenta na premissa que os dados de falha são originários de um processo estacionário. Posto isto, foi determinada a procura e calculados os níveis de *stock* para cada tipo de sobressalentes.

Na investigação apresentada por Jin & Liao (2009) a política de gestão de *stock* também é de revisão contínua, mas com parâmetros (r, Q) . O objetivo da investigação é que as substituições de sobressalentes sejam garantidas, i.e., o fornecedor deve garantir que o seu cliente tem disponíveis os sobressalentes quando são necessários, minimizando o custo do controlo de *stock*. O modelo usado para a procura agregada é um processo homogéneo de *Poisson*. De acordo com o modelo, a política de reabastecimento dinâmica (r, Q) é otimizada usando uma abordagem de resolução múltipla. O objetivo da otimização é equilibrar o custo e, ao mesmo tempo, garantir o nível de serviço necessário. Os pressupostos assumidos para a política de gestão de *stocks* (r, Q) foram os seguintes: (1) Os pedidos de sobressalentes ocorrem um de cada vez. (2) São permitidos pedidos em atraso, mas é aplicada uma penalidade. (3) Os tempos de reposição são conhecidos e fixos. (4) O nível de serviço é medido através da probabilidade de existir um sobressalente em falta, e deve ser menor que 100%. Combinado com a simulação, este modelo pode ser utilizado em produtos com distribuições de vida útil genéricas, e pode ser estendido a sistemas de controlo de *stock* mais genéricos, envolvendo vários tipos de peças (Jin & Liao, 2009).

A abordagem apresentada por Wang (2011) baseia-se na otimização conjunta de três variáveis de decisão, a quantidade de encomenda, o intervalo entre encomendas e o intervalo entre inspeções de itens que são inspecionados periodicamente para análise da condição. O modelo foi construído recorrendo ao conceito de tempo de atraso, onde o processo de falha é dividido num processo de dois estágios. O primeiro diz respeito ao período que decorre entre o momento em que o item é utilizado pela primeira vez até ao momento em que o defeito pode ser identificado por uma inspeção, e o segundo

estágio, considera o tempo entre esse ponto até à falha, caso não tenha sido executada nenhuma ação após a identificação do defeito. O tempo desde o ponto inicial de um defeito identificável até à falha é chamado de tempo de atraso. As três variáveis são determinadas de forma a minimizar o custo esperado a longo prazo por unidade de tempo. Posteriormente, Wang (2012) apresenta uma investigação que tem como objetivo a otimização conjunta do controlo de *stocks* de sobressalentes e a periodicidade das ações de manutenção preventiva. As variáveis de decisão do modelo são: o intervalo entre encomendas, a periodicidade das ações de manutenção preventiva e a quantidade da encomenda. A função objetivo do modelo é minimizar o custo total esperado por unidade de tempo decorrida das variáveis de decisão. Para isto são utilizados algoritmos de enumeração e programação dinâmica estocástica. A política de *stock* usada é de revisão periódica (S, Q) em que a procura é obtida pela necessidade de sobressalentes (este modelo é semelhante aos definidos por Cavalieri *et al.* (2008) e Hu *et al.* (2018)).

Através dos estudos de Wang (2011, 2012) foi possível analisar a forte relação entre os problemas de inventário de sobressalentes e as ações de manutenção. Na abordagem de Wang (2011) é modelada a relação entre os sobressalentes e a manutenção preventiva com o objetivo de definir os intervalos entre pedidos de peças e inspeções e o nível máximo de *stock*. Em Wang (2012) é desenvolvido o trabalho realizado por Wang (2011), pois já recorre à política de *stocks* (S, Q) , para mostrar a relação entre a gestão de *stocks* de sobressalentes e a manutenção preventiva.

O estudo apresentado por Panagiotidou (2014) também define a política de gestão de *stock* com base nas inspeções, mas neste caso são testadas duas políticas alternativas, uma de revisão contínua e outra de revisão periódica. O estudo teve como motivação o problema do controlo de *stock* de sobressalentes que, dado o seu tipo de falhas, têm de ser inspecionadas periodicamente. Deste modo, os autores propõem uma política que conjugue a periodicidade das inspeções com a encomenda de sobressalentes, definida através de uma função matemática que pretende minimizar o custo total de manutenção e de *stock*. Como já referido, foram analisadas duas políticas de gestão de *stock* para sobressalentes: uma de revisão contínua e outra de revisão periódica. Os modelos propostos são testados recorrendo a dados reais, de sobressalentes com diferentes mecanismos de deterioração e de diferentes ações de manutenção, e são também determinados os parâmetros de *stock* e a periodicidade de inspeção. A função do custo total de manutenção e de *stock* foi desenvolvida para mecanismos gerais de deterioração sob as políticas de inventário.

Na investigação Guajardo *et al.* (2015), a política de gestão de *stocks* utilizada é de revisão contínua (s, S) . A abordagem permite a determinação de parâmetros de controlo de *stock* para os sobressalentes

numa empresa de energia. Os parâmetros são decididos principalmente com base no julgamento dos especialistas. Em primeiro lugar, os autores recorrem a sete modelos de previsão da procura e definem as regras para selecionar um modelo de previsão para cada sobressalente. Posteriormente, estudaram os benefícios de atribuir parâmetros de controlo de *stock* a um sistema de inventário de revisão única, escalão múltiplo e localização múltipla, sendo o agrupamento completo permitido e a cada localização é atribuída uma política (s, S) .

Para além das investigações citadas que se reportam à definição de modelos de otimização para definição de parâmetros de políticas de gestão de *stocks* conhecidas, surgem também na literatura outros estudos que definem outras políticas de gestão de *stocks* e respetivos parâmetros.

Na investigação de Van Jaarsveld & Dekker (2011), refere-se uma dificuldade em estimar os custos de escassez de um sobressalente e em determinar o número mínimo de sobressalentes. Como tal estes autores propõem o uso de dados recolhidos em estudos de RCM para determinar os custos de escassez. Esta abordagem apresenta algumas complicações pois o estudo de RCM calcula os custos de inatividade do equipamento, que têm uma relação complexa com o custo de escassez de sobressalentes no caso das peças de um mesmo equipamento terem custos de inexistência diferentes e ainda no caso de existir redundância. Os autores propõem uma abordagem que permite modelar os sistemas mais complexos, recorrendo a um método analítico para determinar quantidades mínimas de *stock* em caso de redundância e de múltiplos sistemas.

No estudo desenvolvido por Li *et al.* (2017) é apresentado um modelo de programação estocástica combinada para suportar a gestão de *stocks* de sobressalentes. Este considera a programação de múltipla escolha, na qual o decisor pode modelar parâmetros incertos como variáveis aleatórias e definir dinamicamente várias opções para alguns parâmetros de restrição de acordo com a situação atual. Para derivar o modelo determinístico equivalente os autores utilizaram a abordagem da interpolação polinomial de Lagrange. Uma limitação do modelo diz respeito ao facto da capacidade de tempo de produção ser quantificada como uma variável aleatória e a sua distribuição de probabilidade ser conhecida. Esta premissa assume que na vida real, a capacidade de produção pode ser observada repetidamente e as observações podem ser usadas para ajustar a distribuição de probabilidade. No entanto, pode haver um caso em que parâmetros incertos não podem ser observados repetidamente ou as observações podem não ser suficientes para ajustar a distribuição de probabilidade das variáveis aleatórias Li *et al.* (2017).

A investigação desenvolvida por Topan, Bayındır & Tan (2017) tem como objetivo definir os parâmetros da política da gestão de *stocks* de sobressalentes, com vista à minimização do número de sobressalentes em *stock* e a minimização do valor fixo da encomenda. Os autores concluíram que o custo adicional do uso de um método sequencial, em que o tamanho lotes é determinado por uma heurística com base na QEE pode ser muito elevado. Por outro lado, observaram que o uso da determinação simultânea de parâmetros da política de gestão de *stocks* é fácil de usar e adequada ao estudo em causa.

Zhu, Jaarsveld e Dekker (2020) desenvolveram um método de controlo de *stocks* de sobressalentes, recorrendo a um mecanismo de previsão para estimar a distribuição da procura de sobressalentes tendo por base o plano de manutenção. O método proposto considera o intervalo de tempo entre procuras, evitando *stocks* redundantes. Nesta abordagem as previsões da procura de sobressalentes são diferenciadas pelos diferentes períodos, criando uma dependência entre a procura e o momento de aquisição de sobressalentes. Através da ligação entre o plano de manutenção e a previsão da procura, estes dados tornam-se mais precisos e as decisões de níveis de *stocks* mais apropriadas que os usados pelas organizações em estudo. Verifica-se com isso uma redução nos custos com encomendas urgentes e no valor de sucata.

Ao longo desta análise, verificou-se que os modelos presentes na literatura procuram considerar a dependência existente entre as atividades de manutenção e a gestão de *stocks* (Aronis *et al.*, 2004; Panagiotidou, 2014; Van Jaarsveld & Dekker, 2011; Wang, 2011, 2012; Zhu *et al.*, 2020). Em vários estudos foi possível verificar que a procura tem um papel preponderante na definição das políticas de gestão de *stock* (Aronis *et al.*, 2004; Jin & Liao, 2009; Li *et al.*, 2017; Wang, 2011; Zhu *et al.*, 2020).

4.4.3 Métodos de Gestão Global de *Stocks*

A subsecção anterior incidiu sobre os modelos de gestão a aplicar a cada peça individualmente. Nesta subsecção são apresentados métodos que têm como objetivo auxiliar a gestão global de sobressalentes, isto é, a afetação de políticas de gestão de *stocks* a cada sobressalente de uma determinada organização.

Braglia, Grassi & Montanari (2004) apresentam um estudo de caso onde é desenvolvida uma matriz em que a cada tipo de sobressalente (A, B, C e D) (obtido através de uma classificação) é atribuída uma de quatro políticas de gestão *de stocks* possíveis (Tabela 3):

- **Stock nulo** - A indisponibilidade de um sobressalente é uma decisão consciente, depois de analisar o custo da ausência do sobressalente em caso de falha em oposição ao custo de ter uma disponibilidade imediata do item.

- **Stock de um único item** – A consideração relativa ao risco para a instalação fabril, relativas à capacidade de evitar a falha com políticas de manutenção adequadas, problema de inventário e características de fornecimento conduzem ao armazenamento de uma única unidade.
- **Just-in-time** - Questões relativas à facilidade e rapidez de entrega, políticas de manutenção adequadas e problemas de armazenamento (ou seja, custo, espaço, etc.) levam a decisão de não possuir inventário. Isto é possível devido ao alto nível de integração com os fornecedores.
- **Stock de itens múltiplos** - Esta estratégia é principalmente justificada devido ao alto impacto crítico de uma indisponibilidade de sobressalente no desempenho (custo e qualidade) e segurança da fábrica.

Tabela 3 - Matriz de políticas de gestão de *stocks* (Braglia, Grassi & Montanari, 2004).

Política de inventário	Classificação de sobressalentes			
	A	B	C	D
Stock nulo	X	X		
Stock de um único item	X	X		
Just-in-time		X	X	
Stock de itens múltiplos				X

No estudo de Bošnjaković (2010) também é apresentada uma classificação multicritério para agregar os sobressalentes em grupos e atribuir uma política de gestão de *stocks*. As políticas de gestão de *stocks* que foram escolhidas pelo autor são as seguintes:

- **Não manter sobressalentes em stock:** esta política caracteriza-se pela compra de sobressalente apenas quando ocorre procura.
- **Manter uma peça em stock:** esta política implica que seja feita uma encomenda no exato momento que o sobressalente é usado.
- **Vários sobressalentes em stock:** neste caso devem ser mantidas em *stock* mais que uma unidade. O nível de *stock*, o controlo de *stock* e a reposição de pedidos são determinados para os sobressalentes a que for atribuída esta política.

As políticas usadas por Braglia, Grassi & Montanari (2004) e por Bošnjaković (2010) são as mesmas, à exceção da política de *just-in-time*, que apenas é referida no estudo de Braglia, Grassi & Montanari (2004). Nestes estudos não foi explicado como serão calculados o nível de *stock* e quantidade de encomenda da política que visa manter vários sobressalentes em *stock*.

Com a análise da literatura foi possível perceber que existem muitos trabalhos que se focam na definição de parâmetros das políticas de gestão de *stocks* e na classificação, mas existem poucos modelos focados na gestão global de sobressalentes.

Como foi constatado anteriormente a classificação é um ponto importante na gestão de sobressalentes, como tal destacaram-se os estudos desenvolvidos por Braglia, Grassi & Montanari (2004) e Bošnjaković (2010) como sendo modelos que auxiliam a gestão global dos sobressalentes. Apesar destes estudos terem como objetivo final a atribuição de políticas de gestão de *stock* a grupos de sobressalentes que têm as mesmas características, têm como desvantagem o facto de não apresentarem métodos de determinação de níveis de *stock* e as quantidades a encomendar. Conseguem-se assim identificar uma lacuna na literatura, nomeadamente, nos modelos que visam a gestão global de sobressalentes, que é o facto de não existirem abordagens na literatura que englobem na totalidade todos os aspetos para uma gestão de sobressalentes eficiente.

4.5 Conclusão

A revisão de literatura realizada sobre a gestão de *stocks* de sobressalentes permitiu retirar algumas conclusões. Relativamente aos métodos e modelos usados na classificação de sobressalentes foi possível verificar que o AHP é muito usado na classificação multicritério, surgindo várias adaptações à versão inicial. Muitos dos métodos ou modelos analisados apresentam alguma complexidade de implementação o que para aplicação prática nas organizações pode ser uma desvantagem.

Relativamente às investigações desenvolvidas para a gestão de *stocks* de sobressalentes é estudada, na maioria delas, a aplicação do modelo e a adequação dos parâmetros aos dados, considerando a totalidade dos sobressalentes. Isto é, não tendo em consideração que estes têm características diferentes. No caso dos estudos desenvolvidos por Braglia, Grassi & Montanari (2004) e por Bošnjaković (2010), as políticas de gestão de *stocks* são atribuídas a grupos de sobressalentes de acordo com as suas especificidades.

A definição da política de gestão de *stocks* depende da procura e dos métodos de previsão. Foi possível concluir através da análise da literatura que a procura de sobressalentes tem características muito próprias e, como tal, surgem na literatura muitos estudos que tentam perceber para determinado conjunto de dados qual o método de previsão da procura mais adequado, comparando os vários modelos disponíveis. Também se observou que ao longo do tempo alguns modelos foram sendo ajustados para atingir melhores resultados. Os métodos mais referidos na previsão de sobressalentes são o método de

Croston (1972) e o SBA (Syntetos & Boylan, 2005), que são muitas vezes comparados com os novos modelos para validá-los. Em alguns artigos é apresentada uma análise comparativa entre vários métodos (Eaves & Kingsman, 2004; Regattieri *et al.*, 2005; Syntetos & Boylan, 2006; Teunter & Duncan, 2009), recorrendo também aos métodos mais tradicionais, como a média móvel e o alisamento exponencial. Para além dos métodos de séries temporais, também foi possível perceber que a procura de sobressalentes pode ser estimada recorrendo ao uso da fiabilidade (Barabadi, 2012; Ghodrati *et al.*, 2013; Ghodrati, 2005; Ghodrati & Kumar, 2005; Wang & Syntetos, 2011). Neste caso não foi possível perceber se estes métodos apresentam melhores resultados que os métodos baseados em séries temporais, à exceção do método de Wang & Syntetos (2011), que foi comparado com o método SBA e apresentou melhores resultados. A literatura faz ainda referência à existência de alguns estudos sobre a previsão baseada nos julgamentos.

Como já foi referido, na análise da literatura foi possível perceber que a maioria dos trabalhos apresentados para a gestão de *stocks* de sobressalentes não partem de uma classificação prévia das peças. Apenas nos estudos desenvolvidos por Braglia, Grassi & Montanari (2004) e Bošnjaković (2010) a classificação dos sobressalentes é o ponto de partida para a atribuição das políticas de gestão de *stocks*. Apesar de referirem quais as políticas a atribuir a cada grupo de sobressalentes, os autores não fazem referência a como devem ser calculados os níveis de *stock* e as quantidades a encomendar. Ao longo desta análise, também se verificou a importância de estimar os parâmetros das políticas de gestão de *stocks*.

Em suma, percebeu-se que a melhor estratégia para a gestão de sobressalentes é definir uma metodologia que englobe a classificação (seleção de critérios e método de classificação multicritério), a previsão da procura e a gestão de *stocks*. Para que a metodologia desenvolvida seja facilmente aplicada às organizações, não deverá recorrer a dados muito complexos ou de difícil obtenção. Consegue-se assim identificar uma lacuna na literatura, nomeadamente, nos modelos que visam a gestão global de sobressalentes, que é o facto de não existirem modelos na literatura que englobem todos os aspetos importantes para uma gestão de sobressalentes eficiente.

5. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

5.1 Introdução

O processo de investigação pode ser caracterizado de acordo com o *framework* desenvolvido por Saunders *et al.* (2009) (Figura 14). O processo de investigação apresentado no *framework* é analisado de fora para dentro, a parte externa diz respeito à formulação do tópico de investigação e as fontes de investigação. Após a análise da parte externa, recorre-se a uma filosofia de investigação, e de seguida é definida a lógica de investigação, dedutiva ou indutiva. Posto isto, são definidas as estratégias de investigação (Experimental, *Survey*, Estudo de Caso, Bibliográfico, Etnográfica ou Investigação-Ação). Na etapa seguinte, é caracterizado o horizonte temporal podendo o estudo ser transversal ou longitudinal. Por fim, a recolha de dados pode ser realizada através de amostragem, dados secundários, observação, entrevista, questionário, ou um conjunto de vários tipos.

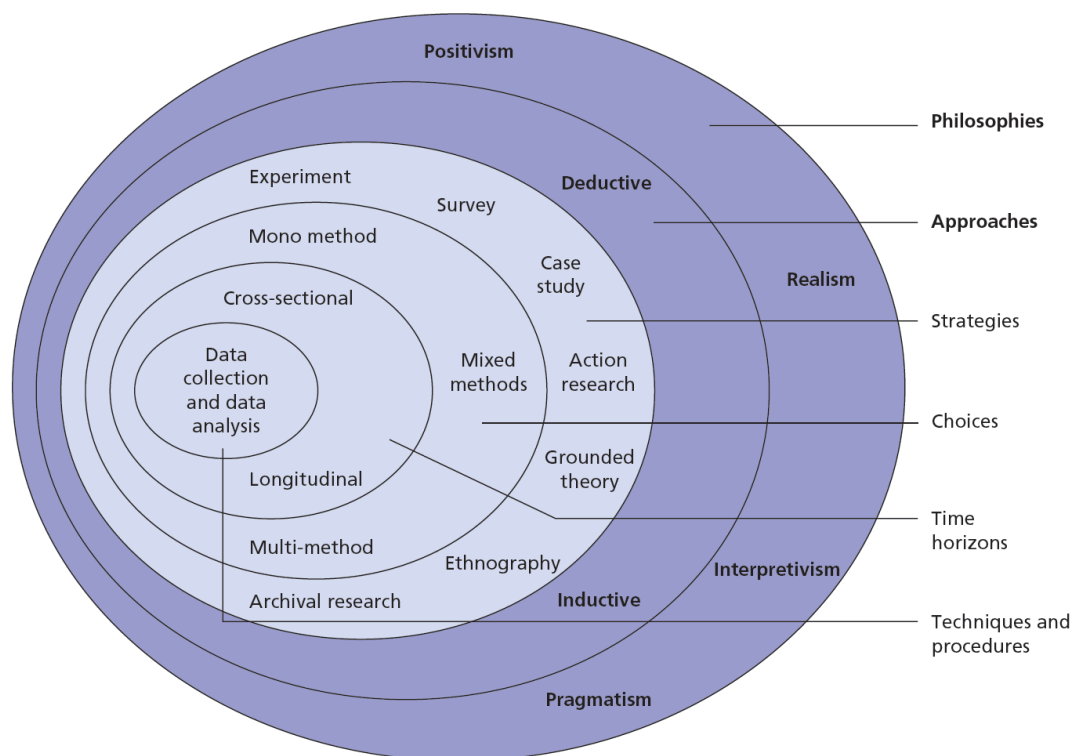


Figura 14 - Framework do processo de investigação de Saunders *et al.* (2009).

No presente capítulo é explicada a metodologia de investigação seguida nesta tese, bem como a apresentação e abordagem seguida no estudo de caso.

5.2 Seleção da Metodologia de Investigação

A metodologia de investigação tem como propósito definir a teoria de como deve ser realizada a pesquisa, enquanto que os métodos de pesquisa dizem respeito às técnicas e práticas utilizadas na obtenção de dados (Saunders et al., 2009). Nesta investigação foi utilizada a abordagem dedutiva, ou seja, desenvolve-se a teoria e, posteriormente, uma estratégia de investigação para provar essa mesma teoria. De forma a construir a base desta investigação, a metodologia de investigação foi iniciada com a revisão crítica da literatura. O objetivo era aumentar o conhecimento sobre as temáticas e conhecer as investigações mais revelantes e atuais. Como tal foi definida uma teoria que, posteriormente, foi testada recorrendo a um conjunto de dados. Foi definida a pergunta de investigação e os objetivos desta investigação.

Para realizar a revisão crítica da literatura foi identificado um conjunto de palavras-chave bem como os parâmetros de pesquisa. A pesquisa bibliográfica foi realizada recorrendo a pesquisa na internet, a referências de artigos e livros e em literatura secundária.

A revisão da literatura iniciou-se com uma revisão à temática da gestão da manutenção e da gestão de *stocks* (capítulo 2 e capítulo 3, respetivamente), que permitiu identificar e conhecer os principais conceitos destas duas áreas. Posteriormente, foi realizada uma pesquisa sobre a gestão de sobressalentes (capítulo 4), que permitiu identificar as principais lacunas nesta área e perceber como se relacionam os vários conceitos relativos à gestão de sobressalentes.

A estratégia que foi aplicada nesta investigação é o estudo de caso e pretendeu-se questionar a teoria existente relativa à gestão de sobressalentes e fornecer novas hipóteses. O estudo de caso pressupõe a utilização de um ou mais métodos quantitativos de recolha de informação. Segundo Yin (Yin, 2003), o estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um acontecimento dentro do contexto em que se insere. O autor também refere que um estudo de caso deve ter em conta as premissas relacionadas com o estudo das questões, suas proposições, a sistemática de análise, a existência de uma lógica associando os dados com as proposições e um critério para a interpretação dos dados obtidos.

As teorias construídas tendo por base o estudo de caso são, geralmente, utilizadas para responder às questões de investigação “porquê” e “como”. O objetivo desta estratégia de investigação é desenvolver teoria, por isso os casos selecionados devem ser escolhidos por serem particularmente adequados a mostrar e desenvolver as relações e a lógica entre os constructos (Eisenhardt & Graebner, 2007).

Os estudos de caso devem incluir uma diversidade de fontes de dados, como entrevistas, dados de pesquisa, dados de arquivo, etnografias e observações (Yin, 2003). De forma a ter uma visão mais global

e não enviesada do estudo de caso, deve-se recorrer a várias fontes que se complementam entre si. Como suporte à investigação foram utilizadas as seguintes técnicas: entrevistas semiestruturadas, observações e análise de conteúdos. A informação obtida através deste levantamento serviu de suporte ao desenvolvimento da metodologia.

5.3 Estudo de Caso

Nesta tese, o objetivo foi validar a metodologia e procedimento desenvolvido através da sua aplicação a um caso real, de forma a avaliar a sua relevância e funcionalidade. Para a implementação do estudo de caso foram seguidas algumas etapas. Inicialmente, definiu-se a abordagem e os procedimentos a seguir. Posteriormente, foi realizado um levantamento de dados recorrendo a entrevistas semiestruturadas e visitas à organização. De seguida, os dados foram tratados e utilizados para validar a metodologia e o procedimento definido para a gestão de *stocks* de sobressalentes. Por fim, foram retiradas as conclusões com base nas evidências obtidas.

O estudo de caso foi realizado em uma organização que produz sistemas eletrónicos para o setor automóvel. Os departamentos em que foi desenvolvida esta investigação, são os dois departamentos de manutenção (que dão suporte às duas áreas de produção) e o departamento responsável pelo armazém e controlo de sobressalentes, consumíveis e material auxiliar à manutenção. Os departamentos de manutenção são divididos em equipas que abrangem a manutenção corretiva, manutenção preventiva, planeamento e escalonamento da manutenção.

Após o levantamento de dados, foi possível concluir que a gestão de *stocks* de sobressalentes da organização é realizada através do conhecimento adquirido pela equipa de manutenção e dos dados fornecidos pelos fornecedores das máquinas, estando sujeita a um elevado grau de subjetividade. Esta informação é posteriormente fornecida à equipa do departamento responsável pelo armazém que atribui uma política de gestão de *stocks* disponível no SAP® e a regista no software. O controlo de *stocks* é também realizado recorrendo ao SAP®.

Atualmente, na organização os valores do *stock* mínimo e quantidade a encomendar são previamente definidas pela equipa de manutenção. Estes valores são comunicados à equipa de controlo de *stocks* e de armazenagem que atribui uma das políticas disponíveis no SAP®. A organização utiliza quatro políticas presentes no SAP®, descritas de seguida:

- **ND – Sem planeamento:** neste caso não existe *stock*, e após a primeira aquisição não é realizada mais nenhuma encomenda, até que a equipa da manutenção faça um pedido, ou seja, esta política é usada para aquisições pontuais de peças;
- **V1 – Ponto de re-encomenda manual:** neste caso quando é atingido o *stock* mínimo definido, a encomenda não é despoletada automaticamente, a equipa de controlo de *stocks* é que dá a autorização para despoletar a encomenda;
- **V2 – Ponto de re-encomenda automático:** neste caso, quando é atingido o *stock* mínimo definido é despoletada, automaticamente, a ordem de encomenda;
- **VV – Planeamento baseado em previsões:** o *stock* mínimo definido inicialmente é ajustado automaticamente de acordo com o consumo observado, as previsões são realizadas recorrendo a uma média móvel dos consumos verificados.

Como já referido, não existe uma regra clara para a atribuição destas políticas, por isso, através deste estudo de caso, pretende-se validar a metodologia desenvolvida e melhorar a gestão de sobressalentes da organização.

Os capítulos 6 e 7 apresentam, respetivamente, a metodologia de classificação multicritério e o procedimento para atribuição de políticas de gestão de *stocks* em cada um destes capítulos é apresentado todo o processo de desenvolvimento e, posteriormente, é apresentado o processo de validação, recorrendo a dados reais da organização.

5.4 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada a metodologia de investigação da presente tese, e que permitiu responder à pergunta de investigação e aos respetivos objetivos definidos. Paralelamente, esta metodologia permitiu definir, com maior clareza e rigor, todo o processo a ser seguido ao longo da investigação.

O enquadramento do estudo de caso desta investigação foi apresentado neste capítulo e com isso foi explicado de que forma foram recolhidos os dados necessários para o desenvolvimento da tese.

No próximo capítulo é apresentada a metodologia de classificação multicritério de sobressalentes, que inclui a seleção de critérios de manutenção e de gestão de *stocks*, a definição dos grupos de sobressalentes e a definição do método de classificação.

6. METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO MULTICRITÉRIO DE SOBRESSALENTES

6.1 Introdução

Neste capítulo é descrito todo o processo de desenvolvimento e validação da metodologia de classificação multicritério e no capítulo 7 é explicado todo o processo de desenvolvimento e validação das políticas de gestão de *stocks*. Todos os passos da metodologia que são abordados nas próximas secções foram discutidos e validados com uma equipa da organização, composta por elementos ligados à manutenção e à gestão de *stocks* de sobressalentes.

Inicialmente, é apresentada a sistemática para a definição da metodologia de classificação multicritério, posteriormente é apresentada a definição dos critérios de manutenção e respetiva validação, a definição dos critérios de gestão de *stocks* e a validação, a definição dos grupos e a definição do método de classificação. A validação dos grupos é apenas realizada após a definição do método de classificação.

6.2 Etapas para Definição da Metodologia de Classificação Multicritério

A metodologia de classificação multicritério visa agrupar os sobressalentes tendo em consideração as suas principais características. Como tal, a definição desta metodologia seguiu um conjunto de etapas a saber, a definição de critérios de manutenção, definição de critérios de gestão de *stocks*, definição dos grupos e definição do método para atribuição do grupo.

Para a definição dos critérios e do método de classificação foram considerados um conjunto de requisitos, tais como: a disponibilidade ou facilidade de obtenção dos dados, a capacidade de manter os dados atualizados no futuro, a utilização de um modelo de classificação simples de implementar nas organizações, em específico na organização do estudo de caso e a possibilidade de replicar esta metodologia de classificação a outras organizações (critérios e método que sejam o mais transversais possíveis às organizações).

Na definição de critérios foi determinado que estes deveriam abranger as duas perspetivas que estão diretamente relacionadas com a gestão de sobressalentes, a saber, a perspetiva da manutenção e a perspetiva da gestão de *stocks*. Estas duas perspetivas são complementares quando se aborda a gestão de sobressalentes.

Posto isto, a primeira etapa consistiu na definição do critério de manutenção, na segunda etapa foram definidos os critérios de gestão de *stocks* e os respetivos níveis. Em ambos os casos os níveis foram definidos recorrendo a dados disponibilizados pela organização.

A terceira etapa consistiu na definição dos grupos, ou seja, foram definidos os grupos e as suas principais características. Na última etapa procedeu-se à definição do método de classificação, que foi definido considerando o número de critérios e ainda as características de cada grupo. Em cada uma das etapas foi realizada a respetiva validação à exceção da validação dos grupos que foi realizada após a definição dos grupos e da seleção do método de classificação. A Figura 15 apresenta de forma esquematizada as várias etapas para a definição da metodologia de classificação multicritério.



Figura 15 - Etapas para definição da metodologia de classificação.

6.3 Definição de Critérios de Manutenção

Como já referido a perspetiva da manutenção é fundamental na gestão de sobressalentes, como tal pretende-se através da classificação multicritério incluir essa perspetiva. Na literatura foi possível concluir que a criticidade é muito utilizada quando se faz referência a esta temática. Como já mencionado, em

alguns casos esta é apresentada como um critério usado na classificação de sobressalentes, noutros casos é apresentado como resultado da classificação multicritério.

A definição da criticidade pode ter diferentes objetivos, o que dita os critérios a usar (Lopes, Figueiredo, & Sá, 2020), neste caso o objetivo é medir a importância e a necessidade de cada sobressalente para a manutenção e produção. Como tal, a cada sobressalente será associado um nível de criticidade, que deve ser obtido tendo em consideração um conjunto de dados. Recorreu-se à designação VED (diferente do conceito VED apresentado na literatura) para designar os três níveis de criticidade. De seguida são apresentados os níveis de criticidade e a sua designação:

- **Vital:** a falha do sobressalente tem um impacto elevado no processo de produção;
- **Essencial:** a falha do sobressalente tem um impacto médio no processo de produção;
- **Desejável:** a falha do sobressalente representa um risco baixo para o processo de produção.

Para definir a criticidade foram selecionados dois subcritérios, a saber, função e impacto na produção. Com isto, pretende-se tornar o mais objetiva possível a definição da criticidade. Para a obtenção dos níveis de criticidade definiu-se que será atribuído a cada peça uma classificação relativa à sua função e ao seu impacto na produção, sendo que cada subcritério tem associado vários níveis que permitem classificar a peça. Aquando da atribuição do nível do subcritério Impacto na Produção é considerado o impacto da falha no momento em que esta foi detetada. Os níveis do subcritério Impacto na Produção visam avaliar o impacto que a falha de um sobressalente representa para o processo produtivo. Foram definidos quatro níveis que permitem abranger os vários tipos de impacto que a falha de um sobressalente provoca no processo produtivo. Os níveis do subcritério Função têm como objetivo identificar a função desempenhada pelo sobressalente, atribuindo-lhe graus de importância. Foram definidos três níveis que abrangem as funções que um sobressalente pode desempenhar face ao processo produtivo. A ordem de importância dos níveis dos subcritérios foi definida considerando o impacto económico e de segurança que a falha representa para uma organização. De seguida é apresentada uma descrição dos subcritérios e dos níveis:

- **Função** – consiste no tipo de função desempenhada pelo sobressalente no processo produtivo.
 1. **Função Auxiliar** – a função desempenhada pelo sobressalente é de auxílio ou de suporte ao processo de transformação do produto ou à função principal do equipamento, isto é, não interfere diretamente no processo.

2. **Função de Segurança** – a falha de um sobressalente com função de segurança poderá colocar em causa a segurança dos intervenientes. O sobressalente pode não interferir diretamente na função do equipamento.
 3. **Função indispensável ao Processo** – o sobressalente contribui para a função principal do equipamento.
- **Impacto na produção** – resultado da falha do sobressalente no processo produtivo.
 0. **Sem impacto** – a falha do sobressalente não tem qualquer impacto no processo produtivo.
 1. **Perdas de Qualidade** – a falha do sobressalente origina produto defeituoso.
 2. **Redução de Produtividade** – a falha do sobressalente causa uma redução da quantidade produzida.
 3. **Paragem Súbita** – a falha do sobressalente provoca a paragem imediata da máquina e/ou do processo produtivo.

De forma a obter os níveis de criticidade referidos acima foi definida uma matriz de combinações (Figura 16) que permite atribuir três níveis de criticidade.

		Impacto na Produção			
		0	1	2	3
Função	1				
	2				
	3				

Desejável
Essencial
Vital

Figura 16 - Matriz de combinações.

A matriz (Figura 16) apresenta a combinação dos critérios função e impacto na produção, sendo obtidas 12 combinações possíveis. A cor verde representa o nível de criticidade desejável, a cor amarela representa o nível de criticidade essencial, a cor laranja o nível de criticidade vital e a preto as combinações que não se aplicam a este estudo de caso.

A definição do critério criticidade foi desenvolvido considerando a organização em estudo, ou seja, foi tido em consideração o conhecimento e a experiência da equipa de manutenção. Para isso foram recolhidos dados sobre a forma como a gestão de sobressalentes é realizada, e pretendeu-se que o

critério e os subcritérios traduzissem de forma objetiva alguns dados que já eram ponderadas na gestão de sobressalentes. Posto isto foi apresentada à equipa a proposta que foi discutida e validada. Para além de validar o critério e os subcritérios foi também necessário validar a matriz apresentada na Figura 16. Recorreu-se a um conjunto de sobressalentes que foram selecionados de forma a conseguir abranger todas as combinações da matriz. Através dessa validação foi possível observar que duas das combinações não se aplicam à realidade desta organização.

Na Tabela 4 é apresentado o exemplo da classificação que abrangeu 18 sobressalentes. Após a atribuição do nível de criticidade foi analisado em conjunto com a equipa de manutenção se o nível definido estava de acordo com a perceção da equipa face à sua importância para o processo produtivo. Concluiu-se que este método é indicado para definir a criticidade e que é suficientemente abrangente para que possa ser aplicado a outras organizações.

Tabela 4 - Exemplo da classificação de sobressalentes.

Descrição	Função	Impacto na Produção	Criticidade
Cable M12	3	2	Essencial
Grippe finger - milling cutters	3	3	Vital
Vacuum cleaner bag Ringler	1	0	Desejável
Chuck for motor Spindle	3	3	Essencial
Light bulb 24V/2.6W	1	0	Desejável
Port Ethercat Junction- EK1122	3	3	Vital
Cable encoder	3	2	Essencial
Ultrasonic sensor microsonic	3	3	Vital
Emergency button - ASI	2	3	Vital
ET-30 Emergency (stop)	2	0	Desejável
Interlock switch	2	2	Essencial
Needles ICT	3	1	Essencial
Protection bellows	1	0	Desejável
Brush	3	1	Essencial
Support Scanner	1	2	Essencial
Glass selective	1	1	Essencial

Descrição	Função	Impacto na Produção	Criticidade
Teclado Siplace	1	3	Vital
Parafuso Cil	1	3	Vital

6.4 Definição de Critérios de Gestão de *Stocks*

Como referido, a perspetiva da gestão de *stocks* também é importante para a gestão de sobressalentes, como tal, foram selecionados critérios adicionais de classificação relacionados com esta perspetiva. Para selecionar os critérios foi analisada a informação disponível na organização e verificou-se que são recolhidos dados relativos ao preço e ao prazo de entrega. Tal como a organização em que o estudo foi realizado, a maioria das organizações terão essa informação registada para auxiliar a tomada de decisão e gerir as verbas disponíveis. A seleção dos critérios recaiu sobre estes, que são também os critérios mais referidos na literatura para a classificação de sobressalentes.

De forma a definir níveis para os critérios, foi realizada uma análise ao prazo de entrega e ao preço de todos os sobressalentes (16 094 referências) registados no SAP da organização à data de 1 de março de 2017. Dadas as especificidades dos sobressalentes, verificou-se que os critérios apresentam valores muito díspares. O estudo consistiu numa análise estatística e teve em consideração as restrições financeiras da organização.

Para estes critérios pretendeu-se agrupar os dados em três níveis, a saber, baixo, médio e elevado. Com isto, pretendeu-se de uma forma simples e objetiva englobar todos os dados recorrendo a poucos níveis, pois o excesso de níveis complicaria a aplicação da metodologia de classificação. De seguida esta decisão foi validada analisando se as três categorias são suficientes para representar os dados.

6.4.1 Prazo de Entrega

O processo de aquisição que decorre entre a ordem de compra de um sobressalente e a sua disponibilidade para utilização, pode ter períodos variados. Os valores utilizados nesta análise dizem respeito à informação disponibilizada no SAP® e consiste no prazo negociado com o fornecedor aquando da sua seleção. Este período exclui o tempo de processamento da receção da encomenda e a disponibilização para utilização. No caso da organização em estudo, geralmente, este tempo não ultrapassa as 24 horas. Este tempo foi excluído pois todos os sobressalentes têm este tempo de processamento e receção, que é variável de encomenda para encomenda, dependendo das condicionantes do momento da receção.

Para definir os níveis do prazo de entrega foi realizado um estudo estatístico que teve como objetivo identificar a frequência de ocorrência de cada valor. Com isto, foi possível perceber quais são os valores mais usuais, permitindo agrupar em níveis esses valores. Na Figura 17 é apresentada a distribuição dos valores do prazo de entrega, e observa-se que existe uma concentração dos valores nos prazos de entrega de dois dias (14,76%), cinco dias (13,68%), quinze dias (46,73%) e trinta dias (18,26%). Esta informação permitiu concluir que não é necessário criar muitos níveis para este critério.

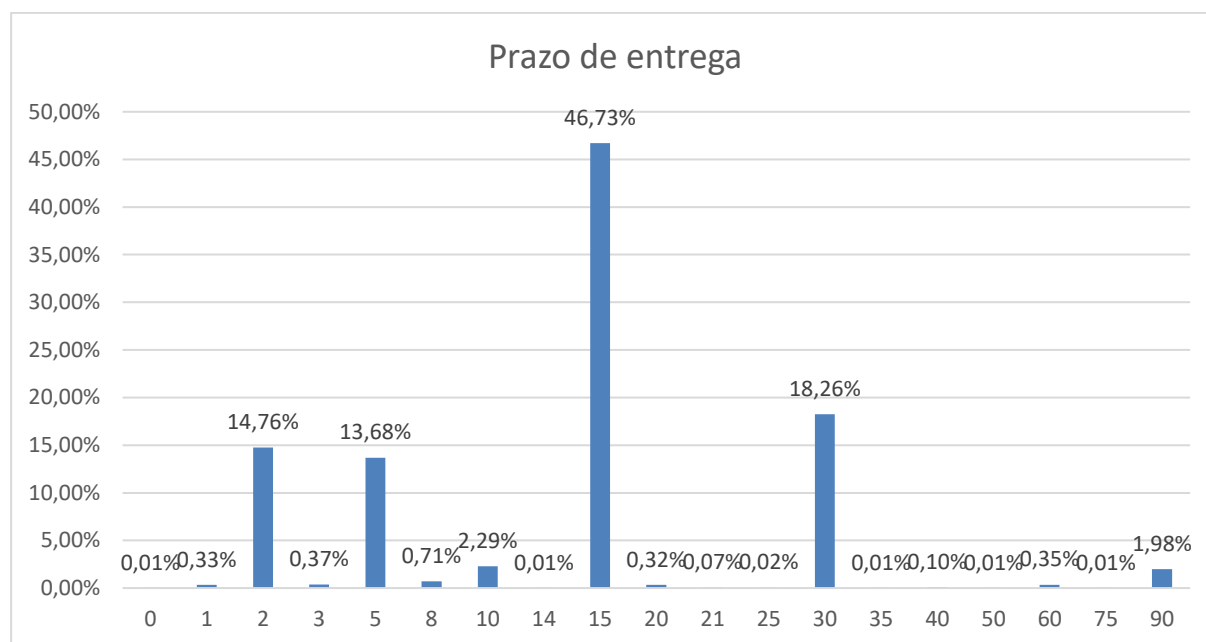


Figura 17 - Distribuição dos valores do prazo de entrega.

Da análise dos prazos de entrega registados definiu-se em colaboração com a equipa de manutenção os três níveis para este critério. Na Tabela 5 é apresentado o estudo realizado, bem como a atribuição dos respetivos níveis (baixo, médio e elevado). Os intervalos de cada nível foram definidos considerando o que para a organização são valores mais ou menos aceitáveis e ainda a capacidade das redes de distribuição logística dos fornecedores. A análise estatística apresentada na Tabela 5 também ajudou na definição dos níveis no sentido de se perceber os valores de prazo de entrega que estão a ser praticados, bem como a distribuição pelos níveis.

Ao nível baixo dizem respeito os valores de prazo de entrega inferiores ou iguais a cinco dias. A organização considera que os valores de prazo de entrega incluídos neste intervalo podem ser considerados baixos, e através da análise estatística percebeu-se que dos dados registados 29,14% dos valores estão compreendidos neste intervalo. Ao nível médio dizem respeito os valores superiores a cinco dias e inferiores ou iguais a quinze dias, que diz respeito a 49,73% dos valores registados. Por fim, o

intervalo de valores para o nível elevado é superior a quinze dias, e diz respeito da 21,13% dos valores (Tabela 5).

Pode observar-se que cerca de 50% dos valores estão compreendidos no nível médio, os restantes cerca de 50% estão divididos pelo nível baixo e elevado, sendo que o nível baixo apresenta uma maior percentagem de valores de prazo de entrega registados do que o nível elevado.

Tabela 5 - Definição dos intervalos do prazo de entrega.

Prazo de entrega (dias)	Frequência Absoluta	Frequência absoluta acumulada	Frequência relativa acumulada	Nível
0	1	1	0,01%	Baixo
1	53	54	0,34%	
2	2375	2429	15,09%	
3	59	2488	15,46%	
5	2201	4689	29,14%	
8	114	4803	29,84%	Médio
10	369	5172	32,14%	
14	2	5174	32,15%	
15	7520	12694	78,87%	
20	52	12746	79,20%	
21	11	12757	79,27%	Elevado
25	3	12760	79,28%	
30	2938	15698	97,54%	
35	1	15699	97,55%	
40	16	15715	97,65%	
50	2	15717	97,66%	
60	57	15774	98,01%	
75	1	15775	98,02%	
90	319	16094	100,00%	

Sabendo que os níveis de prazo de entrega não são estáticos e que dependem de um conjunto de situações, que se vão alterando ao longo do tempo, sugere-se que os intervalos definidos para cada nível sejam revistos com uma determinada periodicidade, para acompanhar a evolução da empresa e do mercado em que se insere.

Os valores definidos para cada nível foram escolhidos tendo em consideração esta organização e as suas especificidades, como tal, sempre que esta metodologia seja aplicada a outras organizações, poderá ser realizado um novo estudo, pois cada organização tem as suas especificidades, nomeadamente a nível da atividade económica, fornecedores e localização.

6.4.2 Preço

A definição dos níveis do critério preço foi realizada recorrendo ao preço de aquisição de todas as referências de sobressalentes registadas no SAP®. Os valores dos níveis de preço foram definidos tendo em consideração algumas restrições já impostas pela organização e a análise ao histograma que apresenta a dispersão dos valores registados para o preço das peças (Figura 18). O histograma apresenta a distribuição dos preços por 25 classe. Verifica-se que os preços estão concentrados principalmente na primeira classe [0; 84€], ou seja, 77,70%. Os restantes 22,3% dos preços dos sobressalentes estão distribuídos nas restantes classes. É notória uma grande discrepância entre os valores dos preços unitários, sendo que o valor do preço unitário mais baixo é de 0,01€ e o valor mais alto registado é de 35 677€.

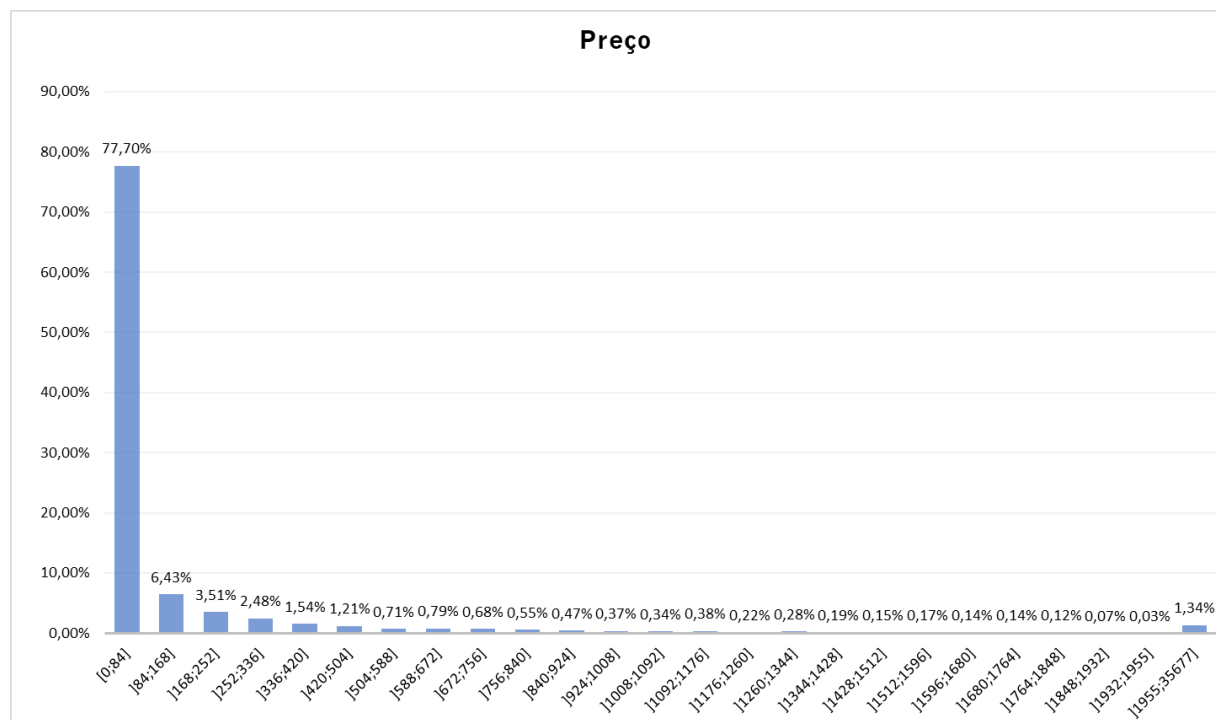


Figura 18 - Distribuição do preço unitário dos sobressalentes.

O nível elevado foi definido tendo em consideração uma restrição interna da organização, que obriga a que seja necessária uma autorização para que sejam adquiridos sobressalentes com valor superior a 1500€. No nível baixo e intermédio os intervalos foram definidos tendo em consideração o que a empresa

entendeu como sendo um valor baixo, neste caso um preço inferior ou igual a 300€. Observou-se que no nível baixo estão incluídos 87% dos valores do preço, 10% estão incluídos no nível médio e apenas 3% dos valores estão incluídos no nível elevado. Na Tabela 6 são apresentados os intervalos a que corresponde cada nível.

Tabela 6 - Intervalos dos níveis do critério preço.

	Baixo	Médio	Elevado
Nível	≤300€	>300€ e ≤1500€	>1500€
Percentagem	87%	10%	3%

A definição destes níveis foi realizada através da análise de valores registados tendo em consideração o período acima referido e, como tal, deve ser revisto ao longo do tempo devido a flutuações do preço, quer devido à inflação ou a outras questões relativas à conjuntura económica e ainda devido à aquisição de novas máquinas e instalação de novos processos. À semelhança do já referido, para os níveis do critério prazo de entrega, os níveis deste critério terão de ser ajustados à realidade de cada organização.

6.5 Definição dos Grupos de Sobressalentes

Após a definição dos critérios das perspetivas da manutenção e da gestão de *stocks*, foram definidos os grupos de sobressalentes. As características respetivas foram ajustadas ao longo de todo o processo de definição da metodologia de gestão de sobressalentes. Numa primeira iteração não foi considerado o comportamento da procura, ou seja, um sobressalente com uma procura unitária foi tratado da mesma forma que um sobressalente com uma procura por lotes variáveis (podendo pertencer ao mesmo grupo se tivessem as mesmas características, refletindo-se nos níveis dos critérios). Percebeu-se, no entanto, que uma peça que apresenta um consumo unitário e uma que apresenta um consumo por lotes variáveis não deve ser tratado da mesma forma.

Assim sendo utilizou-se a designação proposta por Cavalieri *et al.* (2008), que divide os materiais de manutenção em classes: consumíveis ou materiais auxiliares, sobressalentes genéricos, sobressalentes específicos e sobressalentes estratégicos. No âmbito desta investigação, os materiais auxiliares não são abordados. De forma a ajustar estas classes ao pretendido, optou-se por utilizar apenas os termos sobressalente genérico e sobressalente específico:

- **Sobressalentes genéricos:** Este tipo de sobressalentes pode ser utilizado em mais que um tipo de equipamento. Normalmente, são facilmente encontrados no mercado.

- **Sobressalentes específicos:** O sobressalente é específico de um determinado equipamento e/ou só está disponível através de um fornecedor específico.

Posto isto, após a classificação dos sobressalentes nos critérios, criticidade, prazo de entrega e preço, é ainda analisado se o sobressalente é genérico ou específico e ainda verificado se a procura dos componentes específicos é unitária ou por lotes variáveis. Definiu-se ainda que o número de máquinas de um determinado tipo que estão em funcionamento na organização pode levar a que o sobressalente seja tratado como genérico. Isto acontece quando uma peça é específica de um tipo de máquinas e existe um número elevado de máquinas desse tipo em funcionamento na fábrica. Foi através destes dados que foram definidos os grupos.

Foram definidos cinco grupos que visam agrupar os sobressalentes e atribuir-lhes uma política de gestão de *stocks* adequada às suas características. Na Tabela 7 são apresentadas as características de cada grupo que permitiram definir posteriormente o método de classificação. A cada grupo foi atribuída uma designação de A, B, C, D e E que permite identificar o grupo, ao qual será atribuída uma política de gestão de *stocks*. Os grupos A e B foram indicados para os sobressalentes genéricos e os grupos C, D e E para os sobressalentes específicos. Mas quando um sobressalente específico apresenta uma procura por lotes variáveis é tratado como um sobressalente genérico.

A designação dos grupos foi atribuída por ordem de importância, iniciando-se com os sobressalentes genéricos pois apresentam um maior consumo, estando mais presentes na rotina de manutenção da organização. Foi definido que de entre os grupos de sobressalentes genéricos, o grupo A é de maior importância que o grupo B, pois as peças do grupo A são as que apresentam um nível de criticidade mais elevado. Seguem-se os específicos que têm atribuídos os grupos C, D e E, também estes ordenados por grau de importância sendo o C o mais importante e o E o menos importante. A inexistência de peças do grupo E não acarreta custos de rutura (Tabela 7).

Tabela 7 - Características dos grupos de sobressalentes.

Grupo	Características
Grupo A	Os sobressalentes incluídos neste grupo caracterizam-se por a sua inexistência provocar custos de rutura elevados, não sendo permitida a rutura de <i>stocks</i> das peças pertencentes a este grupo.

Grupo	Características
Grupo B	Neste grupo são incluídos os sobressalentes cujos custos de rutura são tendencialmente mais baixos e/ou o custo de posse é tendencialmente elevado.
Grupo C	Os sobressalentes incluídos neste grupo caracterizam-se por a sua inexistência provocar custos de rutura elevados e/ou pelo facto de existirem várias máquinas a utilizarem o sobressalente o que leva a que a probabilidade de falha seja mais elevada. Posto isto, a rutura de <i>stocks</i> das peças pertencentes a este grupo não é permitida.
Grupo D	Os sobressalentes que estão incluídos neste grupo apresentam custos de rutura, tendencialmente, mais baixos que os do grupo C e/ou uma menor quantidade de máquinas o que se traduz em uma probabilidade de falha mais baixa. Neste grupo continua a não ser permitida a rutura de <i>stock</i> .
Grupo E	Neste grupo estão incluídos sobressalentes em que a sua inexistência provoca custos de rutura tendencialmente nulos. Como tal, neste grupo estão incluídos sobressalentes aos quais é permitido a rutura de <i>stock</i> .

6.6 Definição do Método de Classificação

Após a definição das características para cada grupo, foi definido de que forma seria classificada cada peça considerando os critérios definidos. A seleção do método de classificação pretendeu que este fosse de fácil implementação e intuitivo para os envolvidos.

A escolha do método de classificação passou por combinar todas as possibilidades entre os vários critérios e os respetivos níveis, para as duas classes de sobressalentes (genéricos e específicos). Para representar e analisar estas combinações, recorreu-se a árvores de decisão. A importância dos critérios foi definida para determinar a ordem de consideração de cada critério na árvore de decisão. A ordem considerada teve em consideração a relevância para a organização em estudo de cada critério. Assim sendo, o critério mais importante é a criticidade, seguido do prazo de entrega e, por último, o preço. No caso dos grupos C e D, para além dos critérios previamente definidos, foi ainda adicionado um critério que se reporta à probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega. Apesar de a procura dos sobressalentes pertencentes a estes grupos ser unitária, a probabilidade de ocorrerem falhas dentro do prazo de entrega, originando rutura de *stock*, tende a ser superior quanto maior o número de máquinas.

Quando essa probabilidade é elevada, considera-se que se justifica a existência de um *stock* mínimo de pelo menos uma unidade para evitar uma rutura.

Para a atribuição dos grupos são considerados os custos que a empresa terá de acarretar, no caso da falha de uma peça, sabendo que a inexistência em *stock* de uma peça classificada como vital traria para a empresa custos de rutura superiores aos do nível essencial e desejável, que são tão maiores quanto maior for o prazo de entrega. Os valores do custo de rutura de uma peça classificada como essencial são tendencialmente mais baixos que os anteriores, podendo, no entanto, serem muito próximos, dependendo dos prazos de entrega associados. No caso de um sobressalente classificado como desejável, o seu custo de rutura é tendencialmente nulo (a sua falha não tem impacto na produção). Estes custos de rutura são comparados com o custo de posse, sabendo-se que este aumenta com o preço da peça e com a quantidade mantida em *stock*.

6.6.1 Grupo A e B

Foram analisadas as combinações dos níveis dos critérios para atribuição de grupos A e B (Tabela 7). A análise das combinações inicia-se pelo critério criticidade, o nível mais elevado é o vital. Pretende-se que para os sobressalentes classificados como vitais, não seja permitida a rutura de *stock*, pois provoca custos elevados de rutura. Assim sendo, para as combinações da classificação vital com os níveis do critério prazo de entrega elevado e médio e para todos os níveis do critério preço é atribuído o grupo A. No caso da combinação vital, prazo de entrega baixo e preço elevado, o grupo que se considerou atribuir é o B, porque, neste caso, apesar de não se pretender que exista rutura, é necessário ponderar o custo de manter em *stock*, dado que o prazo de entrega é baixo. As peças desta combinação apresentam um custo de posse elevado e, como tal, optou-se pelo grupo B. Às combinações vital, prazo de entrega baixo e preço médio ou baixo é atribuído o grupo A, pois o custo de rutura de *stock* das peças com estas combinações é, tendencialmente, superior ao seu custo de posse (Figura 19).

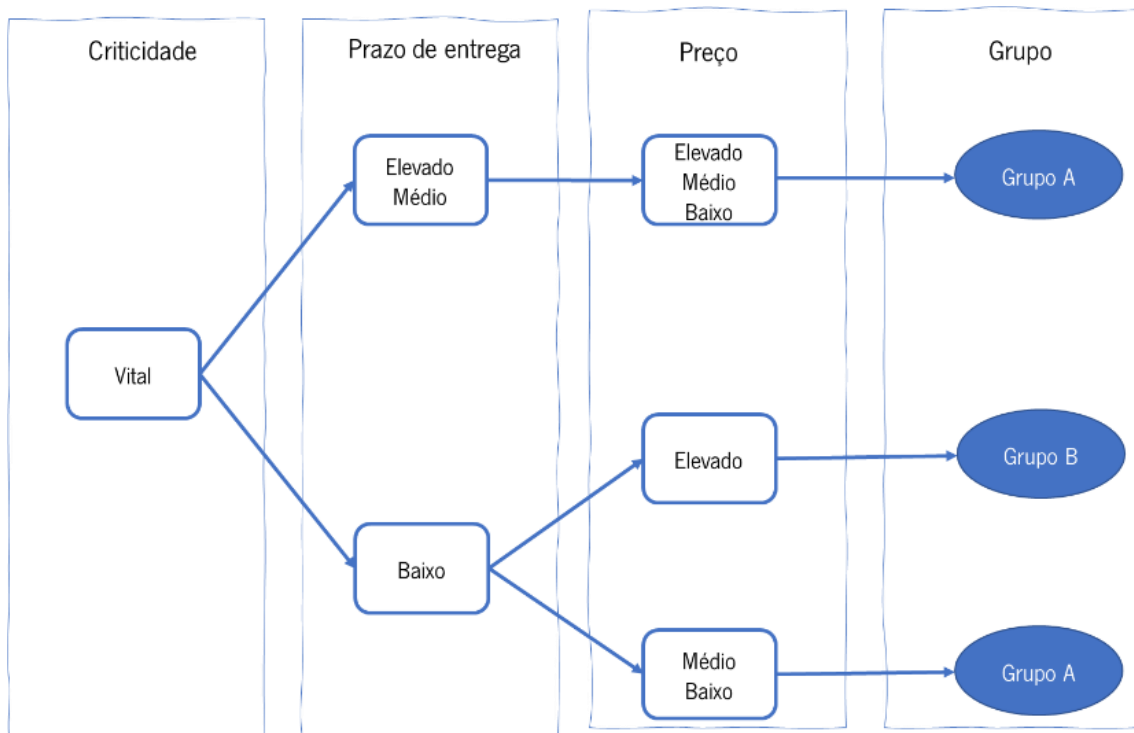


Figura 19 - Árvore de decisão para nível de criticidade vital.

No caso de o nível de criticidade ser essencial e o prazo de entrega ter o nível elevado ou médio é atribuído o grupo A, para todos os níveis do preço. Os sobressalentes que estão incluídos nesta classificação apresentam um custo de rutura elevado, pois têm um nível de criticidade intermédio, mas apresentam um prazo de entrega elevado ou médio o que faz com que a sua inexistência se traduza em prejuízos elevados para a organização. No caso das combinações essencial, prazo de entrega baixo e preço elevado, médio ou baixo é atribuído o grupo B, pois o prazo de entrega é baixo, logo, os custos provocados pela rutura de *stock* terão um impacto menor na organização. A atribuição deste grupo permite também controlar os custos associados a níveis elevados de *stock* (Figura 20).

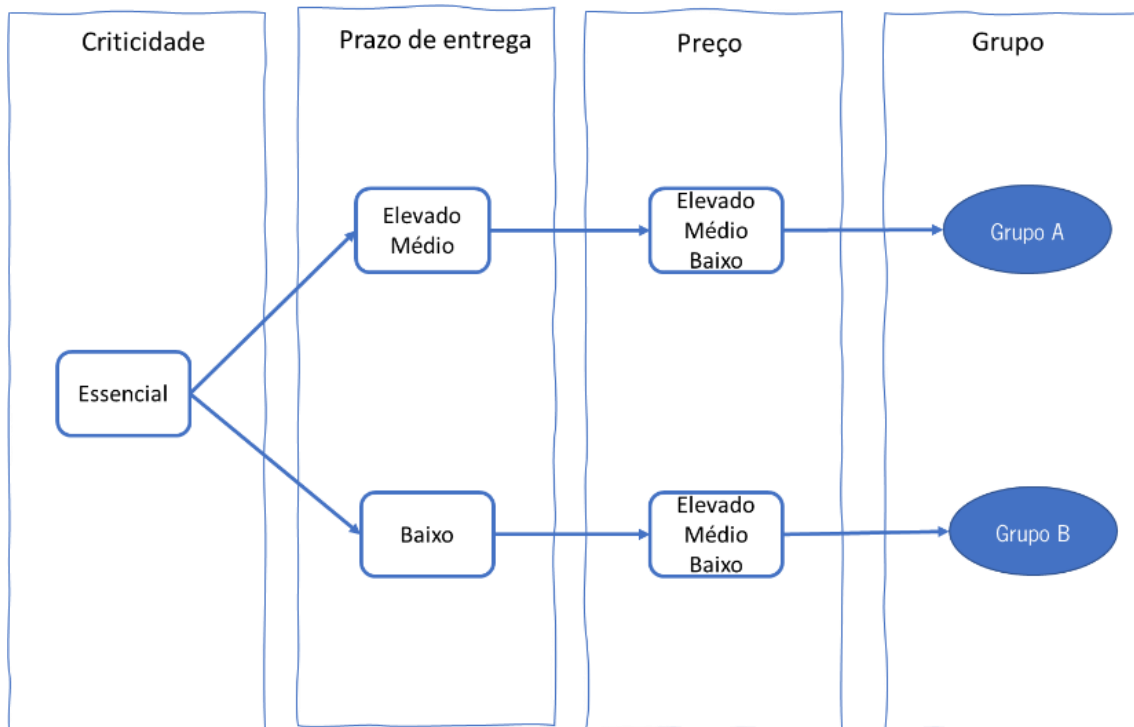


Figura 20 - Árvore de decisão para o nível de criticidade essencial.

No caso do nível de criticidade desejável, o grupo atribuído a todos os níveis de prazo de entrega e preço é o B (Figura 21). As peças com nível de criticidade essencial apresentam custos de rutura tendencialmente nulos e, como tal, não existe necessidade de manter em *stock* quantidades muito elevadas.

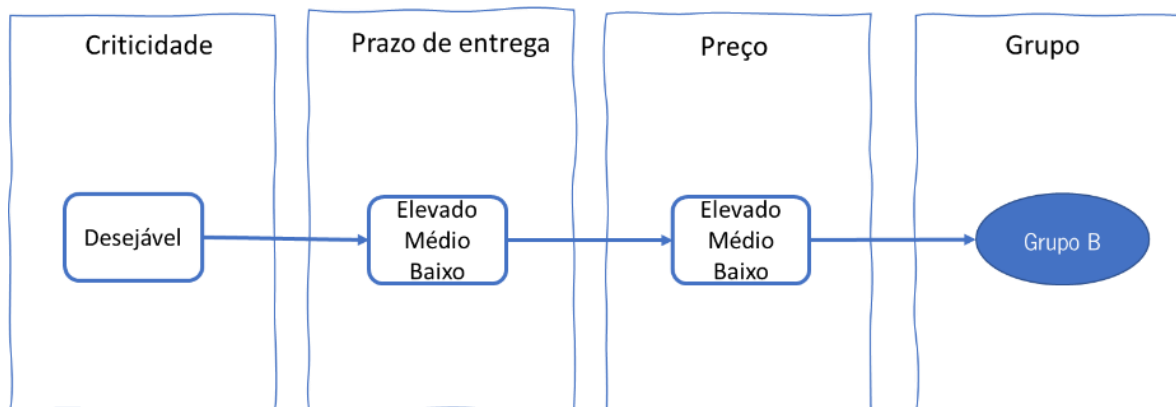


Figura 21 - Árvore de decisão para o nível de criticidade desejável.

6.6.2 Grupo C, D e E

Para os sobressalentes específicos, são atribuídos a cada uma das combinações os grupos C, D e E. Para os grupos C e D foi identificada a necessidade de incluir mais um critério que se refere à probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega. Esta necessidade surgiu após a análise do número

de máquinas a que estava associada um sobressalente. Verificou-se que o sobressalente pode estar associado apenas a uma máquina, mas também pode estar associado a várias máquinas.

Por exemplo, no caso em que existem várias máquinas do mesmo modelo de fabrico. Apesar da procura ser unitária, a probabilidade de ocorrer rutura dentro do prazo de entrega tende a ser superior quanto maior o número de máquinas e maior o prazo de entrega. Desta forma, este critério ajuda a definir os valores a manter em *stock*. A junção dos vários critérios permite evitar os riscos de ocorrência de rutura, mas também evitar o risco de degradação ou obsolescência, dado que as peças específicas têm um consumo unitário e, tendencialmente, espaçado no tempo.

Para os grupos C, D e E a política a atribuir foi definida no momento da definição dos grupos. Isto deve-se ao facto de a procura ser unitária com intervalos espaçados de procura muito elevados. Como tal foi definida uma política *S, s* para o grupo C e D, e para o grupo E uma política de não manter *stock*. Os valores do *stock* mínimo e *stock* máximo foram previamente definidos para cada um dos grupos.

As políticas associadas aos sobressalentes genéricos serão definidas posteriormente. Na Tabela 8 são apresentadas as políticas de gestão de *stocks* definidas para o grupo C, D e E. O grupo C tem uma política atribuída que consiste em manter um *stock* mínimo de uma unidade e ter um *stock* máximo de duas unidades. Com isto pretende-se garantir que não existe rutura durante o prazo de entrega no caso de uma peça estar associada a um número muito elevado de máquinas, sendo a probabilidade de rutura, isto é, a probabilidade de ocorrer duas ou mais falhas no prazo de entrega, elevada.

O grupo D tem como política adotar um *stock* máximo de uma unidade e um *stock* mínimo de zero unidades. A política deste grupo visa manter em *stock* apenas uma peça pois a probabilidade de ocorrer rutura, isto é, probabilidade de ocorrer uma ou mais falhas dentro do prazo de entrega, é muito baixa, não sendo assim necessário aumentar os custos de posse mantendo mais peças em *stock*. O grupo E tem atribuída a política de *stock* nulo, pois a falha dos sobressalentes que estão incluídos neste grupo não provoca custos de rutura para a organização.

Tabela 8 - Políticas de gestão de *stocks* grupo C, D e E.

Grupo	Política de gestão de <i>stocks</i>
Grupo C	Política <i>S, s</i> - <i>Stock</i> máximo: 2, <i>stock</i> mínimo: 1, quantidade a encomendar: 1
Grupo D	Política <i>S, s</i> - <i>Stock</i> máximo: 1, <i>stock</i> mínimo: 0, quantidade a encomendar: 1
Grupo E	Política não manter <i>stock</i> .

A introdução do critério probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega visa distinguir quais os sobressalentes que devem ser classificadas com o grupo C e os que devem ser classificadas como pertencentes ao grupo D, à exceção de algumas combinações em que o grupo C e D são atribuídos sem ser necessário incluir o critério probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega.

Para determinar a probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega decidiu-se recorrer à distribuição de *Poisson* e definiu-se o número médio de falhas no prazo de entrega (parâmetro da distribuição), m_l . A distribuição de *Poisson* é, muitas vezes, utilizada no âmbito da manutenção na modelação do número de falhas. Como para determinar m_l recorre-se ao MTTF e este é um dado da fiabilidade, a distribuição de *Poisson* é uma candidata natural para modelar a procura (Sgarbossa, Peron, Lolli, & Balugani, 2021). O processo de *Poisson* é adequado para determinar o fornecimento de sobressalentes sempre que a taxa de falha é constante (Ghodrati & Kumar, 2005). Assumiu-se que a taxa de falhas é constante, pois considera-se que os equipamentos da organização se encontram na segunda fase da curva da banheira (vida útil), pelo que, nesta fase, a taxa de falhas é constante. Guajardo, *et al.* (2015) referiu que a distribuição de Poisson é adequada quando se trata de sobressalentes com procura unitária.

O processo de *Poisson* com parâmetro $\lambda > 0$ aplica-se quando se verificam as seguintes condições (Murteira, Silva Ribeiro, Andrade e Silva, & Pimenta, 2007):

- O número de acontecimentos que ocorrem em dois intervalos disjuntos são independentes;
- A probabilidade de ocorrer exatamente um acontecimento em qualquer intervalo de amplitude Δt arbitrariamente pequena é aproximadamente $\lambda \Delta t$;
- A probabilidade de ocorrerem dois ou mais acontecimentos em qualquer intervalo de amplitude Δt arbitrariamente pequena é aproximadamente igual a zero.

O número médio de falhas no prazo de entrega é obtido através de uma expressão que multiplica a taxa de falhas pelo número de máquinas e pelo prazo de entrega, apresentada de seguida bem como a respetiva nomenclatura:

- **Número médio de falhas no prazo de entrega (m_l)**

$$m_l = \frac{1}{MTTF} * N * L \quad (36)$$

Em que:

MTTF – Mean Time To Failure;

N – Número de máquinas

L – Prazo de entrega

De forma a analisar o comportamento da probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega, foi realizada uma simulação que consistiu em determinar a probabilidade de 1 ou mais falhas no prazo de entrega ($P(X \geq 1)$), com diferentes valores para o número de máquinas. Nesta simulação foi calculado, para o mesmo valor de MTTF e de prazo de entrega, o m_l considerando um número de máquinas a variar entre 1 e 30. Foram ainda considerados vários valores de MTTF e de prazo de entrega, de forma a serem analisados vários cenários. Os valores de MTTF considerados foram de 333 dias, 666 dias e 999 dias. Os valores de prazo de entrega dizem respeito aos valores mínimos, médios e máximos dos intervalos definidos para este critério, e são: 1 dia, 3 dias, 5 dias, 10 dias, 15 dias, 30 dias e 90 dias.

Na Figura 22 é apresentado um extrato dos resultados dos cálculos realizadas para obter a probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega em diferentes situações. De forma a perceber o impacto do número de máquinas, no gráfico da Figura 23 é apresentada a evolução do valor da probabilidade de ocorrer mais de uma falha em função do número de máquinas para um cenário de MTTF igual a 999 dias e prazo de entrega de 15 dias.

	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4		Cenário 5		Cenário 6		Cen.
	MTTF	333	MTTF	333,000000000	MTTF	333	MTTF	333	MTTF	333	MTTF	333	MTTF
	LT	1	LT	3,000000000	LT	5	LT	10	LT	15	LT	30	LT
Número de Máquinas	m_l	Probabilidade	m_l	Probabilidade	m_l	Probabilidade	m_l	Probabilidade	m_l	Probabilidade	m_l	Probabilidade	m_l
1	0,003003	0,002998498	0,009009	0,008968549	0,015015	0,014902852	0,03003	0,029583609	0,045045	0,04404558	0,09009	0,086151147	0,27027
2	0,006006	0,005988006	0,018018	0,017856664	0,03003	0,029583609	0,06006	0,058292027	0,09009	0,086151147	0,18018	0,164880274	0,540541
3	0,009009	0,008968549	0,027027	0,026665065	0,045045	0,04404558	0,09009	0,086151147	0,135135	0,12640215	0,27027	0,236826797	0,810811
4	0,012012	0,011940156	0,036036	0,035394468	0,06006	0,058292027	0,12012	0,113186094	0,18018	0,164880274	0,36036	0,302575044	1,081081
5	0,015015	0,014902852	0,045045	0,044045580	0,075075	0,072326161	0,15015	0,139421249	0,225225	0,201663607	0,45045	0,362659004	1,351351
6	0,018018	0,017856664	0,054054	0,052619105	0,09009	0,086151147	0,18018	0,164880274	0,27027	0,236826797	0,540541	0,417566662	1,621622
7	0,021021	0,020801619	0,063063	0,061115737	0,105105	0,099770101	0,21021	0,189586129	0,315315	0,270441203	0,630631	0,467743962	1,891892
8	0,024024	0,023737744	0,072072	0,069536167	0,12012	0,113186094	0,24024	0,213561096	0,36036	0,302575044	0,720721	0,51359843	2,162162
9	0,027027	0,026665065	0,081081	0,077881078	0,135135	0,12640215	0,27027	0,236826797	0,405405	0,33329353	0,810811	0,555502483	2,432432
10	0,03003	0,029583609	0,09009	0,086151147	0,15015	0,139421249	0,3003	0,259404214	0,45045	0,362659004	0,900901	0,593796454	2,702703
11	0,033033	0,032493401	0,099099	0,094347046	0,165165	0,152246327	0,33033	0,28131371	0,495495	0,390731058	0,990991	0,628791356	2,972973
12	0,036036	0,035394468	0,108108	0,102469439	0,18018	0,164880274	0,36036	0,302575044	0,540541	0,417566662	1,081081	0,660771406	3,243243
13	0,039039	0,038286836	0,117117	0,110518986	0,195195	0,17732594	0,39039	0,32320739	0,585586	0,443220276	1,171171	0,689996339	3,513514
14	0,042042	0,041170531	0,126126	0,118496341	0,21021	0,189586129	0,42042	0,343229358	0,630631	0,467743962	1,261261	0,71670351	3,783784
15	0,045045	0,04404558	0,135135	0,126402150	0,225225	0,201663607	0,45045	0,362659004	0,675676	0,491187488	1,351351	0,741109827	4,054054
16	0,048048	0,046912008	0,144144	0,134237056	0,24024	0,213561096	0,48048	0,38151385	0,720721	0,51359843	1,441441	0,763413513	4,324324
17	0,051051	0,049769841	0,153153	0,142001693	0,255255	0,225281278	0,510511	0,399810902	0,765766	0,535022269	1,531532	0,78379571	4,594595
18	0,054054	0,052619105	0,162162	0,149696694	0,27027	0,236826797	0,540541	0,417566662	0,810811	0,555502483	1,621622	0,802421958	4,864865
19	0,057057	0,055459825	0,171171	0,157322681	0,285285	0,248200254	0,570571	0,434797141	0,855856	0,575080634	1,711712	0,819443533	5,135135
20	0,06006	0,058292027	0,18018	0,164880274	0,3003	0,259404214	0,600601	0,451517882	0,900901	0,593796454	1,801802	0,834998679	5,405405
21	0,063063	0,061115737	0,189189	0,172370087	0,315315	0,270441203	0,630631	0,467743962	0,945946	0,611687925	1,891892	0,849213733	5,675676

Figura 22 - Extrato da tabela com os diversos cenários para o cálculo da probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega.

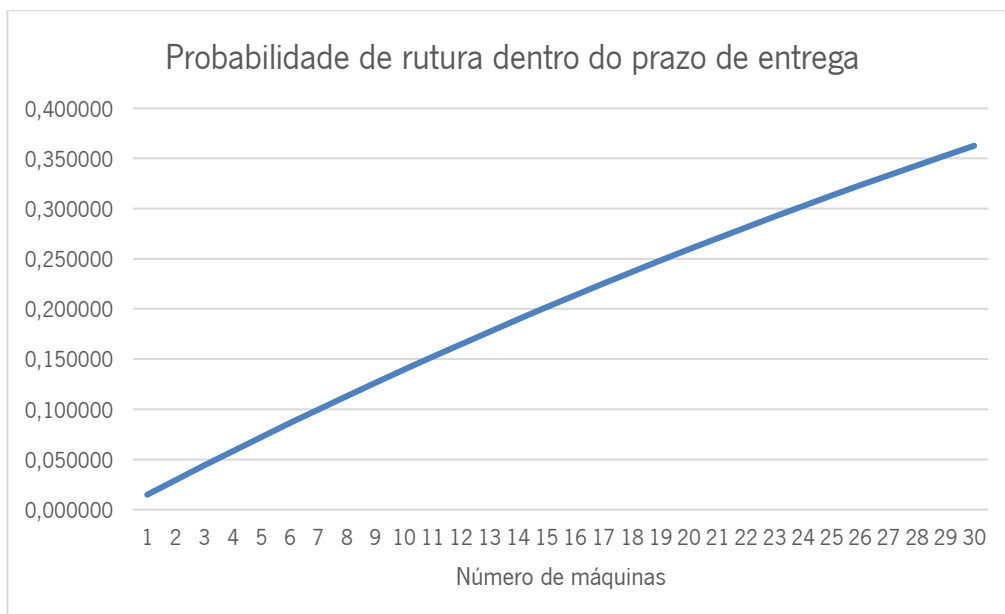


Figura 23 - Probabilidade de falha dentro do prazo de entrega em função do número de máquinas.

De forma a corroborar os resultados obtidos foi realizado um estudo recorrendo a uma pequena amostra de peças da organização em estudo candidatas aos grupos C e D. O MTTF dos sobressalentes da amostra foi calculado considerando um período de três anos, sendo o total de tempo de produção de 979 dias (333 dias de 2018, 328 dias de 2019 e 318 dias de 2020).

Na Tabela 9 são apresentados os resultados dos cálculos efetuados. Pode-se concluir que para esta amostra os valores da probabilidade de rutura no prazo de entrega são bastante baixos.

Tabela 9 - Dados e resultados da amostra.

Sobressalente	MTTF	Nº de máquinas	Prazo de entrega	m_l	Probabilidade de rutura
8600.861.695	979,0	1	15	0,01532	0,01520
8600.864.506	326,3	1	14	0,04290	0,04199
8600.867.756	3916,0	20	15	0,07661	0,07375
8600.868.194	979,0	1	10	0,01021	0,01016
8600.868.982	13216,5	27	15	0,03064	0,03018

Após esta análise foram definidos os intervalos para a atribuição dos grupos C e D. Para a atribuição do grupo C em detrimento do grupo D, foi determinado que seria definido um limite mínimo P para a probabilidade de rutura no prazo de entrega. O valor de P deve ser definido de acordo com a organização onde é aplicado pois, cada organização pretende níveis de serviço diferentes de acordo com a sua área

de atividade e rigor dos seus clientes. E, mesmo dentro da mesma organização, os valores devem ser revistos regularmente pois é necessário adequar às alterações de produção/cliente da organização.

Uma vez determinado este critério adicional, definiram-se as diferentes combinações de níveis de critérios que conduzem à classificação em cada um dos grupos C, D e E. Para o nível de criticidade vital, nível de prazo de entrega elevado, nível de preço elevado ou médio, é considerado o critério probabilidade de rutura para selecionar entre o grupo C ou D. Para as situações em que probabilidade é superior a P é atribuído o grupo C e nas situações em que a probabilidade é inferior ou igual a P é atribuído o grupo D. Para o nível de preço baixo é atribuído o grupo C, não sendo considerado o critério probabilidade de rutura no prazo de entrega, pois os custos de posse neste caso são tendencialmente baixos, quer pelo preço quer pelo número de peças. A mesma situação repete-se para os restantes níveis de prazo de entrega (médio e baixo) em que para níveis de preço elevado ou médio é considerada a probabilidade de rutura. Para as situações em que probabilidade é superior a P é atribuído o grupo C e, nas situações em que a probabilidade é inferior ou igual a P é atribuído o grupo D e, para o nível de preço baixo é atribuído o grupo C (Figura 24). Os custos provocados pela rutura de *stock* são tendencialmente elevados dada a criticidade, mas como o consumo destas peças é baixo ao atribuir grupos diferentes pretende-se assegurar que não exista rutura e, por outro lado, reduzir o risco de degradação e/ou obsolescência.

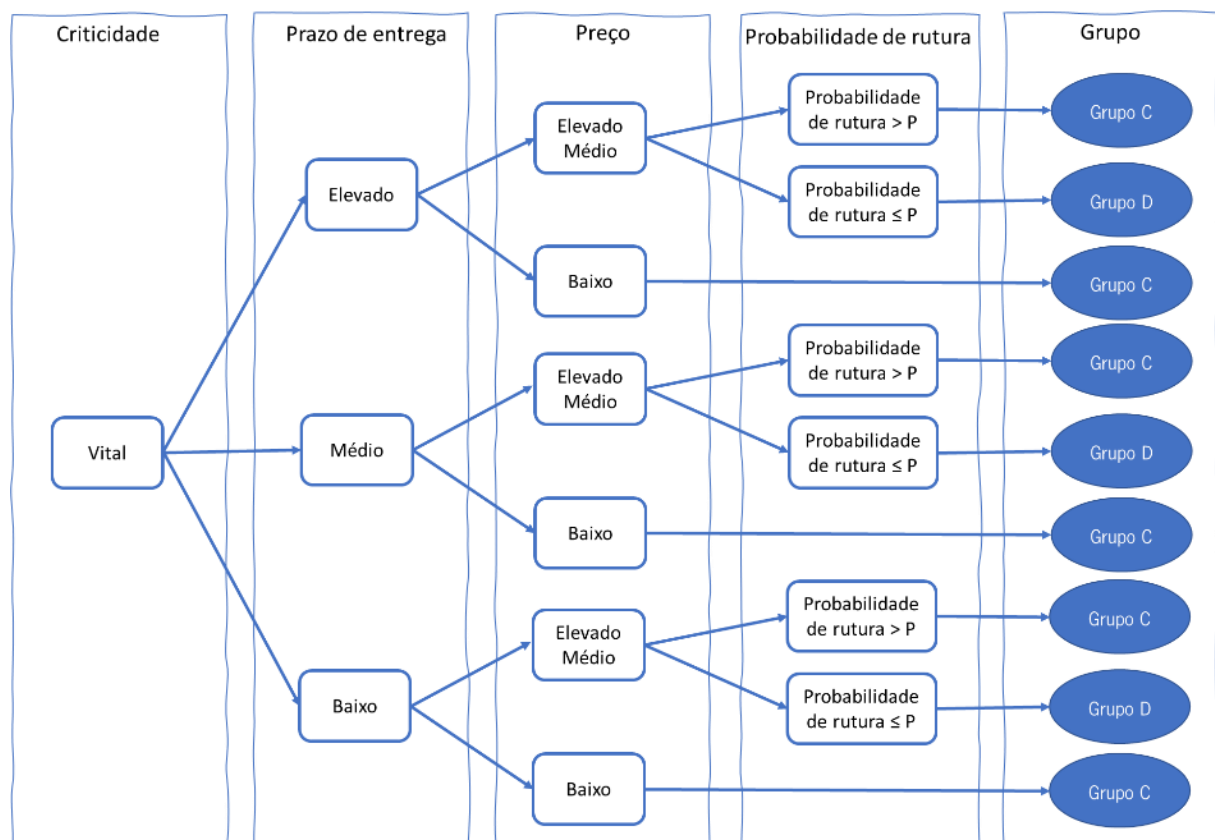


Figura 24 - Árvore de decisão para nível de criticidade vital.

Para o nível de criticidade essencial, nível de prazo de entrega elevado ou médio e nível de preço elevado ou médio é considerado o critério, probabilidade de rutura no prazo de entrega. Para as situações em que a probabilidade é superior a P é atribuído o grupo C e, nas situações em que a probabilidade é inferior ou igual a P é atribuído o grupo D. Para o nível de preço baixo é atribuído o grupo C. Para o nível prazo de entrega baixo e todos os níveis de preço é considerado o critério - probabilidade de rutura no prazo de entrega, em que, à semelhança das outras combinações, para valores de probabilidade de rutura superiores a P atribui-se o grupo C e, para valores inferiores ou iguais atribui-se o grupo D (Figura 25).

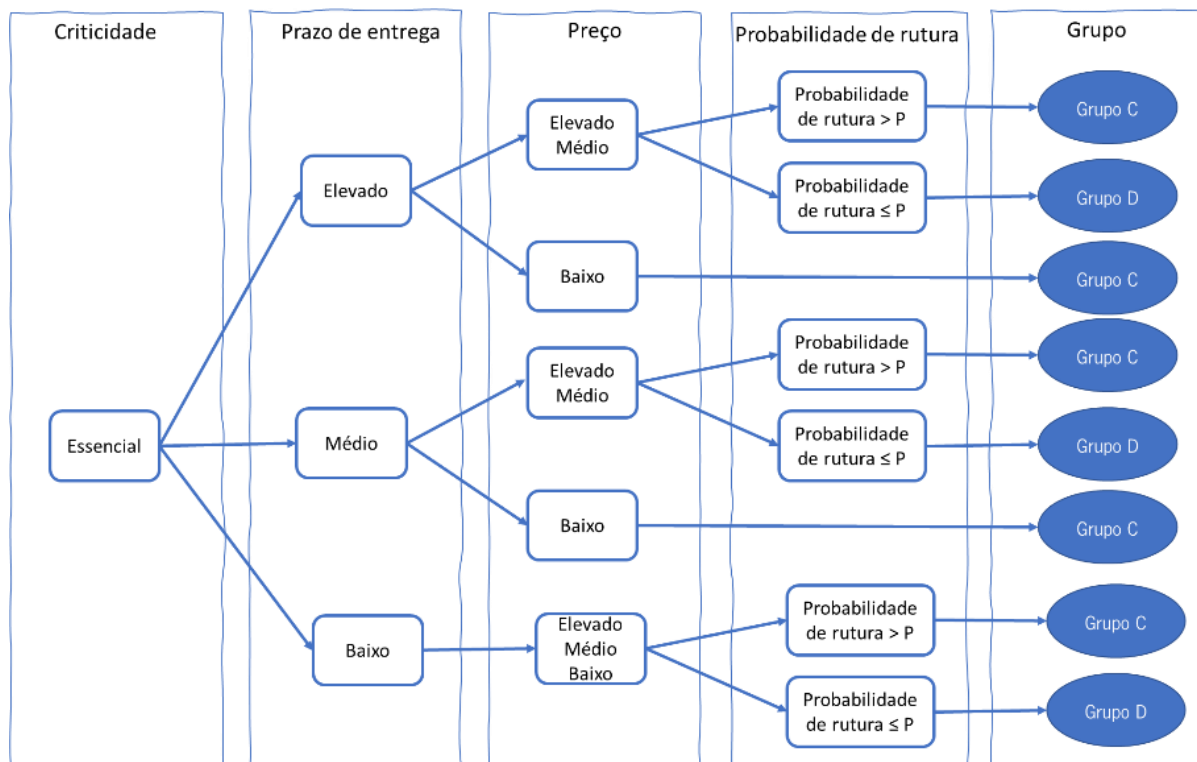


Figura 25 - Árvore de decisão para nível de criticidade essencial.

Para as combinações com um nível de criticidade desejável e um prazo de entrega elevado e preço elevado é atribuído o grupo E, pois, um preço elevado representa um custo de posse elevado e, neste caso, o custo de rutura é, tendencialmente, nulo. Mas, no caso de um nível de criticidade desejável e um prazo de entrega elevado e preço médio ou baixo é atribuído o grupo D, pois, apesar do custo de rutura ser tendencialmente nulo devido ao nível de criticidade (a falha de um sobressalente não tem impacto na produção) o preço é médio ou baixo, logo, o custo de posse é tendencialmente baixo. À combinação desejável, nível de prazo de entrega médio e baixo e todos os níveis do preço é atribuído o grupo E pois, os custos de rutura são tendencialmente nulos e o prazo de entrega não é elevado. A rutura

de *stock* dos sobressalentes com estas características não acarreta custos, mas manter *stock* provocaria custos de posse que seriam mais elevados quanto maior o preço (Figura 26).

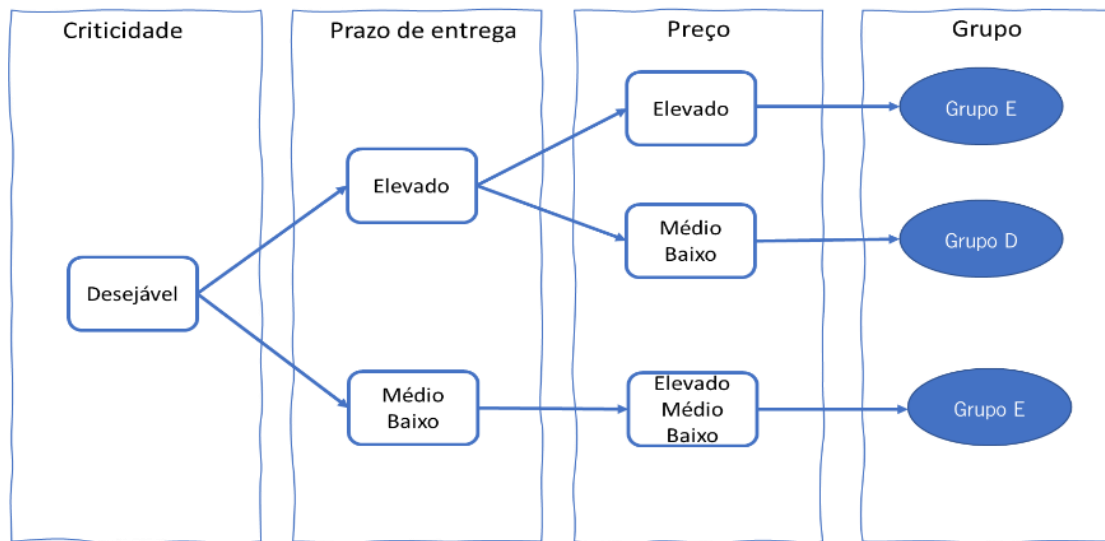


Figura 26 - Árvore de decisão para nível de criticidade desejável.

6.6.3 Validação dos Grupos

A definição do método de classificação e dos respetivos grupos não foi realizada tendo em consideração os custos que ocorrem na organização dado que não existiam dados suficientes para a realização dos cálculos. A definição dos grupos foi realizada através dos dados que foram disponibilizados pela organização e considerando que quanto maior o nível de criticidade maior será o custo de rutura e também que este é dependente dos níveis de prazo de entrega e considerando também que quanto mais elevado for o preço de um sobressalente maior pode ser o seu custo de posse.

De forma a validar os dados que permitiram definir e atribuir os grupos pretendeu-se calcular os custos de rutura provocados pela inexistência de sobressalente aquando da falha. Este cálculo fornece uma informação quantitativa do impacto da escolha de determinada política para a organização.

De forma a permitir perceber a ordem de grandeza que o custo de rutura pode atingir foi realizada uma simulação dos custos de rutura associados às várias combinações da árvore de decisão, utilizando alguns dados disponibilizados pela empresa e assumindo alguns pressupostos. Para esta simulação foram definidos cenários, de forma a estimar várias possibilidades de valores que estão compreendidos dentro do mesmo nível dos critérios. Inicialmente, foi definido de que forma se pode estimar os custos de rutura para cada nível de criticidade, dessa forma percebeu-se que o valor mais próximo do custo de rutura calculado pela empresa é o custo de perda de produção por hora.

O custo de rutura representa o impacto da falha no processo produtivo e é obtido tendo em conta o custo de perda de produção por hora e o tempo de paragem de produção originado pela falha. O custo de rutura calculado é o mesmo para os sobressalentes genéricos e específicos, pois a principal diferença entre estes é relativa ao consumo e não ao impacto da falha no processo produtivo. O tempo de perda de produção é dado pelo valor do prazo de entrega. Foi desenvolvida uma expressão para calcular o custo de rutura para um nível de criticidade e para um nível de prazo de entrega, a expressão é a seguinte:

$$Cr_i = Cpp_i * H * L_i \quad (37)$$

Em que,

Cr_i – Custo de rutura para o nível de criticidade i e prazo de entrega L_i ;

Cpp_i – Custo de perdas de produção por nível de criticidade i por hora;

L_i – Prazo de entrega em dias para um nível i ;

H – Número médio de horas de produção por dia;

$i = \{1, 2, 3\}$.

Para obter Cr_i foram assumidos os seguintes pressupostos:

- O custo de perda de produção considerado é de 104,80€ por hora;
- Os prazos de entrega são os registados, não sendo incluídas as situações em que para encurtar o tempo de rutura é pedido um transporte urgente, diminuindo o prazo de entrega, mas aumentando os custos com o transporte;
- O número de horas de produção por dia considera três turnos de oito horas, e são retiradas duas horas para trocas de turno, trocas de produção e outras paragens de produção em que não são substituídos sobressalentes (problemas de software, ajustes de parâmetros, entre outros);

Para obter as estimativas do custo de rutura foi utilizado um valor fixo no caso do nível de criticidade vital (104,80€) e desejável (0€), mas para o nível de criticidade essencial não é possível obter um valor fixo pois neste nível estão incluídos sobressalentes que provocam perdas de qualidade e redução de produtividade. Por isso decidiu-se definir um conjunto de valores possíveis para o custo de perda de produção associado a este nível de criticidade. Foram considerados várias percentagens do custo de

perda de produção (104,80€). As percentagens consideradas foram 5%, 20%, 40%, 60% e 75%, que se traduzem nos seguintes valores, respetivamente, 5,24€, 20,96€, 41,92€, 62,88€ e 78,60€.

Para além dos custos de rutura considerados, há ainda custos associados à rutura que dizem respeito ao não cumprimento de uma encomenda (ou com atraso na entrega), estes custos podem ser indemnizações, perda de clientes, entre outros custos associados ao não cumprimento do contratado.

Para cada um dos níveis de criticidade foi calculado o custo de rutura considerando cinco cenários possíveis. Cada cenário diz respeito a três valores de prazo de entrega compreendidos dentro de cada nível (baixo, médio e elevado). Na Tabela 10 apresentam-se os valores do prazo de entrega (em dias) de cada cenário, *L*, e respetivo nível de prazo de entrega. Estes valores são utilizados a seguir para o cálculo de custo de rutura.

Tabela 10 - Valores dos níveis do prazo de entrega para cada cenário.

Nível de prazo de entrega	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Elevado	16	30	45	60	90
Médio	6	8	10	12	15
Baixo	1	2	3	4	5

Foi calculado o custo de rutura para cada nível de criticidade e os vários valores de prazo de entrega dos cinco cenários. No caso do nível de criticidade essencial, foram considerados os vários valores do custo de perda de produção, respetivamente 5,24€, 20,96€, 41,92€, 62,88€ e 78,60€.

Na Tabela 11, Tabela 12, Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15 são apresentados os resultados dos cinco cenários, considerando os vários valores do custo de perda de produção para o nível de criticidade Essencial, respetivamente. Na Tabela 11, os valores apresentados dizem respeito ao cálculo do custo de rutura para os três níveis de criticidade (considerando o valor mais baixo de perdas de produção para o nível essencial) e os vários cenários de cada nível do prazo de entrega.

As Tabela 12, Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15 apresentam os valores do custo de rutura para o nível de criticidade essencial com valores de perdas de produção de 20,96€, 41,92€, 62,88€ e 78,60€ (respetivamente) e os vários cenários dos níveis do prazo de entrega.

Tabela 11 - Custo de rutura considerando um custo de perda de produção para o nível vital, essencial de 5,24€ e desejável.

Combinação			Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Criticidade	Prazo de entrega	Preço					
Vital	Elevado	Elevado, Médio e Baixo	36 889,60 €	69 168 €	103 752 €	138 336 €	207 504 €
Vital	Médio	Elevado, Médio e Baixo	13 833,60 €	18 444,80 €	23 056,00 €	27 667,20 €	34 584 €
Vital	Baixo	Elevado, Médio e Baixo	2 305,60 €	4 611,20 €	6 916,80 €	9 222,40 €	11 528 €
Essencial	Elevado	Elevado, Médio e Baixo	1 844,48 €	3 458,40 €	5 187,60 €	6 916,80 €	10 375,20 €
Essencial	Médio	Elevado, Médio e Baixo	691,68 €	922,24 €	1 152,80 €	1 383,36 €	1 729,20 €
Essencial	Baixo	Elevado, Médio e Baixo	115,28 €	230,56 €	345,84 €	461,12 €	576,40 €
Desejável	Elevado, Médio e Baixo	Elevado, Médio e Baixo	0€	0€	0€	0€	0€

Tabela 12 - Custo de rutura considerando um custo de perda de produção para o nível essencial de 20,96€.

Combinação			Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Criticidade	Prazo de entrega	Preço					
Essencial	Elevado	Elevado, Médio e Baixo	7 377,92 €	13 833,60 €	20 750,40 €	27 667,20 €	41 500,80 €
Essencial	Médio	Elevado, Médio e Baixo	2 766,72 €	3 688,96 €	4 611,20 €	5 533,44 €	6 916,80 €
Essencial	Baixo	Elevado, Médio e Baixo	461,12 €	922,24 €	1 383,36 €	1 844,48 €	2 305,60 €

Tabela 13 - Custo de rutura considerando um custo de perda de produção para o nível essencial de 41,92€.

Combinação			Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Criticidade	Prazo de entrega	Preço					
Essencial	Elevado	Elevado, Médio e Baixo	4 024,32 €	27 667,20 €	41 500,80 €	55 334,40 €	83 001,60 €
Essencial	Médio	Elevado, Médio e Baixo	5 533,44 €	7 377,92 €	9 222,40 €	11 066,88 €	13 833,60 €
Essencial	Baixo	Elevado, Médio e Baixo	922,24 €	1 844,48 €	2 766,72 €	3 688,96 €	4 611,20 €

Tabela 14 - Custo de rutura considerando um custo de perda de produção para o nível essencial de 62,88€.

Combinação			Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Criticidade	Prazo de entrega	Preço					
Essencial	Elevado	Elevado, Médio e Baixo	22 133,76 €	41 500,80 €	62 251,20 €	83 001,60 €	124 502,40 €
Essencial	Médio	Elevado, Médio e Baixo	5 533,44 €	7 377,92 €	9 222,40 €	11 066,88 €	13 833,60 €
Essencial	Baixo	Elevado, Médio e Baixo	922,24 €	1 844,48 €	2 766,72 €	3 688,96 €	4 611,20 €

Tabela 15 - Custo de rutura considerando um custo de perda de produção para o nível essencial de 78,60€.

Combinação			Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Criticidade	Prazo de entrega	Preço					
Essencial	Elevado	Elevado, Médio e Baixo	27 667,20 €	51 876,00 €	77 814,00 €	103 752 €	155 628 €
Essencial	Médio	Elevado, Médio e Baixo	10 375,20 €	13 833,60 €	17 292,00 €	20 750,40 €	25 938€

Combinação			Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Criticidade	Prazo de entrega	Preço					
Essencial	Baixo	Elevado, Médio e Baixo	1 729,20 €	3 458,40 €	5 187,60 €	6 916,80 €	8 646€

Através da análise realizada aos vários valores do custo de rutura foi possível concluir que os custos de rutura podem atingir valores na ordem dos 207 504€, para um nível de criticidade vital e prazo de entrega elevado (90 dias), mas este valor vai diminuindo significativamente no caso de prazos de entrega mais baixos, tendo um valor de 2 305,60€ no caso do nível de criticidade vital e nível de prazo de entrega baixo (1 dia) (Tabela 11). Apesar de o nível de criticidade vital ser o mais elevado foi possível verificar que no caso do nível de criticidade essencial e prazo de entrega elevado, os valores do custo de rutura podem ser superiores aos obtidos para o nível de criticidade vital, principalmente quando o prazo de entrega é médio ou baixo (Tabela 11, Tabela 12, Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15).

As combinações do nível de criticidade desejável não apresentam custo de rutura pois a falha dos sobressalentes classificados com este nível de criticidade não provoca impacto no sistema produtivo.

Com esta simulação foi possível concluir que a ordem de importância definida para os critérios se adequa à realidade, e que a criticidade é o critério que permite identificar o valor da perda de produção e o prazo de entrega permite saber durante quanto tempo a rutura vai ocorrer. Por fim, o critério preço permite ter uma noção dos custos de posse envolvidos uma vez que os sobressalentes mais caros representam custos de posse mais elevados quanto maior for a quantidade mantida em *stock*.

Quanto à atribuição dos grupos pode-se concluir que a análise inicialmente realizada está de acordo com as estimativas dos custos. Os grupos em que se pretende evitar a rutura de *stock* e, por isso, mais importantes, são os que apresentam os valores mais elevados do custo de rutura. Estes grupos têm níveis de criticidade mais elevados (vital e essencial) e, quanto maior for o prazo de entrega maior é o custo de rutura associado. Esses grupos são o A para os sobressalentes genéricos e o C e D para os sobressalentes específicos.

6.7 Conclusão

No presente capítulo foi apresentada a metodologia de classificação multicritério de sobressalentes, bem como o processo de definição e validação. Destaca-se a importância da conjugação das duas perspetivas,

a da gestão de *stocks* e a da manutenção, que permitiram ter uma visão dos custos de rutura (através da criticidade e do prazo de entrega) e dos custos de posse (através do preço).

A distinção entre componentes genéricos e específicos foi muito importante para distinguir os sobressalentes que mesmo podendo ter as mesmas características a nível de criticidade, prazo de entrega e preço, apresentam uma procura com comportamentos muito distintos. Percebeu-se também que o número de máquinas que utilizam o mesmo sobressalente em alguns casos é um fator a ter em consideração, no caso dos sobressalentes específicos, para algumas combinações do grupo C e D foi adicionado o critério probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega, que permite, juntamente com os restantes critérios, a atribuir o grupo mais adequado às especificidades das peças.

Na seleção dos critérios e do método de classificação também foi considerada a complexidade de implementação da metodologia, dado que uma metodologia que necessite de informações difíceis de obter e ou de manter atualizadas ao longo do tempo não será uma mais-valia para as organizações. Com isto foi possível encontrar uma metodologia capaz de agregar os sobressalentes pelas suas características e especificidades, o que facilita a atribuição de uma política de gestão de *stocks* a cada grupo.

Apesar da principal funcionalidade da metodologia ser classificar e agrupar os sobressalentes para a atribuição de uma política de gestão de *stocks*, podem-se destacar algumas funcionalidades adicionais, nomeadamente, em processos de melhoria contínua, pois, a classificação da criticidade dos componentes permite identificar quais os mais críticos para o processo produtivo/manutenção. A classificação dos níveis de prazo de entrega e preço permite identificar situações em que seja importante renegociar condições com os fornecedores ou fazer novos estudos de mercado para selecionar outros fornecedores.

No próximo capítulo, são apresentados as políticas de gestão de *stocks* definidas para cada grupo e o processo de definição das políticas.

7. PROCEDIMENTO PARA ATRIBUIÇÃO DE POLÍTICAS DE GESTÃO DE *STOCKS*

7.1 Introdução

Após a obtenção dos grupos de sobressalentes, através da classificação multicritério, é necessário definir as políticas de gestão de *stocks* dos grupos A e B. As políticas associadas aos sobressalentes específicos foram já definidas anteriormente. O procedimento para determinar as políticas de gestão de *stocks* passou por recolher uma amostra de sobressalentes representativa da situação real da organização e representativa dos vários grupos definidos. Para isso, foram selecionados 18 sobressalentes que são utilizados nas máquinas de uma divisão da organização que se destina ao fabrico de placas de circuito impresso ou *Printed Circuit Board* (PCB). Após essa recolha foram testados vários métodos para realizar a previsão da procura e analisada a distribuição da procura. De seguida, e considerando as conclusões obtidas dessa análise foram atribuídas e testadas as políticas de cada grupo.

7.2 Definição da Amostra de Sobressalentes

As peças da amostra foram classificadas considerando as árvores de decisão apresentadas no capítulo anterior. Para a atribuição do grupo C e D foi definido um valor de P de 0,03, o que significa que para os valores de probabilidade de rutura no prazo de entrega inferiores ou iguais a 0,03 é atribuído o grupo D, para os valores superiores é atribuído o grupo C.

A amostra é apresentada na Tabela 16 e é composta por 18 sobressalentes. Para além dos dados disponíveis do consumo, foi analisado se existem dependências entre os sobressalentes e identificada a quantidade de peças que são substituídas em cada ação de manutenção. Desta análise verificou-se que as peças em estudo não apresentam dependências e ainda que numa ação de manutenção podem ser substituídas uma ou várias peças dependendo do equipamento, ou seja, não há peças em que seja necessário substituir, obrigatoriamente, mais do que uma peça, à exceção do sobressalente, “8600.868.982 – Clamping Blade”, em que são sempre substituídas duas unidades. No caso deste sobressalente, o consumo de duas unidades será tratado com um conjunto composto por duas unidades.

Dos sobressalentes em análise verificou-se que o “8600.864.987 – Panasonic support pin” é classificado na classe específico, mas como não apresenta uma procura unitária, vai ser tratado como um sobressalente genérico sendo, dessa forma, atribuído ao grupo A.

Os sobressalentes “8600.856.667- Fluor Filter” e “8600.860.797 - Panel filter médium” têm atribuída uma política de manutenção preventiva sistemática, o que significa que é possível planejar o momento

em que são utilizados os sobressalentes e em que quantidade, no entanto sabe-se que existem situações em que ocorrem ações de manutenção corretiva, como tal é necessário manter um *stock* adequado às necessidades dessas ações de manutenção. Os restantes sobressalentes têm associados outras políticas de manutenção, nomeadamente, inspeções e ações de manutenção corretiva, pelo que é mais difícil planear os consumos.

Apesar de não terem sido identificadas situações de dependências na secção da fábrica onde as políticas de gestão de *stocks* foram testadas, sabe-se que estas situações podem ocorrer, ou seja, sobressalentes diferentes são substituídos, sempre, em simultâneo. Nestes casos é necessário estabelecer uma abordagem específica para estas peças pois estamos perante procura agregada. Como tal, é necessário criar um registo que possibilite identificar estes sobressalentes de forma que sejam tratados adequadamente. Estes sobressalentes devem ter a mesma política de gestão de *stocks* e as quantidades em *stock* e a encomendar devem ser as mesmas dado que a procura é igual. Esta identificação vai permitir que estes sobressalentes sejam tratados como conjuntos. Se fossem tratados em separado, poderia acontecer que estas peças ao serem sujeitas à classificação multicritério tivessem atribuído um grupo diferente (níveis de criticidade, prazo de entrega ou preço diferentes entre eles). Assim deve ser atribuído um mesmo grupo ao conjunto.

Tabela 16 - Amostra de sobressalentes.

Referência	Descrição	Função	Impacto na produção	Criticidade	Prazo de entrega	Nível	Preço	Nível	Classe	Probabilidade de rutura	Nível	Grupo
8600.864.987	Panasonic Support pin N610142041AJ	1	2	Essencial	2	Baixo	59,36 €	Baixo	Específica	-	-	A
8600.850.626	FUSIVEL 5 X 20;3.15 AMP	3	3	Vital	2	Baixo	0,90 €	Baixo	Genérica	-	-	A
8600.866.060	ENDLESS BELT 3MMX1170MM ;MQBF649153	3	3	Vital	30	Elevado	71,89 €	Baixo	Genérica	-	-	A
8600.863.373	Fuse 10x38 HRC 2A500V;248630	3	3	Vital	2	Baixo	2,72 €	Baixo	Genérica	-	-	A
8600.868.019	Gas spring 150N;MHSG507904-01 NUTEK	2	0	Desejável	15	Médio	283,24 €	Baixo	Genérica	-	-	B
8600.858.383	Lampada BA15S 24V5W; 170-862	1	0	Desejável	2	Baixo	7,93 €	Baixo	Genérica	-	-	B
8600.857.998	1019551;Rectus Cap Coupling ; 4217.0029	1	3	Vital	15	Médio	46,79 €	Baixo	Genérica	-	-	A
8600.857.999	Rectus Locking Nipple;4217.0030;1019552	1	3	Vital	15	Médio	27,35 €	Baixo	Genérica	-	-	A
8600.855.423	KF-center ring DN 50;4400.0047;1020024	1	2	Essencial	2	Baixo	11,68 €	Baixo	Genérica	-	-	B
8600.859.758	KF-center ring DN 40; 4400.0044;1020022	1	2	Essencial	2	Baixo	11,47 €	Baixo	Genérica	-	-	B
8600.856.667	FLUOR FILTER ;4207.0101 (1019435)	1	3	Vital	2	Baixo	17,80 €	Baixo	Genérica	-	-	A
8600.860.797	1019449;panel filter mediumF9,536x193x44	1	3	Vital	21	Elevado	15,63 €	Baixo	Genérica	-	-	A

Referência	Descrição	Função	Impacto na produção	Criticidade	Prazo de entrega	Nível	Preço	Nível	Classe	Probabilidade de rutura	Nível	Grupo
8600.861.695	Assy, Z servo motor 62-1664-00	3	3	Vital	15	Médio	4 691,00 €	Elevado	Específica	0,01532	≤0,03	D
8600.864.506	motor controller DC2Q-AS; 60.009.057	3	3	Vital	14	Médio	160,90 €	Baixo	Específica	-	-	C
8600.867.756	Round belt NOMEX 10250 x 3 mm ;1018912	1	1	Essencial	15	Médio	79,77 €	Baixo	Específica	-	-	C
8600.868.194	control unit;N510044504AA	3	3	Vital	10	Médio	651,40 €	Médio	Específica	0,01021	≤0,03	D
8600.868.982	Clamping Blade;4054005188	1	1	Essencial	15	Médio	3 314,00 €	Elevado	Específica	0,03018	≤0,03	D
8600.869.878	Cap round vynil;193371	1	0	Desejável	15	Médio	0,70 €	Baixo	Específica	-	-	E

7.3 Análise e Previsão da Procura

7.3.1 Previsão Baseada em Séries Temporais

A procura de sobressalentes caracteriza-se por apresentar um comportamento esporádico e uma variabilidade elevada. Desta forma, é importante selecionar o modelo de previsão que mais se adequa a estas características. Para isso, decidiu-se testar alguns modelos que são utilizados para estimar a procura de sobressalentes. Os modelos baseados em séries temporais que são explorados foram os mais referenciados em estudos sobre a procura deste tipo de peças e são: a média móvel, o AES, o modelo de Croston e o SBA ou Croston modificado.

Para avaliar o desempenho das previsões, existem vários critérios. Na literatura, os critérios mais utilizados são o MAD e MSE, que foram também os critérios selecionados neste caso.

Numa fase inicial, foi realizada uma análise preliminar à procura de todas as peças da amostra (Tabela 16) que permitiu perceber que era possível dividir a procura em dois tipos, a procura por lotes variáveis e a procura unitária (sobressalentes genéricos e específicos, respetivamente). A análise dos consumos e dos dados das ações de manutenção associadas a cada sobressalente permitiu observar que há peças que têm um consumo unitário e muito esporádico. Apesar de todos os sobressalentes apresentarem períodos com procura nula, verificou-se que há peças em que esses períodos são mais curtos e em que a procura é um lote de tamanho variável, noutros casos a procura é unitária e existem longos períodos de procura nula.

Assim, conclui-se que a divisão entre sobressalente genérico e específico é importante para a atribuição de um modelo de previsão e, posteriormente, de uma política de gestão de *stocks* adequada. Após a análise preliminar da procura decidiu-se testar os modelos acima referidos apenas para os sobressalentes genéricos (grupos A e B). Os sobressalentes específicos apresentam uma procura unitária e com muitos períodos de procura nula pelo que estes modelos não trariam resultados satisfatórios. Com esta análise pretendeu-se perceber se é possível atribuir a cada grupo um modelo de previsão e se as previsões obtidas utilizando estes modelos é útil para a definição das políticas de gestão de *stocks*.

Os modelos de previsão foram aplicados aos 12 sobressalentes genéricos cujos dados da procura dizem respeito ao consumo mensal no período de 1 de janeiro de 2018 a setembro de 2020. Dado que esta análise serve para tentar perceber se os modelos de previsão são adequados para este tipo de peças e

se permitem uma ligação com as políticas de gestão de *stocks*, foi usada a média móvel a seis meses e os modelos AES, Croston e SBA, com um valor da constante de alisamento utilizado $\alpha = 0,2$.

Na Figura 27 é apresentado um gráfico com a procura real e as previsões da procura utilizando a média móvel, o AES, o método de Croston e o SBA, para o sobressalente 8600.866.060. Pode-se verificar que nenhum dos métodos consegue apresentar previsões que acompanhem os picos da procura real.

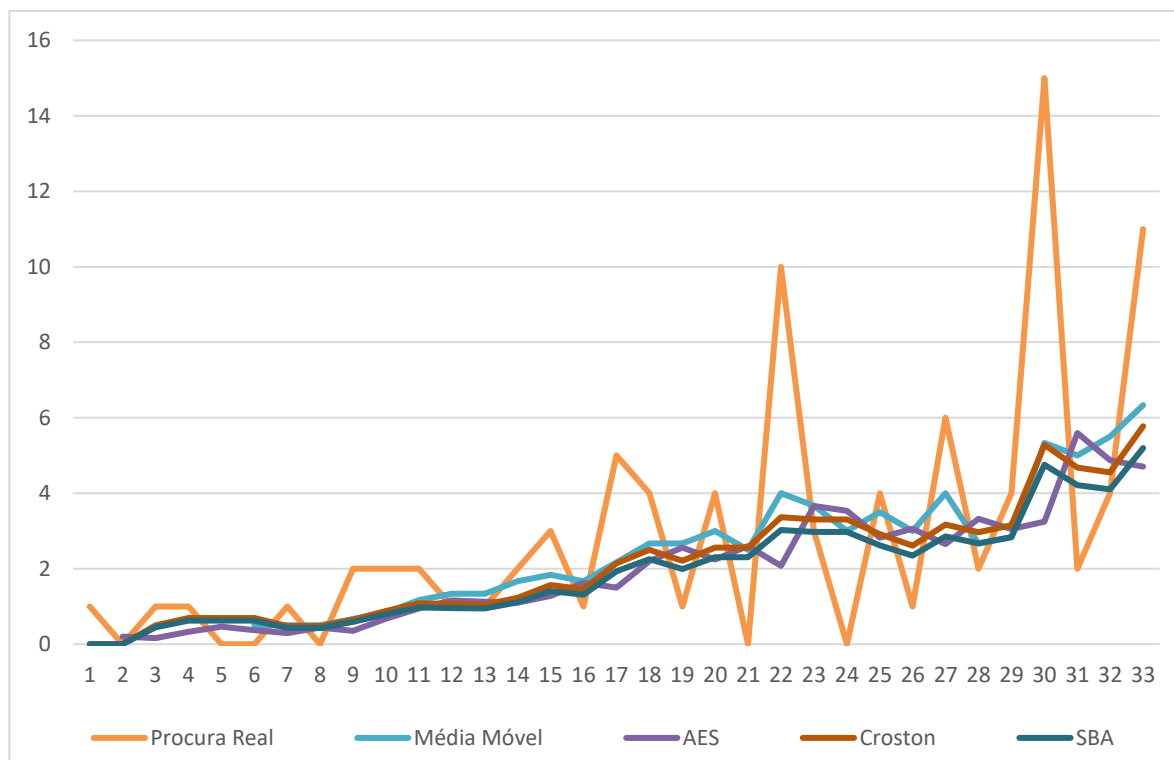


Figura 27 - Procura real e previsão da média móvel, AES, Croston e SBA sobressalente 8600.866.060.

Na Tabela 17 são apresentados os valores dos critérios de avaliação, MSE e MAD, para os sobressalentes dos grupos A e B.

Tabela 17 - Comparação dos modelos de previsão.

Grupo do sobressalente	Sobressalente	Modelo de previsão	MSE	MAD
A	800.866.060 – ENDLESS	Média Móvel	7,447	1,851
	BELT 3MMX1170MM	AES	11,611	2,277
	;MQBF649153	Croston	8,070	1,900

Grupo do sobressalente	Sobressalente	Modelo de previsão	MSE	MAD
		SBA	8,818	1,929
		Média Móvel	0,393	0,784
	800.863.373 – Fuse 10x38	AES	0,535	1,157
	HRC 2ª500V;248630	Croston	0,726	1,061
		SBA	0,686	1,033
		Média Móvel	198,753	11,720
	8600.850.626 – FUSIVEL 5	AES	261,190	13,141
	X 20;3.15 AMP	Croston	162,066	10,559
		SBA	172,441	10,434
		Média Móvel	4,744	1,226
	8600.864.987 – Panasonic	AES	6,681	1,467
	Support	Croston	5,346	1,312
	pin N610142041AJ	SBA	5,420	1,284
		Média Móvel	16,318	3,351
	8600.857.998 – 1019551	AES	22,573	3,817
	;Rectus Cap Coupling ;	Croston	21,346	3,73
	4217.0029	SBA	20,996	3,6
		Média Móvel	13,498	2,036
	8600.857.999 – Rectus	AES	18,15	2,323
	Locking	Croston	15,746	2,068
	Nipple;4217.0030;1019552	SBA	15,963	2,029
		Média Móvel	9,642	2,47
		AES	15,202	3,307

Grupo do sobressalente	Sobressalente	Modelo de previsão	MSE	MAD
B	8600.856.667 – FLUOR	Croston	8,176	2,359
	FILTER ;4207.0101 (1019435)	SBA	9,622	2,582
		Média Móvel	50,33	5,661
	8600.860.797 - 1019449;panel filter mediumF9,536x193x44	AES	75,923	7,106
		Croston	41,302	5,143
		SBA	49,773	6,002
		Média Móvel	5,148	1,515
	8600.868.019 – Gas spring 150N;MHSG507904-01 NUTEK	AES	6,932	2,068
		Croston	8,185	2,293
		SBA	6,366	1,793
		Média Móvel	119,437	8,917
	8600.858.383 – Lampada BA15S 24V5W; 170-862	AES	159,302	9,966
		Croston	122,792	8,788
		SBA	124,28	8,538
		Média Móvel	0,008	0,024
	8600.855.423 – KF-center ring DN 50;4400.0047;1020024	AES	0,004	0,037
		Croston	4	2
		SBA	3,24	1,8
		Média Móvel	0,464	0,369
	8600.859.758 – KF-center ring DN 40; 4400.0044;1020022	AES	0,618	0,418
	Croston	0,711	0,676	
	SBA	0,676	0,634	

Os resultados expostos na Tabela 17 permitiram concluir que o modelo de previsão que teve melhores resultados foi a média móvel de seis meses. Para o grupo A, considerando o MSE, a média móvel foi o melhor modelo na avaliação à previsão da procura de cinco sobressalentes (62,5%) e para os restantes três (37,5%) o método de Croston foi o que apresentou melhor desempenho. No caso do MAD, a média móvel apresentou melhor desempenho na previsão da procura de quatro sobressalentes (50%), o método de Croston em dois (25%) e o SBA em dois (25%). Pode-se concluir que apesar da média móvel apresentar melhores resultados num número superior de peças, não é possível concluir que este seria o método de previsão para todas as peças do grupo A.

Para o grupo B, considerando o MSE, foi possível concluir que a média móvel apresenta melhores resultados em três sobressalentes (75%) e o AES apresenta melhores resultados em 1 componente (25%). Para o indicador de desempenho MAD, verificou-se que a média móvel é o indicador que apresenta melhores resultados para três sobressalentes (75%) e o SBA apresenta melhores resultados para um sobressalente (25%). Posto isto, e à semelhança do grupo A, também não é possível atribuir apenas um modelo de previsão ao grupo B como sendo o mais indicado aos sobressalentes deste grupo.

Para além disso, foi possível concluir que os indicadores de desempenho apresentam valores muito díspares, dado que apesar de pertencerem ao mesmo grupo a procura dos sobressalentes tem ordens de grandeza muito diferentes.

A análise realizada foi útil para perceber o comportamento da procura e se era possível uniformizar a previsão da procura para cada grupo de sobressalentes. Chegou-se à conclusão de que isso não é possível e que seria de difícil implementação selecionar mais que um modelo de previsão para cada grupo. Concluiu-se também que os erros de previsão são elevados em alguns casos e que a utilização da previsão da procura nas políticas de gestão de *stocks* não será uma mais-valia, pois provocará enviesamento dos dados. Como tal, para a metodologia final não serão utilizados estes métodos de previsão. Esta análise foi importante para descartar esta hipótese e permitir a seleção da melhor política de gestão de *stocks* para cada grupo.

7.3.2 Distribuição da Procura

Na presente investigação não se pretende modelar a procura das peças que apresentam procura unitária (sobressalentes específicos), como tal não foi realizado um estudo para perceber qual a distribuição mais adequada para estes sobressalentes.

Os sobressalentes que apresentam uma procura intermitente, irregular e errática não seguem uma distribuição Normal (Syntetos, Babai, & Altay, 2012) portanto, os modelos clássicos de revisão contínua e periódica que têm como pressuposto a normalidade da procura, não são adequados para este tipo de peças.

Os padrões de procura destas peças são caracterizados por necessidades pouco frequentes de quantidades variáveis e ocorrendo, geralmente, em intervalos de tempos irregulares. Algumas distribuições de probabilidade potencialmente mais adequadas ao estudo deste tipo de peças são: *Poisson*, Binomial Negativa, Erlang, Normal e Gamma (Babai, Syntetos, & Teunter, 2014). Guajardo *et al.* (2015) divide a procura de sobressalentes em unitária (só podem ocorrer eventos de procura para uma unidade do mesmo item de cada vez), lotes variáveis (podem ocorrer eventos de uma ou mais unidades do mesmo item) e binária (cada vez que ocorre um evento de procura a quantidade é a mesma) e apresenta as distribuições que melhor se podem ajustar a estes tipos de procura. Segundo o autor para modelar a procura unitária devem ser testadas as distribuições de *Poisson*, Binomial Negativa e Gamma. No caso da procura por lotes variáveis devem ser testadas as distribuições Normal e Gamma. Por fim, no caso da procura binária é sugerida a distribuição de *SutteringPoisson* (Guajardo *et al.*, 2015).

Na literatura são apresentados dois testes de aderência estatística, que determinam se os dados se ajustam ou não a uma determinada distribuição. Os testes são o Qui-Quadrado e o *Kolmogorov-Sminov* (K-S). Estes testes permitem medir o grau de ajuste entre as frequências observadas e esperadas. O teste Qui-Quadrado apresenta alguns problemas de aplicação pois tem como requisito que os dados sejam agrupados em categorias para garantir que, pelo menos, é atingido um certo número de observações. O teste K-S não necessita que os dados sejam agrupados eliminando assim o problema da especificação do intervalo das categorias (Syntetos *et al.*, 2012).

Para os sobressalentes classificados como genéricos (procura por lotes variáveis), inicialmente foi realizado um estudo utilizando o teste K-S, para verificar se os dados da procura seguem uma distribuição Normal, recorrendo-se ao software Minitab®. O teste foi realizado considerando um nível de confiança de 95% ($\alpha=5\%$ - nível de significância) sendo a variável a analisar a procura associada ao sobressalente genérico da amostra (Tabela 16). O teste de hipóteses é definido da seguinte forma:

H_0 : A procura de i segue a distribuição Normal

H_1 : A procura de i não segue a distribuição Normal

Sendo,

i – O sobressalente em análise.

Os valores da procura são os mesmos que foram utilizados na secção anterior. A procura foi agregada em períodos mensais e estão em análise 33 períodos (1 de janeiro de 2018 a 30 de setembro de 2020). Nas Figura 28, Figura 29 e Figura 30 é possível observar a informação da média, desvio-padrão e do valor-p obtido no teste da normalidade. Consultando os dados indicados nas Figura 28, Figura 29 e Figura 30 conclui-se que para um nível de significância de 5% não rejeitamos a hipótese nula, o que significa que não existe evidência de que a distribuição da procura dos sobressalentes 8600.850.626, 8600.856.667 e 8600.860.797 não seja uma distribuição Normal

Figura 28 - Gráfico de probabilidade de 8600.850.626.

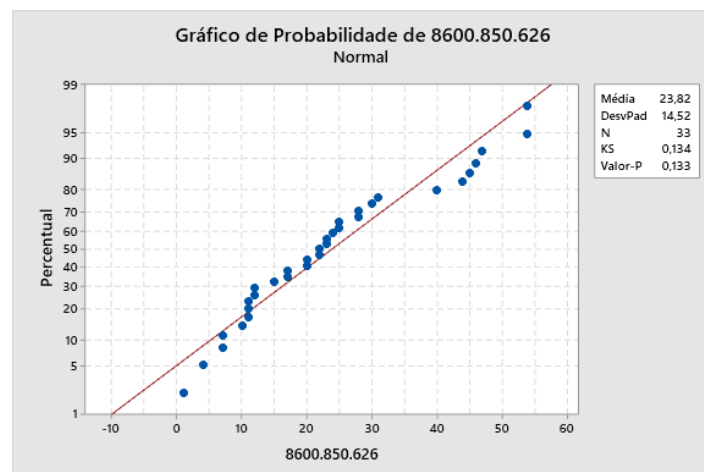


Figura 28 - Gráfico de probabilidade de 8600.850.626.

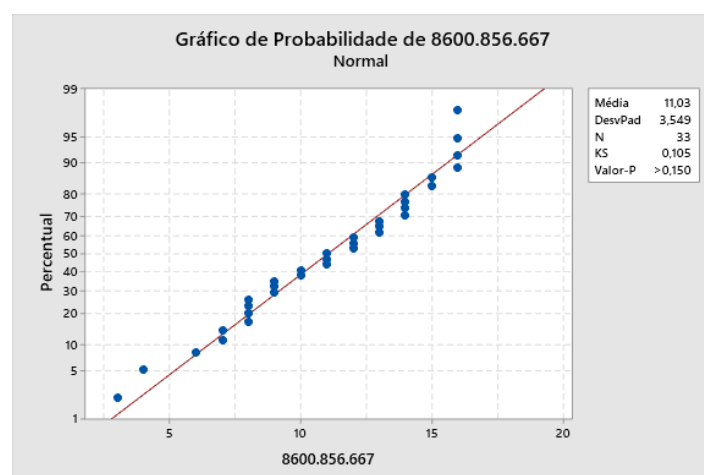


Figura 29 - Gráfico de probabilidade de 8600.856.667

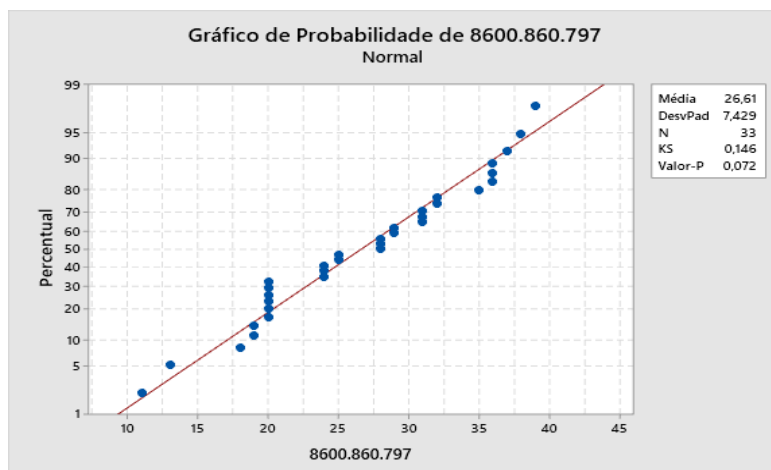


Figura 30 - Gráfico de probabilidade de 8600.860.797.

No caso dos restantes sobressalentes (Figura 31, Figura 32 e Figura 33), a análise ao gráfico de probabilidade permitiu concluir que para um nível de significância de 5%, rejeitamos a hipótese nula, o que significa que a procura não segue uma distribuição Normal.

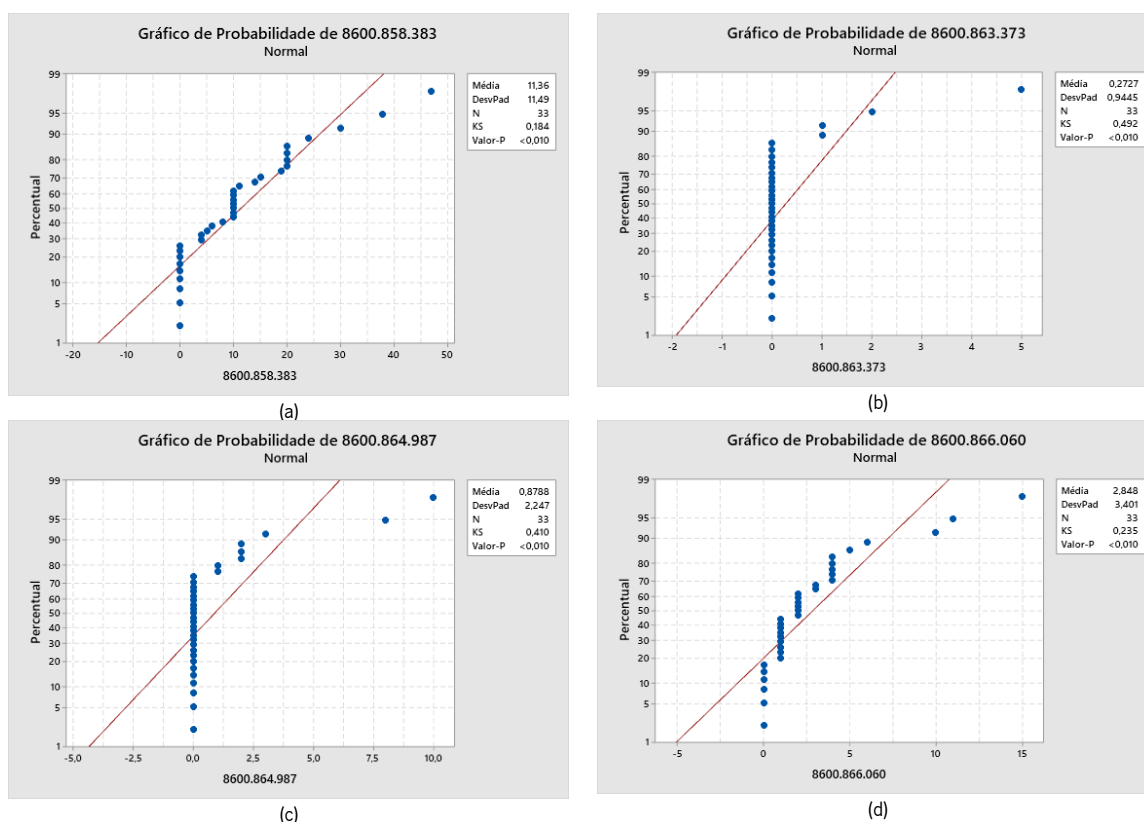


Figura 31 - Gráficos de probabilidade de 8600.858.383, 8600.863.373, 8600.864.987 e 8600.866.060.

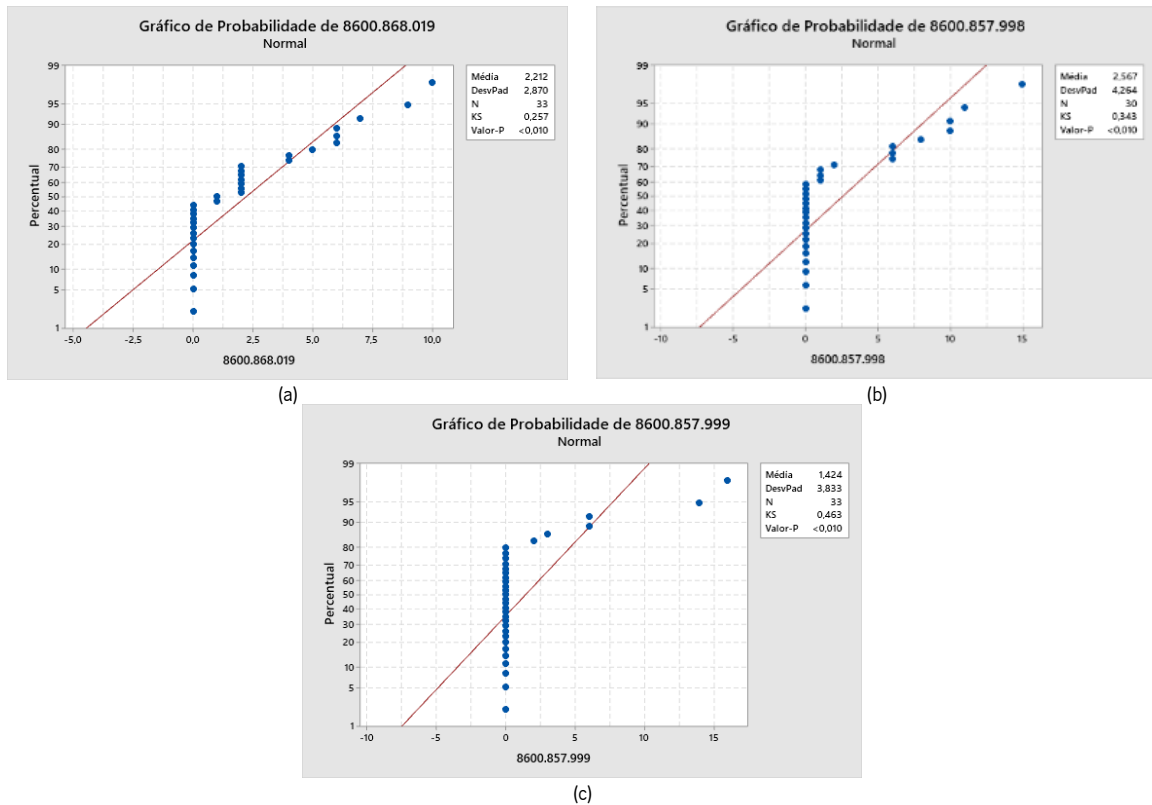


Figura 32 - Gráfico de probabilidade de 8600.868.019, 8600.857.998 e 8600.857.999

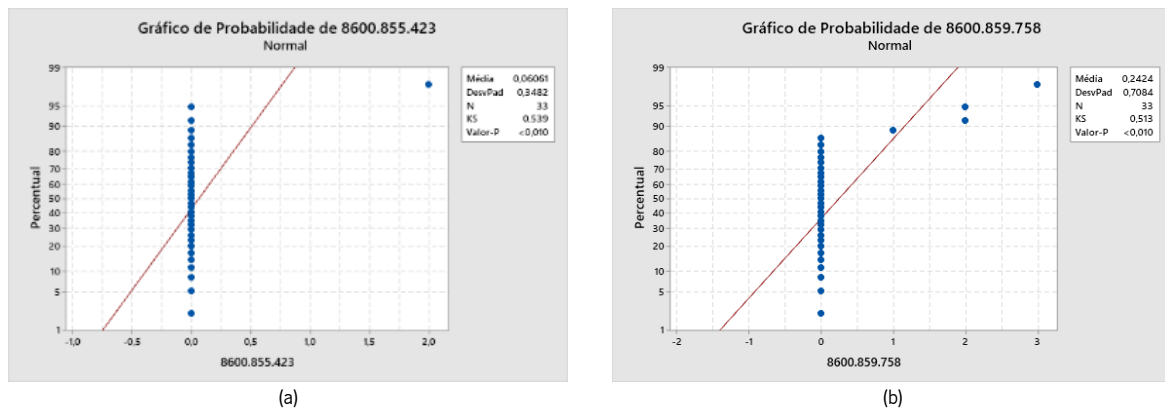


Figura 33 - Gráfico de probabilidade de 8600.855.423 e 8600.859.758.

No entanto a análise realizada aos sobressalentes 8600.860.797 e 8600.856.667 teve em consideração os valores do consumo totais, ou seja, incluem o consumo por ações de manutenção preventiva sistemática e por ações corretivas. Como se pretende ter em consideração apenas os consumos por ações de manutenção corretivas, pois as restantes podem ser planeadas, foi também realizado esse estudo de forma a analisar se a procura segue a distribuição Normal e, caso não siga, identificar uma distribuição que se ajuste bem aos dados. Na Figura 34 os gráficos de probabilidade demonstram que a procura (ações de manutenção corretiva) não segue uma distribuição Normal.

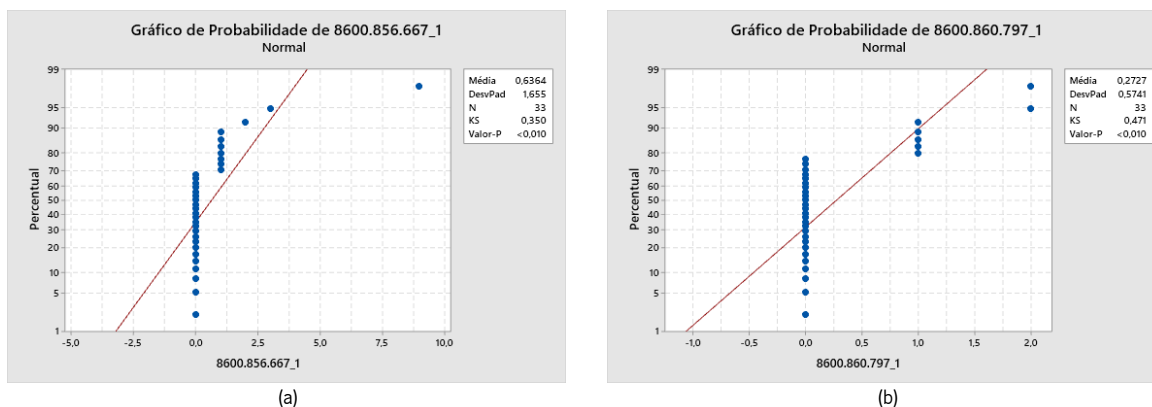


Figura 34 - Gráfico de probabilidade de 8600.856.667 e 8600.860.797(ações de manutenção corretiva).

Dos 12 sobressalentes em análise apenas a procura da referência 8600.850.626 poderá seguir uma distribuição Normal. A procura das referências 8600.856.667 e 8600.860.797 segue uma distribuição Normal se forem tidas em consideração as ações de manutenção preventiva sistemática, mas caso estas não sejam tidas em consideração a procura não segue a distribuição Normal. A procura dos restantes não se ajusta à distribuição Normal. De forma a perceber qual a distribuição que melhor se ajusta à procura das peças, foi utilizada a ferramenta do Minitab® designada de “Identificação da distribuição individual”. De seguida são apresentados os outputs obtidos para os sobressalentes 8600.850.626, 8600.858.383 e 8600. 869.987 (Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20) os restantes resultados são apresentados no Apêndice I. Para cada distribuição foi realizado o teste de qualidade de ajuste e foram obtidos os valores de Anderson-Darling (AD), do valor-p e o Teste razão verossimilhança (TRV P) para cada uma das distribuições (nos casos em que se aplica).

Tabela 18 - Teste de qualidade de ajuste de 8600.850.626.

Teste de Qualidade de Ajuste			
Distribuição	AD	P	TRV P
Normal	0,752	0,045	
Transformação de Box-Cox	0,280	0,621	
Lognormal	0,807	0,033	
Lognormal de 3 Parâmetros	0,294	* ₁	0,005

¹ Quando é exibido um asterisco em vez de um valor-p para as distribuições lognormal para 3 parâmetros, a gamma para 3 parâmetros e a loglogística para 3 parâmetros, significa que os dados não permitem calcular um valor-p para aquela distribuição.

Teste de Qualidade de Ajuste			
Distribuição	AD	P	TRV P
Exponencial	2,171	0,006	
Exponencial de 2 Parâmetros	2,070	<0,010	0,371
Weibull	0,303	>0,250	
Weibull de 3 Parâmetros	0,303	>0,500	0,792
Menor Valor Extremo	1,510	<0,010	
Maior Valor Extremo	0,311	>0,250	
Gama	0,339	>0,250	
Gama de 3 Parâmetros	0,429	*	1,000
Logística	0,652	0,051	
Loglogística	0,450	0,220	
Loglogística de 3 Parâmetros	0,301	*	0,097
Transformação de Johnson	0,269	0,660	

Tabela 19 - Teste de qualidade de ajuste de 8600.858.383.

Teste de Qualidade de Ajuste		
Distribuição	AD	P
Normal	1,323	<0,005
Lognormal de 3 Parâmetros	6,980	*
Exponencial de 2 Parâmetros	2,795	<0,010
Weibull de 3 Parâmetros	3,812	<0,005
Menor Valor Extremo	2,496	<0,010
Maior Valor Extremo	0,946	0,015
Gama de 3 Parâmetros	11,405	*
Logística	1,025	<0,005
Loglogística de 3 Parâmetros	4,411	*

Tabela 20 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.869.987.

Teste de Qualidade de Ajuste		
Distribuição	AD	P
Normal	7,422	<0,005
Lognormal de 3 Parâmetros	7,925	*
Exponencial de 2 Parâmetros	40,764	<0,010
Weibull de 3 Parâmetros	7,098	<0,005
Menor Valor Extremo	7,959	<0,010
Maior Valor Extremo	7,698	<0,010
Gama de 3 Parâmetros	7,501	*
Logística	6,563	<0,005
Loglogística de 3 Parâmetros	7,755	*

Pela análise dos valores dos testes de qualidade de ajuste foi possível concluir que não há uma distribuição que se adeque de forma genérica a todos os sobressalentes (Apêndice I). No caso dos sobressalentes 8600.863.373, 8600.857.998 e 8600.859.758 não foi possível realizar o teste de qualidade de ajuste pois os dados não são suficientes para definir a distribuição.

Os dados analisados dizem respeito à procura agregada em períodos mensais. Se tivesse sido analisada a procura dentro do prazo de entrega, existiriam ainda mais períodos de procura nula pelo que seria ainda mais difícil definir uma distribuição que se ajustasse aos dados, visto que uma parte significativa dos valores do prazo de entrega são inferiores a um mês.

Dado que se verificou que para alguns sobressalentes a distribuição Normal se ajusta, sugere-se que no caso das peças que sigam uma distribuição Normal, seja utilizado um modelo tradicional de revisão contínua para estimar os parâmetros de gestão de *stocks*. Dadas as características da procura dos sobressalentes estima-se que, na organização, não existam muitos casos. Visto que este modelo é de fácil aplicação entendeu-se que é pertinente incluí-lo, sendo que também poderá ser utilizado para os consumíveis (que não estão a ser incluídos nesta investigação). Para os restantes sobressalentes que não seguem a distribuição Normal, foi definido um modelo de revisão contínua de nível de encomenda (s, Q). De seguida é apresentada a definição e atribuição destas políticas aos sobressalentes dos grupos A e B, bem como a atribuição das políticas dos grupos C, D e E.

7.4 Definição e Atribuição de Políticas de Gestão de *Stocks*

7.4.1 Contextualização

A cada grupo foi atribuída uma política de gestão de *stocks*. Na Tabela 21 são apresentados os objetivos que se pretendem atingir e a respetiva política de gestão de *stocks* a testar para cada grupo. Para definir o modelo mais adequado, os parâmetros e o nível de serviço que garantem o cumprimento dos objetivos do grupo A e B, bem como a política dos grupos C, D e E, foi realizada uma análise que consistiu em comparar os custos totais anuais com base nos parâmetros definidos (no caso dos grupos A e B) e comparar os custos de posse e de rutura para os grupos C, D e E. Foi também simulada a aplicação das políticas considerando os dados passados, para os sobressalentes da amostra (Tabela 16).

Para os sobressalentes genéricos foi decidido que, para escolher a política de gestão de *stocks*, deveria ser realizado um estudo à procura. Esta análise visou verificar se a procura segue uma distribuição Normal. Esta informação é importante pois para os sobressalentes que seguem uma distribuição Normal o modelo de revisão contínua de nível de encomenda - QEE é adequado para definir os parâmetros de gestão de *stocks*. Para os que não seguem a distribuição Normal este modelo não se adequa, como tal foi definido um método que permite definir a política e os respetivos parâmetros considerando a procura. Para os grupos C e D é atribuída uma política S, s , e para o grupo E uma política de não manter *stock*.

Tabela 21 - Objetivo para cada grupo.

Tipo de sobressalente	Grupo	Objetivo	Política de gestão de <i>stocks</i>			
			Segue a distribuição Normal	a	Não segue a distribuição Normal	a
Sobressalente genérico	Grupo A	Assegurar que não existe rutura de <i>stock</i> , ou seja, manter um nível de serviço muito elevado.	Nível de encomenda-QEE	de	Nível de encomenda- (s, Q) .	de
	Grupo B	Assegurar que não existe rutura de <i>stock</i> , mas com um nível de serviço menos elevado do que o grupo A.	Nível de encomenda-QEE	de	Nível de encomenda- (s, Q) .	de

Tipo de sobressalente	Grupo	Objetivo	Política de gestão de <i>stocks</i>	
			Segue a distribuição Normal	Não segue a distribuição Normal
Sobressalente específico	Grupo C	Garantir a existência de <i>stock</i> no momento da falha.	<i>Política S, s - Stock</i> máximo: 2, <i>stock</i> mínimo: 1, quantidade a encomendar: 1	
	Grupo D	Garantir a existência de <i>stock</i> no momento da falha.	<i>Política S, s - Stock</i> máximo: 1, <i>stock</i> mínimo: 0, quantidade a encomendar: 1	
	Grupo E	Não manter sobressalente em <i>stock</i> .	Política não manter <i>stock</i> .	

Para além dos dados disponíveis na Tabela 16, foram necessários mais dados para a realização da análise. Os dados da procura são os já utilizados nos modelos de previsão da procura e na análise da distribuição da procura. O valor estimado para o custo de aprovisionamento foi fornecido pela organização e corresponde a 15,34€ por encomenda. Para a taxa anual de posse, não tendo sido possível obter um valor da organização, decidiu-se recorrer a um espectro de valores para esta taxa variando entre 10% e 40%, com intervalos de 5%.

O valor do custo de rutura é calculado tendo em consideração o custo de perda de produção e não considera o tempo de receção da peça nem o tempo de substituição da mesma. Na Tabela 22 são apresentadas estimativas do custo de perda de produção para os níveis do impacto na produção, a saber, sem impacto, perdas de qualidade, redução de produtividade e paragem súbita. Este custo foi obtido considerando o custo associado à perda de produção sendo que, no caso das perdas de qualidade e redução de produtividade, é considerado que esse custo é uma percentagem do custo de perda de produção. Os valores do prazo de entrega são os contratualizados com o fornecedor não tendo sido possível obter os valores reais.

Tabela 22 - Valores do custo de perda de produção por hora para cada nível do impacto na produção.

Subcritério	Percentagem do custo de perda de produção	Valor do custo de perda de produção (€/hora)
Sem impacto	0%	0€
Perdas de qualidade	5% - 40%	5,24€ - 41,92€
Redução de produtividade	40% - 75%	41,92€ - 78,60€
Paragem súbita	100%	104,80€

O processo de análise das políticas dos vários grupos obedeceu a um conjunto de passos. A análise realizada aos grupos A e B difere da análise realizada aos grupos C, D e E, devido às especificidades das peças em causa e do tipo de política a aplicar. No caso dos grupos A e B foram calculados os parâmetros e respetivo custo total anual de gestão. Após terem sido obtidos os resultados decorrentes da aplicação dos modelos, foi realizada uma simulação baseada nos resultados obtidos que foi aplicada ao período em análise de forma a validar a sua aplicabilidade.

Para os grupos C, D e E, como já estão definidas as quantidades a manter em *stock* para cada grupo, procurou-se comparar os custos associados à posse e à inexistência de cada sobressalente, para o grupo definido e foi também realizada uma simulação da aplicação dos resultados ao período em análise. Para esta análise recorreu-se ao Microsoft Excel® que permitiu ajudar no tratamento de dados e cálculos necessários para estimar os parâmetros de cada umas das políticas de gestão de *stocks*. Foi também utilizado o Minitab® para construir os histogramas da procura, no caso dos sobressalentes dos grupos A e B, que não seguem a distribuição Normal.

As secções seguintes apresentam os modelos testados para cada uma das situações, sobressalentes genéricos (grupos A e B), sobressalentes específicos (grupos C, D e E).

7.4.2 Grupo A e B - Sobressalentes que Seguem a Distribuição Normal

Para os sobressalentes que seguem uma distribuição Normal e pertencem ao grupo A ou B foram calculados os parâmetros de gestão de *stocks* e o custo total anual considerando uma política de nível de encomenda, utilizando a QEE (Tabela 21). Pretendeu-se com isto perceber o custo que a utilização do modelo acarreta para a organização. Para além disso, foram também testados dois níveis de rutura admissível de forma a definir o nível de serviço que se pretende atingir em cada grupo. No caso do grupo A, foram utilizados dois valores para o risco de rutura admissível, 2% e 5%.

Na amostra utilizada apenas foi possível identificar um sobressalente cuja procura segue a distribuição Normal, o que era expectável dado o comportamento típico da procura dos sobressalentes. De seguida, é apresentada a análise ao sobressalente 8600.850.626, que segue a distribuição Normal, e que de acordo com a classificação pertence ao grupo A. Para o cálculo dos parâmetros, isto é, a procura média e o desvio-padrão, foram utilizados os dados da procura de 2019, agrupados em períodos mensais (12 períodos). O prazo de entrega (convertido em meses) e o preço foram os apresentados na Tabela 16. Os restantes valores utilizados foram referenciados mais acima.

8600.850.626 - Fusível

O valor da procura média utilizada foi de 33 unidades e o desvio padrão de 15 unidades, após a identificação dos dados necessários foram calculados os parâmetros da política associada a este tipo de sobressalente. Na Tabela 23 são apresentados o resultado do valor dos parâmetros calculados, QEE, *stock* de segurança (SS) e nível de encomenda (NE) e o custo total anual (CT) para o modelo de revisão contínua, para as diferentes taxas de custo de posse (*i*) (entre 10% e 40%) considerando um risco de rutura admissível de 2%. Foi também calculada a variação do custo total para os vários valores da taxa anual de posse. Pode-se verificar que o incremento percentual no custo total vai diminuindo face ao aumento da taxa anual de posse.

Tabela 23 - Resultados da política de nível de encomenda para um risco de rutura admissível de 2% (sobressalente 8600.850.626).

Taxa anual de posse (<i>i</i>)	Quantidade Económica de Encomenda (QEE)	<i>Stock</i> de Segurança (SS)	Nível de encomenda (NE)	Custo total anual (CT)	Incremento no CT
10,0%	367	8	10	33,79 €	-
15,0%	300	8	10	41,58 €	23,1%
20,0%	260	8	10	48,20 €	15,9%
25,0%	232	8	10	54,08 €	12,2%
30,0%	212	8	10	59,43 €	9,9%
35,0%	196	8	10	64,38 €	8,3%
40,0%	184	8	10	69,01 €	7,2%

Na Tabela 24 são apresentados os parâmetros e custo total anual para a política de nível de encomenda, considerando um risco de rutura admissível de 5%. Verificou-se que o incremento percentual no custo total vai diminuindo face ao aumento da taxa anual de posse.

Tabela 24 - Resultados da política de nível de encomenda para um risco de rutura admissível de 5% (sobressalente 8600.850.626).

Taxa anual de posse (i)	Quantidade Económica de Encomenda (QEE)	Stock Segurança (SS)	Nível de encomenda (NE)	Custo total anual (CT)	Incremento do CT
10,0%	367	7	9	33,70 €	
15,0%	300	7	9	41,44 €	23,0%
20,0%	260	7	9	48,02 €	15,9%
25,0%	232	7	9	53,86 €	12,1%
30,0%	212	7	9	59,16 €	9,9%
35,0%	196	7	9	64,07 €	8,3%
40,0%	184	7	9	68,65 €	7,2%

Para perceber o impacto do risco de rutura admissível nos custos totais foi analisada a diferença entre o custo total que existe para os dois valores do risco de rutura admissível, 2% e 5% (Figura 35). Verificou-se que para um $\alpha = 2\%$ o custo total é superior, para todos os níveis da taxa do custo de posse, apresentando uma diferença nos custos que varia entre 0,3% e 0,5%, sendo que o valor mais baixo diz respeito à taxa anual de posse mais baixa e o valor mais alto diz respeito à taxa anual de posse mais elevada (Figura 35).

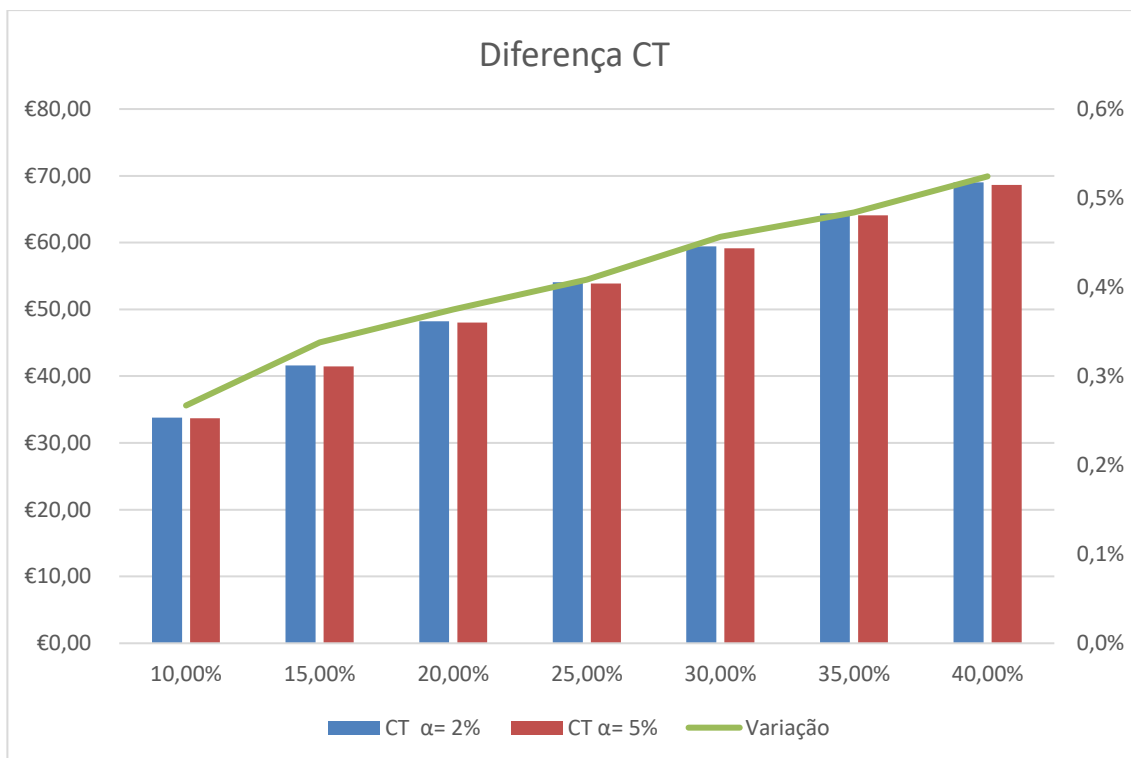


Figura 35 - Diferença entre o custo total para o nível de rutura admissível de 2% e de 5%.

Após a obtenção dos resultados foi possível definir que para os sobressalentes pertencentes a este grupo (em que a procura segue a distribuição Normal) o nível de risco de rutura admissível a utilizar é de $\alpha=2\%$, pois, como seria de esperar, o valor do CT é mais elevado do que para um $\alpha=5\%$, mas a diferença no acréscimo de custo é muito baixa não chegando a 1%. E como se estima que os custos de rutura de *stock* de peças pertencentes a este grupo podem atingir valores muito elevados para a organização é aceitável suportar a diferença no CT, dado que esta é bastante baixa.

De forma a validar a política de gestão de *stocks* atribuída a este grupo, decidiu-se recorrer aos dados históricos da procura do ano de 2019. O objetivo foi verificar se existem ruturas de *stock* considerando os valores obtidos dos parâmetros e os valores da procura. Foram utilizados os valores dos parâmetros obtidos para uma taxa anual de posse de 15%, pois considera-se que os sobressalentes que apresentam uma maior procura têm um risco pouco elevado da ocorrência de obsolescência e/ou deterioração. Assim sendo, foram realizados dois cenários, um onde se considerou que no início do ano existiam em *stock* 300 unidades (considerou-se o valor da QEE) e outro em que o *stock* inicial é de 150 unidades (metade do valor da QEE). Para ambos os casos foram calculados os valores em *stock* ao longo do ano, para verificar se existiam ruturas, o que não se verificou, sendo o desejável para uma peça do grupo A

(Apêndice II). Conclui-se assim que este modelo é indicado para este tipo de situações, pois a QEE permitiu determinar a quantidade da encomenda de tamanho fixo que minimiza os custos e verificou-se que essa quantidade garante a não existência de ruturas. Este modelo de gestão de *stocks* pode também ser utilizado para outros materiais ligados à gestão de manutenção, como é o caso dos consumíveis. Geralmente, a procura destes materiais segue uma distribuição Normal, sendo que poderá ser benéfico para a organização utilizar este modelo. Esta sugestão não foi analisada dado não fazer parte do âmbito desta investigação.

7.4.3 Grupos A e B - Sobressalentes que Não Seguem a Distribuição Normal

Para os sobressalentes que não seguem a distribuição Normal, foi definida uma política de gestão de stocks com nível de encomenda fixo (s) e quantidade de encomenda fixa (Q). Para determinar o nível de encomenda foi utilizada a probabilidade de rutura (ou nível de serviço), para isso recorreu-se ao histórico da procura. Para determinar a quantidade de encomenda utilizou-se a aproximação à QEE.

Como referido anteriormente, não foi possível identificar uma distribuição adequada à procura de todos os sobressalentes destes grupos, como tal, foi definido que a probabilidade de rutura seria utilizada para determinar o nível de encomenda. Para isso, é utilizado o valor da frequência relativa acumulada e, para cada grupo é definido o nível de serviço que se pretende garantir. Ou seja, o nível de encomenda de cada sobressalente é definido pelo valor da procura associado a uma frequência relativa acumulada igual ou superior ao valor do nível de serviço pretendido. Para determinar a quantidade a encomendar é utilizada a aproximação à QEE. Com isto, obtém-se o valor que minimiza os custos totais.

Para testar a abordagem foram utilizados os sobressalentes da amostra (Tabela 16). Para isso foi selecionado um período de três anos (2018, 2019 e 2020) e a procura foi agrupada em períodos mensais. Verificou-se que a procura é irregular existindo, em alguns casos, muitos períodos de procura nula. Para cada um dos sobressalentes foi realizada uma análise à procura recorrendo-se ao histograma da procura (Figura 36 e Figura 38) e à tabela de frequências de cada um dos sobressalentes. Para calcular a QEE foi determinada a procura média para o período em análise.

De acordo com o definido na Tabela 21 os sobressalentes dos grupos A e B diferem quanto ao nível de serviço pretendido, por isso para cada um dos grupos foram testados dois níveis de serviço. No caso do

grupo A, foram testados níveis de serviço de 95% e 98% e avaliados os custos que cada um acarreta. Para o grupo B foram também testados dois níveis de serviço, 90% e 95%. Com isto pretendeu-se avaliar qual o impacto nos custos de utilizar estes níveis de serviço, de forma a definir qual o mais vantajoso para a organização. De seguida é apresentada a análise realizada a cada um dos sobressalentes, sendo inicialmente apresentada a análise às frequências relativas acumuladas que permitiram definir o valor do nível de encomenda para cada um dos níveis de serviço em análise. Posteriormente é apresentado o valor da QEE e os custos associados aos parâmetros estimados. Depois é analisada a diferença de custos totais entre os níveis de serviço definidos.

Por fim, de forma a validar a política de gestão de stocks atribuída a este grupo, decidiu-se recorrer aos dados históricos da procura do período em análise. O objetivo foi verificar se existem ruturas de stock considerando os valores obtidos dos parâmetros e os valores da procura. Foram utilizados os valores dos parâmetros obtidos para uma taxa anual de posse de 20%, pois considera-se que os sobressalentes apesar de terem uma procura por lotes variáveis apresentam algum risco de ocorrência de obsolescência e/ou deterioração. De seguida são apresentados os histogramas das procuras para cada um dos sobressalentes do grupo A (Figura 36 e Figura 37) e grupo B (Figura 38)

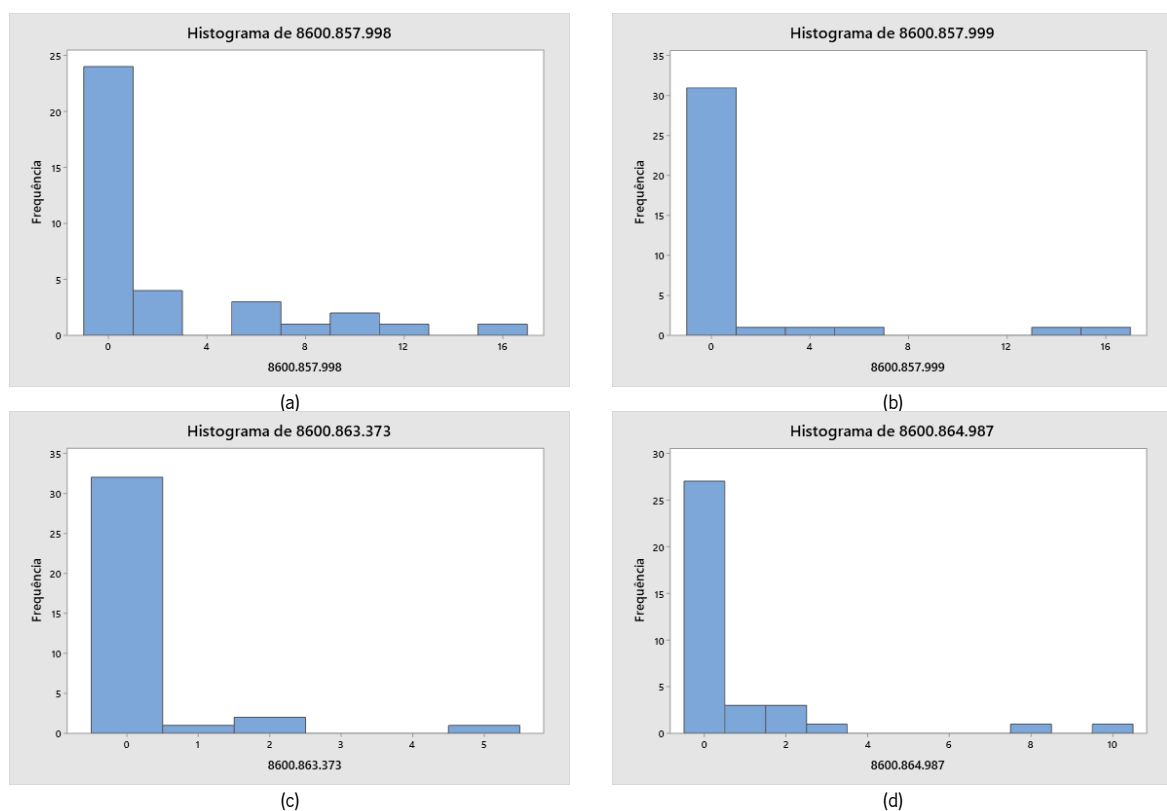


Figura 36 - Histograma da procura dos sobressalentes 8600.857.998, 8600.857.999, 8600.863.373 e 8600.864987.

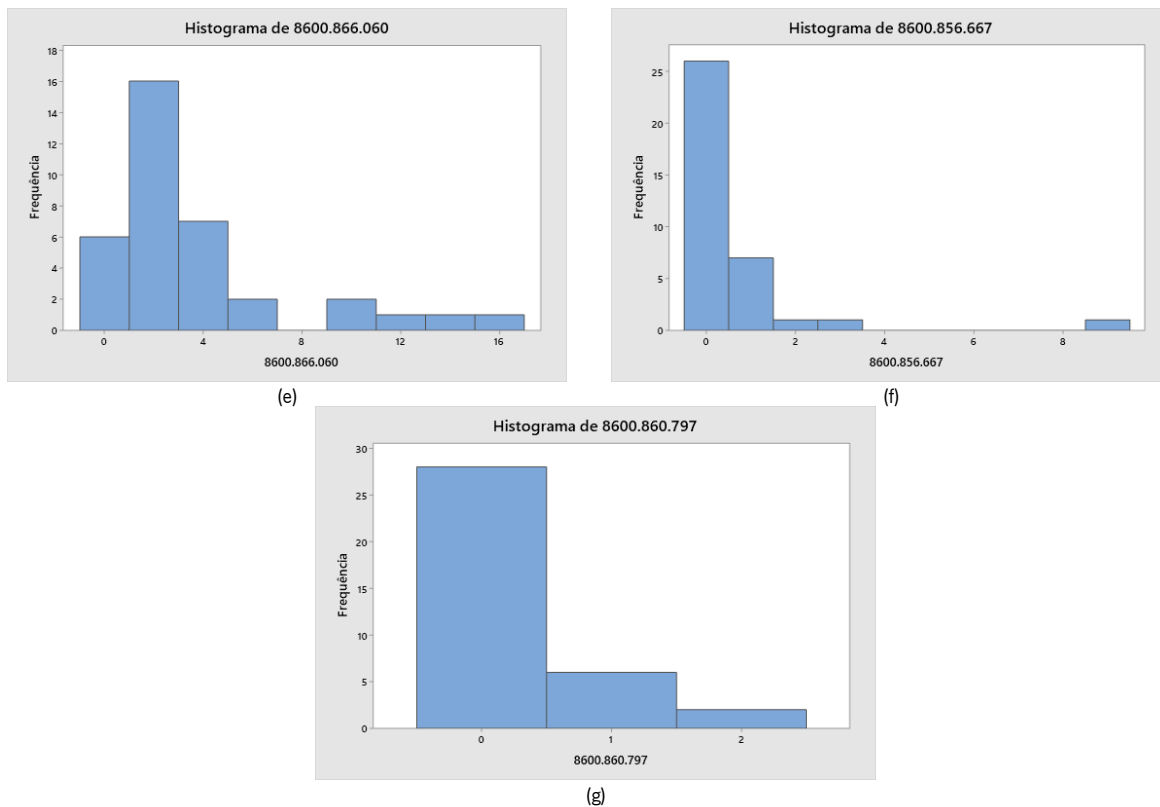


Figura 37 – Histograma da procura dos sobressalentes 8600.866.060, 8600.856.667 e 8600.860.797.

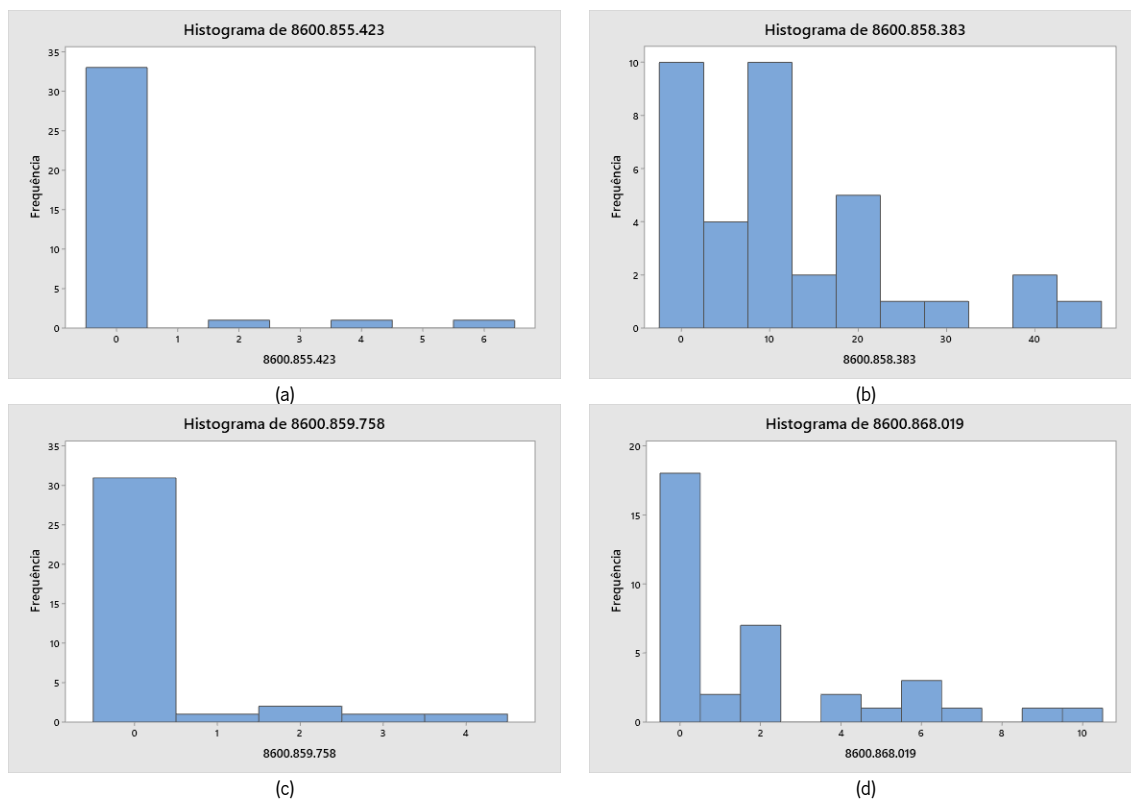


Figura 38 - Histogramas da procura dos sobressalentes 8600.855.423, 8600.858.383, 8600.859.758 e 8600.868.019..

Os histogramas apresentados nas Figura 36, Figura 37 e Figura 38 apresentam a dispersão dos dados observados da procura. Verificou-se que os valores da procura se concentram à esquerda do gráfico, ou seja, os valores da procura são tendencialmente baixos para este tipo de sobressalentes. Mas verificam-se situações pontuais em que a procura observada apresenta valores bastante mais elevados.

Os primeiros sobressalentes que foram analisados são os do grupo A e, de seguida, os do grupo B.

8600.857.998 – Rectus Cap Coupling

A Tabela 25 apresenta os valores das frequências absoluta, relativa e relativa acumulada que permitiram definir o valor do parâmetro do nível de encomenda. Como referido, foram selecionados os valores correspondentes aos valores de nível de serviço em análise. Assim sendo, o valor da procura que garante pelo menos 95% de nível de serviço é de 11 unidades (97,22%), e o valor que garante pelo menos 98% de nível de serviço é de 15 unidades (100%).

Tabela 25 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.857.998.

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	24	66,7%	66,67%
1	3	8,3%	75,00%
2	1	2,8%	77,78%
6	3	8,3%	86,11%
8	1	2,8%	88,89%
10	2	5,6%	94,44%
11	1	2,8%	97,22%
15	1	2,8%	100,00%

Após a definição do valor do nível de encomenda foi calculada a QEE e, posteriormente, os valores dos custos de posse, custo de encomenda e custo total, para o período de três anos. Para o cálculo da QEE o valor da procura média utilizada foi de 2,1 unidades.

Na Tabela 26 é apresentado o resultado da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95%. Foi também calculado o incremento no custo total para os vários valores da taxa anual de posse. Pode-se verificar que o incremento percentual no custo total vai diminuindo face ao aumento da taxa anual de posse.

Tabela 26 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.857.998).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	22	11	308,81 €	52,71 €	361,53 €	-
15%	18	11	421,11 €	64,43 €	485,54 €	26%
20%	16	11	533,41 €	72,48 €	605,89 €	20%
25%	14	11	631,67 €	82,84 €	714,50 €	15%
30%	13	11	736,94 €	89,21 €	826,15 €	14%
35%	12	11	835,20 €	96,64 €	931,84 €	11%
40%	11	11	926,44 €	105,43 €	1 031,87 €	10%

Na Tabela 27 são apresentados os parâmetros e o custo total anual para a política de nível de encomenda, considerando um nível de serviço de 98 %. Verificou-se que o incremento percentual no custo total vai diminuindo face ao aumento da taxa anual de posse.

Tabela 27 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.857.998).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	22	15	364,96 €	52,71 €	417,68 €	
15%	18	15	505,33 €	64,43 €	569,76 €	36%
20%	16	15	645,70 €	72,48 €	718,18 €	26%
25%	14	15	772,04 €	82,84 €	854,87 €	19%
30%	13	15	905,39 €	89,21 €	994,59 €	16%
35%	12	15	1 031,72 €	96,64 €	1 128,36 €	13%
40%	11	15	1 151,03 €	105,43 €	1 256,46 €	11%

Analisando a diferença entre o custo total que existe para os dois valores 95% e 98%, verificou-se que o custo total é superior para todos os níveis da taxa do custo de posse, apresentando uma diferença nos custos que varia entre 15,5% e 21,8%, sendo que o valor mais baixo diz respeito à taxa anual de posse mais baixa e o valor mais alto diz respeito à taxa anual de posse mais elevada (Figura 35).

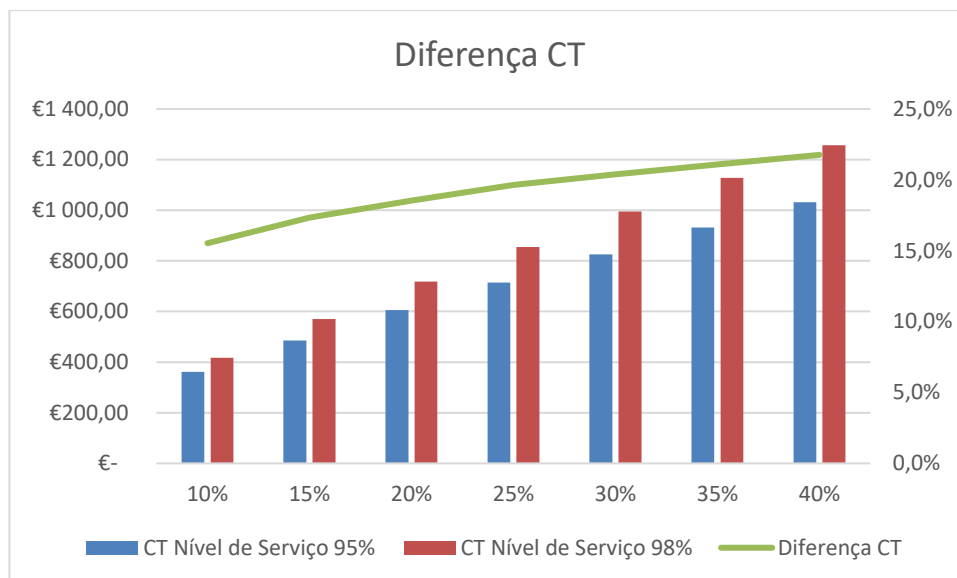


Figura 39 - Diferença entre o custo total para o nível de serviço de 95% e 98%.

De forma a validar a política de gestão de stocks atribuída a este grupo, decidiu-se recorrer aos dados históricos da procura dos três anos em análise. O objetivo é verificar se existem ruturas de stock considerando os valores obtidos dos parâmetros e os valores da procura. Foram utilizados os valores dos parâmetros obtidos para uma taxa anual de posse de 20%. Assim sendo, foram testadas duas situações, uma para cada nível de serviço analisado.

Na Tabela 28 apresentam-se os valores em *stock* antes do consumo (SAC) e os valores em *stock* depois do consumo (SDC). Em cada um dos cenários considerou-se que o nível de encomenda correspondia ao valor do *stock* inicial (11 unidades – nível de serviço de 95% e 15 unidades nível de serviço de 98%). Para ambos os casos foram calculados os valores em stock ao longo do período em análise, para verificar se existiam ruturas, o que não se verificou sendo o desejável para uma peça do grupo A (Tabela 28). Conclui-se, assim, que este modelo apresenta bons resultados para este sobressalente.

Tabela 28 - Valor da aplicação dos resultados do modelo à procura observada do sobressalente 8600.857.998.

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
12/02/2018	1	11	10	15	14
03/07/2018	8	26	18	14	6
23/10/2018	10	18	8	22	12

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
		06/12/2018	10	24	14
19/02/2019	1	14	13	18	17
28/03/2019	6	13	7	17	11
05/04/2019	15	23	8	27	12
23/10/2019	2	24	22	12	10
15/11/2019	6	22	16	26	20
11/02/2020	4	16	12	20	16
26/02/2020	7	12	5	16	9
29/07/2020	1	21	20	25	24
27/08/2020	6	20	14	24	18

8600.857.999 – Rectus Locking Nipple

Para o sobressalente 8600.857.999 verificou-se que o valor da procura que garante pelo menos 95% de nível de serviço é de 14 unidades (97,22%), e o valor que garante pelo menos 98% de nível de serviço é de 16 unidades (100%) (Tabela 29).

Tabela 29 – Tabela de frequências do sobressalente 8660.857.999.

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	31	86,1%	86,11%
2	1	2,8%	88,89%
3	1	2,8%	91,67%
6	1	2,8%	94,44%
14	1	2,8%	97,22%
16	1	2,8%	100,00%

À semelhança do sobressalente anterior, na Tabela 30 é apresentado o resultado da aplicação da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95%. Para o cálculo da QEE o valor da procura média utilizada foi de 1,1 unidades.

Tabela 30 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (8600.857.999).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	21	14	201,02 €	28,93 €	229,95 €	-
15%	17	14	276,92 €	35,73 €	312,65 €	36%
20%	15	14	352,82 €	40,50 €	393,31 €	26%
25%	13	14	420,51 €	46,73 €	467,23 €	19%
30%	12	14	492,30 €	50,62 €	542,92 €	16%
35%	11	14	559,99 €	55,22 €	615,22 €	13%
40%	11	14	639,99 €	55,22 €	695,21 €	13%

Na Tabela 31 são apresentados os parâmetros e custo total anual para a política de nível de encomenda, considerando um nível de serviço de 98%. Verificou-se que o incremento percentual no custo total vai diminuindo face ao aumento da taxa anual de posse.

Tabela 31 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (8600.857.999).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	21	16	217,43 €	28,93 €	246,36 €	-
15%	17	16	301,53 €	35,73 €	337,27 €	37%
20%	15	16	385,64 €	40,50 €	426,13 €	26%
25%	13	16	461,53 €	46,73 €	508,26 €	19%
30%	12	16	541,53 €	50,62 €	592,15 €	17%
35%	11	16	617,43 €	55,22 €	672,65 €	14%
40%	11	16	705,63 €	55,22 €	760,85 €	13%

Comparando o custo total para os dois valores 95% e 98%, verifica-se que é superior para um nível de serviço de 98% para todos os níveis da taxa do custo de posse, apresentando uma diferença nos custos que varia entre 7,1% e 9,4%, sendo que o valor mais baixo diz respeito à taxa anual de posse mais baixa e o valor mais alto diz respeito à taxa anual de posse mais elevada (Figura 40).

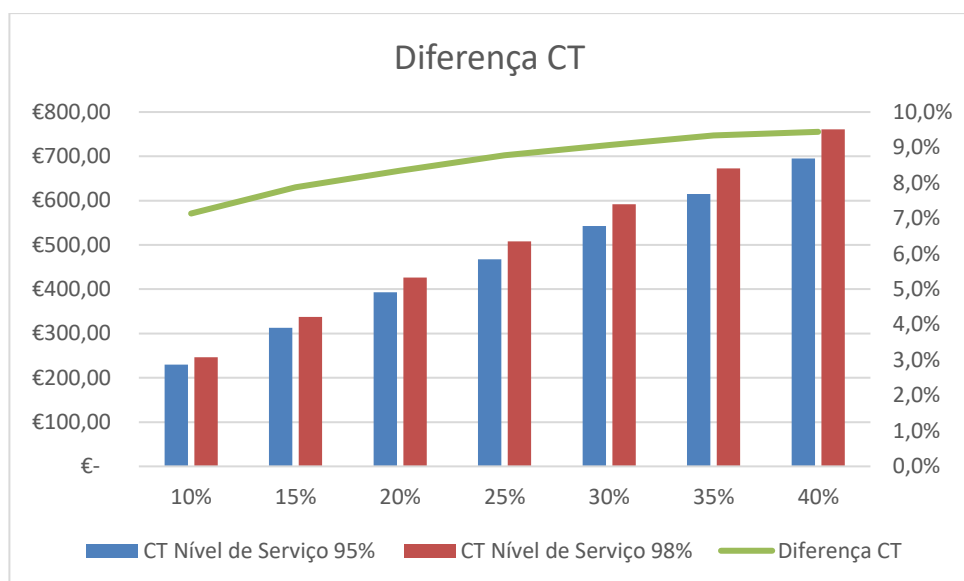


Figura 40 - Diferença entre o custo total para o nível de serviço de 95% e 98%.

À semelhança do realizado para o sobressalente anterior, foi simulada a aplicação dos resultados obtidos para os dois níveis de serviço e verificou-se que não ocorreram ruturas no período em análise (Apêndice IV).

De seguida é analisado um dos sobressalentes que têm uma política de manutenção preventiva sistemática atribuída. Neste caso, apenas foram considerados os valores da procura respeitantes às ações de manutenção corretiva. Pois, como verificado na análise à distribuição da procura se fossem considerados todos os valores da procura estes sobressalentes, a procura destes seguiria a distribuição Normal. Como se pretende reduzir custos, com esta política serão mantidas em *stock* menores quantidades, pois para suprir as necessidades das ações de manutenção preventiva a aquisição será realizada de acordo com a sua periodicidade e considerando as quantidades que vão ser utilizadas.

8600.860.797 - Panel filter

À semelhança da análise realizada aos sobressalentes anteriores na Tabela 32 é apresentado o valor da frequência absoluta que permitiu definir o valor do parâmetro do nível de encomenda. Neste caso, o valor que garante pelo menos 95% e 98% é o mesmo. De forma a realizar o mesmo estudo das peças anteriores decidiu-se utilizar para o nível de serviço de 95% o valor da frequência relativa mais próximo, que diz respeito a 94,44% e duas unidades de procura. O valor da procura que garante pelo menos 98% de nível de serviço é de nove unidades (100%).

Tabela 32 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.860.797.

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	28	77,8%	77,78%
1	6	16,7%	94,44%
2	2	5,6%	100,00%

À semelhança dos sobressalentes anteriores, na Tabela 33 é apresentado o resultado da aplicação da política de nível de encomenda, para um nível de serviço de 95%. Para o cálculo da QEE o valor da procura média utilizada foi de 0,3 unidades.

Tabela 33 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (8600.860.797).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	15	1	39,86 €	11,04 €	50,90 €	-
15%	12	1	49,23 €	13,81 €	63,04 €	24%
20%	10	1	56,27 €	16,57 €	72,84 €	16%
25%	9	1	64,47 €	18,41 €	82,88 €	14%
30%	8	1	70,34 €	20,71 €	91,04 €	10%
35%	8	1	82,06 €	20,71 €	102,77 €	13%
40%	7	1	84,40 €	23,67 €	108,07 €	5%

Na Tabela 73 são apresentados os parâmetros e custo total anual para a política de nível de encomenda, considerando um nível de serviço de 98%.

Tabela 34 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.860.797).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	15	2	44,55 €	11,04 €	55,59 €	2
15%	12	2	56,27 €	13,81 €	70,07 €	2
20%	10	2	65,65 €	16,57 €	82,21 €	2
25%	9	2	76,20 €	18,41 €	94,60 €	2
30%	8	2	84,40 €	20,71 €	105,11 €	2
35%	8	2	98,47 €	20,71 €	119,18 €	2
40%	7	2	103,16 €	23,67 €	126,83 €	2

Também para este sobressalente é analisada a diferença entre os custos totais e para os dois níveis de serviço. O custo total é superior para todos os níveis da taxa do custo de posse, apresentando uma diferença nos custos que varia entre 38,1% e 62,8%, sendo que o valor mais baixo diz respeito à taxa anual de posse mais baixa e o valor mais alto diz respeito à taxa anual de posse mais elevada (Figura 41).

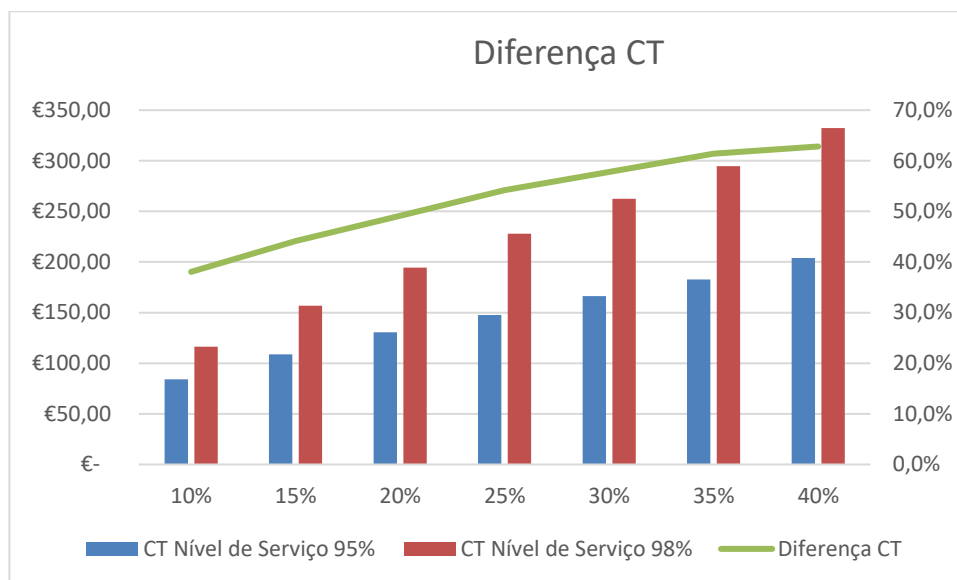


Figura 41 - Diferença entre o custo total para o nível de serviço de 95% e 98%.

A simulação da aplicação do valor dos parâmetros obtidos aos consumos passados permitiu observar que não ocorreriam ruturas neste período (Apêndice IV). A análise estendeu-se aos restantes sobressalentes da amostra que têm atribuído o grupo A. As tabelas com o valor das frequências e os respetivos resultados da aplicação da política de nível de encomenda estão apresentados no Apêndice III.

A Tabela 35 apresenta o valor da procura média utilizado para calcular a QEE e os resultados da aplicação da política de nível de encomenda para os dois níveis de serviço (95% e 98%) (nível de encomenda e custo total), considerando uma taxa de custo de posse de 20%.

Tabela 35 - Valor da procura média.

Sobressalente	Procura média (unidades)	QEE	Nível de serviço 95%		Nível de serviço 98%	
			Nível de encomenda	Custo Total	Nível de encomenda	Custo Total
8600.863.373	0,3	25	2	30,29€	5	35,19€

Sobressalente	Procura média (unidades)	QEE	Nível de serviço 95%		Nível de serviço 98%	
			Nível de encomenda	Custo Total	Nível de encomenda	Custo Total
8600.864.987	0,8	9	8	494,29€	10	565,52€
8600.866.060	3,3	16	13	1019,71€	15	1105,98€
8600.856.667	0,6	14	3	130,47€	5	194,55€

À semelhança do que se verificou para os sobressalentes 8600.857.998, 8600.857.999 e 8600.860.797 os custos totais dos restantes sobressalentes seguem a mesma tendência, ou seja, o custo total é superior para um nível de serviço de 98% para todos os níveis da taxa de custo de posse.

No caso do sobressalente 8600.863.373, a diferença no custo total varia entre 11,9% e 22,2%, sendo que o valor mais baixo diz respeito à taxa anual de posse mais baixa e o valor mais alto diz respeito à taxa anual de posse mais elevada. Para o sobressalente 8600.864.987 essa diferença varia entre 12,4% e 16,6%, a diferença do custo total do sobressalente 8600.866.060 varia entre 13% e 16,9% e do 8600.856.667 entre 9,2% e 17,4% (Figura 42).



Figura 42 - Diferença custo total sobressalentes 8600.863.373 (a), 8600.864.987 (b), 8600.866.060 (c) e 8600.856.667 (d).

Também para estes sobressalentes foi realizada a análise ao valor dos consumos passados. Verificou-se que, à semelhança dos sobressalentes anteriores, também não se verificaram ruturas no período em análise (Apêndice IV). Para os sobressalentes do grupo A é desejável que não existam ruturas dado que se estima que os custos de rutura sejam elevados para a organização. A análise realizada à amostra de sobressalentes permitiu verificar que o nível de serviço de 98% acarreta custos superiores face aos valores obtidos para o nível de serviço de 95%. Em ambos os níveis de serviço não se verificaram ocorrências de rutura pelo que pode ser suficiente para este tipo de peças assegurar um nível de serviço de 95%. Mas esta decisão tem de ser sempre ponderada pois uma rutura pode provocar não só custos elevados de perdas de produção como em alguns casos custos por perda de contratos com fornecedores.

Para os sobressalentes do grupo B foi realizada a mesma análise, mas considerando diferentes níveis de serviço, 90% e 95%. De seguida é apresentada a análise realizada ao sobressalente 8600.855.423 e as principais conclusões obtidas com a aplicação da política aos restantes sobressalentes da amostra, que têm atribuído o grupo B.

8600.855.423 - KF-center ring

A Tabela 36 apresenta o valor da frequência absoluta que permitiu definir o valor do parâmetro do nível de encomenda. Para um nível de serviço de 90% o nível de encomenda definido é de 0 unidades (91,67%), e o valor que garante pelo menos 95% de nível de serviço é de 4 unidades (97,22%).

Tabela 36 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.855.423.

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	33	91,7%	91,67%
2	1	2,8%	94,44%
4	1	2,8%	97,22%
6	1	2,8%	100,00%

À semelhança dos sobressalentes anteriores, na Tabela 37 é apresentado o resultado da aplicação da política de nível de encomenda, para um nível de serviço de 90%. Para o cálculo da QEE o valor da procura média utilizada foi de 0,3 unidades.

Tabela 37 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.855.423).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	17	0	29,78 €	9,75 €	39,53 €	-
15%	14	0	36,79 €	11,83 €	48,63 €	23%
20%	12	0	42,05 €	13,81 €	55,85 €	15%
25%	11	0	48,18 €	15,06 €	63,24 €	13%
30%	10	0	52,56 €	16,57 €	69,13 €	9%
35%	9	0	55,19 €	18,41 €	73,60 €	6%
40%	8	0	56,06 €	20,71 €	76,77 €	4%

Na Tabela 38 são apresentados os parâmetros e custo total anual para a política de nível de encomenda, considerando um nível de serviço de 95%.

Tabela 38 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.855.423).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	17	4	43,80 €	9,75 €	53,55 €	-
15%	14	4	57,82 €	11,83 €	69,65 €	30%
20%	12	4	70,08 €	13,81 €	83,89 €	20%
25%	11	4	83,22 €	15,06 €	98,28 €	17%
30%	10	4	94,61 €	16,57 €	111,18 €	13%
35%	9	4	104,24 €	18,41 €	122,65 €	10%
40%	8	4	112,13 €	20,71 €	132,84 €	8%

Para perceber o impacto nos custos totais dos dois níveis de serviço foi analisada a diferença entre o custo total que existe para os dois valores 90% e 95%. O custo total é superior para todos os níveis da taxa do custo de posse, apresentando uma diferença nos custos que varia entre 35,5% e 73,0%, sendo que o valor mais baixo diz respeito à taxa anual de posse mais baixa e o valor mais alto diz respeito à taxa anual de posse mais elevada (Figura 43).

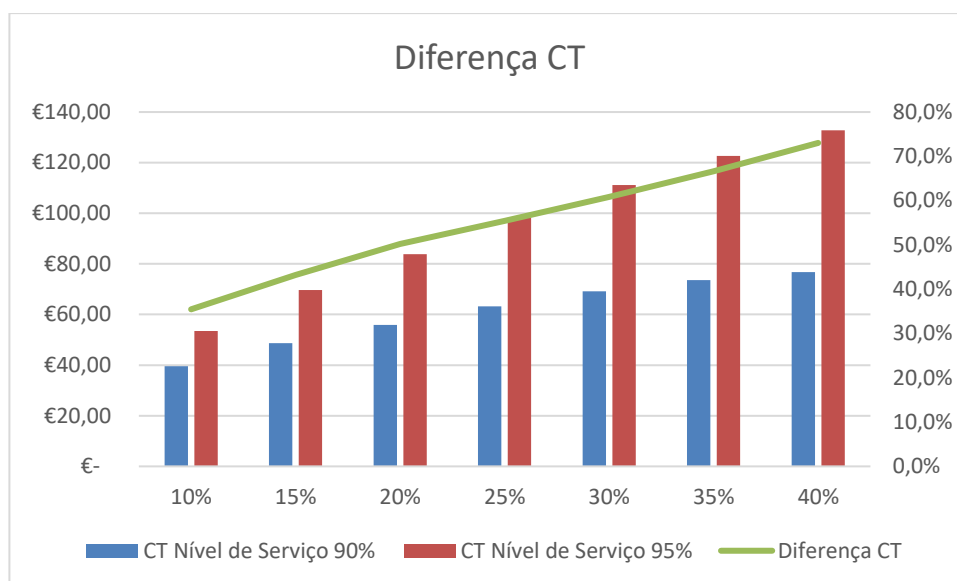


Figura 43 - Diferença entre o custo total para o nível de serviço de 90% e 95%.

Mais uma vez a aplicação da política adotada permitiu verificar que não ocorrem ruturas dentro do prazo de entrega. Também para este sobressalente foi realizada a análise ao valor dos consumos passados e verificou-se que a aplicação da política adotada não acarreta ruturas dentro do prazo de entrega (Apêndice IV).

Para os restantes sobressalentes da amostra a tabela de frequência e os resultados da aplicação da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 90% e 95% são apresentados no Apêndice III. A Tabela 39 apresenta o valor da procura média utilizado para calcular a QEE e os resultados da aplicação da política de nível de encomenda para os dois níveis de serviço (95% e 98%) (nível de encomenda e custo total), considerando uma taxa de custo de posse de 20%.

Tabela 39 - Valor da procura média.

Sobressalente	Procura média (unidades)	QEE	Nível de serviço 90%		Nível de serviço 95%	
			Nível de encomenda	Custo Total	Nível de encomenda	Custo Total
8600.858.383	0,3	91	30	430,84€	40	478,42€
8600.859.758	0,8	12	2	68,86€	3	75,74€
8600.868.019	3,3	6	9	1713,58€	6	2223,41€

À semelhança do que se verificou com os sobressalentes do grupo A e com o sobressalente 8600.855.423 (grupo B) os custos totais dos restantes sobressalentes seguem a mesma tendência, ou

seja, o custo total é superior para um nível de serviço de 95% para todos os níveis da taxa de custo de posse em detrimento de um nível de serviço de 90%.

No caso do sobressalente 8600.858.383 a diferença no custo total varia entre 8,7% e 13,8%, sendo que o valor mais baixo diz respeito à taxa anual de posse mais baixa e o valor mais alto diz respeito à taxa anual de posse mais elevada. Para o sobressalente 8600.859.758 essa diferença varia entre 7,5% e 13,3% e a diferença do custo total do sobressalente 8600.868.019 varia entre 25,1% e 34% (Figura 44).

Também para estes sobressalentes foi realizada a análise ao valor dos consumos passados. Assim sendo, foram realizados dois cenários, um para o nível de serviço de 90% e outro para o nível de serviço de 95% também se verificou que não ocorrem ruturas dentro do prazo de entrega nos dois cenários analisados (Apêndice IV). Para estes sobressalentes é permitida a rutura de stock, pois acarreta custos mais baixos ou nulos para a organização, embora não signifique que a rutura não interfira no bom funcionamento das atividades de manutenção. Através de toda a análise realizada a estes sobressalentes pode-se concluir que manter um nível de serviço de 90% acarreta menos custos de posse e de encomenda para a organização, pelo que pode ser mais vantajoso.

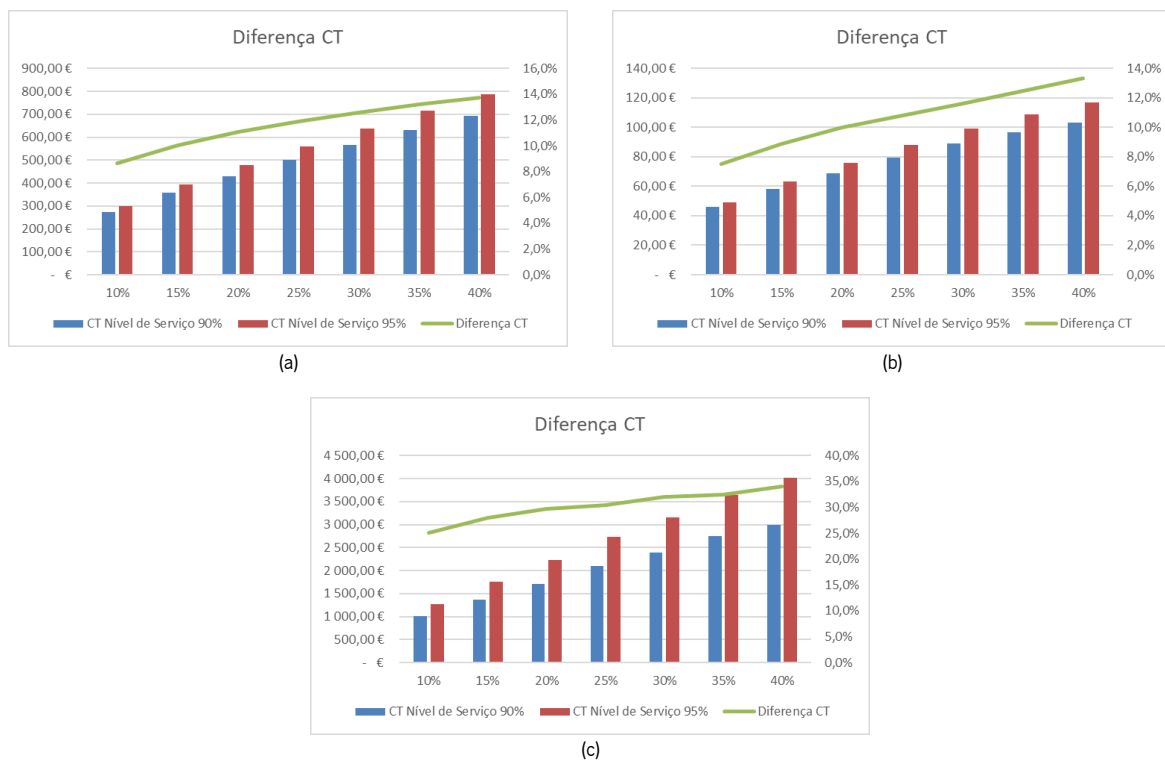


Figura 44 - Diferença custo total sobressalentes 8600.858.383 (a), 8600.859.758 (b) e 8600.868.019 (c).

Após a análise realizada aos sobressalentes dos grupos A e B, pode-se concluir que a política atribuída apresenta bons resultados, garantindo que não existe rutura principalmente nos sobressalentes do grupo A. Verificou-se que os custos de posse são, tendencialmente, mais elevados que os custos de encomenda pois estes sobressalentes apresentam uma grande disparidade a nível de consumos, por isso é mantido um nível de encomenda elevado.

No caso das ações de manutenção preventiva sistemática é fácil identificar o consumo planeado e o não planeado, como é o caso dos sobressalentes 8600.856.667 e 8600.860.797. No entanto, há sobressalentes que têm atribuída uma política de inspeção e, se for possível por parte da organização planejar esses consumos, os custos de posse teriam um decréscimo, pois o nível de encomenda seria mais baixo.

A Figura 36, Figura 37 e Figura 38, como já referido, permitiram identificar a dispersão da procura observada e com isto, foi possível verificar que os valores mais elevados da procura são para todos os sobressalentes representativos de uma pequena parte dos valores observados. Esses valores podem ocorrer por motivos específicos e planeados pela organização, pelo que podem ser identificados de forma a serem excluídos do cálculo do nível de encomenda. Paralelamente, os dados da procura utilizados devem ser atualizados, utilizando-se sempre aos dados mais recentes com isto, elimina-se do cálculo dos parâmetros da política valores que possam ter ocorrido de forma excecional e que aumentam os custos totais para a organização e também se garante que os valores da procura utilizada refletem a evolução das necessidades por peças das máquinas em funcionamento.

7.4.4 Grupos C, D e E

Para os sobressalentes que têm atribuído os grupos C, D ou E, foi realizado um estudo que consistiu em analisar os custos de posse e os custos de rutura, considerando diferentes políticas. Para além dos custos associados à política escolhida para o sobressalente pela atribuição do grupo, foram também calculados os custos associados a políticas alternativas resultantes da hipótese de uma classificação diferente para o sobressalente. Por exemplo, para uma peça classificada no grupo C, foram analisados os custos decorrentes da adoção da política associada aos grupos D e E. Este estudo teve como finalidade validar a política associada ao sobressalente pela atribuição do grupo, realizada através da classificação multicritério.

Como já referido, não foi possível obter o valor da taxa anual de posse da organização, como tal, utilizou-se um espectro de valores entre 10% e os 40% com intervalos de 5%. O custo anual de posse foi obtido considerando a multiplicação da taxa anual de posse pelo preço e pela quantidade do *stock* máximo definido para cada grupo. É expectável que o valor do *stock* médio esteja muito próximo do valor do *stock* máximo, pois a ocorrência da procura é muito espaçada no tempo e os prazos de entrega são, geralmente, muito inferiores ao intervalo entre procuras.

Sendo assim, o custo anual de posse C_p é dado pela seguinte expressão:

$$C_p = c * i * Q \quad (38)$$

Em que:

c – Custo unitário de um sobressalente;

i – Taxa anual de posse;

Q – Quantidade em *stock* (valor do *stock* máximo definido para o grupo C e D).

Os custos de rutura são extremamente difíceis de estimar dado que o impacto da inexistência pode trazer vários custos à organização, alguns deles não quantificáveis. A falha de um sobressalente nem sempre provoca uma paragem na produção, como tal é necessário obter uma estimativa para o custo de rutura de cada sobressalente. Para conseguir obter um custo de rutura o mais próximo possível da realidade, a abordagem seguida consistiu em considerar o nível do “impacto na produção” de cada sobressalente (subcritério usado na obtenção da criticidade).

Assumiu-se como pressuposto, para esta análise, que uma máquina continua a funcionar quando está a produzir peças com defeito (perdas de qualidade). Isto pode acontecer em situações em que as perdas de qualidade são pontuais. Nos casos em que existem perdas de qualidade elevadas considerou-se que a máquina tem uma paragem súbita, pois de imediato a produção é interrompida, para evitar custos demasiado elevados. A abordagem para definir o custo de perda de produção utilizado para determinar o custo de rutura de *stock* é idêntica à anteriormente usada.

O custo de rutura é obtido considerando o custo de perda de produção, o prazo de entrega, a probabilidade de rutura no prazo de entrega e o número de encomendas, como apresentado nas expressões (39), (40) e (41).

Para o grupo D, a probabilidade de rutura é dada por $P(X \geq 1)$, pois a política deste grupo é manter em *stock* 1 unidade, então para que ocorra rutura tem de ocorrer uma ou mais falhas dentro do prazo de entrega. Para o grupo C é considerado $P(X \geq 2)$, pois a política associada a este grupo é *stock* máximo igual a dois e *stock* mínimo de um, pelo que para ocorrer rutura dentro do prazo de entrega têm de ocorrer duas ou mais falhas no prazo de entrega.

A expressão definida para determinar o valor do custo de rutura do grupo D é a seguinte:

$$Cr = Cpp * \left(\frac{L}{2}\right) * P(X \geq 1) * N_E \quad (39)$$

Cr – Custo de rutura de um sobressalente para o período em análise;

Cpp – Custo de perda de produção de acordo com o impacto na produção do sobressalente, por dia;

L – Prazo de entrega do sobressalente em dias;

$P(X \geq 1)$ – Probabilidade de ocorrer uma ou mais falhas durante o prazo de entrega;

X – Número de ocorrências de falha de um sobressalente;

N_E – Número de encomendas no período em análise.

Para determinar o custo de rutura para o grupo C a expressão é a seguinte:

$$Cr = Cpp * \left(\frac{L}{3}\right) * P(X \geq 2) * N_E \quad (40)$$

Em que,

$P(X \geq 2)$ – Probabilidade de ocorrer duas ou mais falhas durante o prazo de entrega.

Para o grupo E, uma vez que logo que ocorra uma falha do sobressalente existe rutura de *stock*, a expressão do custo de rutura foi definida da seguinte forma:

$$Cr = Cpp * L * N_E \quad (41)$$

O prazo de entrega é dividido por dois no caso do grupo do D, pois considera-se que a probabilidade de ocorrer procura em qualquer um dos dias é igual, como tal optou-se por utilizar o valor médio do prazo de entrega. No caso do grupo C, quando é despoletada uma encomenda ainda há em *stock* uma peça,

pelo que se acontecer rutura já está a decorrer o prazo de entrega da primeira peça, desta forma optou-se por utilizar o valor do prazo de entrega a dividir por três. No caso do grupo E, é considerado o valor total do prazo de entrega, pois a política associada a este grupo é não manter *stock*.

Para determinar a probabilidade de ocorrer rutura dentro do prazo de entrega, recorreu-se à distribuição de *Poisson* com média m_t (valor obtido através da expressão (36) e que representa o número médio de falha no prazo de entrega quando a peça é utilizada em N máquinas). O valor do número de encomendas é considerado, pois representa o número de vezes em que a rutura poderá acontecer. O valor a utilizar é igual ao número de falhas ocorridas no período em análise. Considera-se que sempre que ocorre uma falha é despoletada uma encomenda.

O tempo de substituição da peça não é considerado, pois este será o mesmo, independentemente de a peça existir ou não em *stock*.

De seguida é apresentada a análise realizada aos sobressalentes do grupo C, D e E, da amostra (Tabela 16). Os valores do custo unitário (preço), prazo de entrega, e nível do impacto na produção são os apresentados na Tabela 16. Os restantes valores necessários para esta análise são apresentados na Tabela 40, sendo os valores relativos a um período de três anos, isto é, 2018, 2019 e 2020.

Tabela 40 - Dados para cálculo dos custos de posse e rutura.

Referência	Número de máquinas	MTTF (dias)	m_t	$P(X \geq 1)$	$P(X \geq 2)$	Nº de encomendas
8600.861.695	1	979	0,015322	0,01520	0,00012	1
8600.864.506	1	326,3	0,042901	0,04199	0,00089	3
8600.867.756	20	3916	0,076609	0,07375	0,00279	5
8600.868.194	1	979	0,010215	0,01016	0,00005	1
8600.868.982	27	13216,5	0,030644	0,03018	0,00046	2
8600.869.878	1	979	0,015322	0,01520	0,00012	1

Esta análise visa utilizar os dados passados para estimar os custos de posse e de rutura para as políticas atribuídas. O período considerado é de três anos para ser possível obter uma estimativa o mais próximo possível da realidade. Os sobressalentes específicos caracterizam-se por ter uma procura muito espaçada

no tempo, logo no período de um ano poderia não ocorrer procura. Após a análise aos custos é ainda validada a política atribuída ao sobressalente (resultado da classificação multicritério) recorrendo aos dados da procura nos anos 2018, 2019 e 2020, confirmando se, no caso de a política ser C ou D, existe rutura de *stock* dentro do prazo de entrega.

A atribuição dos grupos através da metodologia multicritério ditou que dois sobressalentes fossem classificados com o grupo C, três com o grupo D e um com o grupo E. A análise aos custos de rutura e de posse teve como objetivo validar a atribuição dos grupos e das políticas de gestão de *stocks*.

Para todos os sobressalentes foi calculado o custo de posse e de rutura utilizando as expressões definidas para cada um dos grupos. Com isto pretendeu-se perceber qual o impacto para a organização de utilizar a política de *stock* mínimo igual a um e de *stock* máximo igual a dois (grupo C), a política de *stock* mínimo igual a 0 e de *stock* máximo igual a um (grupo D) e a política de não manter *stock*.

O período de dados utilizado para esta análise foi de três anos (2018, 2019 e 2020). Para comparar os valores de custo de posse com o custo de rutura é necessário multiplicar o valor obtido pela expressão (38) relativa ao custo anual de posse por três que é o número de anos em análise. Para o custo de rutura os valores utilizados já são referentes aos três anos, não sendo assim necessário qualquer ajuste.

Inicialmente é calculado o custo de posse para o grupo C e D. Não é calculado para o grupo E, pois, a política associada ao grupo E é não manter peças em *stock*. De seguida é calculado o custo de rutura para os três grupos, sendo que no caso do grupo C e D, o custo de rutura considera a probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega.

Após a análise aos custos foi realizada uma análise aos *stocks* considerando a procura do período em estudo. Apresentam-se os valores em SAC e os SDC.

8600.867.756 - Round belt

O sobressalente em análise tem atribuído o grupo C. Foi calculado o custo de posse para o período em análise para o grupo C e D. Também foi calculado o custo de rutura para os dois grupos e ainda para o grupo E. Na Figura 45 são apresentados os valores de custo de posse para os dois grupos. Pode-se observar que o custo de posse do grupo C ascende aos 71,79€ para uma taxa de 15% e aos 191,45€ para uma taxa de 40%. Para o grupo D, estes valores são 35,90€ para uma taxa de 15% e de 95,72€ para uma taxa de 40%.

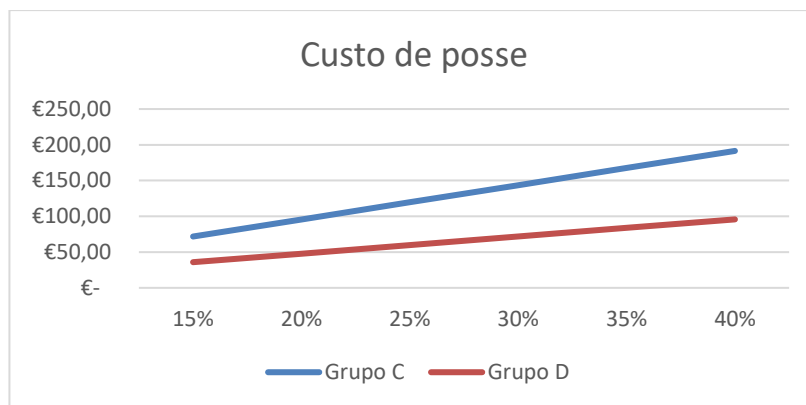


Figura 45 - Custo de posse para os grupos C e D (8600.867.756).

Esta peça tem como nível de impacto de produção “perdas de qualidade”, como tal o custo de rutura foi calculado assumindo vários valores (Tabela 22). Na Figura 46 (a) é apresentado o custo de rutura para os três grupos, na Figura 46 (b) é apresentado o custo de rutura do grupo C e D. Os valores são apresentados em gráficos diferentes pois, o custo de rutura do grupo E é muito superior ao dos grupos C e D, pelo que não era possível visualizar a discrepância entre o custo de rutura destes grupos. O valor do custo de rutura varia entre 2,68€ e 21,44€ para o grupo C. Para o grupo D os custos de rutura estão compreendidos entre 106,27€ e 850,19€ e para o grupo E varia entre 25 938€ e 86 460€ (Figura 46).

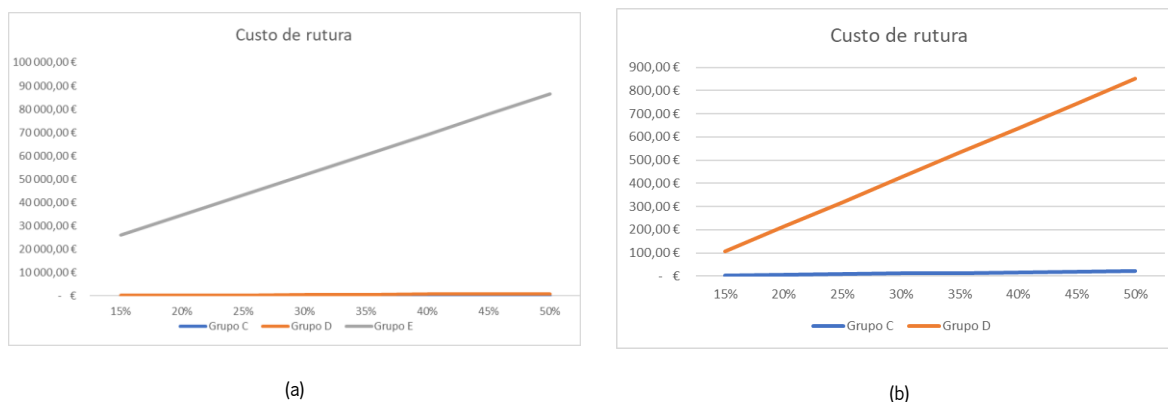


Figura 46 - Custo de rutura para os grupos C, D e E (sobressalente 8600.867.756).

O custo de rutura do grupo E é muito superior aos custos de rutura dos grupos C e D, sendo que no caso do grupo C o valor do custo de rutura é extremamente baixo. Se compararmos os custos de rutura com o custo de posse pode-se concluir que o custo de posse dos grupos C e D é muito inferior ao custo de rutura do grupo E, pelo que se conclui que a política do grupo E não é adequada para este sobressalente. Os custos de posse do grupo C são inferiores aos custos de rutura do grupo D e o custo total dado pelo somatório do custo de posse e de rutura mostra que o custo total do grupo C também é inferior ao do

grupo D, pelo que é vantajoso manter um *stock* mínimo de uma peça em detrimento de um stock mínimo de zero (Figura 47). Após esta análise aos custos, pode-se concluir que o grupo inicialmente atribuído (grupo C) é o mais vantajoso para a organização.

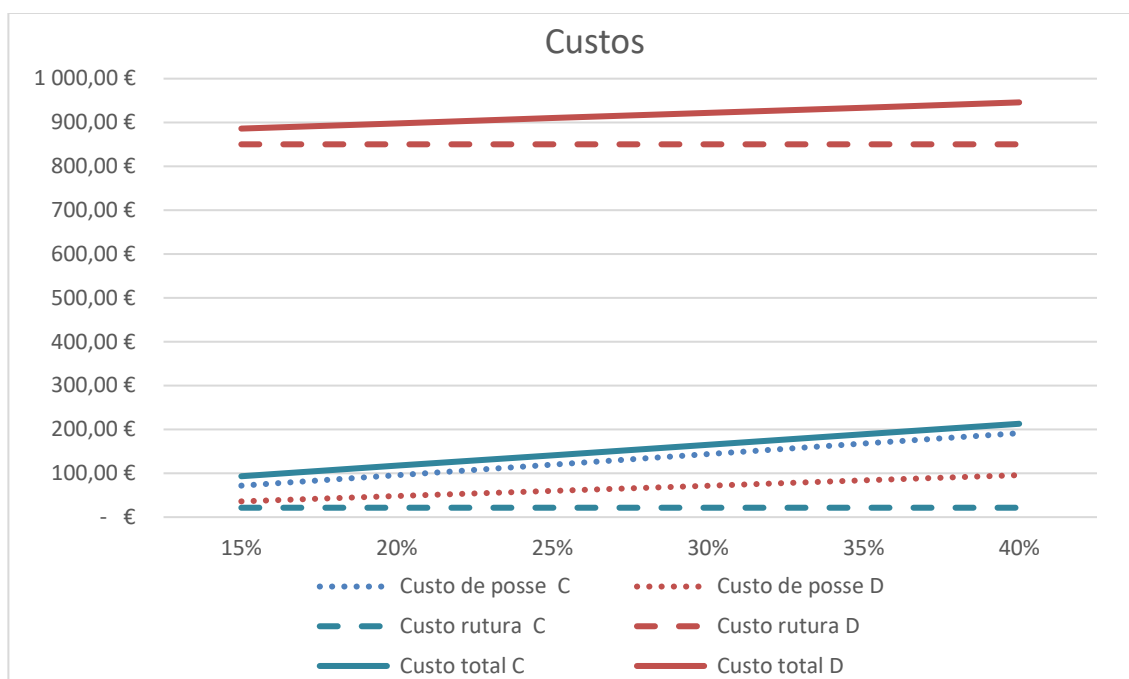


Figura 47 - Custo de posse, de rutura e total dos grupos C e D (sobressalente 8600.867.756).

De forma a reforçar a análise, analisou-se com os dados do período em análise se, com a política adotada, iria ocorrer rutura dentro do prazo de entrega. Na Tabela 41 é apresentada a procura, bem como os valores em *stock* antes e depois da ocorrência da procura. Como era espetável, dado o valor baixo, anteriormente calculado para a probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega, não ocorreram situações de rutura, que é o pretendido para este tipo de peças, uma vez que a rutura representa custos superiores aos de posse e elevados para a organização para o período em análise.

Tabela 41 - Aplicação da política de gestão de stocks atribuída ao sobressalente 8600.867.756.

Data	Procura	SAC	SDC
24/05/2018	1	2	1
26/06/2018	1	2	1
21/11/2018	1	2	1
18/02/2019	1	2	1
13/06/2020	1	2	1

8600.868.982 - Clamping Blade

O sobressalente em análise tem atribuído o grupo D. Na Figura 48 pode-se observar que o custo de posse do grupo C ascende aos 2 982,60€ para uma taxa de 15% e aos 7 953,60€ para uma taxa de 40%. Para o grupo D, estes valores são 1 941,30€ para uma taxa de 15% e de 3 976,30€ para uma taxa de 40%.

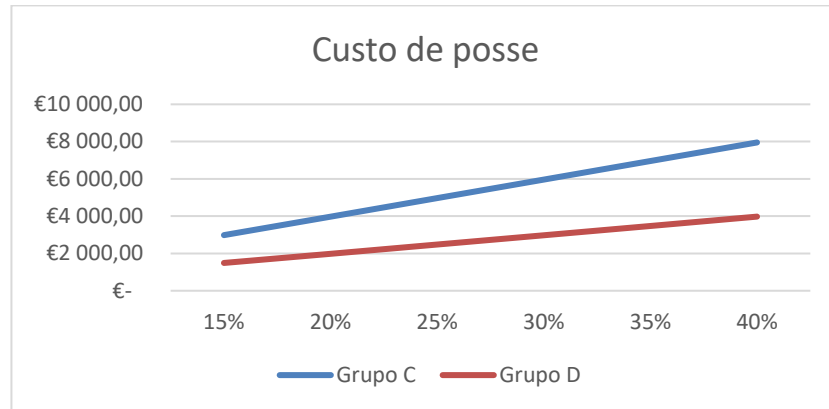


Figura 48 - Custo de posse para os grupos C e D (8600.868.982).

Esta peça tem como nível de impacto de produção “perdas de qualidade”. Na Figura 49 (a) é apresentado o custo de rutura para os três grupos, na Figura 49 (b) é apresentado o custo de rutura do grupo C e D. O valor do custo de rutura varia entre 0,18€ e 1,41€ para o grupo C, para o grupo D os custos de rutura estão compreendidos entre 17,40€ e 139,17€ e para o grupo E varia entre 10 375,20€ e 34 584,00€.

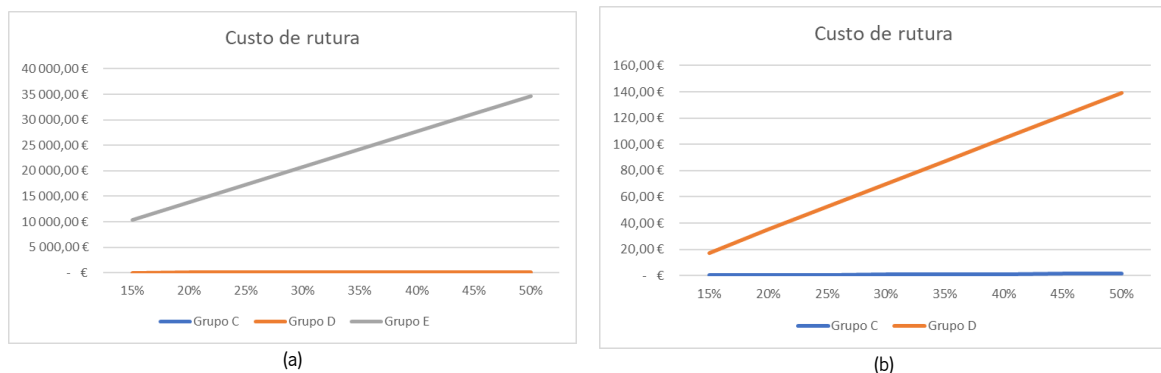


Figura 49 - Custo de rutura para os grupos C, D e E (8600.868.982).

À semelhança do já referido para o sobressalente analisado o custo de rutura do grupo E é muito superior aos custos de rutura dos grupos C e D e também muito superiores ao custo de posse dos grupos C e D, pelo que se conclui que a política do grupo E não é adequada para este sobressalente. Os custos de

posse do grupo C são bastante superiores aos custos de rutura desse grupo, pelo que não é vantajoso manter em *stock* duas peças em detrimento de uma peça (Figura 50). Após esta análise aos custos pode-se concluir que o grupo atribuído pela árvore de decisão (grupo D) é o mais vantajoso para a organização.

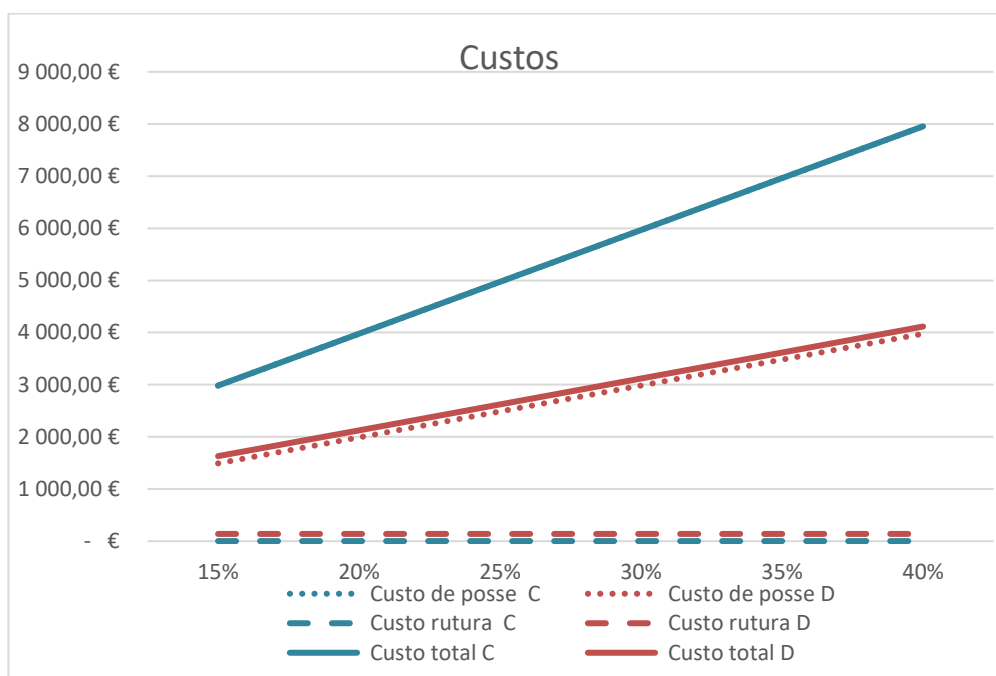


Figura 50 - Custo de posse, de rutura e total dos grupos C e D (8600.868.982).

Na Tabela 42 é apresentada a procura e os valores em *stock* antes e depois da ocorrência da procura. Durante o período em análise ocorreram duas falhas deste sobressalente. Como era espectável, dado o valor baixo anteriormente calculado para a probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega, não ocorreram situações de rutura durante o prazo de entrega, que é o pretendido para este tipo de peças.

Tabela 42 - Aplicação da política de gestão de stocks atribuída ao sobressalente 8600.868.982.

Data	Quantidade	SAC	SDC
27/03/2019	1	1	0
07/10/2019	1	1	0

8600.861.695 - Assy Z servo motor

À semelhança do sobressalente anterior este também tem atribuído o grupo D. Na Figura 51 são apresentados os custos de posse, o do grupo C ascende aos 4 221,90€ para uma taxa de 15% e aos

11 298,40€ para uma taxa de 40%. Para o grupo D, estes valores são 2 110,95€ para uma taxa de 15% e de 5 629,20€ para uma taxa de 40%.

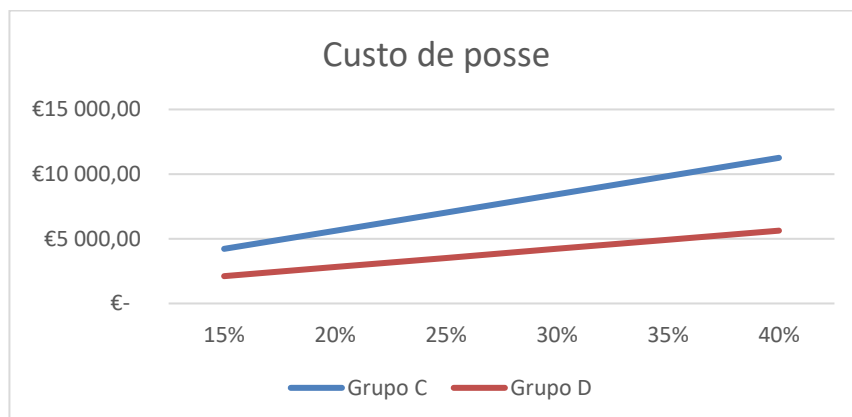


Figura 51 - Custo de posse para os grupos C e D (8600.861.695).

Esta peça tem como nível de impacto de produção “paragem súbita”. Na Figura 52 é apresentado o custo de rutura para os três grupos. O valor do custo de rutura é de 0,46€ para o grupo C, para o grupo D de 87,61€ e para o grupo E é de 11 528€.

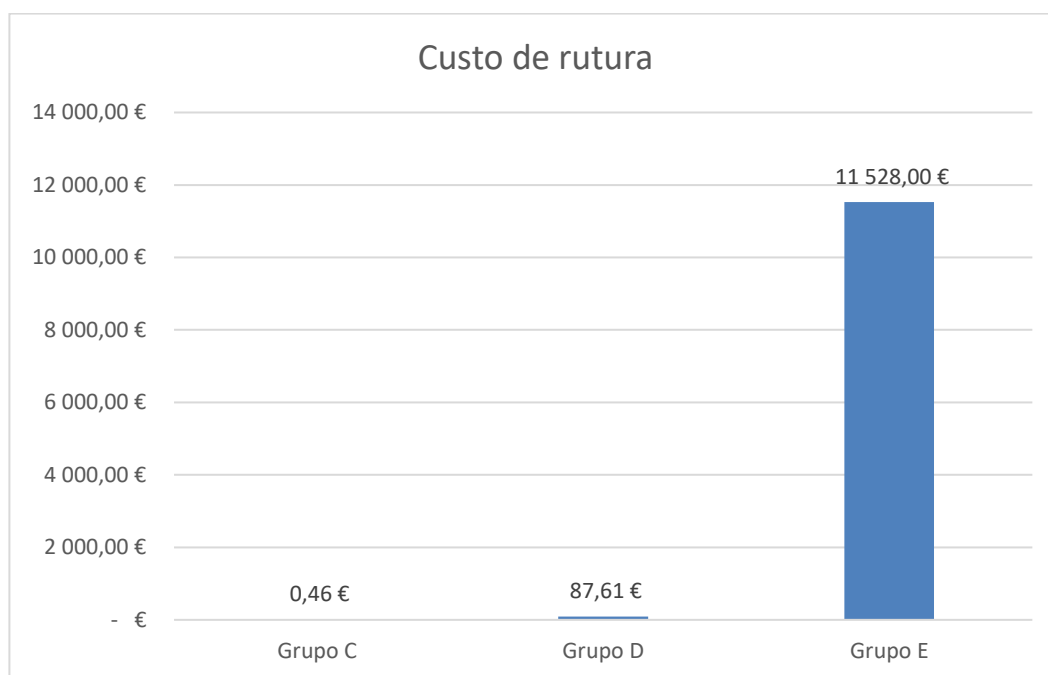


Figura 52 - Custo de rutura para os grupos C, D e E (8600.861.695).

Mais uma vez se observa que o custo de rutura do grupo E é muito superior aos custos de rutura do grupo C e D, sendo que no caso do grupo C o valor do custo de rutura é insignificante. Neste caso, o

custo de rutura do grupo E também é superior ao custo de posse dos restantes grupos em análise, sendo mais uma vez excluído para este sobressalente. Os custos de posse do grupo C são bastante superiores aos custos de rutura desse grupo, pelo que não é vantajoso manter em *stock* duas peças em detrimento de uma peça (Figura 53). Após esta análise o grupo D continua a ser a política mais adequada a este sobressalente.

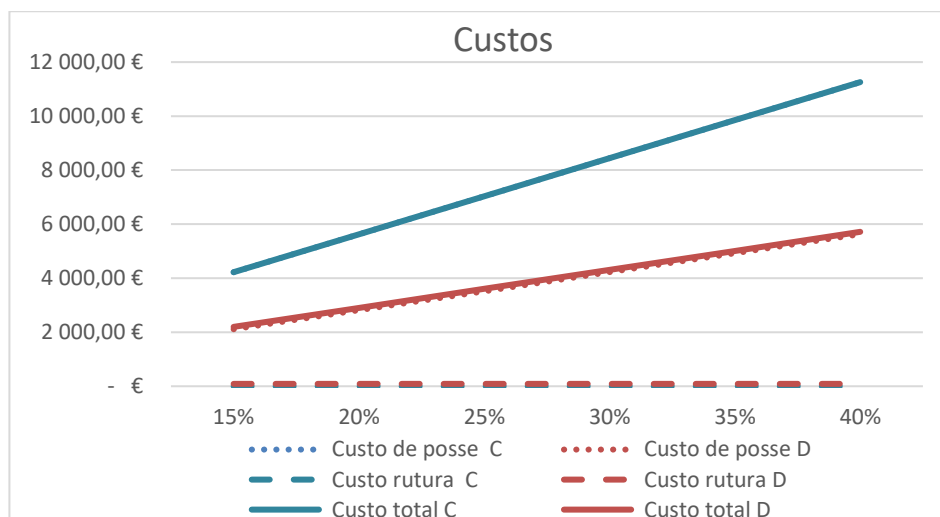


Figura 53 - Custo de posse, de rutura e total para os grupos C e D (8600.861.695).

De forma a reforçar esta conclusão, estudou-se com os dados do período em análise se, com a política adotada, iria ocorrer rutura dentro do prazo de entrega. Na Tabela 43 pode-se observar que não ocorreram situações de rutura e a peça só falhou uma vez no período em análise.

Tabela 43 - Aplicação da política de gestão de stocks atribuída ao 8600.861.695.

Data	Quantidade	SAC	SDC
08/03/2019	1	1	0

8600.864.506 - Motor controller

O sobressalente em estudo tem atribuído o grupo C e pode-se observar através da Figura 54 que o custo de posse do grupo C ascende aos 144,81€ para a taxa de 15% e aos 386,16€ para a taxa de 40%. Para o grupo D, estes valores são 72,41€ para uma taxa de 15% e de 193,08€ para uma taxa de 40%.

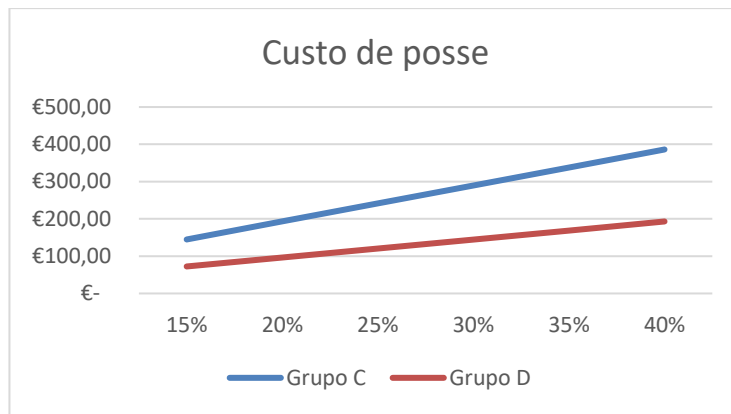


Figura 54 - Custo de posse para os grupos C e D (8600.864.506).

Esta peça tem como nível de impacto de produção “paragem súbita”. Na Figura 55 é apresentado o custo de rutura para os três grupos. O valor do custo de rutura é de 3,27€ para o grupo C, para o grupo D de 687,46€ e para o grupo E é de 96 835,20€.

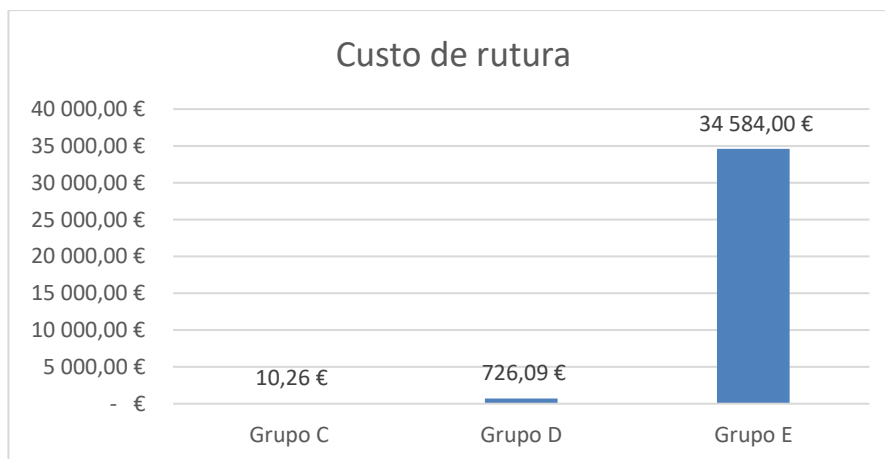


Figura 55 - Custo de rutura para os grupos C, D e E (8600.864.506).

Verifica-se, mais uma vez, que o custo de rutura do grupo E é muito superior aos custos de rutura dos grupos C e D, sendo que, no caso do grupo C, o valor do custo de rutura é extremamente baixo. Na Figura 56 é possível observar que o custo de posse dos grupos C e D é muito inferior ao custo de rutura do grupo E, pelo que se exclui que o grupo E é adequado para este tipo de sobressalente. Verificou-se também que os custos de posse do grupo C são inferiores aos custos de rutura para o grupo D, pelo que a política associada ao grupo C é a mais adequada. Após esta análise aos custos pode-se concluir que o grupo inicialmente atribuído (grupo C) é o mais vantajoso para a organização.

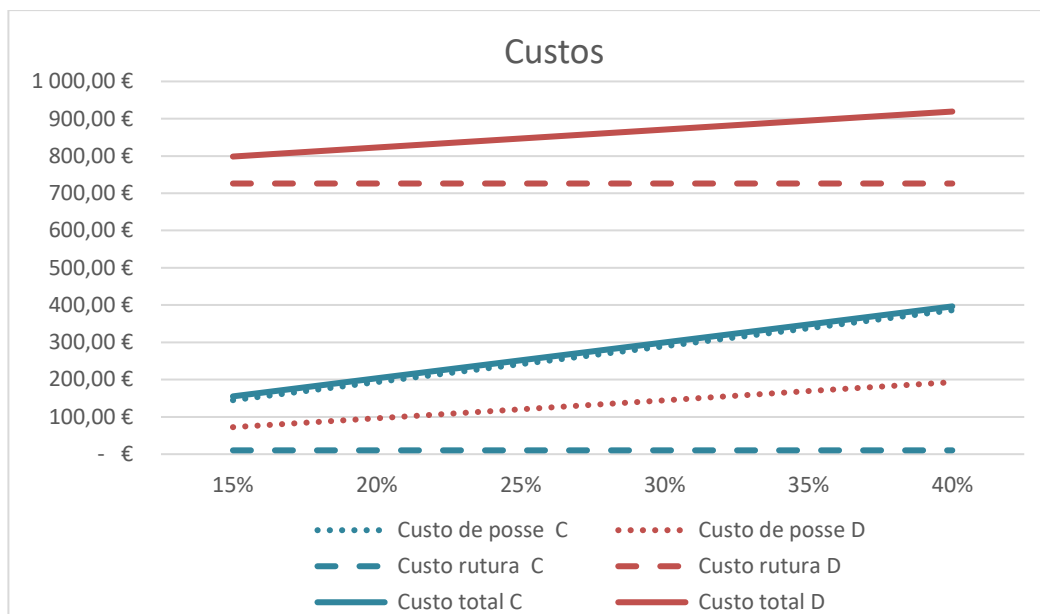


Figura 56 - Custo de posse, de rutura e total para os grupos C e D (8600.864.506).

Na Tabela 44 é possível constatar que não ocorreram situações de rutura no prazo de entrega, que é o pretendido para este tipo de peças, uma vez que a rutura representa custos superiores aos de posse para o período em análise.

Tabela 44 - Aplicação da política de gestão de stocks atribuída ao 8600.864.506.

Data	Quantidade	SAC	SDC
04/06/2018	1	2	1
02/10/2018	1	2	1
01/10/2020	1	2	1

8600.868.194 - Control unit

O sobressalente em estudo tem atribuído o grupo D. Na Figura 57 pode-se verificar que o custo de posse do grupo C ascende aos 586,26€ para uma taxa de 15% e aos 1563,36€ para uma taxa de 40%. Para o grupo D, estes valores são 293,13€ para uma taxa de 15% e de 781,68€ para uma taxa de 40%.

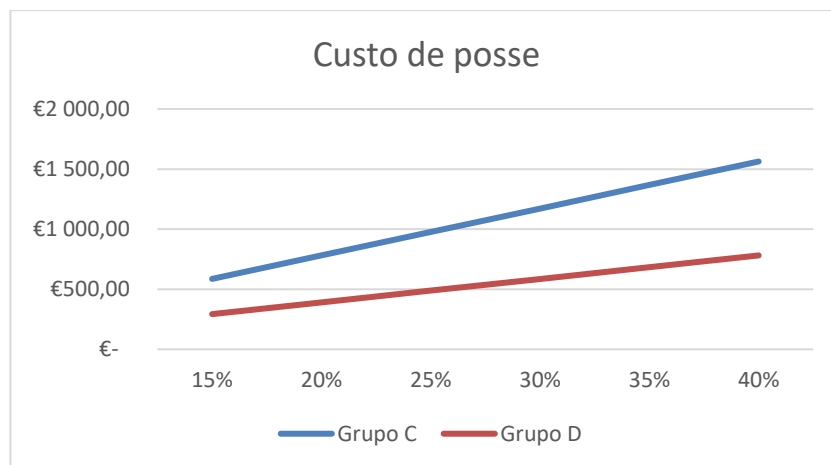


Figura 57 - Custo de posse para os grupos C e D (8600.868.194).

Esta peça tem como nível de impacto de produção “paragem súbita”. Na Figura 58 é apresentado o custo de rutura para os três grupos. O valor do custo de rutura é de 0,19€ para o grupo C, para o grupo D de 58,56€ e para o grupo E é de 11 528,00€.



Figura 58 - Custo de rutura para os grupos C, D e E (8600.868.194).

Também para este sobressalente o custo de rutura do grupo E é muito superior aos custos de rutura dos grupos C e D, sendo que, no caso do grupo C, o valor do custo de rutura é insignificante. Comparando os custos de rutura com o custo de posse pode-se concluir que o custo de posse dos grupos C e D é muito inferior ao custo de rutura do grupo E, pelo que se conclui que a política do grupo E não é adequada para este sobressalente. Como já verificado para outros sobressalentes, os custos de posse do grupo C são superiores aos custos de rutura desse grupo, pelo que não é vantajoso manter em *stock* duas peças

em detrimento de uma peça (Figura 59). Após esta análise aos custos pode-se concluir que o grupo inicialmente atribuído (grupo D) é o mais vantajoso para a organização.

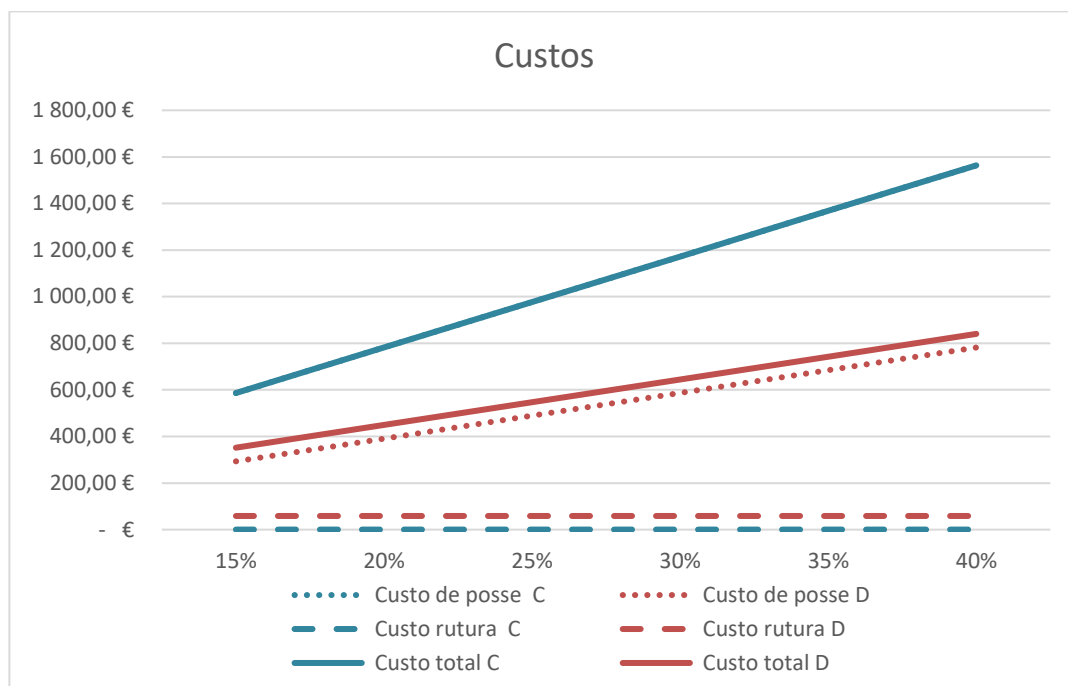


Figura 59 - Custo de posse, de rutura e total para os grupos C e D (8600.868.194).

Na Tabela 45 é apresentada a procura, bem como os valores em *stock* antes e depois da ocorrência da procura. Não ocorreram situações de rutura no período em análise que é o pretendido para este tipo de peças, em que os custos de rutura são muito elevados. Verificou-se que no período em análise ocorreu apenas uma falha deste sobressalente.

Tabela 45 - Aplicação da política de gestão de stocks atribuída ao 8600.868.194.

Data	Quantidade	SAC	SDC
18/10/2018	1	1	0

8600.869.878 - Cap round vynil

O sobressalente 8600.869.878 tem atribuído o grupo E. Como este tem como nível de impacto na produção, "sem impacto", não é calculado o custo de rutura. Na Figura 60 são apresentados os custos de posse para os grupos C e D. O custo de posse para o grupo C varia entre 0,63€ para uma taxa de 15% e os 1,68€ para uma taxa de 40%, no caso do grupo D, os custos de posse são de 0,32€ para uma taxa de 15% e de 0,84€ para uma taxa de 40%. Verifica-se assim que os custos de posse são bastante

baixos, apesar disso, dado que a falha do sobressalente não acarreta custos de rutura entendeu-se que seria vantajoso atribuir o grupo E.

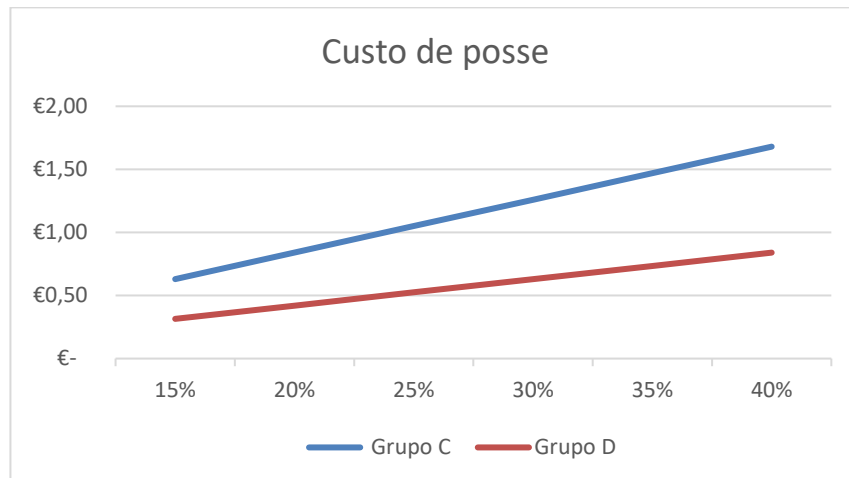


Figura 60 - Custo de posse para o grupo C e D (8600.869.878).

Como a política atribuída a este grupo é não manter peças em *stock* (grupo E), o procedimento passa por adquirir a peça quando esta falhou (18/10/2018) e aguardar o número de dias do prazo de entrega para proceder à sua substituição (prazo de entrega de 15 dias).

Em suma, para os sobressalentes analisados verificou-se que o grupo atribuído através da metodologia de classificação e a respetiva política de gestão de *stocks* atribuída ao grupo apresentam bons resultados, pois minimizam os custos de posse e de rutura.

7.5 Dados Necessários para a Implementação

A implementação da metodologia de classificação e das políticas de gestão de *stocks* exige que um conjunto de dados estejam disponíveis e sejam constantemente atualizados. Ao longo da análise realizada foi possível concluir que é necessário garantir que a organização defina alguns dados. Para esta análise foi utilizado um intervalo de valores possíveis para a taxa anual de posse, dado que a organização não tem definida uma taxa.

Neste estudo foram obtidos os valores dos parâmetros para os vários valores da taxa anual de posse, mas para a implementação desta metodologia é importante que esta taxa esteja definida e que sobressalentes diferentes possam ter taxas de posse diferentes, de acordo, por exemplo, com o risco de deterioração e/ou obsolescência. Os sobressalentes dos grupos A e B apresentam um menor risco de deterioração e/ou obsolescência, pois apresentam consumos mais recorrentes. E mesmo dentro destes

podem-se atribuir taxas anuais de posse diferentes entre os sobressalentes que seguem a distribuição Normal e os que não seguem, sendo mais elevada nos segundos. Os sobressalentes dos grupos C, D e E terão atribuída uma taxa anual de posse superior, pois a ocorrência de longos períodos em que não ocorre procura acarreta riscos de obsolescência e/ou deterioração.

O custo de aprovisionamento usado pela organização foi definido em 2003 e não foi revisto depois dessa data. Este valor e a taxa anual de posse (a definir pela empresa) devem ser revistas com alguma regularidade de forma a garantir que representam a situação atual da organização e do mercado em que está inserida.

Outro valor que suscitou algumas dúvidas foi o prazo de entrega. Foram utilizados os valores registados no SAP, que dizem respeito ao valor contratualizado com o fornecedor, mas foi realizada uma pequena análise para perceber se estes valores estão próximos da realidade. Na Tabela 46 é possível observar a data de colocação da última encomenda e a data da sua receção, e ainda os valores do prazo de entrega real, do prazo de entrega predefinido e a diferença entre os dois, para alguns sobressalentes da amostra. Verificou-se que existem discrepâncias elevadas em alguns casos, o que reforça a importância de usar dados reais. Uma vez que estes dados não são obtidos diretamente, seria necessário criar uma rotina que permitisse de forma simples e rápida a obtenção destes valores (dado o número elevado de peças da organização). De forma a tornar o mais real possível estes dados e sabendo que existe a possibilidade de existirem variações entre encomendas, seria mais vantajoso recorrer a uma média móvel. Por exemplo, poderiam ser utilizadas as últimas quatro encomendas para definir o valor do prazo de entrega para permitir classificar as peças e calcular os parâmetros das políticas de gestão de *stocks*.

Tabela 46 - Valores reais do prazo de entrega.

Material	Data da última encomenda	Data de receção da encomenda	Prazo de entrega real (dias)	Prazo de entrega predefinido (dias)	Diferença entre prazos de entrega (dias)
8600.858.383	10/05/2021	27/05/2021	17	2	+15
8600.861.695	21/12/2011	27/12/2011	6	15	-9
8600.863.373	17/05/2021	26/05/2021	9	2	+7
8600.864.987	27/07/2020	31/07/2020	4	2	+4
8600.866.060	31/05/2021	03/06/2021	3	30	-27

Material	Data da última encomenda	Data de receção da encomenda	Prazo de entrega real (dias)	Prazo de entrega predefinido (dias)	Diferença entre prazos de entrega (dias)
8600.867.756	25/05/2018	25/07/2018	61	15	+46
8600.868.019	24/02/2020	17/03/2020	22	15	+7
8600.868.194	02/10/2018	08/10/2018	6	5	+1
8600.868.982	14/10/2019	17/10/2019	3	5	-2
8600.869.878	04/12/2019	10/01/2020	37	2	+35

Importa ainda referir que o número de máquinas, que é utilizado na classificação multicritério, deve ser atualizado constantemente, pois verificou-se que o parque de máquinas é muito volátil, existindo situações de aumento ou diminuição de máquinas, de acordo com as flutuações das necessidades do mercado em que se insere a organização. O planeamento da manutenção também deve ser tido em conta pois se forem conhecidos os consumos planeados é possível reduzir os custos de posse.

7.6 Conclusão e Discussão de Resultados

No presente capítulo foi abordada a gestão de *stocks* de sobressalentes. A escolha da política de gestão de *stocks* mais adequada a uma particular peça implica uma análise cuidada das suas características e requer a definição dos grupos de sobressalentes, a definição do método de classificação e, posteriormente o procedimento para a atribuição das políticas de gestão de *stocks*. Inclui-se ainda a análise e previsão da procura, a definição das várias políticas de gestão de *stocks* e os dados necessários para a implementação.

Destaca-se a importância da conjugação das duas perspetivas, a da gestão de *stocks* e a da manutenção, que permitiram ter uma visão dos custos de rutura (através da criticidade e do prazo de entrega) e dos custos de posse (através do preço). A distinção entre componentes genéricos e específicos foi muito importante para distinguir os sobressalentes que mesmo podendo ter as mesmas características a nível de criticidade, prazo de entrega e preço, apresentam uma procura com comportamentos muito distintos.

A análise à distribuição da procura dos sobressalentes genéricos e/ou específicos que têm uma procura por lotes variáveis, permitiu distinguir os sobressalentes em que a procura segue a distribuição Normal e os que não seguem e com isso atribuir políticas adequadas às duas situações. Percebeu-se também

que a probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega é muito importante para distinguir alguns sobressalentes específicos dado que a procura destes é muito esporádica.

Foi definida uma amostra de 18 sobressalentes, que visou selecionar peças com características distintas de forma a serem representativas da realidade. Posto isto, na Tabela 47 é apresentada uma síntese da aplicação da metodologia de classificação multicritério à amostra selecionada. A Tabela 47 apresenta a dispersão dos sobressalentes pelos vários níveis dos critérios em unidades e em percentagem.

Tabela 47 - Resultados da aplicação da metodologia multicritério.

Classificação multicritério						
Criticidade	Vital		Essencial		Desejável	
	10	56%	5	28%	3	17%
Prazo de entrega	Elevado		Médio		Baixo	
	2	11%	9	50%	7	39%
Preço	Elevado		Médio		Baixo	
	2	11%	1	6%	15	83%

A aplicação da metodologia de classificação multicritério e análise da distribuição da procura no caso dos sobressalentes do grupo A e B, permitiu atribuir os grupos. A Tabela 48 apresenta a distribuição dos sobressalentes pelos grupos, verificou-se que o grupo A é o que apresenta maior número de sobressalentes atribuídos (Para 6% dos sobressalentes a procura segue a distribuição Normal e para 39% dos sobressalentes não segue).

Com isto foi possível encontrar uma metodologia capaz de agregar os sobressalentes pelas suas características e especificidades, o que facilita a atribuição de uma política de gestão de *stocks* a cada grupo. Para definir as políticas de gestão de *stocks* mais adequadas às especificidades das peças, foram realizados estudos para perceber os comportamentos da procura, nomeadamente, analisar a distribuição da procura e testar um conjunto de modelos de previsão da procura.

Tabela 48 -Distribuição dos sobressalentes pelos grupos.

Grupos de sobressalentes													
A procura segue a Normal			A procura não segue a Normal				C			D		E	
A	B		A	B	A	B							
1	6%	-	7	39%	4	22%	2	11%	3	17%	1	6%	

A análise recorrendo a métodos de previsão da procura foi útil para perceber o comportamento da procura e se era possível uniformizar a previsão da procura para cada grupo de sobressalentes. Porém concluiu-se que isso não era viável e que seria de difícil implementação selecionar mais que um modelo de previsão para cada grupo. Concluiu-se também que os erros de previsão são elevados em alguns casos e que a utilização da previsão da procura nas políticas de gestão de *stocks* não seria uma mais-valia, pois provocaria enviesamento dos dados. Como tal, para a metodologia final não foram utilizados estes métodos de previsão. Esta análise foi importante para descartar esta hipótese e permitir a seleção da melhor política de gestão de *stocks* para cada grupo.

A informação recolhida destas análises permitiu identificar a necessidade de definir diferentes políticas de gestão de *stocks* para os vários grupos, tendo sido definidas algumas políticas de gestão de *stocks*. Para os sobressalentes genéricos foi observado que a procura não segue uma distribuição igual para todos os casos. Dessa forma, decidiu-se diferenciar os sobressalentes que seguem a distribuição Normal, atribuindo-lhe uma política de nível de encomenda – QEE. Para os restantes sobressalentes, para os quais a procura não segue a distribuição Normal, foi definida uma política (s, Q).

Para os sobressalentes específicos foram definidos três grupos (C, D e E) que permitem distinguir as quantidades a manter em *stock* em função dos critérios, criticidade, prazo de entrega e preço e ainda a probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega.

A análise realizada às políticas de gestão de *stocks* permitiu concluir que as políticas se adequam às especificidades das peças minimizando os custos para a organização.

A abordagem desenvolvida foi validada recorrendo a dados históricos dos sobressalentes, mas sabe-se que a aquisição de novas máquinas leva a que existam novas necessidades, não só a nível de quantidades para os sobressalentes já existentes, mas também na determinação das quantidades de

novos sobressalentes. Para os sobressalentes novos e que, como tal, não existe um histórico de dados é necessário definir alguma informação até que existam dados disponíveis.

Para a classificação dos sobressalentes é necessário saber se se trata de um sobressalente genérico ou específico, informação esta que deve ser extraída do manual da máquina e do conhecimento dos técnicos. É necessária informação relativa ao preço, prazo de entrega, criticidade, e ainda no caso dos grupos C e D ao número de máquinas e MTTF. Os valores do preço e prazo de entrega são conhecidos ou facilmente conhecidos realizando uma consulta de mercado. A criticidade terá de ser definida recorrendo ao manual da máquina, outros dados do fornecedor e conhecimento da equipa de manutenção, devendo ser verificado o nível do subcritério “impacto da falha” aquando da ocorrência de uma falha.

No caso dos sobressalentes em que o critério probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega é considerado para a atribuição do grupo C ou D, o número de máquinas é facilmente obtido, mas é necessário conhecer o valor do MTTF. Não existindo dados históricos é necessário analisar a documentação disponibilizada pelo fornecedor de forma a estimar um valor, ou recorrer à comparação com componentes semelhantes e utilizar uma estimativa para esse valor.

Após a classificação e atribuição do grupo e respetiva política de gestão de *stocks* são necessários mais dados para calcular os parâmetros. Como não existem dados históricos, no caso dos grupos A e B, a experiência dos técnicos de manutenção e a informação do fornecedor será determinante para, num primeiro momento, definir o valor dos parâmetros. No caso dos sobressalentes dos grupos C, D e E não é necessário estimar os parâmetros da política de gestão de *stocks*, pois já foram definidos previamente.

Outro fator que poderá ser útil e dar dados relevantes numa primeira fase para a atribuição dos grupos e respetivos parâmetros da política de gestão de *stocks* é a política de manutenção atribuída ao componente.

8. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

8.1 Conclusão

As organizações que se dedicam à produção dependem dos seus equipamentos para produzir. Os sobressalentes são fundamentais para manter a eficiência e bom funcionamento do equipamento, evitando perdas de produção. A gestão de sobressalentes representa um problema complexo para as organizações devido ao grande número de peças envolvidas, à quantidade de dados que devem ser considerados e às dificuldades na recolha desses dados. Manter níveis de *stock* elevados acarreta custos elevados para a organização. Por esse motivo na literatura encontram-se alguns estudos que pretendem otimizar o número de peças a ser armazenadas. Para isso, devem ser conhecidos os fatores que interferem nas decisões de aquisição e armazenamento. Um sobressalente desempenha um papel fundamental na gestão da manutenção e, portanto, pode ter um forte impacto na produção. No entanto, os critérios e metodologias utilizadas para a sua classificação e gestão devem ser diferentes dos habitualmente utilizados na gestão de *stocks*.

A revisão de literatura realizada para esta investigação permitiu conhecer os principais conceitos, ferramentas, métodos e metodologias relacionados com a gestão da manutenção e com a gestão de *stocks*. Esta informação permitiu ter um conhecimento abrangente das duas áreas de forma a conseguir criar uma abordagem que combinasse as duas perspetivas. A revisão da literatura relativa à gestão de sobressalentes permitiu identificar as investigações realizadas nesta área bem como as principais lacunas existentes.

Identificou-se como principal oportunidade o desenvolvimento de uma abordagem que englobe a classificação multicritério e a gestão de *stocks* e que utiliza políticas de gestão de *stocks* adequadas à especificidade dos sobressalentes.

A metodologia de classificação multicritério de sobressalentes visa destacar a conjugação das duas perspetivas, a da gestão de *stocks* e a da manutenção. Para isso foram seleccionados critérios capazes de incluir as duas perspetivas. A criticidade traduz a importância do sobressalente para a produção e manutenção e o prazo de entrega e o preço permitem ter uma visão da gestão de *stocks*. Pretendeu-se não só seleccionar os critérios mais relevantes, mas ter em conta a sua aplicabilidade nas empresas pela facilidade de acesso aos dados.

Na literatura são apresentados vários métodos e modelos de classificação multicritério, o mais destacado é o AHP, mas estes métodos e modelos apresentam alguma complexidade na sua implementação, pelo que foi escolhida a árvore de decisão, por ser de fácil implementação e capaz de atribuir os grupos definidos.

A distinção entre os grupos A e B, e C, D, e E está relacionada com o facto de a procura destes sobressalentes apresentar vários comportamentos. Por isso, os sobressalentes genéricos e/ou os que têm uma procura por lotes variáveis são distribuídos pelo grupo A e B, e os sobressalentes específicos e/ou que têm uma procura unitária são repartidos pelos grupos C, D e E.

As políticas atribuídas a cada um dos grupos visam responder da melhor forma às suas especificidades. Por isso, para o grupo A e B são calculados os parâmetros da política de gestão de *stocks* para cada um dos sobressalentes, com a finalidade de obter o custo total mais baixo garantindo o nível de serviço pretendido para cada grupo e, com isso, evitar ou diminuir os custos de rutura. No grupo C, D e E as políticas atribuídas têm previamente definidos os valores dos parâmetros, pois a procura é unitária. No caso de algumas combinações do grupo C e D foi ainda considerado um critério extra, probabilidade de rutura dentro do prazo de entrega, que visa garantir que é considerada a quantidade de máquinas que usa o sobressalente.

Através do estudo de caso foi possível verificar que a organização não tem regras e procedimentos definidos que permitam definir as políticas de gestão de *stocks* de forma objetiva e clara. Permitiu também validar a metodologia de classificação multicritério e o procedimento para a atribuição das políticas de gestão de *stocks*. Concluindo-se que as políticas de gestão de *stocks* são eficazes para balancear os custos de inexistência de uma peça e custo de manter a peça em *stock*.

8.2 Limitações

As limitações subjacentes a esta investigação estão relacionadas com o facto de ter sido selecionado apenas um estudo de caso. Apesar de se tratar de uma organização com um volume de sobressalentes elevado é representativa de apenas um setor de atividade.

A abordagem pretende ser o mais objetiva possível de forma a eliminar o erro e diferentes perceções dos envolvidos na gestão de sobressalentes. Apesar disso, o critério criticidade exige que a atribuição dos níveis de cada subcritério tenha de ser realizada pelos técnicos/engenheiros da manutenção pelo que

pode criar algum grau de subjetividade neste critério originado por interpretações diferentes na atribuição de cada subcritério. Também relativamente a este critério, uma das limitações é que, para a sua implementação, é necessário atribuir a cada um dos sobressalentes um nível de impacto na produção e da função, pelo que pode tornar o processo complexo e moroso.

A dificuldade de as empresas manter os dados atualizados é uma limitação ao sucesso da implementação desta abordagem. Assim sendo é necessário um software capaz de abranger todas as informações e tratá-las, mantendo-as atualizadas ao longo do tempo.

8.3 Trabalho Futuro

A gestão de sobressalentes é uma temática que se mantém atual e que no futuro continuará a ser importante para as organizações. Na verdade, quanto mais dependentes de equipamentos sofisticadas estão as organizações, mais dependentes estão os equipamentos de uma gestão de sobressalentes eficiente.

De forma a corroborar as conclusões obtidas nesta investigação, seria interessante aplicar esta abordagem a outras organizações. Para permitir uma maior abrangência, uma sugestão é estendê-la a outros setores de atividade.

Para além disso, seria importante desenvolver software capaz de englobar toda a informação necessária de forma sistemática e permitir a sua atualização, conseguindo acompanhar em tempo real as alterações nos valores dos critérios ou da procura. Assim, seria possível atualizar o grupo atribuído, a política e/ou os parâmetros da política em tempo real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afey, I. H. (2010). Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study. *Engineering*, 02(11), 863–873. <https://doi.org/10.4236/engineering.2010.211109>
- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(7), 709–756. <https://doi.org/10.1108/02656710810890890>
- Alsayouf, 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>
- Antosz, K., & Ratnayake, R. M. C. (2016). Classification of spare parts as the element of a proper realization of the machine maintenance process and logistics - case study. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1389–1393. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.760>
- Aronis, K. P., Magou, I., Dekker, R., & Tagaras, G. (2004). Inventory control of spare parts using a Bayesian approach: A case study. *European Journal of Operational Research*, 154(3), 730–739. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00837-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00837-8)
- Assis, R. (2014). *Apoio à decisão em manutenção na gestão de ativos físicos*. (Lidel, Ed.) (2ª Edição). Lisboa.
- Axsäter, S. (2006). *Inventory control* (second edi). Springer.
- Babai, M. Z., Syntetos, A., & Teunter, R. (2014). Intermittent demand forecasting: An empirical study on accuracy and the risk of obsolescence. *International Journal of Production Economics*, 157(1), 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.08.019>
- Barabadi, A. (2012). Reliability and spare parts provision considering operational environment: A case study. *International Journal of Performability Engineering*, 8(5), 497–506.
- Baykasoğlu, A., Subulan, K., & Karaslan, F. S. (2016). A new fuzzy linear assignment method for multi-attribute decision making with an application to spare parts inventory classification. *Applied Soft Computing Journal*, 42, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.01.031>
- Bevilacqua, M., & Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering & System Safety*, 70(1), 71–83. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(00\)00047-8](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(00)00047-8)
- Boone, C. A., Craighead, C. W., & Hanna, J. B. (2008). Critical challenges of inventory management in service parts supply: A Delphi study. *Operations Management Research*, 1(1), 31–39. <https://doi.org/10.1007/s12063-008-0002-2>
- Bošnjaković, M. (2010). Multicriteria Inventory Model for Spare Parts. *Technical Gazette*, 17(4), 499–504.
- Botter, R., & Fortuin, L. (2000). Stocking strategy for service parts – a case study. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(6), 656–674.

<https://doi.org/10.1108/01443570010321612>

- Boylan, J. E., Syntetos, A. A., & Karakostas, G. C. (2008). Classification for forecasting and stock control: A case study. *Journal of the Operational Research Society*, *59*(4), 473–481. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602312>
- Boylan, John E., & Syntetos, A. A. (2010). Spare parts management: A review of forecasting research and extensions. *IMA Journal of Management Mathematics*, *21*(3), 227–237. <https://doi.org/10.1093/imaman/dpp016>
- Boylan, John E., & Syntetos, A. A. (2008). Forecasting for Inventory Management of Service Parts BT - Complex System Maintenance Handbook. Em *Complex System Maintenance Handbook* (pp. 479–506). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-011-7_20
- Braglia, M., Grassi, A., & Montanari, R. (2004). Multi-attribute classification method for spare parts inventory management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *10*(1), 55–65. <https://doi.org/10.1108/13552510410526875>
- Cakir, O., & Canbolat, M. S. (2008). A web-based decision support system for multi-criteria inventory classification using fuzzy AHP methodology. *Expert Systems with Applications*, *35*(3), 1367–1378. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.08.041>
- Campbell, J. D., & Jardine, A. K. S. (2001). *Maintenance excellence: optimizing equipment life-cycle decisions*. CRC Press.
- Carretero, J., Pérez, J. M., García-Carballeira, F., Calderón, A., Fernández, J., García, J. D., ... Prete, P. (2003). Applying RCM in large scale systems: A case study with railway networks. *Reliability Engineering and System Safety*, *82*(3), 257–273. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(03\)00167-4](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(03)00167-4)
- Cavalieri, S., Garetti, M., Macchi, M., & Pinto, R. (2008). A decision-making framework for managing maintenance spare parts. *Production Planning & Control*, *19*(4), 379–396. <https://doi.org/10.1080/09537280802034471>
- Çebi, F., Kahraman, C., & Bolat, B. (2010). A multiattribute ABC classification model using fuzzy AHP. *40th International Conference on Computers and Industrial Engineering: Soft Computing Techniques for Advanced Manufacturing and Service Systems, CIE40 2010*. <https://doi.org/10.1109/ICCIE.2010.5668233>
- Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., & Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. *International Journal of Production Economics*, *95*(1), 71–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.10.021>
- Chen, F. L., Chen, Y. C., & Kuo, J. Y. (2010). Applying Moving back-propagation neural network and Moving fuzzy-neuron network to predict the requirement of critical spare parts. *Expert Systems with Applications*, *37*(9), 6695–6704. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.04.037>
- Chu, C. W., Liang, G. S., & Liao, C. T. (2008). Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification. *Computers and Industrial Engineering*, *55*(4), 841–851. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.03.006>
- Croston, J. D. (1972). Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands. *Journal of the Operational Research Society*, *23*(3), 289–303. <https://doi.org/10.1057/jors.1972.50>

- Dal, B., Tugwell, P., & Greatbanks, R. (2000). Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement - A practical analysis. *International Journal of Operations and Production Management*, 20(12), 1488–1502. <https://doi.org/10.1108/01443570010355750>
- De Groote, P. (1995). Maintenance performance analysis: a practical approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1(2), 4–24. <https://doi.org/10.1108/13552519510089556>
- Dekker, R, Kleijn, M. J., & de Rooij, P. J. (1998). A spare parts stocking policy based on equipment criticality. *International Journal of Production Economics*, 56–57(97), 69–77. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00050-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00050-9)
- Dekker, Rommert. (1996). Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 51(3), 229–240. [https://doi.org/10.1016/0951-8320\(95\)00076-3](https://doi.org/10.1016/0951-8320(95)00076-3)
- Ding, S.-H., & Kamaruddin, S. (2015). Maintenance policy optimization—literature review and directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5–8), 1263–1283. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6341-2>
- Durairaj, S. (2002). Evaluation of Life Cycle Cost Analysis Methodologies. *Corporate Environmental Strategy*, 9(1), 30–39. [https://doi.org/10.1016/S1066-7938\(01\)00141-5](https://doi.org/10.1016/S1066-7938(01)00141-5)
- Eaves, A. H. C., & Kingsman, B. G. (2004). Forecasting for the ordering and stock-holding of spare parts. *Journal of the Operational Research Society*, 55(4), 431–437. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601697>
- Eisenhardt, K. M., & Graebner, M. E. (2007). Theory building from cases: Opportunities and challenges. *Academy of Management Journal*, 50(1), 25–32. <https://doi.org/10.5465/AMJ.2007.24160888>
- EN 13306. (2017). Maintenance terminology. Elsevier.
- Fildes, R., Goodwin, P., Lawrence, M., & Nikolopoulos, K. (2009). Effective forecasting and judgmental adjustments: an empirical evaluation and strategies for improvement in supply-chain planning. *International Journal of Forecasting*, 25(1), 3–23. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2008.11.010>
- Flores, B. E., & Clay Whybark, D. (1986). Multiple Criteria ABC Analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, 6(3), 38–46. <https://doi.org/10.1108/eb054765>
- Flores, B. E., Olson, D. L., & Dorai, V. K. (1992). Management of multicriteria inventory classification. *Mathematical and Computer Modelling*, 16(12), 71–82. [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(92\)90021-C](https://doi.org/10.1016/0895-7177(92)90021-C)
- Flores, B. E., & Whybark, D. C. (1986). Multiple Criteria ABC Analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, 6(3), 38–46. <https://doi.org/10.1108/eb054765>
- Flores, B. E., & Whybark, D. C. (1987). Implementing multiple criteria ABC analysis. *Journal of Operations Management*, 7(1–2), 79–85. [https://doi.org/10.1016/0272-6963\(87\)90008-8](https://doi.org/10.1016/0272-6963(87)90008-8)
- Flores, B., & Whybark, D. (1987). Implementing multiple criteria ABC analysis. *Journal of Operations Management*, 7(1–2), 79–85. [https://doi.org/10.1016/0272-6963\(87\)90008-8](https://doi.org/10.1016/0272-6963(87)90008-8)
- Fortuin, L., & Martin, H. (1999). Control of service parts. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(9), 950–971. <https://doi.org/10.1108/01443579910280287>

- Gajpal, P. P., Ganesh, L. S., & Rajendran, C. (1994). Criticality analysis of spare parts using the analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, 35(1–3), 293–297. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(94\)90095-7](https://doi.org/10.1016/0925-5273(94)90095-7)
- Galar, D., Parida, A., Kumar, U., Stenstrom, C., & Berges, L. (2011). Maintenance metrics: A hierarchical model of balanced scorecard. *2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability, ICQR 2011*, 67–74. <https://doi.org/10.1109/ICQR.2011.6031683>
- Garg, A., & Deshmukh, S. G. (2006). Maintenance management: literature review and directions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(3), 205–238. <https://doi.org/10.1108/13552510610685075>
- Gass, S. I., & Rapcsák, T. (2004). Singular value decomposition in AHP. *European Journal of Operational Research*, 154(3), 573–584. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00755-5](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00755-5)
- Ghodrati, B., Ahmadi, A., & Galar, D. (2013). Spare Parts Estimation for Machine Availability Improvement Addressing Its Reliability and Operating Environment – Case Study. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 20(03). <https://doi.org/10.1142/S0218539313400056>
- Ghodrati, Behzad. (2005). *Reliability and operating environment based spare parts planning*. Lulea, University of Technology, Diss. Obtido de <http://epubl.ltu.se/1402-1544/2005/51/LTU-DT-0551-SE.pdf>
- Ghodrati, Behzad, & Kumar, U. (2005). Reliability and operating environment-based spare parts estimation approach. *Water Resources Research*, 11(5), 169–184. <https://doi.org/10.1108/13552510510601366>
- Gopalakrishnan, P., & Banerji, A. K. (2015). *Maintenance and spare parts management* (Second Edi). PHI Learning Private Limited.
- Guajardo, M., Rönnqvist, M., Halvorsen, A. M., & Kallevik, S. I. (2015). Inventory management of spare parts in an energy company. *Journal of the Operational Research Society*, 66(2), 331–341. <https://doi.org/10.1057/jors.2014.8>
- Gulati, R., & Smith, R. (2009). *Maintenance and Reliability Best Practices*. Industrial Press, Inc. Obtido de <https://books.google.com/books?id=fwuDBgAAQBAJ&pgis=1>
- Gutierrez, R. S., Solis, A. O., & Mukhopadhyay, S. (2008). Lumpy demand forecasting using neural networks. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 409–420. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.01.007>
- Hadi-Vencheh, A., & Mohamadghasemi, A. (2011). A fuzzy AHP-DEA approach for multiple criteria ABC inventory classification. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 3346–3352. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.119>
- Hatefi, S. M., Torabi, S. A., & Bagheri, P. (2014). Multi-criteria ABC inventory classification with mixed quantitative and qualitative criteria. *International Journal of Production Research*, 52(3), 776–786. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.838328>
- Hu, Q., Boylan, J. E., Chen, H., & Labib, A. (2018). OR in spare parts management: A review. *European Journal of Operational Research*, 266(2), 395–414. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.058>

- Hu, Q., Chakhar, S., Siraj, S., & Labib, A. (2017). Spare parts classification in industrial manufacturing using the dominance-based rough set approach. *European Journal of Operational Research*, 262(3), 1136–1163. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.040>
- Hua, Z., & Zhang, B. (2006). A hybrid support vector machines and logistic regression approach for forecasting intermittent demand of spare parts. *Applied Mathematics and Computation*, 181(2), 1035–1048. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2006.01.064>
- 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)
- Iraqi, Z., El Biyaali, A., & El Barkany, A. (2016). Models of spare parts inventories' optimisation: a literature review. *International Journal of Services, Economics and Management*, 7(2/3/4), 95. <https://doi.org/10.1504/IJSEM.2016.10002814>
- ISO 55000. (2014). Asset management-Overview, principles and terminology. *International Organization for Standardization*. Obtido de <http://www.iranrpm.ir/wp-content/uploads/2014/03/ISO-55000-2014.pdf>
- Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2013). *Maintenance, Replacement, and Reliability* (Second). New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M. (2015). Practical aspects of the application of RCM to select optimal maintenance policy of the production line. *Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014*, (September 2014), 1187–1195. <https://doi.org/10.1201/b17399-165>
- Jin, T., & Liao, H. (2009). Spare parts inventory control considering stochastic growth of an installed base. *Computers and Industrial Engineering*, 56(1), 452–460. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.07.002>
- Kabir, G., & Hasin, M. A. A. (2012). Multiple criteria inventory classification using fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 3(2), 123–132. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2011.09.007>
- Kabir, G., & Hasin, M. A. A. (2013). Multi-criteria inventory classification through integration of fuzzy analytic hierarchy process and artificial neural network. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 14(1), 74–103. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2013.052922>
- Kennedy, W. J., Wayne Patterson, J., & Fredendall, L. D. (2002). An overview of recent literature on spare parts inventories. *International Journal of Production Economics*, 76(2), 201–215. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00174-8)
- Kourentzes, N. (2013). Intermittent demand forecasts with neural networks. *International Journal of Production Economics*, 143(1), 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.01.009>
- 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>
- Levrat, E., lung, B., & Marquez, A. C. (2008). E-maintenance: review and conceptual framework. *Production Planning &*

- Li, L., Liu, M., Shen, W., & Cheng, G. (2017). An improved stochastic programming model for supply chain planning of MRO spare parts. *Applied Mathematical Modelling*, *47*, 189–207. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.03.031>
- Li, S. G., & Kuo, X. (2008). The inventory management system for automobile spare parts in a central warehouse. *Expert Systems with Applications*, *34*(2), 1144–1153. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.12.003>
- Lopes, I., Figueiredo, M., & Sá, V. (2020). Criticality evaluation to support maintenance management of manufacturing systems. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, *11*(1), 3–18. <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2020-1-248>
- Makridakis, S. G., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1997). *Forecasting: methods and applications* (3.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Marquez, A. C. (2007). *The Maintenance Management Framework. Springer series in reliability engineering CN - TS192 .C72 2007*. London: Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-821-0>
- Márquez, A. C. (2007). *The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance*. Springer Science & Business Media.
- McKone, K. E., Schroeder, R. G., & Cua, K. O. (2001). Impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance. *Journal of Operations Management*, *19*(1), 39–58. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(00\)00030-9](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(00)00030-9)
- Molenaers, A., Baets, H., Pintelon, L., & Waeyenbergh, G. (2012). Criticality classification of spare parts: A case study. *International Journal of Production Economics*, *140*(2), 570–578. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.08.013>
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centred Maintenance*. (Industrial Press Inc., Ed.).
- 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>
- Muchiri, Peter, Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>
- Muller, A., Crespo Marquez, A., & lung, B. (2008). On the concept of e-maintenance: Review and current research. *Reliability Engineering and System Safety*, *93*(8), 1165–1187. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2007.08.006>
- Muller, M. (2003). *Essentials of Inventory Management*. New York: AMACOM.
- Murteira, B., Silva Ribeiro, C., Andrade e Silva, J., & Pimenta, C. (2007). *Introdução à Estatística*. (McGraw-Hill, Ed.) (2ª Edição).
- Murthy, D. N. P., Atrons, A., & Eccleston, J. A. (2002). Strategic maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *8*(4), 287–305. <https://doi.org/10.1108/13552510210448504>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance (preventative maintenance*

series). Hardcover. ISBN 0-91529-923-2.

- NASA. (2008). Reliability-centered Maintenance guide for facilities and collateral equipment. *Engineering Maintenance*. <https://doi.org/doi:10.1201/9781420031843.ch6>
- Nowlan, F., & Heap, H. (1978). Reliability-centered maintenance. Technical report AD/A066-579. *National Technical Information Service*.
- NP EN 13306. (2007). Terminologia da manutenção. Instituto Português da Qualidade.
- NP EN 15341. (2009). Manutenção: Indicadores de desempenho da manutenção (KPI).
- O'Connor, P., & Kleyner, A. (2012). *Practical reliability engineering*. John Wiley & Sons.
- Panagiotidou, S. (2014). Joint optimization of spare parts ordering and maintenance policies for multiple identical items subject to silent failures. *European Journal of Operational Research*, 235(1), 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.065>
- Parida, A., & Chattopadhyay, G. (2007). Development of a multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement (MPM). *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 13(3), 241–258. <https://doi.org/10.1108/13552510710780276>
- Parida, A., & Kumar, U. (2006). Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(3), 239–251. <https://doi.org/10.1108/13552510610685084>
- Parida, A., Kumar, U., Galar, D., & Stenström, C. (2015). Performance measurement and management for maintenance: a literature review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(1), 2–33. <https://doi.org/10.1108/JQME-10-2013-0067>
- Park, K. S., & Han, S. W. (2001). TPM - Total productive maintenance: Impact on competitiveness and a framework for successful implementation. *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, 11(4), 321–338. <https://doi.org/10.1002/hfm.1017>
- Partovi, F. Y., & Anandarajan, M. (2002). Classifying inventory using an artificial neural network approach. *Computers & Industrial Engineering*, 41(4), 389–404. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(01\)00064-X](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(01)00064-X)
- Partovi, F. Y., & Burton, J. (1993). Using the Analytic Hierarchy Process for ABC Analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, 13(9), 29–44. <https://doi.org/10.1108/01443579310043619>
- Pascual, D. G., & Kumar, U. (2016). *Maintenance Audits Handbook - A Performance Measurement Framework*. Boca Raton: CRC Press.
- Pham, H. (2006). System Reliability Concepts (Vol. 2006, pp. 9–75). https://doi.org/10.1007/1-84628-295-0_2
- Pomorski, T. R. (2004). Total Productive Maintenance Concepts and Literature Review. *Brooks Automation, Inc.*, 1–110. Obtido de <http://zoomin.idt.mdh.se/course/KPP202/HT2010/Le12ASn101012/Pomorski2004.pdf>
- Porrás, E., & Dekker, R. (2008). An inventory control system for spare parts at a refinery: An empirical comparison of different re-order point methods. *European Journal of Operational Research*, 184(1),

101–132. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.11.008>

- Qingfeng, W., Wenbin, L., Xin, Z., Jianfeng, Y., & Qingbin, Y. (2011). Development and application of equipment maintenance and safety integrity management system. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(4), 321–332. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2011.01.008>
- Ramanathan, R. (2006). ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. *Computers and Operations Research*, 33(3), 695–700. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.07.014>
- Regattieri, A., Gamberi, M., Gamberini, R., & Manzini, R. (2005). Managing lumpy demand for aircraft spare parts. *Journal of Air Transport Management*, 11(6), 426–431. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2005.06.003>
- Roda, I, Macchi, M., Fumagalli, L., & Viveros, P. (2014). A review of multi-criteria classification of spare parts: From literature analysis to industrial evidences. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 25(4), 528–549. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2013-0185>
- Roda, Irene, Macchi, M., Fumagalli, L., & Viveros, P. (2012). On the classification of spare parts with a multi-criteria perspective. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 45(31), 19–24. <https://doi.org/10.3182/20121122-2-ES-4026.00020>
- Roda, Irene, Macchi, M., Fumagalli, L., & Viveros, P. (2014). A review of multi-criteria classification of spare parts. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 25(4), 528–549. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2013-0038>
- Romeijnders, W., Teunter, R., & Van Jaarsveld, W. (2012). A two-step method for forecasting spare parts demand using information on component repairs. *European Journal of Operational Research*, 220(2), 386–393. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.01.019>
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research methods for business students*. Pearson education.
- Schuman, C. A., & Brent, A. C. (2005). Asset life cycle management: Towards improving physical asset performance in the process industry. *International Journal of Operations and Production Management*, 25(6), 566–579. <https://doi.org/10.1108/01443570510599728>
- Sgarbossa, F., Peron, M., Lolli, F., & Balugani, E. (2021). Conventional or additive manufacturing for spare parts management: An extensive comparison for Poisson demand. *International Journal of Production Economics*, 233(June 2020), 107993. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107993>
- Sharma, R., & Govindaraju, N. (2010). Intelligent support system a maintenance planning activity. *ICBEE 2010 - 2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering, Proceedings*, 331–335. <https://doi.org/10.1109/ICBEE.2010.5650378>
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2016). *Inventory and Production Management in Supply Chains. Inventory and Production Management in Supply Chains*. <https://doi.org/10.1201/9781315374406>
- Singh, D., & Verma, A. (2018). Inventory Management in Supply Chain. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3867–3872. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.641>

- Stenström, C., Parida, A., Kumar, U., & Galar, D. (2013). Performance indicators and terminology for value driven maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 19(3), 222–232. <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2013-0024>
- Stoll, J., Kopf, R., Schneider, J., & Lanza, G. (2015). Criticality analysis of spare parts management: a multi-criteria classification regarding a cross-plant central warehouse strategy. *Production Engineering*, 9(2), 225–235. <https://doi.org/10.1007/s11740-015-0602-2>
- Subramanian, N., & Ramanathan, R. (2012). A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *International Journal of Production Economics*, 138(2), 215–241. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.036>
- Swanson, L. (1997). An empirical study of the relationship between production technology and maintenance management. *International Journal of Production Economics*, 53(2), 191–207. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00113-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00113-8)
- Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International Journal of Production Economics*, 70(3), 237–244. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00067-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00067-0)
- Syntetos, A. A., Babai, M. Z., & Altay, N. (2012). On the demand distributions of spare parts. *International Journal of Production Research*, 50(8), 2101–2117. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.562561>
- Syntetos, A. A., Boylan, J. E., & Disney, S. M. (2009). Forecasting for inventory planning: A 50-year review. *Journal of the Operational Research Society*, 60(SUPPL. 1), 1. <https://doi.org/10.1057/jors.2008.173>
- Syntetos, A., & Boylan, J. (2006). On the stock control performance of intermittent demand estimators. *International Journal of Production Economics*, 103(1), 36–47. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.04.004>
- Syntetos, A., & Boylan, J. (2006). Comments on the attribution of an intermittent demand estimator. *International Journal of Forecasting*, 22(1), 201. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2005.09.001>
- Syntetos, A., Boylan, J., & Croston, J. (2005). On the categorization of demand patterns. *Journal of the Operational Research Society*, 56(5), 495–503. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601841>
- Syntetos, Argyrios. (2001). *Forecasting of intermittent demand*. Brunel University Uxbridge.
- Syntetos, Aris A., & Boylan, J. E. (2005). The accuracy of intermittent demand estimates. *International Journal of Forecasting*, 21(2), 303–314. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2004.10.001>
- Syntetos, Aris A., Nikolopoulos, K., Boylan, J. E., Fildes, R., & Goodwin, P. (2009). The effects of integrating management judgement into intermittent demand forecasts. *International Journal of Production Economics*, 118(1), 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.08.011>
- Syntetos, Aris A., Zied Babai, M., & Gardner, E. S. (2015). Forecasting intermittent inventory demands: Simple parametric methods vs. bootstrapping. *Journal of Business Research*, 68(8), 1746–1752. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.03.034>
- Tam, A. S. B., & Price, J. W. H. (2008). A generic asset management framework for optimising maintenance investment decision. *Production Planning and Control*, 19(4), 287–300.

<https://doi.org/10.1080/09537280802034042>

- Teunter, R. H., & Duncan, L. (2009). Forecasting intermittent demand: A comparative study. *Journal of the Operational Research Society*, *60*(3), 321–329. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602569>
- Teunter, R., & Sani, B. (2009). On the bias of Croston's forecasting method. *European Journal of Operational Research*, *194*(1), 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.12.001>
- Teunter, Ruud H., Syntetos, A. A., & Babai, M. Z. (2011). Intermittent demand: Linking forecasting to inventory obsolescence. *European Journal of Operational Research*, *214*(3), 606–615. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.05.018>
- Topan, E., Bayındır, Z. P., & Tan, T. (2017). Heuristics for multi-item two-echelon spare parts inventory control subject to aggregate and individual service measures. *European Journal of Operational Research*, *256*(1). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.012>
- Torabi, S. A., Hatefi, S. M., & Saleck Pay, B. (2012). ABC inventory classification in the presence of both quantitative and qualitative criteria. *Computers and Industrial Engineering*, *63*(2), 530–537. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.04.011>
- Triantaphyllou, E., & Mann, S. H. (1995). Using the Analytic Hierarchy Process for Decision Making in Engineering Applications : Some Challenges. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, *2*(1), 35–44.
- Tsang, A. H. C. (1998). A strategic approach to managing maintenance performance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *4*(2), 87–94. <https://doi.org/10.1108/13552519810213581>
- Tsang, A. H. C., Jardine, A. K. S., & Kolodny, H. (1999). Measuring maintenance performance: a holistic approach. *International Journal of Operations & Production Management*, *19*(7), 691–715. <https://doi.org/10.1108/01443579910271674>
- Turrini, L., & Meissner, J. (2019). Spare parts inventory management: New evidence from distribution fitting. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.09.039>
- Van der Auweraer, S., & Boute, R. (2019). Forecasting spare part demand using service maintenance information. *International Journal of Production Economics*, *213*, 138–149. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.03.015>
- Van Jaarsveld, W., & Dekker, R. (2011). Spare parts stock control for redundant systems using reliability centered maintenance data. *Reliability Engineering and System Safety*, *96*(11), 1576–1586. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2011.06.015>
- Waeyenbergh, G., & Pintelon, L. (2002). A framework for maintenance conceptual development. *International Journal for Production Economics*, *77*(3), 299–313.
- Waeyenbergh, Geert, & Pintelon, L. (2004). Maintenance concept development: A case study. *International Journal of Production Economics*, *89*(3), 395–405. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.09.008>
- Wang, W. (2011). A joint spare part and maintenance inspection optimisation model using the Delay-Time concept. *Reliability Engineering & System Safety*, *96*(11), 1535–1541. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2011.07.004>

- Wang, W. (2012). A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimisation. *European Journal of Operational Research*, 216(1), 127–139. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.07.031>
- Wang, W., & Syntetos, A. A. (2011). Spare parts demand: Linking forecasting to equipment maintenance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 1194–1209. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.04.008>
- Waters, D. (2003). *Inventory Control and Management. Second Edition*. <https://doi.org/10.2307/2584204>
- Wienker, M., Henderson, K., & Volkerts, J. (2016). The Computerized Maintenance Management System an Essential Tool for World Class Maintenance. Em *Procedia Engineering* (Vol. 138, pp. 413–420). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.100>
- Willemain, T. R., Smart, C. N., & Schwarz, H. F. (2004). A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. *International Journal of Forecasting*, 20(3), 375–387. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(03\)00013-X](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(03)00013-X)
- Willemain, T. R., Smart, C. N., Shockor, J. H., & DeSautels, P. A. (1994). Forecasting intermittent demand in manufacturing: a comparative evaluation of Croston's method. *International Journal of Forecasting*, 10(4), 529–538. [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(94\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0169-2070(94)90021-3)
- Williams, T. M. (1984). Stock Control with Sporadic and Slow-Moving Demand. *Journal of the Operational Research Society*, 35(10), 939–948. <https://doi.org/10.1057/jors.1984.185>
- Wilmeth, R. G., & Usrey, M. W. (2000). Reliability-centered maintenance: A case study. *EMJ - Engineering Management Journal*, 12(4), 25–31. <https://doi.org/10.1080/10429247.2000.11415089>
- Yelland, P. M. (2010). Bayesian forecasting of parts demand. *International Journal of Forecasting*, 26(2), 374–396. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2009.11.001>
- Yin, R. K. (2003). *Case study research: design and methods* (3rd ed). Thousand Oaks: Sage Publications.
- Zheng, M., & Wu, K. (2017). Smart spare parts management systems in semiconductor manufacturing. *Industrial Management & Data Systems*, 117(4), 754–763. <https://doi.org/10.1108/IMDS-06-2016-0242>
- Zhou, C., & Viswanathan, S. (2011). Comparison of a new bootstrapping method with parametric approaches for safety stock determination in service parts inventory systems. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 481–485. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.09.021>
- Zhu, S., Jaarsveld, W. van, & Dekker, R. (2020). Spare parts inventory control based on maintenance planning. *Reliability Engineering and System Safety*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106600>

APÊNDICES

Apêndice I – Testes de Qualidade de Ajuste da Procura

De seguida são apresentados os testes de qualidade de ajuste para os restantes sobressalentes da amostra (Tabela 49, Tabela 50, Tabela 51, Tabela 52, Tabela 53 e Tabela 54).

Tabela 49 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.866.060.

Teste de Qualidade de Ajuste		
Distribuição	AD	P
Normal	2,766	<0,005
Lognormal de 3 Parâmetros	1,141	*
Exponencial de 2 Parâmetros	1,268	0,037
Weibull de 3 Parâmetros	1,348	<0,005
Menor Valor Extremo	4,319	<0,010
Maior Valor Extremo	1,318	<0,010
Gama de 3 Parâmetros	2,306	*
Logística	1,774	<0,005
Loglogística de 3 Parâmetros	1,480	*

Tabela 50 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.868.019.

Teste de Qualidade de Ajuste		
Distribuição	AD	P
Normal	2,814	<0,005
Lognormal de 3 Parâmetros	5,638	*
Exponencial de 2 Parâmetros	10,834	<0,010
Weibull de 3 Parâmetros	5,512	<0,005
Menor Valor Extremo	3,227	<0,010
Maior Valor Extremo	2,764	<0,010
Gama de 3 Parâmetros	7,860	*
Logística	2,573	<0,005
Loglogística de 3 Parâmetros	4,967	*

Tabela 51 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.854.002.

Teste de Qualidade de Ajuste		
Distribuição	AD	P
Normal	4,559	<0,005
Lognormal de 3 Parâmetros	5,421	*
Exponencial de 2 Parâmetros	20,902	<0,010
Weibull de 3 Parâmetros	5,070	<0,005
Menor Valor Extremo	4,388	<0,010
Maior Valor Extremo	5,205	<0,010

Teste de Qualidade de Ajuste		
Distribuição	AD	P
Gama de 3 Parâmetros	5,787	*
Logística	4,466	<0,005
Loglogística de 3 Parâmetros	4,900	*

Tabela 52 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.857.998.

Teste de Qualidade de Ajuste		
Distribuição	AD	P
Normal	12,260	<0,005
Exponencial de 2 Parâmetros	77,936	<0,010
Menor Valor Extremo	11,710	<0,010
Maior Valor Extremo	14,537	<0,010
Logística	12,331	<0,005

Tabela 53 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.855.423.

Teste de Qualidade de Ajuste		
Distribuição	AD	P
Normal	3,942	<0,005
Lognormal de 3 Parâmetros	5,665	*
Exponencial de 2 Parâmetros	14,958	<0,010
Weibull de 3 Parâmetros	5,526	<0,005
Menor Valor Extremo	4,767	<0,010
Maior Valor Extremo	3,473	<0,010
Gama de 3 Parâmetros	7,081	*
Logística	3,258	<0,005
Loglogística de 3 Parâmetros	5,027	*

Tabela 54 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.859.091.

Teste de Qualidade de Ajuste		
Distribuição	AD	P
Normal	5,091	<0,005
Lognormal de 3 Parâmetros	6,333	*
Exponencial de 2 Parâmetros	26,196	<0,010
Weibull de 3 Parâmetros	5,858	<0,005
Menor Valor Extremo	5,399	<0,010
Maior Valor Extremo	5,533	<0,010
Gama de 3 Parâmetros	6,571	*

Teste de Qualidade de Ajuste		
Distribuição	AD	P
Logística	4,830	<0,005
Loglogística de 3 Parâmetros	5,798	*

Tabela 55 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.856.667.

Teste de Qualidade de Ajuste		
Distribuição	AD	P
Normal	6,683	<0,005
Lognormal de 3 Parâmetros	7,049	*
Exponencial de 2 Parâmetros	32,563	<0,010
Weibull de 3 Parâmetros	6,399	<0,005
Menor Valor Extremo	8,225	<0,010
Maior Valor Extremo	6,118	<0,010
Gama de 3 Parâmetros	6,856	*
Logística	5,229	<0,005
Loglogística de 3 Parâmetros	6,649	*

Tabela 56 - Teste de qualidade de ajuste para 8600.860.797.

Teste de Qualidade de Ajuste		
Distribuição	AD	P
Normal	7,392	<0,005
Lognormal de 3 Parâmetros	8,533	*
Exponencial de 2 Parâmetros	45,891	<0,010
Weibull de 3 Parâmetros	7,648	<0,005
Menor Valor Extremo	6,804	<0,010
Maior Valor Extremo	9,281	<0,010
Gama de 3 Parâmetros	8,295	*
Logística	7,643	<0,005
Loglogística de 3 Parâmetros	8,488	*

Apêndice II – Aplicação da Política ao Grupo A – A Procura Segue a Distribuição Normal

Na Tabela 57 é apresentado a aplicação da política de nível de encomenda - QEE para o sobressalente 8600.850.626, considerando os dados da procura de 2019.

Tabela 57 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.850.626, *stock* inicial de 300 unidades

Data	Procura	Stock inicial 300		Stock inicial 150	
		SAC	SDC	SAC	SDC
01/01/2019	0	300	300	150	150
02/01/2019	4	300	296	150	146
03/01/2019	0	296	296	146	146
04/01/2019	0	296	296	146	146
05/01/2019	0	296	296	146	146
06/01/2019	0	296	296	146	146
07/01/2019	0	296	296	146	146
08/01/2019	5	296	291	146	141
09/01/2019	0	291	291	141	141
10/01/2019	0	291	291	141	141
11/01/2019	0	291	291	141	141
12/01/2019	0	291	291	141	141
13/01/2019	0	291	291	141	141
14/01/2019	0	291	291	141	141
15/01/2019	0	291	291	141	141
16/01/2019	0	291	291	141	141
17/01/2019	0	291	291	141	141
18/01/2019	0	291	291	141	141
19/01/2019	0	291	291	141	141
20/01/2019	0	291	291	141	141
21/01/2019	0	291	291	141	141
22/01/2019	0	291	291	141	141
23/01/2019	0	291	291	141	141
24/01/2019	0	291	291	141	141
25/01/2019	0	291	291	141	141
26/01/2019	12	291	279	141	129
27/01/2019	0	279	279	129	129
28/01/2019	10	279	269	129	119
29/01/2019	0	269	269	119	119
30/01/2019	0	269	269	119	119
31/01/2019	0	269	269	119	119
01/02/2019	1	269	268	119	118
02/02/2019	10	268	258	118	108
03/02/2019	0	258	258	108	108
04/02/2019	3	258	255	108	105

Data	Procura	Stock inicial 300		Stock inicial 150	
		SAC	SDC	SAC	SDC
05/02/2019	3	255	252	105	102
06/02/2019	0	252	252	102	102
07/02/2019	0	252	252	102	102
08/02/2019	0	252	252	102	102
09/02/2019	0	252	252	102	102
10/02/2019	0	252	252	102	102
11/02/2019	0	252	252	102	102
12/02/2019	0	252	252	102	102
13/02/2019	0	252	252	102	102
14/02/2019	0	252	252	102	102
15/02/2019	0	252	252	102	102
16/02/2019	0	252	252	102	102
17/02/2019	0	252	252	102	102
18/02/2019	0	252	252	102	102
19/02/2019	0	252	252	102	102
20/02/2019	10	252	242	102	92
21/02/2019	0	242	242	92	92
22/02/2019	0	242	242	92	92
23/02/2019	0	242	242	92	92
24/02/2019	0	242	242	92	92
25/02/2019	1	242	241	92	91
26/02/2019	20	241	221	91	71
27/02/2019	0	221	221	71	71
28/02/2019	6	221	215	71	65
01/03/2019	0	215	215	65	65
02/03/2019	0	215	215	65	65
03/03/2019	0	215	215	65	65
04/03/2019	0	215	215	65	65
05/03/2019	0	215	215	65	65
06/03/2019	0	215	215	65	65
07/03/2019	0	215	215	65	65
08/03/2019	0	215	215	65	65
09/03/2019	0	215	215	65	65
10/03/2019	0	215	215	65	65
11/03/2019	0	215	215	65	65
12/03/2019	0	215	215	65	65
13/03/2019	0	215	215	65	65
14/03/2019	0	215	215	65	65
15/03/2019	0	215	215	65	65
16/03/2019	0	215	215	65	65

Data	Procura	Stock inicial 300		Stock inicial 150	
		SAC	SDC	SAC	SDC
17/03/2019	0	215	215	65	65
18/03/2019	0	215	215	65	65
19/03/2019	7	215	208	65	58
20/03/2019	0	208	208	58	58
21/03/2019	0	208	208	58	58
22/03/2019	3	208	205	58	55
23/03/2019	0	205	205	55	55
24/03/2019	0	205	205	55	55
25/03/2019	0	205	205	55	55
26/03/2019	1	205	204	55	54
27/03/2019	0	204	204	54	54
28/03/2019	1	204	203	54	53
29/03/2019	0	203	203	53	53
30/03/2019	10	203	193	53	43
31/03/2019	0	193	193	43	43
01/04/2019	0	193	193	43	43
02/04/2019	0	193	193	43	43
03/04/2019	3	193	190	43	40
04/04/2019	0	190	190	40	40
05/04/2019	0	190	190	40	40
06/04/2019	0	190	190	40	40
07/04/2019	0	190	190	40	40
08/04/2019	0	190	190	40	40
09/04/2019	6	190	184	40	34
10/04/2019	0	184	184	34	34
11/04/2019	0	184	184	34	34
12/04/2019	0	184	184	34	34
13/04/2019	0	184	184	34	34
14/04/2019	0	184	184	34	34
15/04/2019	0	184	184	34	34
16/04/2019	0	184	184	34	34
17/04/2019	0	184	184	34	34
18/04/2019	0	184	184	34	34
19/04/2019	0	184	184	34	34
20/04/2019	0	184	184	34	34
21/04/2019	0	184	184	34	34
22/04/2019	0	184	184	34	34
23/04/2019	3	184	181	34	31
24/04/2019	0	181	181	31	31
25/04/2019	0	181	181	31	31

Data	Procura	Stock inicial 300		Stock inicial 150	
		SAC	SDC	SAC	SDC
26/04/2019	0	181	181	31	31
27/04/2019	3	181	178	31	28
28/04/2019	0	178	178	28	28
29/04/2019	0	178	178	28	28
30/04/2019	0	178	178	28	28
01/05/2019	1	178	177	28	27
02/05/2019	10	177	167	27	17
03/05/2019	0	167	167	17	17
04/05/2019	0	167	167	17	17
05/05/2019	0	167	167	17	17
06/05/2019	0	167	167	17	17
07/05/2019	2	167	165	17	15
08/05/2019	0	165	165	15	15
09/05/2019	0	165	165	15	15
10/05/2019	0	165	165	15	15
11/05/2019	0	165	165	15	15
12/05/2019	0	165	165	15	15
13/05/2019	0	165	165	15	15
14/05/2019	1	165	164	15	14
15/05/2019	0	164	164	14	14
16/05/2019	0	164	164	14	14
17/05/2019	0	164	164	14	14
18/05/2019	0	164	164	14	14
19/05/2019	0	164	164	14	14
20/05/2019	10	164	154	14	4
21/05/2019	0	154	154	300	300
22/05/2019	1	154	153	300	299
23/05/2019	0	153	153	299	299
24/05/2019	0	153	153	299	299
25/05/2019	0	153	153	299	299
26/05/2019	0	153	153	299	299
27/05/2019	1	153	152	299	298
28/05/2019	20	152	132	298	278
29/05/2019	0	132	132	278	278
30/05/2019	0	132	132	278	278
31/05/2019	0	132	132	278	278
01/06/2019	0	132	132	278	278
02/06/2019	0	132	132	278	278
03/06/2019	0	132	132	278	278
04/06/2019	0	132	132	278	278

Data	Procura	Stock inicial 300		Stock inicial 150	
		SAC	SDC	SAC	SDC
05/06/2019	0	132	132	278	278
06/06/2019	0	132	132	278	278
07/06/2019	0	132	132	278	278
08/06/2019	0	132	132	278	278
09/06/2019	0	132	132	278	278
10/06/2019	0	132	132	278	278
11/06/2019	0	132	132	278	278
12/06/2019	0	132	132	278	278
13/06/2019	0	132	132	278	278
14/06/2019	0	132	132	278	278
15/06/2019	0	132	132	278	278
16/06/2019	0	132	132	278	278
17/06/2019	20	132	112	278	258
18/06/2019	0	112	112	258	258
19/06/2019	0	112	112	258	258
20/06/2019	0	112	112	258	258
21/06/2019	0	112	112	258	258
22/06/2019	0	112	112	258	258
23/06/2019	0	112	112	258	258
24/06/2019	0	112	112	258	258
25/06/2019	0	112	112	258	258
26/06/2019	0	112	112	258	258
27/06/2019	0	112	112	258	258
28/06/2019	0	112	112	258	258
29/06/2019	0	112	112	258	258
30/06/2019	0	112	112	258	258
01/07/2019	2	112	110	258	256
02/07/2019	0	110	110	256	256
03/07/2019	0	110	110	256	256
04/07/2019	0	110	110	256	256
05/07/2019	0	110	110	256	256
06/07/2019	0	110	110	256	256
07/07/2019	7	110	103	256	249
08/07/2019	0	103	103	249	249
09/07/2019	0	103	103	249	249
10/07/2019	0	103	103	249	249
11/07/2019	0	103	103	249	249
12/07/2019	0	103	103	249	249
13/07/2019	0	103	103	249	249
14/07/2019	0	103	103	249	249

Data	Procura	Stock inicial 300		Stock inicial 150	
		SAC	SDC	SAC	SDC
15/07/2019	0	103	103	249	249
16/07/2019	0	103	103	249	249
17/07/2019	0	103	103	249	249
18/07/2019	0	103	103	249	249
19/07/2019	0	103	103	249	249
20/07/2019	0	103	103	249	249
21/07/2019	0	103	103	249	249
22/07/2019	0	103	103	249	249
23/07/2019	0	103	103	249	249
24/07/2019	0	103	103	249	249
25/07/2019	0	103	103	249	249
26/07/2019	0	103	103	249	249
27/07/2019	0	103	103	249	249
28/07/2019	3	103	100	249	246
29/07/2019	0	100	100	246	246
30/07/2019	0	100	100	246	246
31/07/2019	0	100	100	246	246
01/08/2019	3	100	97	246	243
02/08/2019	0	97	97	243	243
03/08/2019	0	97	97	243	243
04/08/2019	0	97	97	243	243
05/08/2019	0	97	97	243	243
06/08/2019	4	97	93	243	239
07/08/2019	3	93	90	239	236
08/08/2019	3	90	87	236	233
09/08/2019	0	87	87	233	233
10/08/2019	0	87	87	233	233
11/08/2019	0	87	87	233	233
12/08/2019	0	87	87	233	233
13/08/2019	0	87	87	233	233
14/08/2019	0	87	87	233	233
15/08/2019	0	87	87	233	233
16/08/2019	0	87	87	233	233
17/08/2019	0	87	87	233	233
18/08/2019	0	87	87	233	233
19/08/2019	7	87	80	233	226
20/08/2019	0	80	80	226	226
21/08/2019	0	80	80	226	226
22/08/2019	0	80	80	226	226
23/08/2019	0	80	80	226	226

Data	Procura	Stock inicial 300		Stock inicial 150	
		SAC	SDC	SAC	SDC
24/08/2019	0	80	80	226	226
25/08/2019	0	80	80	226	226
26/08/2019	0	80	80	226	226
27/08/2019	0	80	80	226	226
28/08/2019	0	80	80	226	226
29/08/2019	0	80	80	226	226
30/08/2019	5	80	75	226	221
31/08/2019	0	75	75	221	221
01/09/2019	0	75	75	221	221
02/09/2019	0	75	75	221	221
03/09/2019	0	75	75	221	221
04/09/2019	1	75	74	221	220
05/09/2019	4	74	70	220	216
06/09/2019	0	70	70	216	216
07/09/2019	0	70	70	216	216
08/09/2019	0	70	70	216	216
09/09/2019	15	70	55	216	201
10/09/2019	0	55	55	201	201
11/09/2019	4	55	51	201	197
12/09/2019	0	51	51	197	197
13/09/2019	2	51	49	197	195
14/09/2019	0	49	49	195	195
15/09/2019	0	49	49	195	195
16/09/2019	5	49	44	195	190
17/09/2019	0	44	44	190	190
18/09/2019	0	44	44	190	190
19/09/2019	0	44	44	190	190
20/09/2019	0	44	44	190	190
21/09/2019	0	44	44	190	190
22/09/2019	0	44	44	190	190
23/09/2019	0	44	44	190	190
24/09/2019	0	44	44	190	190
25/09/2019	0	44	44	190	190
26/09/2019	2	44	42	190	188
27/09/2019	2	42	40	188	186
28/09/2019	4	40	36	186	182
29/09/2019	0	36	36	182	182
30/09/2019	1	36	35	182	181
01/10/2019	0	35	35	181	181
02/10/2019	1	35	34	181	180

Data	Procura	Stock inicial 300		Stock inicial 150	
		SAC	SDC	SAC	SDC
03/10/2019	10	34	24	180	170
04/10/2019	0	24	24	170	170
05/10/2019	0	24	24	170	170
06/10/2019	0	24	24	170	170
07/10/2019	0	24	24	170	170
08/10/2019	0	24	24	170	170
09/10/2019	0	24	24	170	170
10/10/2019	0	24	24	170	170
11/10/2019	0	24	24	170	170
12/10/2019	0	24	24	170	170
13/10/2019	0	24	24	170	170
14/10/2019	0	24	24	170	170
15/10/2019	1	24	23	170	169
16/10/2019	6	23	17	169	163
17/10/2019	8	17	9	163	155
18/10/2019	0	9	9	9	9
19/10/2019	0	9	9	9	9
20/10/2019	0	9	9	9	9
21/10/2019	8	309	301	309	301
22/10/2019	0	301	301	301	301
23/10/2019	0	301	301	301	301
24/10/2019	1	301	300	301	300
25/10/2019	0	300	300	300	300
26/10/2019	0	300	300	300	300
27/10/2019	8	300	292	300	292
28/10/2019	11	292	281	292	281
29/10/2019	0	281	281	281	281
30/10/2019	0	281	281	281	281
31/10/2019	0	281	281	281	281
01/11/2019	0	281	281	281	281
02/11/2019	0	281	281	281	281
03/11/2019	0	281	281	281	281
04/11/2019	10	281	271	281	271
05/11/2019	0	271	271	271	271
06/11/2019	0	271	271	271	271
07/11/2019	0	271	271	271	271
08/11/2019	0	271	271	271	271
09/11/2019	0	271	271	271	271
10/11/2019	0	271	271	271	271
11/11/2019	0	271	271	271	271

Data	Procura	Stock inicial 300		Stock inicial 150	
		SAC	SDC	SAC	SDC
12/11/2019	10	271	261	271	261
13/11/2019	0	261	261	261	261
14/11/2019	0	261	261	261	261
15/11/2019	0	261	261	261	261
16/11/2019	0	261	261	261	261
17/11/2019	0	261	261	261	261
18/11/2019	0	261	261	261	261
19/11/2019	0	261	261	261	261
20/11/2019	0	261	261	261	261
21/11/2019	2	261	259	261	259
22/11/2019	0	259	259	259	259
23/11/2019	0	259	259	259	259
24/11/2019	0	259	259	259	259
25/11/2019	20	259	239	259	239
26/11/2019	2	239	237	239	237
27/11/2019	0	237	237	237	237
28/11/2019	0	237	237	237	237
29/11/2019	0	237	237	237	237
30/11/2019	0	237	237	237	237
01/12/2019	0	237	237	237	237
02/12/2019	0	237	237	237	237
03/12/2019	10	237	227	237	227
04/12/2019	0	227	227	227	227
05/12/2019	0	227	227	227	227
06/12/2019	0	227	227	227	227
07/12/2019	0	227	227	227	227
08/12/2019	0	227	227	227	227
09/12/2019	0	227	227	227	227
10/12/2019	0	227	227	227	227
11/12/2019	0	227	227	227	227
12/12/2019	0	227	227	227	227
13/12/2019	0	227	227	227	227
14/12/2019	0	227	227	227	227
15/12/2019	0	227	227	227	227
16/12/2019	20	227	207	227	207
17/12/2019	0	207	207	207	207
18/12/2019	0	207	207	207	207
19/12/2019	0	207	207	207	207
20/12/2019	0	207	207	207	207
21/12/2019	0	207	207	207	207

Data	Procura	Stock inicial 300		Stock inicial 150	
		SAC	SDC	SAC	SDC
22/12/2019	0	207	207	207	207
23/12/2019	0	207	207	207	207
24/12/2019	0	207	207	207	207
25/12/2019	0	207	207	207	207
26/12/2019	0	207	207	207	207
27/12/2019	0	207	207	207	207
28/12/2019	0	207	207	207	207
29/12/2019	0	207	207	207	207
30/12/2019	0	207	207	207	207
31/12/2019	0	207	207	207	207

Apêndice III – Resultados da Análise Efetuada aos Sobressalentes dos Grupos A e B – que Não Seguem a Distribuição Normal

De seguida são apresentados as tabelas de frequências e os resultados da política de encomenda para os sobressalentes: 8600.863.373, 8660.864.987, 8660.866.060, 8660.856.667 (grupo A), 8600.858.383, 8600.859.758 e 8660.868.019 (grupo B).

Tabela 58 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.863.373.

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	32	88,9%	88,89%
1	1	2,8%	91,67%
2	2	5,6%	97,22%
5	1	2,8%	100,00%

Tabela 59 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.863.373).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	35	2	15,91 €	4,73 €	20,65 €	
15%	28	2	19,58 €	5,92 €	25,50 €	24%
20%	25	2	23,66 €	6,63 €	30,29 €	19%
25%	22	2	26,52 €	7,53 €	34,05 €	12%
30%	20	2	29,38 €	8,28 €	37,66 €	11%
35%	19	2	32,84 €	8,72 €	41,56 €	10%
40%	17	2	34,27 €	9,75 €	44,02 €	6%

Tabela 60 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.863.373).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	35	5	18,36 €	4,73 €	23,09 €	-
15%	28	5	23,26 €	5,92 €	29,17 €	26%
20%	25	5	28,56 €	6,63 €	35,19 €	21%
25%	22	5	32,64 €	7,53 €	40,17 €	14%
30%	20	5	36,72 €	8,28 €	45,00 €	12%
35%	19	5	41,41 €	8,72 €	50,13 €	11%
40%	17	5	44,06 €	9,75 €	53,81 €	7%

Tabela 61 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.864.987.

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	27	75,0%	75,00%
1	3	8,3%	83,33%
2	3	8,3%	91,67%
3	1	2,8%	94,44%
8	1	2,8%	97,22%
10	1	2,8%	100,00%

Tabela 62 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.864.987).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	12	8	249,31 €	36,82 €	286,13 €	
15%	10	8	347,26 €	44,18 €	391,44 €	37%
20%	9	8	445,20 €	49,09 €	494,29 €	26%
25%	8	8	534,24 €	55,22 €	589,46 €	19%
30%	7	8	614,38 €	63,11 €	677,49 €	15%
35%	7	8	716,77 €	63,11 €	779,89 €	15%
40%	6	8	783,55 €	73,63 €	857,18 €	10%

Tabela 63 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.864.987).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	12	10	284,93 €	36,82 €	321,74 €	-
15%	10	10	400,68 €	44,18 €	444,86 €	38%
20%	9	10	516,43 €	49,09 €	565,52 €	27%
25%	8	10	623,28 €	55,22 €	678,50 €	20%
30%	7	10	721,22 €	63,11 €	784,34 €	16%
35%	7	10	841,43 €	63,11 €	904,54 €	15%
40%	6	10	926,02 €	73,63 €	999,65 €	11%

Tabela 64 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.866.060.

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	6	16,7%	16,67%
1	10	27,8%	44,44%
2	6	16,7%	61,11%
3	2	5,6%	66,67%
4	5	13,9%	80,56%
5	1	2,8%	83,33%
6	1	2,8%	86,11%
10	2	5,6%	91,67%
11	1	2,8%	94,44%

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
13	1	2,8%	97,22%
15	1	2,8%	100,00%

Tabela 65 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.866.060).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	23	13	528,39 €	79,23 €	607,63 €	-
15%	18	13	711,71 €	101,24 €	812,96 €	34%
20%	16	13	905,81 €	113,90 €	1 019,71 €	25%
25%	14	13	1 078,35 €	130,17 €	1 208,52 €	19%
30%	13	13	1 261,67 €	140,18 €	1 401,85 €	16%
35%	12	13	1 434,21 €	151,87 €	1 586,07 €	13%
40%	11	13	1 595,96 €	165,67 €	1 761,63 €	11%

Tabela 66 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.866.060).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	23	15	571,53 €	79,23 €	650,76 €	-
15%	18	15	776,41 €	101,24 €	877,66 €	35%
20%	16	15	992,08 €	113,90 €	1 105,98 €	26%
25%	14	15	1 186,19 €	130,17 €	1 316,36 €	19%
30%	13	15	1 391,07 €	140,18 €	1 531,26 €	16%
35%	12	15	1 585,17 €	151,87 €	1 737,04 €	13%
40%	11	15	1 768,49 €	165,67 €	1 934,17 €	11%

Tabela 67 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.856.667.

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	26	72,2%	72,22%
1	7	19,4%	91,67%
2	1	2,8%	94,44%
3	1	2,8%	97,22%
9	1	2,8%	100,00%

Tabela 68 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.856.667).

Taxa anual de posse (i)	QE E	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	19	3	66,75 €	17,44 €	84,19 €	-
15%	16	3	88,11 €	20,71 €	108,82 €	29%
20%	14	3	106,80 €	23,67 €	130,47 €	20%
25%	12	3	120,15 €	27,61 €	147,76 €	13%

Taxa anual de posse (i)	QE E	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
30%	11	3	136,17 €	30,12 €	166,29 €	13%
35%	10	3	149,52 €	33,13 €	182,65 €	10%
40%	10	3	170,88 €	33,13 €	204,01 €	12%

Tabela 69 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.864.987).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	19	9	98,79 €	17,44 €	116,23 €	
15%	16	9	136,17 €	20,71 €	156,88 €	35%
20%	14	9	170,88 €	23,67 €	194,55 €	24%
25%	12	9	200,25 €	27,61 €	227,86 €	17%
30%	11	9	232,29 €	30,12 €	262,41 €	15%
35%	10	9	261,66 €	33,13 €	294,79 €	12%
40%	10	9	299,04 €	33,13 €	332,17 €	13%

Tabela 70 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.855.423.

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	33	91,7%	91,67%
2	1	2,8%	94,44%
4	1	2,8%	97,22%
6	1	2,8%	100,00%

Tabela 71 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.858.383.

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	10	27,8%	27,78%
4	2	5,6%	33,33%
5	1	2,8%	36,11%
6	1	2,8%	38,89%
8	1	2,8%	41,67%
10	8	22,2%	63,89%
11	1	2,8%	66,67%
14	1	2,8%	69,44%
15	1	2,8%	72,22%
19	1	2,8%	75,00%
20	4	11,1%	86,11%
24	1	2,8%	88,89%
30	1	2,8%	91,67%
38	1	2,8%	94,44%
40	1	2,8%	97,22%
47	1	2,8%	100,00%

Tabela 72 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.858.383).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	128	30	223,63 €	50,91 €	274,54 €	-
15%	105	30	294,40 €	62,06 €	356,46 €	30%
20%	91	30	359,23 €	71,61 €	430,84 €	21%
25%	81	30	419,30 €	80,45 €	499,75 €	16%
30%	74	30	478,18 €	88,06 €	566,24 €	13%
35%	69	30	537,06 €	94,44 €	631,50 €	12%
40%	64	30	589,99 €	101,82 €	691,81 €	10%

Tabela 73 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.858.383).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	128	40	247,42 €	50,91 €	298,33 €	-
15%	105	40	330,09 €	62,06 €	392,15 €	31%
20%	91	40	406,81 €	71,61 €	478,42 €	22%
25%	81	40	478,77 €	80,45 €	559,22 €	17%
30%	74	40	549,55 €	88,06 €	637,61 €	14%
35%	69	40	620,32 €	94,44 €	714,77 €	12%
40%	64	40	685,15 €	101,82 €	786,97 €	10%

Tabela 74 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.859.758.

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	31	86,1%	86,11%
1	1	2,8%	88,89%
2	2	5,6%	94,44%
3	1	2,8%	97,22%
4	1	2,8%	100,0%

Tabela 75 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8600.859.758).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	17	2	36,13 €	9,75 €	45,88 €	-
15%	14	2	46,45 €	11,83 €	58,29 €	27%
20%	12	2	55,06 €	13,81 €	68,86 €	18%
25%	11	2	64,52 €	15,06 €	79,58 €	16%
30%	10	2	72,26 €	16,57 €	88,83 €	12%
35%	9	2	78,28 €	18,41 €	96,69 €	9%
40%	8	2	82,58 €	20,71 €	103,29 €	7%

Tabela 76 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8600.859.758).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	17	3	39,57 €	9,75 €	49,32 €	-
15%	14	3	51,62 €	11,83 €	63,45 €	29%
20%	12	3	61,94 €	13,81 €	75,74 €	19%
25%	11	3	73,12 €	15,06 €	88,18 €	16%
30%	10	3	82,58 €	16,57 €	99,15 €	12%
35%	9	3	90,33 €	18,41 €	108,73 €	10%
40%	8	3	96,35 €	20,71 €	117,06 €	8%

Tabela 77 - Tabela de frequências do sobressalente 8660.868.019.

Procura	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
0	18	50,0%	50,00%
1	2	5,6%	55,56%
2	7	19,4%	75,00%
4	2	5,6%	80,56%
5	1	2,8%	83,33%
6	3	8,3%	91,67%
7	1	2,8%	94,44%
9	1	2,8%	97,22%
10	1	2,8%	100,00%

Tabela 78 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 95% (sobressalente 8660.868.019).

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	9	6	892,21 €	122,72 €	1 014,93 €	-
15%	7	6	1 210,85 €	157,78 €	1 368,63 €	35%
20%	6	6	1 529,50 €	184,08 €	1 713,58 €	25%
25%	6	6	1 911,87 €	184,08 €	2 095,95 €	22%
30%	5	6	2 166,79 €	220,90 €	2 387,68 €	14%
35%	5	6	2 527,92 €	220,90 €	2 748,81 €	15%
40%	4	6	2 719,10 €	276,12 €	2 995,22 €	9%

Tabela 79 - Resultados da política de nível de encomenda para um nível de serviço de 98% (sobressalente 8660.868.019)

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
10%	9	9	1 147,12 €	122,72 €	1 269,84 €	-
15%	7	9	1 593,23 €	157,78 €	1 751,01 €	38%
20%	6	9	2 039,33 €	184,08 €	2 223,41 €	27%
25%	6	9	2 549,16 €	184,08 €	2 733,24 €	23%
30%	5	9	2 931,53 €	220,90 €	3 152,43 €	15%
35%	5	9	3 420,12 €	220,90 €	3 641,02 €	15%

Taxa anual de posse (i)	QEE	Nível de encomenda	Custo de posse	Custo de encomenda	Custo total	Incremento CT
40%	4	9	3 738,77 €	276,12 €	4 014,89 €	10%

Apêndice IV - Aplicação da Política ao Grupo A e B- a Procura Não Segue a Distribuição Normal

Na Tabela 80, Tabela 81, Tabela 82, Tabela 83, Tabela 84 e Tabela 85 são apresentados os resultados da aplicação da política, para os sobressalentes do grupo A (que não seguem a distribuição normal).

Tabela 80 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.857.999.

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
28/03/2019	6	14	8	16	10
05/04/2019	14	25	11	25	11
26/02/2020	2	33	31	26	24
29/07/2020	16	31	15	24	8
27/08/2020	3	14	11	23	20

Tabela 81 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.863.373.

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
01/08/2018	3	2	0	5	3
07/08/2018	2	35	34	39	38
22/11/2018	1	18	16	6	4
18/01/2019	2	8	7	37	36
03/06/2019	1	14	13	2	1
15/06/2020	1	13	13	42	42

Tabela 82 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.864.987.

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
11/09/2018	1	8	5	10	7
07/11/2018	3	19	15	23	19
15/11/2018	4	18	17	6	5
28/11/2018	1	8	5	21	18
28/03/2019	3	23	21	2	0
07/06/2019	2	13	11	26	24
06/11/2019	2	7	6	11	10
24/01/2020	1	17	12	21	16
07/07/2020	5	22	17	10	5
20/07/2020	5	16	14	29	27
04/09/2020	2	12	11	16	15
12/11/2020	1	5	5	9	9

Tabela 83 - Valor da aplicação dos resultados do modelo à procura observada sobressalente 8600.866.060.

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
02/01/2018	1	13	12	15	14
05/03/2018	1	28	27	30	29
04/04/2018	1	27	26	29	28
28/07/2018	1	26	25	28	26
25/09/2018	2	25	23	26	24
31/10/2018	2	23	21	24	22
30/11/2018	2	21	19	22	22
30/11/2018		19	19	22	21
06/12/2018	1	19	18	21	20
22/01/2019	1	18	17	20	19
19/02/2019	1	17	16	19	18
22/02/2019	1	16	15	18	17
24/03/2019	1	15	14	17	15
29/03/2019	2	14	12	31	30
24/04/2019	1	28	27	30	28
02/05/2019	2	27	25	28	26
22/05/2019	2	25	23	26	25
24/05/2019	1	23	22	25	23
12/06/2019	2	22	20	23	21
21/06/2019	2	20	18	21	20
01/07/2019	1	18	17	20	19
08/08/2019	1	17	16	19	16
20/08/2019	3	16	13	16	16
20/08/2019		29	29	16	15
03/10/2019	1	29	28	31	30
09/10/2019	1	28	27	30	26
11/10/2019	4	27	23	26	22
21/10/2019	4	23	19	22	21
26/11/2019	1	19	18	21	19
27/11/2019	2	18	16	19	17
02/01/2020	2	16	14	17	16
13/01/2020	1	14	13	16	15
28/01/2020	1	29	28	31	30
13/02/2020	1	28	27	30	29
14/03/2020	1	27	26	29	26
25/03/2020	3	26	23	26	25
26/03/2020	1	23	22	25	24
27/03/2020	1	22	21	24	22

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
19/04/2020	2	21	19	22	20
15/05/2020	2	19	17	20	18
28/05/2020	2	17	15	18	16
04/06/2020	2	15	13	16	12
08/06/2020	4	29	25	28	26
17/06/2020	2	25	23	26	24
21/06/2020	2	23	21	24	23
23/06/2020	1	21	20	23	19
25/06/2020	4	20	16	19	17
29/07/2020	2	16	14	17	16
20/08/2020	1	14	13	16	15
25/08/2020	1	29	28	31	30
28/08/2020	1	28	27	30	29
29/08/2020	1	27	26	29	28
01/09/2020	1	26	25	28	23
09/09/2020	5	25	20	23	22
10/09/2020	1	20	19	22	19
17/09/2020	3	19	16	19	18
30/09/2020	1	16	15	18	17
22/10/2020	1	15	14	17	12
04/11/2020	5	14	9	28	26
17/11/2020	2	25	23	26	25
20/11/2020	1	23	22	25	23
25/11/2020	2	22	20	23	21
02/12/2020	2	20	18	21	19
03/12/2020	2	18	16	19	18
04/12/2020	1	16	15	18	10
10/12/2020	8	15	7	26	22

Tabela 84 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.856.667.

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
04/07/2018	1	3	2	9	8
11/12/2018	1	16	15	22	21
22/03/2019	1	15	14	21	12
17/04/2019	9	14	5	12	11
29/05/2019	1	5	4	11	9
18/07/2019	2	4	2	23	20
18/09/2019	3	16	13	20	19

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
11/12/2019	1	13	12	19	18
16/02/2020	1	12	11	18	17
03/03/2020	1	11	10	17	17

Tabela 85 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.860.797.

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
09/05/2018	1	1	0	2	1
30/05/2018	1	10	9	11	10
30/10/2018	1	9	8	10	9
15/11/2018	1	8	7	9	7
18/04/2019	2	7	5	7	6
11/12/2019	1	5	4	6	5
11/03/2020	1	4	3	5	4
07/08/2020	1	3	2	4	3
23/10/2020	1	2	1	3	3

Na Tabela 86, Tabela 87, Tabela 88 e Tabela 89 são apresentados os resultados da aplicação do modelo, para os sobressalentes do grupo A (que não seguem a distribuição normal).

Tabela 86 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.855.423.

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
02/02/2018	2	2	0	4	2
15/05/2020	6	12	6	14	8
25/11/2020	4	6	2	8	4

Tabela 87 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.858.383.

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
25/01/2018	10	30	20	40	30
05/04/2018	20	111	91	121	101
16/05/2018	3	91	88	101	98
25/05/2018	7	88	81	98	91
29/05/2018	1	81	80	91	90
27/06/2018	10	80	70	90	80
29/06/2018	9	70	61	80	71
08/09/2018	10	61	51	71	61

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
17/09/2018	4	51	47	61	57
15/10/2018	3	47	44	57	54
28/10/2018	1	44	43	54	53
05/11/2018	1	43	42	53	52
29/11/2018	3	42	39	52	49
04/12/2018	8	39	31	49	41
12/01/2019	2	31	29	41	39
30/01/2019	4	120	116	130	126
05/02/2019	8	116	108	126	118
14/02/2019	6	108	102	118	112
19/02/2019	10	102	92	112	102
11/03/2019	10	92	82	102	92
22/03/2019	10	82	72	92	82
20/04/2019	10	72	62	82	72
17/05/2019	10	62	52	72	62
29/05/2019	10	52	42	62	52
30/06/2019	10	42	32	52	42
30/07/2019	10	32	22	42	32
03/09/2019	20	113	93	123	103
23/09/2019	6	93	87	103	97
26/09/2019	10	87	77	97	87
27/09/2019	2	77	75	87	85
01/10/2019	2	75	73	85	83
30/10/2019	3	73	70	83	80
04/11/2019	7	70	63	80	73
22/11/2019	10	63	53	73	63
25/11/2019	20	53	33	63	43
29/11/2019	10	33	23	43	33
17/01/2020	10	114	104	124	114
19/01/2020	10	104	94	114	104
23/01/2020	10	94	84	104	94
20/02/2020	10	84	74	94	84
25/03/2020	10	74	64	84	74
15/05/2020	10	64	54	74	64
28/05/2020	10	54	44	64	54
20/07/2020	10	44	34	54	44
03/09/2020	5	34	29	44	39
11/09/2020	10	120	110	130	120
07/10/2020	10	110	100	120	110

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
09/10/2020	10	100	90	110	100
19/10/2020	10	90	80	100	90
21/10/2020	10	80	70	90	80
12/11/2020	10	70	60	80	70

Tabela 88 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.859.758.

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
02/02/2018	1	2	1	3	2
04/06/2018	2	13	11	14	12
16/03/2020	3	11	8	12	9
15/05/2020	2	8	6	4	2
24/11/2020	4	6	2	14	10

Tabela 89 - Aplicação do modelo à procura observada sobressalente 8600.868.019.

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
14/09/2018	2	6	4	9	7
02/10/2018	2	16	14	19	17
30/11/2018	2	14	12	17	15
06/12/2018	2	12	10	15	13
16/01/2019	1	10	9	13	12
19/03/2019	1	9	8	12	11
02/04/2019	2	8	6	11	9
10/05/2019	2	18	16	21	19
20/05/2019	2	16	14	19	17
11/06/2019	2	14	12	17	15
12/06/2019	2	12	10	15	13
14/07/2019	4	10	6	13	9
17/07/2019	2	18	16	21	19
18/07/2019	3	16	13	19	16
20/08/2019	2	13	11	16	14
29/08/2019	2	11	9	14	12
30/08/2019	2	9	7	12	10
03/09/2019	2	7	5	10	8
05/09/2019	1	17	16	20	19
11/09/2019	2	16	14	19	17
25/09/2019	2	14	12	17	15

Data	Quantidade	Nível de serviço - 95%		Nível de serviço - 98%	
		SAC	SDC	SAC	SDC
11/10/2019	2	12	10	15	13
21/10/2019	4	10	6	13	9
11/11/2019	4	18	14	21	17
25/11/2019	2	14	12	17	15
27/11/2019	2	12	10	15	13
27/11/2019	2	10	8	13	11
03/12/2019	1	8	7	11	10
20/12/2019	4	7	3	10	6
19/01/2020	2	15	13	18	16
11/02/2020	2	13	11	16	14
13/02/2020	2	11	9	14	12
20/02/2020	2	9	7	12	10
17/03/2020	2	7	5	10	8