



ISEL



Implementação do processo Manutenção Centrada na Fiabilidade no setor ferroviário

João Pedro Marques Silva
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, na Área de
Especialização de Manutenção e Produção

Orientador:

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Júri:

Presidente: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Vogais:

Doutor Luís António de Andrade Ferreira

Doutor José Augusto da Silva Sobral

novembro de 2025

Implementação do processo Manutenção Centrada na Fiabilidade no setor ferroviário

João Pedro Marques Silva
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, na Área de
Especialização de Manutenção e Produção

Orientador:

Doutor José Augusto da Silva Sobral, ISEL/IPL

Júri:

Presidente: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes, ISEL/IPL

Vogais:

Doutor Luís António de Andrade Ferreira, FEUP

Doutor José Augusto da Silva Sobral, ISEL/IPL

Agradecimentos

Na presente secção gostaria de destacar todo o agradecimento pelo apoio incondicional dado pela minha família, namorada e amigos, durante todo o percurso académico, com foco nesta fase final de escrita da dissertação de mestrado. A exigência de ser trabalhador-estudante em acumulação com o processo de escrita, torna o apoio de todos essencial para o sucesso nas próximas fases e etapas, que espero alcançar até à entrega do trabalho final de mestrado.

Declaração de integridade

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor

João Pedro Marques Silva

Lisboa, 26 de novembro de 2025

Implementação do processo Manutenção Centrada na Fiabilidade no setor ferroviário

Resumo

Ao longo da evolução do contexto industrial, tem sido notória a crescente exigência relativamente ao produto final, obrigando as empresas a garantir uma elevada qualidade, mesmo produzindo em larga escala e de forma automatizada. Paralelamente, a crescente exigência no que respeita à prestação de serviços e execução de manutenção, tornou a fiabilidade, a disponibilidade e a durabilidade dos ativos, fatores determinantes para a competitividade das organizações.

A atual complexidade e modernização dos equipamentos, conduz à necessidade de conhecimento profundo dos mesmos e dos processos em que estão inseridos. Assim, a manutenção revelou-se uma das áreas com mais impacto e relevo no que diz respeito à indústria uma vez que a mesma luta pela otimização qualitativa e quantitativa das atividades de uma empresa, tanto ao nível técnico, como económico. A manutenção torna-se essencial visto ser uma das principais áreas responsáveis por gerar riqueza dentro de uma organização.

A presente dissertação tem como objetivo a aplicação do processo RCM2 (*Reliability Centred Maintenance* – “Manutenção Centrada na Fiabilidade”) ao sistema de Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA) pertencente às unidades duplas diesel da série 0450 da frota da CP – Comboios de Portugal. A implementação do processo referido, visa à otimização dos planos de manutenção para as referidas unidades motoras, no seu contexto operacional. Trata de analisar quais as funções, falhas funcionais, modos de falha e seus efeitos de falha inerentes ao sistema estudado. O processo RCM, permite ainda classificar cada modo de falha de acordo com a sua consequência, seja ela, evidente ou oculta, com consequências ao nível ambiental, segurança, operacional ou não operacional, permitindo uma tomada de decisão sobre a melhor estratégia, com uma periodicidade de intervenção ajustada.

O estudo RCM2, desenvolve uma base de dados, que garante a passagem de conhecimento transversal do sistema acima indicado, que futuramente, resultará na otimização dos planos/atividades de manutenção, na melhoria da manutibilidade e acréscimo da fiabilidade da série de material circulante e da disponibilidade, garantindo a prestação de um serviço seguro e de qualidade.

Palavras-chave: CP - Comboios de Portugal, Fiabilidade, manutenção, otimização e RCM - Manutenção Centrada na Fiabilidade.

Implementation of Reliability Centred Maintenance on railway industry

Abstract

Throughout the evolution of the industrial context, there has been a noticeable increase in demand and expectations regarding the final product, requiring companies to ensure high quality, even when producing on a large scale and in an automated way. At the same time, the global increasing demands, regarding service provision and maintenance execution, made the reliability, availability and durability of the assets, key factors for organizational competitiveness.

The current complexity and modernization of the equipment's leads to the need for knowledge of the equipment and the processes, which they are involved. Maintenance is one of the most impactful and relevant areas in industry, as it strives for the qualitative and quantitative optimization of a company's activities, from a technical and economic perspective. Maintenance becomes one of the most essential areas responsible for generating wealth within an organization.

This dissertation aims to apply the RCM2 (Reliability-Centered Maintenance) methodology to the Compressed Air Production and Treatment system (PTA), system belonging to the diesel double unit's series 0450 from the fleet of CP – Comboios de Portugal. The implementation of the methodology seeks to optimize maintenance plans for these units in their operational context. It involves analyzing functions, functional failures, failure modes, and their effects, using FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). The RCM methodology also allows for classifying each failure mode according to its consequence, whether it is hidden, environmental, safety-related, operational, or non-operational, enabling data-driven decision-making with an adjusted intervention frequency.

The RCM2 study develops a database that ensures the transfer of knowledge across the studied system, which will result in the optimization of maintenance plans/activities, improved maintainability, reliability of the rolling stock series, and availability, ensuring a safe and high-quality service.

Keywords: CP - Comboios de Portugal, maintenance, optimization, RCM - Reliability Centred Maintenance and Reliability.

Lista de Símbolos e de siglas

Siglas e Acrónimos

<i>AP</i>	- <i>Alfa Pendular.</i>
<i>CONVEL</i>	- <i>Controlo automático de velocidade.</i>
<i>CP</i>	- <i>Comboios de Portugal.</i>
<i>DMU</i>	- <i>Diesel Multiple Unit.</i>
<i>DOD</i>	- <i>Department of Defense.</i>
<i>EMISAL</i>	- <i>Egyptian Minerals and Salts Company.</i>
<i>FAA</i>	- <i>Federal Aviation Agency.</i>
<i>FMEA</i>	- <i>Failure Mode and Effects Analysis.</i>
<i>FMECA</i>	- <i>Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis.</i>
<i>HEMM</i>	- <i>Heavy Earth Moving Machinery.</i>
<i>HM</i>	- <i>“Homem-Morto”.</i>
<i>ISO</i>	- <i>International Organization for Standardization.</i>
<i>MF</i>	- <i>Modo de Falha.</i>
<i>MSG</i>	- <i>Maintenance Steering Group.</i>
<i>NCE</i>	- <i>New Century Energies.</i>
<i>PPM</i>	- <i>Partes por milhão.</i>
<i>PTA</i>	- <i>Produção e Tratamento de Ar Comprimido.</i>
<i>RAMS</i>	- <i>Reliability, Availability, Maintainability and Safety.</i>
<i>RCM</i>	- <i>Reliability Centred Maintenance.</i>
<i>RCM2</i>	- <i>Reliability Centred Maintenance 2.</i>
<i>RCM3</i>	- <i>Reliability Centred Maintenance 3.</i>
<i>RPN</i>	- <i>Risk Priority Number.</i>
<i>SAE</i>	- <i>Society of Automotive Engineers.</i>
<i>TFM</i>	- <i>Trabalho Final de Mestrado.</i>
<i>UA</i>	- <i>United Airlines.</i>
<i>UDD0450</i>	- <i>Unidades Duplas Diesel da série 0450.</i>
<i>UM</i>	- <i>Unidades Motoras.</i>

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e motivação	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Estrutura do documento	2
2	Estado de arte	3
3	Manutenção	11
3.1	Tipos de Manutenção	11
3.1.1	Manutenção corretiva	13
3.1.2	Manutenção preventiva	14
3.1.2.1	Manutenção preventiva sistemática	15
3.1.2.2	Manutenção condicionada	16
3.2	Fiabilidade, Disponibilidade, Manutibilidade e Segurança (RAMS)	17
4	Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM2)	21
4.1	História e evolução do processo RCM	21
4.2	Implementação do processo RCM	28
4.2.1	Contexto operacional.....	30
4.2.2	Função	33
4.2.3	Falha funcional	35
4.2.3.1	Falha funcional total e parcial	35
4.2.4	Modo de falha	36
4.2.5	Efeito da Falha	37
4.2.6	Consequência da Falha	38
4.2.6.1	Diagrama de decisão	38
4.2.7	Política de gestão da falha	40
4.2.7.1	Política de gestão da falha – Tarefas programadas	40
4.2.7.2	Política de gestão da falha – Rejetos e <i>Wait and See</i>	42
4.2.8	Documentação da análise RCM	42
4.3	Processo RCM2 vs RCM3	43
4.3.1	Processo de Gestão do Risco (Norma ISO 31000)	47
4.3.2	Monitorização e revisão	51
4.3.3	Documentação e <i>report</i>	51
5	A empresa CP – Comboios de Portugal	53

5.1	Identificação, localização e estrutura	53
5.2	Frota da CP – Comboios de Portugal.....	55
5.2.1	Automotoras <i>diesel</i>	56
5.2.2	Automotoras elétricas	57
5.2.3	Carruagens.....	59
5.2.4	Locomotoras diesel e elétricas	60
6	Caso de estudo RCM.....	61
6.1	Âmbito da análise e definição da equipa de trabalho	61
6.2	Contexto operacional – Sistema PTA	62
6.2.1	Fronteiras do sistema PTA	64
6.2.2	Descrição e funcionamento do sistema PTA	65
6.2.3	Constituição do sistema PTA	65
6.2.3.1	Compressor alternativo (A1)	66
6.2.3.2	Torre de secagem (A4)	73
6.2.3.3	Dispositivos da conduta principal	78
6.2.3.3.1	Pressóstato (A12)	79
6.2.3.3.2	Filtro de ar (A15)	81
6.2.3.3.3	Válvula de descarga (A18)	82
6.2.3.3.4	Válvulas de segurança (A3 e A10)	84
6.2.3.4	Armazenamento de ar comprimido – Reservatório (A8).....	86
6.3	Folha de informação e decisão	87
6.4	Resultados obtidos (programa de gestão de falhas)	88
6.4.1	Estratégias de manutenção	89
6.4.2	Reprojetos	90
7	Conclusões e trabalho futuro.....	93
	Referências bibliográficas	95
	Anexos	99
	Anexo A – Diagrama de decisão RCM.....	100
	Anexo B – Esquema pneumático do sistema PTA.....	101
	Anexo C – Esquemas elétricos do sistema PTA (utilizados no estudo).....	102
	Anexo D – Folha de informação do estudo RCM.....	105
	Anexo E – Folha de decisão do estudo RCM	198
	Anexo F – Organograma da empresa CP – Comboios de Portugal.....	209

Índice de figuras

FIGURA 2.1 - EVOLUÇÃO DAS GERAÇÕES DE MANUTENÇÃO (GARCIA, 2020).	4
FIGURA 2.2 - EXEMPLOS DE MÁQUINAS DUMPER, DOZER E SHOVEL, RESPECTIVAMENTE (RECANPRI, S.D.).....	6
FIGURA 3.1 - TIPOS DE MANUTENÇÃO (ADAPTADO DE FERREIRA, 2021).	11
FIGURA 3.2 - TIPOS DE MANUTENÇÃO EN13306 (ADAPTADO DE IPQ, 2021).	12
FIGURA 3.3 - INTERLIGAÇÃO ENTRE OS ELEMENTOS DA METODOLOGIA RAMS (ADAPTADO DE CENELEC, 1999).....	18
FIGURA 4.1 - SEIS PADRÕES DE FALHA PARA EQUIPAMENTOS DE AVIAÇÃO NÃO ESTRUTURAIS (ADAPTADO DE SMITH, 1993).	22
FIGURA 4.2 - FASES DO PROCESSO RCM (ADAPTADO DE BRAAKSMA, 2016).....	24
FIGURA 4.3 - SEQUÊNCIA DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA (ADAPTADO DE BS, 2018).....	26
FIGURA 4.4 - FMEA VS FMECA (ADAPTADO DE ANTUNES, 2020).....	27
FIGURA 4.5 - GRUPO DE REVISÃO RCM (ADAPTADO DE MOUBRAY, 2000).	29
FIGURA 4.6 - INFORMAÇÃO A CONSTAR NO DOCUMENTO DO CONTEXTO OPERACIONAL.	31
FIGURA 4.7 - ÁRVORE LÓGICA DE SELEÇÃO PARA FUNÇÕES (ADPTADO DE CARRETERO ET AL., 2000).	34
FIGURA 4.8 - PROCESSO DE GESTÃO DO RISCO (ISO, 2018).....	47
FIGURA 4.9 - EXEMPLO DE CRITÉRIO QUE ESTABELECE O NÍVEL DO RISCO (ADAPTADO DE XU ET AL., 2023).....	49
FIGURA 5.1 - PARTICIPAÇÕES DA EMPRESA CP (CP, 2024).	54
FIGURA 5.2 - SÉRIE USD0350 (CP, S.D.).	56
FIGURA 5.3 - SÉRIE UDD0450 (CP, S.D.).	56
FIGURA 5.4 - SÉRIE UDD9630 (CP, S.D.).	56
FIGURA 5.5 - SÉRIE UTE2240 (CP, S.D.).	57
FIGURA 5.6 - SÉRIE UQE2300/2400 (CP, S.D.).	57
FIGURA 5.7 - SÉRIE UME3400 (CP, S.D.).	57
FIGURA 5.8 - SÉRIE UQE3500 (CP, S.D.).	58
FIGURA 5.9 - SÉRIE CPA4000 (CP, S.D.).	58
FIGURA 5.10 - UTE 3150/3250 (CP, S.D.).	58
FIGURA 5.11 - SÉRIE CIC (CP, S.D.).	59
FIGURA 5.12 - SÉRIE ARCO (CP, S.D.).	59
FIGURA 5.13 - SÉRIE LDE 1400 (CP, S.D.).	60
FIGURA 5.14 - SÉRIE LE2600/2620 (CP, S.D.).	60
FIGURA 5.15 - SÉRIE LE5600 (CP, S.D.).	60
FIGURA 6.1 - EQUIPA DE ANÁLISE RCM AO SISTEMA PTA.	62
FIGURA 6.2 - FRONTEIRAS DO SISTEMA PTA.	64
FIGURA 6.3 - VISTA EXPLODIDA DO COMPRESSOR PRINCIPAL (CUMMINS, 2002).	67
FIGURA 6.4 - CONJUNTO COMPLETO COMPRESSOR.	70
FIGURA 6.5 - VÁLVULA DE ADMISSÃO/DESCARGA.	70
FIGURA 6.6 - CABEÇA DO COMPRESSOR.	70

FIGURA 6.7 - ÊMBOLO DO COMPRESSOR.....	71
FIGURA 6.8 - CORPO DO COMPRESSOR.....	71
FIGURA 6.9 - CAMBOTA DO COMPRESSOR.....	71
FIGURA 6.10 - FUSÍVEL MECÂNICO DO COMPRESSOR.....	71
FIGURA 6.11 - LOCALIZAÇÃO DO COMPRESSOR (A1).....	71
FIGURA 6.12 - TORRE DE SECAGEM (A4).....	73
FIGURA 6.13 - TORRE DE SECAGEM NA POSIÇÃO DE SERVIÇO (KNORR-BREMSE, 2000)..	74
FIGURA 6.14 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA FASE DE REGENERAÇÃO (KNORR-BREMSE, 2000).	76
FIGURA 6.15 - FILTRO DE ÓLEO (A20) COLMATADO COM ÁGUA DEVIDO À NÃO ATUAÇÃO DA TORRE DE SECAGEM.	77
FIGURA 6.16 - PLACA DE CIRCUITOS IMPRESSOS PARA COMUTAÇÃO ENTRE VASOS DA TORRE DE SECAGEM.	77
FIGURA 6.17 - ANÉIS RASCHING.	77
FIGURA 6.18 - VÁLVULAS DE RETENÇÃO.....	77
FIGURA 6.19 - EXSICADOR DEGRADADO/CONTAMINADO.	77
FIGURA 6.20 - SEDE DA VÁLVULA DE DESCARGA.	77
FIGURA 6.21 - PRESSÓSTATO REGULADOR DO COMPRESSOR PRINCIPAL (A12).....	79
FIGURA 6.22 - FILTRO DE AR (A15) (EMEF, 2001).	81
FIGURA 6.23 - VISTA EM CORTE DA VÁLVULA (A18) (EMEF, 2001).....	82
FIGURA 6.24 - VÁLVULA DE SEGURANÇA.	84
FIGURA 6.25 - RESERVATÓRIO PRINCIPAL DE AR COMPRIMIDO (A8).	86
FIGURA 6.26 - CONSEQUÊNCIA DOS MODOS DE FALHA OBTIDOS NA ANÁLISE RCM AO SISTEMA PTA.	89
FIGURA 6.27 - ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO OBTIDAS NA ANÁLISE RCM AO SISTEMA PTA.....	89
FIGURA 6.28 - PRIMEIRA FASE DO REPROJETO 3.	91

Índice de tabelas

TABELA 4.1 - COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO RCM2 VS RCM3 (ADAPTADO DE ALADON, 2018).....	45
TABELA 6.1 - CAPACIDADE DAS AUTOMOTORAS UDD0450.	63
TABELA 6.2 - LEGENDA DA FIGURA 6.3 (CUMMINS, 2002).	67
TABELA 6.3 - MODO DE FALHA EXEMPLO DO COMPRESSOR (A1).	72
TABELA 6.4 - LEGENDA DA FIGURA 6.13 (KNORR-BREMSE, 2000).....	74
TABELA 6.5 - MODO DE FALHA EXEMPLO DA TORRE DE SECAGEM (A4).	78
TABELA 6.6 - MODO DE FALHA EXEMPLO DA PRESSÓSTATO (A12).	80
TABELA 6.7 - LEGENDA DA FIGURA 6.22 (EMEF, 2001). -.....	81
TABELA 6.8 - MODO DE FALHA EXEMPLO DA VÁLVULA DE DESCARGA (A18).	83
TABELA 6.9 - MODO DE FALHA EXEMPLO DAS VÁLVULAS DE SEGURANÇA (A3 E A10).	85
TABELA 6.10 - MODO DE FALHA EXEMPLO DO RESERVATÓRIO (A8).	87
TABELA 6.11 - LEGENDA DA FIGURA 6.26.	89
TABELA 6.12 - DECISÃO ASSOCIADA ÀS CONSEQUÊNCIAS DOS MODOS DE FALHA.	90

1 Introdução

1.1 Enquadramento e motivação

O presente trabalho, realizado no âmbito do trabalho final de mestrado em Engenharia Mecânica, no ramo da Manutenção e Produção, no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, foi desenvolvido em parceria com a empresa CP – Comboios de Portugal, na área de Manutenção e Engenharia.

A CP, enquanto transportadora, depara-se com a necessidade crescente de evoluir e acompanhar o mercado em que está inserida. Dada a antiguidade de algum do material circulante constituinte da frota da CP, surge a necessidade de adaptar o contexto de manutenção, a um processo menos dispendioso, que não despreze a qualidade/segurança e que elimine o excesso de immobilizações.

Sendo o cliente o elemento central de toda a atividade, considerando as suas exigências cada vez mais elevadas no que respeita à qualidade do serviço prestado, decidiu-se implementar o processo RCM2 (*Reliability Centred Maintenance*) ao sistema de Produção e Tratamento de Ar Comprimido (PTA), pertencente às Unidades Duplas *Diesel* da série 0450 da frota de material motor da CP. A implementação deste processo possibilitará um controlo da fiabilidade do material, da disponibilidade e dos custos de manutenção associados à série de material circulante mencionada, tornando a atividade de manutenção mais eficiente.

1.2 Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho é a aplicação do processo RCM ao sistema de Produção e Tratamento de Ar Comprimido (PTA), pertencente às Unidades Duplas *Diesel* da série 0450 da frota de material motor da CP. A escolha deste sistema justifica-se pela sua importância estratégica no funcionamento de diversos sistemas e subsistemas presentes nas referidas unidades motoras, destacando-se o sistema de

freio, cuja sua alimentação depende diretamente do fornecimento do ar comprimido produzido no sistema PTA. A aplicação do processo RCM ao sistema permite identificar modos de falha críticos e propor estratégias que assegurem a disponibilidade, a fiabilidade e a segurança da série UDD0450. O estudo compreende diversas fases correspondentes às fases de aplicação do processo. Este trabalho tem como objetivos, analisar e compreender o processo RCM, bem como os conceitos nele inseridos. Identificar e registar os diversos modos de falha e efeitos de falha, associados a cada função e falha funcional definida, identificando as ações de mitigação. Numa fase seguinte e fora do âmbito do presente trabalho final de mestrado, pretende-se recorrer à informação resultante do caso de estudo RCM, adequando-a a um novo plano de manutenção da série de material circulante.

1.3 Estrutura do documento

A estrutura do presente trabalho conta com a definição dos objetivos a atingir ao realizar o trabalho final de mestrado, com o estado de arte que dá apoio e suporte técnico/teórico à implementação do processo RCM2, o trabalho desenvolvido e os resultados obtidos.

Este trabalho segue uma estrutura dividida em secções, encontrando-se as mesmas numeradas de 1 a 7. A secção 1 diz respeito à introdução do trabalho a desenvolver no âmbito do trabalho final de mestrado. A secção 2 diz respeito ao estado de arte relativamente ao tema abordado ao longo do trabalho, e a secção 3 é referente à manutenção de um modo geral, onde se abordam os conceitos de manutenção corretiva e preventiva, bem como a metodologia RAMS. Na secção 4, aquela que pode ser considerada o *core* do presente trabalho, é abordado o processo RCM e enumeradas todas as fases de aplicação do mesmo. Nesta secção, abordam-se também as dissemelhanças entre os processos RCM2 e RCM3. Na secção 5, realiza-se uma breve apresentação da empresa CP – Comboios de Portugal, identificando as suas principais áreas de negócio e parte da frota de material circulante que a constitui. A secção 6 trata a apresentação do caso de estudo do presente trabalho final de mestrado, onde se aplica o processo RCM ao sistema de Produção e Tratamento de Ar Comprimido (PTA), pertencente às Unidades Duplas *Diesel* da série 0450 da frota de material motor da CP. Ao longo desta secção encontram-se aplicadas todas as fases do processo RCM, finalizando com uma breve apresentação dos resultados obtidos com o estudo. A secção 7 diz respeito às conclusões e ao trabalho futuro a ser realizado. Por último, o presente trabalho final de mestrado é finalizado com uma secção (não numerada) relativa às referências bibliográficas, bem como uma secção referente aos anexos, onde consta informação utilizada durante o desenvolvimento do caso de estudo e as folhas de informação e decisão resultantes do estudo RCM, entre outros.

2 Estado de arte

A garantia de qualidade tanto ao nível do produto, como do serviço prestado, torna-se fundamental no dia-a-dia competitivo em que a indústria se insere nos tempos que correm, tendo a manutenção, cada vez mais, um papel crucial para o cumprimento dos objetivos de uma organização.

A manutenção é descrita como a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado que permita o seu desempenho de uma função requerida. As ações de manutenção técnicas incluem dois grupos, onde o primeiro é destinado à observação e análise do estado de um bem, como por exemplo a execução de inspeções, monitorização, ensaios e diagnósticos. Já o segundo grupo, inclui as ações de manutenção ativa, ou seja, ações que envolvem a reparação, acondicionamento e recuperação de um bem (IPQ, 2021).

Ao longo do tempo a manutenção e todos os seus processos têm evoluído no sentido de acompanhar o aumento significativo dos padrões de qualidade e fiabilidade, bem como a complexidade dos projetos e a redução do desperdício dentro da indústria (De Souza, 2017). A história da manutenção pode ser dividida em três fases distintas.

A primeira fase, referente ao período da Segunda Guerra Mundial, caracterizou-se pela fraca capacidade económica e por conseguinte a simplicidade dos equipamentos industriais, onde as intervenções de manutenção se limitavam a ações como a limpeza, lubrificação e reparação de equipamentos. Décadas mais tarde (décadas de 50 a 80, após a Segunda Guerra Mundial), surge a segunda fase, marcada pelo aumento da complexidade dos produtos e pela diminuição significativa da mão de obra (devido às baixas registadas durante a guerra), tornou-se necessária a utilização de equipamentos fiáveis cuja manutenção se incidia em intervenções de manutenção programadas e sistemáticas, realizadas em intervalos de tempo previamente definidos, visando o aumento da vida útil do bem. Após a década de 80, surge a terceira fase, com o aparecimento da filosofia *Just-In-Time* (JIT), onde a excessiva redução de stocks,

originou uma quebra produtiva para muitas empresas. Nesta fase, a preocupação com a segurança e o ambiente resultou na necessidade da adoção de uma estratégia de manutenção preditiva, com foco na automatização de processos, no desenvolvimento informático e na fiabilidade do bem (Machado et al., 2023).

Durante a terceira geração, a mudança de cultura relativamente à vida de um bem foi notória. Durante este período, tornou-se evidente que a relação entre a idade operacional do bem e a probabilidade de falha, não seria tão linear como no modelo previamente estudado.



Figura 2.1 - Evolução das gerações de manutenção (Garcia, 2020).

Como é possível observar na figura 2.1, numa primeira fase surgiu a crença de que, à medida que um equipamento envelhece a sua probabilidade de falha também aumenta. Este mesmo paradigma alterou-se na segunda geração, onde se tornou perceptível que os equipamentos não só teriam uma probabilidade de falha mais elevada na fase de envelhecimento, como também durante a sua fase infantil, tendo esta perceção dado origem à “curva da banheira”. Na terceira geração da história da manutenção, várias pesquisas realizadas revelaram que seis padrões de falha seriam possíveis de ocorrer durante a vida de um bem, tornando-se essencial avaliar quais as estratégias de manutenção mais indicadas para cada padrão de falha associado ao ativo (Moubray, 2000).

Nesta fase, a fiabilidade e a disponibilidade converteram-se no foco da manutenção, tornando-se assim num forte indicador de desempenho. A manutenção enfrentou o desafio de minimizar as falhas prematuras. Neste sentido, a análise de falhas mostrou-se essencial como meio de aperfeiçoar o desempenho dos equipamentos industriais, com o objetivo de reduzir a estratégia de manutenção preventiva programada e o aumento de estratégias de manutenção preditiva e de monitorização dos equipamentos, a fim da diminuição das ações de manutenção corretiva não planeada e do tempo de imobilização (Machado et al., 2023). Durante este período surgiu a processo RCM2

(Manutenção Centrada na Fiabilidade), desenvolvida por *Nowlan e Heap* (Moubray, 2000).

O processo RCM2 integra várias estratégias de manutenção, tais como, a manutenção preventiva, a manutenção preditiva (através da realização de ensaios e inspeções), a manutenção reativa (com a realização de reparações) e a manutenção proativa. Desta forma, garante-se que um bem cumpre a sua função requerida, ao longo do seu potencial de vida definido, com o menor número de intervenções de manutenção e o menor tempo de imobilização. O aumento da eficiência da manutenção e do equipamento, resultará numa redução significativa dos custos associados ao seu ciclo de vida e a um aumento da fiabilidade e disponibilidade do mesmo (NASA, 2008).

O RCM colmatou a necessidade de se adotarem metodologias que definem corretamente a estratégia de manutenção para cada equipamento, implementando metodologias baseadas nos padrões de falha de cada equipamento e nas consequências inerentes à sua falha.

Com a alteração do contexto em que se insere a economia global, onde o foco passou a incidir sob as necessidades do cliente, tornou-se necessário para diversas organizações a adoção de estratégias que garantem a diferenciação da qualidade e da diversificação dos produtos finais, nomeadamente a adoção de estratégias de manutenção baseadas no processo RCM. O setor da aviação foi pioneiro no que diz respeito à implementação do RCM2 (Moubray, 2000) porém, outros ramos da indústria após análise dos resultados obtidos, optaram por seguir o processo e aplicar as estratégias que advêm do mesmo.

No setor mineiro, a mineração de carvão era substancialmente orientada pelo trabalho manual. Décadas mais tarde, ocorreu uma evolução significativa no que diz respeito ao *modus operandi*, com a chegada da maquinaria pesada para movimentação de terra HEMM (*Heavy Earth Moving Machinery*). Estas máquinas, mais sofisticadas, automatizadas e dispendiosas, tornaram-se essenciais para atender à redução do consumo de energia e à lucratividade exigida ao processo.

O desempenho das HEMM tem um grande impacto na otimização da mineração de carvão. A sua fiabilidade e disponibilidade, são pontos fulcrais para a eficiência do processo. A falha de qualquer HEMM tem um impacto significativo na quantificação da produção de carvão, na produtividade e nos custos associados uma vez que, a falha de qualquer equipamento poderá provocar uma extensa paralisação na produção, resultando numa perda de receita. Assim, a eficácia da política de manutenção adotada para estas máquinas, desempenha um papel importante no setor em causa.

Regra geral, os programas de manutenção adotados na indústria mineira, recorriam às recomendações dos fabricantes, à legislação em vigor e aos padrões da empresa,

resultando em abordagens que se demonstram ineficazes quando o objetivo é a otimização dos custos e do desempenho dos equipamentos. Nestas circunstâncias, a aplicação do processo RCM, surge como uma via essencial para a obtenção de programas de manutenção eficientes e de custos reduzidos.

O presente processo foi aplicado numa mina de carvão a céu aberto na Índia, onde foram analisadas máquinas *Dumpers*, *Dozers* e *Shovels*.



Figura 2.2 - Exemplos de máquinas Dumper, Dozer e Shovel, respetivamente (Recanpri, s.d.).

Numa primeira instância, estabeleceram-se as diferentes fases da vida em que as máquinas mencionadas estavam inseridas, os padrões de falha e as suas respetivas ações de manutenção. As máquinas *Dumper*, encontravam-se numa fase de “mortalidade infantil”, onde a solução passava pela adoção de uma estratégia de manutenção corretiva. Já as máquinas *Dozer*, encontravam-se numa fase de desgaste ou envelhecimento, onde estratégias de manutenção preventiva e preditiva eram essenciais. Por fim, as máquinas *Shovel*, encontravam-se na fase de vida útil, ou seja, numa fase em que a taxa de avarias é constante e a manutenção preventiva tem um papel essencial. Para as referidas máquinas implementou-se o processo RCM, iniciando o processo pela divisão da máquina *Shovel* em seis subsistemas e posteriormente realizando uma análise dos modos de falhas e as suas consequências, de modo a definir o impacto dos sistemas na disponibilidade da máquina e assim elaborar um programa de manutenção eficiente (Samanta et al., 2001).

A aplicação do processo RCM num determinado sistema ou equipamento, idealmente, pressupõem a realização de um estudo prévio do mesmo ou de uma base de dados estatísticos/técnicos que auxilie a análise. Porém, o estudo RCM pode ser realizado num equipamento sem histórico de funcionamento.

Cabo (2017), em conjunto com a empresa *Bosch Car Multimédia*, realizou um estudo RCM a um equipamento recém-chegado à empresa, a fim de abordar corretamente o funcionamento do equipamento e a sua estratégia de manutenção desde o início da sua utilização. O estudo partiu com a divisão do equipamento em diversos sistemas, cujo funcionamento foi analisado segundo a metodologia FMECA (*Failure Modes, Effects,*

and Criticality Analysis), tendo-se obtido 107 modos de falha com responsabilidade do departamento e 9 modos de falha em que a responsabilidade seria de outro departamento. Adicionalmente às tarefas de manutenção sob condição, restauro, substituição e busca de falha, foi identificado um reprojeto que seria mitigador de um modo de falha identificado na fase de amostragem, eliminando assim futuros problemas com o mesmo.

Após aplicação do estudo RCM, conclui-se que seria expectável uma diminuição de 21,5% do número de ações de manutenção, comparativamente com as ações *standard* definidas numa fase anterior ao estudo, garantindo uma correta abordagem do equipamento desde o início. Adicionalmente a organização, criou um profundo conhecimento da máquina, visto que a implementação do estudo é uma excelente ferramenta de formação (Cabo, 2017).

Como referido anteriormente, a manutenção centrada na fiabilidade e todos os seus princípios sofreram uma expansão entre os diversos setores da indústria, tal como no setor energético. Os grandes fornecedores de energia, outrora inseridos no mercado como monopólios, cada vez mais sofrem a competitividade de empresas rivais que vão surgindo, sendo o aumento da produtividade da organização um objetivo a alcançar. As operadoras de energia, tipicamente, utilizam intensivamente diversos ativos, fazendo com que as atividades de manutenção desempenhem um papel importante para a produtividade da organização (Usrey, 2000).

A *New Century Energies* (NCE) decidiu alterar a estratégia de manutenção e realizar um programa de manutenção de equipamentos de uma subestação com base nos princípios do processo RCM. O estudo foi direcionado a uma fonte de alimentação de corrente contínua, selecionada pela organização. As vantagens da implementação da metodologia foram notórias, não só no que diz respeito às estratégias de manutenção (onde as inspeções realizadas à fonte de alimentação sofreram uma redução de doze intervenções/ano, para quatro/ ano) como ao custo associado à ação de manutenção, onde se previu uma poupança anual total de 44.775 dólares (Usrey, 2000). A mesma conclusão foi retirada pela aplicação do processo RCM numa central de produção de energia a vapor, cujo propósito consiste no fornecimento de energia térmica para a empresa *Egyptian Minerals and Salts Company* (EMISAL). Após conclusão da análise e obtenção de resultados, verificou-se uma redução dos custos totais de mão de obra em cerca de 25,8%, uma economia de cerca de 80% dos custos relacionados com a inatividade dos equipamentos e uma redução de cerca de 22,17% do custo anual de aquisição e utilização de peças sobressalentes (Afefy, 2010).

No setor alimentar foi realizado um caso de estudo aplicando o RCM a uma máquina de embalar produtos a vácuo, cuja organização define como um processo produtivo de

extrema importância, pois garante a selagem e a conservação dos alimentos. O estudo permitiu à empresa um conhecimento profundo das falhas possíveis de ocorrer no sistema, possibilitando um aumento significativo na fiabilidade e disponibilidade da máquina, bem como uma diminuição de cerca de 55% nos custos associados à sua manutenção (Benini, 2021).

Referidos os casos acima, é notável a abrangência da aplicação da manutenção centrada na fiabilidade nos vários ramos da indústria, onde a aplicação do processo resultou num processo positivo para as empresas e para a melhoria dos seus processos de manutenção.

No setor dos transportes a satisfação do cliente é o foco das empresas. Dentro deste setor, a ferrovia destaca-se como um modo de transporte urbano e ecológico, que oferece um elevado suporte à economia, transportando milhares de passageiros no dia-a-dia, conectando os diversos pontos de interesse de forma rápida e segura (Luqman & Kusumah, 2022). Cada vez mais, as empresas do setor ferroviário vivem numa preocupação constante com a disponibilidade, fiabilidade e segurança do material circulante (Rezvanizani et al., 2009), sendo que para tal é necessário criar ferramentas de gestão que permitam um acompanhamento e evolução destes parâmetros.

Os casos de estudo apresentados anteriormente, relativamente à implementação do processo RCM, demonstraram resultados ao nível operacional, porém a sua aplicação contribui para uma melhoria na segurança e no impacto ambiental uma vez que, no processo de decisão (que decorre de todo o processo descrito na árvore lógica de decisão RCM) estes impactos são sempre considerados uma prioridade relativamente ao impacto operacional. Por este motivo, este processo torna-se essencial para uma empresa que pretenda destaque dentro do mercado competitivo em que o setor ferroviário está inserido.

Estudos indicam que para a otimização do processo de manutenção ferroviária, com base no processo RCM, são necessários seguir os seguintes passos (Luqman & Kusumah, 2022):

- **Passo 1:** Identificar o sistema a analisar no estudo RCM, tendo como base a identificação do sistema que maior contribuição tem para a redução da fiabilidade do material circulante;
- **Passo 2:** Dentro do sistema selecionado para o estudo, identificar quais as funções do sistema e quais são as possíveis falhas funcionais;
- **Passo 3:** Para cada falha funcional, identificar, caracterizar e priorizar, do ponto de vista da criticidade para o sistema, os diferentes modos de falha;

- **Passo 4:** Determinar quais as ações de manutenção a realizar, com foco no aumento da fiabilidade operacional e na priorização da redução do impacto na segurança e no ambiente.

Noutra perspetiva, Moubray (2000) refere que o processo RCM implica sete questões básicas que devem ser submetidas a uma análise crítica, sendo estas:

- **Questão 1:** Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto operacional?
- **Questão 2:** De que forma o ativo falha no cumprimento das suas funções?
- **Questão 3:** Quais são as causas de cada falha funcional?
- **Questão 4:** Quais são os diferentes modos de falha e os seus efeitos?
- **Questão 5:** Quais as consequências de cada falha?
- **Questão 6:** Qual o modo de prevenção de cada falha?
- **Questão 7:** Qual o modo de atuação, no caso de não existir uma tarefa proativa para prevenção da falha?

Para a implementação do processo RCM numa série de material circulante da classe Unidades Múltiplas *Diesel* da Série 158 (DMU), pertencente aos caminhos de ferro Escoceses (Alkali, 2016) foram seguidos os passos mencionados anteriormente por Luqman e Kusumah (2022).

No referido estudo, e com o objetivo de melhorar a fiabilidade e a disponibilidade da frota, foi selecionado o sistema com maior impacto ao nível operacional e de segurança, tendo-se identificado o sistema de portas de acesso para passageiros. No decorrer do estudo RCM ao sistema, foram estudados 356 modos de falha possíveis de ocorrer, que após analisados, se traduziram em tarefas de manutenção que mitigam modos de falha com impacto na operação e na segurança. O presente estudo conclui ainda, que após segregação das tarefas de manutenção (resultantes da análise RCM) no plano de manutenção das unidades motoras referidas, a redução dos modos de falha com impacto na segurança será significativa, o que consequentemente conduzirá a uma extensão dos intervalos de manutenção em cerca de 16.000 km (Alkali, 2016).

3 Manutenção

3.1 Tipos de Manutenção

Segundo Ferreira (2021), existem diversos tipos de manutenção. No entanto, os mesmos podem ser agrupados em três grupos distintos, sendo que o primeiro grupo corresponde à manutenção preventiva, o segundo à manutenção corretiva e o terceiro ao tipo de manutenção relacionado com a beneficiação do ativo, sem que tenha ocorrido a avaria do mesmo. Tal, pode ser observado no seguinte diagrama:

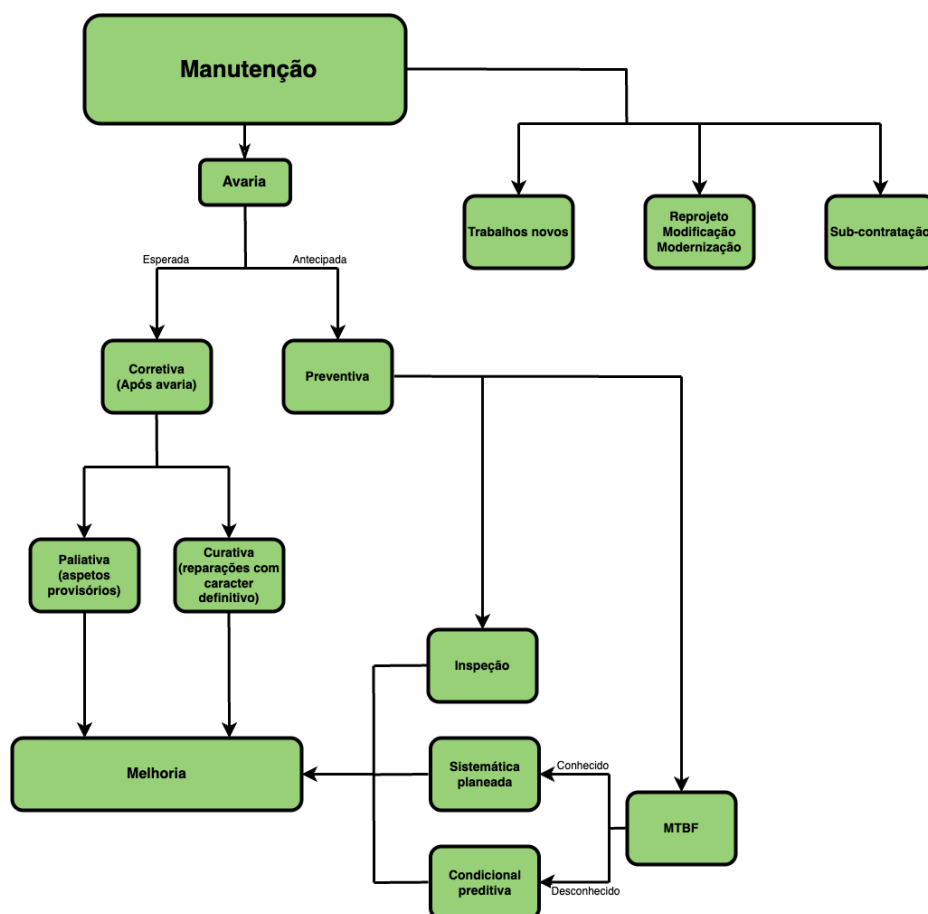


Figura 3.1 - Tipos de manutenção (adaptado de Ferreira, 2021).

Já IPQ (2021), subdivide também a ação de manutenção em três grupos distintos, no entanto, relaciona-os com o impacto na segurança de funcionamento do ativo, em que apenas se realizam trabalhos de melhoria do equipamento quando os mesmos promovem uma alteração das características intrínsecas da segurança, tal como pode ser observado na figura 3.2.

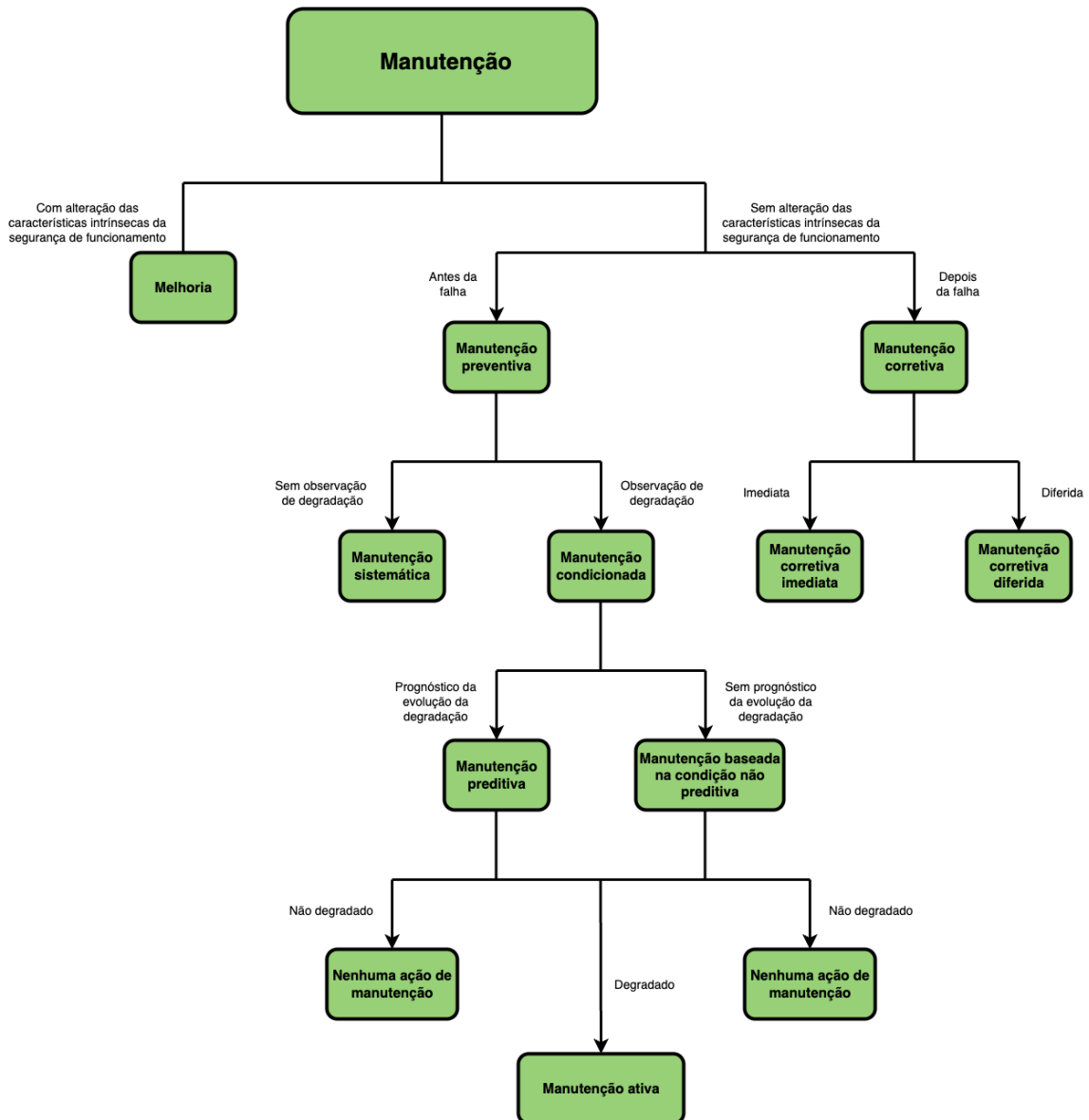


Figura 3.2 - Tipos de manutenção EN13306 (adaptado de IPQ, 2021).

A estrutura acima apresentada, possui ainda algumas diferenças, quando comparada com a estrutura apresentada na figura 3.1, sendo as mesmas explicadas com maior detalhe nos pontos seguintes.

3.1.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é a estratégia de manutenção mais “explícita” e primária de manutenção. A mesma pode sintetizar-se pelo ciclo de “avaria-repara”, ou seja, a reparação dos equipamentos é realizada depois da ocorrência de uma avaria. Torna-se a estratégia de manutenção onde os custos associados são normalmente mais elevados, quando encarada do ponto de vista total do sistema/equipamento (Santos, 2009). É um método de manutenção efetuado após deteção da avaria e destinado a repor um bem num estado cujo propósito é a realização de uma função requerida (IPQ, 2021).

A manutenção corretiva frequentemente origina (Santos, 2009):

- Baixa utilização anual dos equipamentos e máquinas, resultando em perdas nas cadeias produtivas;
- Diminuição da vida útil dos equipamentos, máquinas e instalações;
- Paragens forçadas para reparações em momentos inoportunos, correspondentes a épocas de elevada produção ou épocas de crise geral;

Naturalmente, a eliminação total deste tipo de manutenção torna-se impossível, uma vez que se torna difícil a previsão do momento exato em que poderá ocorrer uma falha ou um defeito que obrigue à execução de uma manutenção corretiva de emergência. A adoção desta estratégia de manutenção justifica-se em situações como (Santos, 2009):

- São mínimos os custos indiretos da avaria e a mesma não compromete os níveis de segurança;
- Quando o parque é constituído por um elevado número de máquinas que cumpram a mesma função e cujas avarias não afetem a produção de forma crítica.

Existem sempre avarias que não são previsíveis, num sistema dito “normal”, são pelo menos 5% das mesmas (Ferreira, 2021).

A evolução da estratégia de manutenção de um modo geral, permitiu a evolução da manutenção corretiva, existem por isso alguns mecanismos que permitiram tal evolução (Ferreira, 2021):

- Análise das causas da avaria;
- Reparação;
- Correção eventual de modo a eliminar a causa da avaria ou a minimizar as suas consequências;
- Memorização dos dados relativos à intervenção (histórico);

- Evolução para um Pano de Manutenção, com o conhecimento do estado de degradação dos equipamentos, aumentando a previsibilidade do conhecimento do momento da falha.

Segundo Santos (2009) manutenção corretiva possui dois tipos de atuação:

- **Manutenção paliativa:** Onde são efetuadas reparações de carácter provisório;
- **Manutenção curativa:** Onde são realizadas reparações de carácter definitivo.

Noutra visão relativa ao presente tipo de manutenção, a norma NP EN 13306 (IPQ, 2021) distingue a manutenção corretiva como manutenção corretiva diferida e imediata, sendo que:

- A **manutenção corretiva diferida**, é um tipo de manutenção corretiva que não é efetuada imediatamente após deteção da avaria, mas sim adiada de acordo com as regras estabelecidas;
- A **manutenção corretiva imediata**, é um tipo de manutenção corretiva que é efetuada sem atraso, após deteção de uma avaria, de forma a evitar consequências inaceitáveis.

3.1.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva, tal como o próprio nome indica, consiste num trabalho de prevenção de falhas que possam originar a paragem ou uma redução do rendimento dos equipamentos em operação (Santos, 2009). Este tipo de manutenção é efetuado com a finalidade de avaliar e/ou mitigar a degradação e reduzir a probabilidade de falha de um bem (IPQ, 2021). Esta estratégia de prevenção pode ser baseada em estudos estatísticos, no estado do equipamento, local de instalação ou dados fornecidos pelos fabricantes do ativo em questão, sejam, condições ótimas de funcionamento, pontos e periodicidades de lubrificação, limpeza ou ajustes (Santos, 2009).

Os principais objetivos da manutenção preventiva são (Santos, 2009):

- Reduzir ao máximo o número de falhas em serviço, aumentando assim a fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos;
- Aumento considerável da taxa de utilização anual dos sistemas de produção e distribuição de uma organização;
- Diminuição do número total de intervenções corretivas, diminuindo o custo da manutenção corretiva;

- Diminuição do número de intervenções de manutenção corretiva em momentos “inoportunos” como por exemplo, em períodos noturnos, fins-de-semana ou durante períodos de produção e distribuição críticos.

3.1.2.1 Manutenção preventiva sistemática

O presente tipo de manutenção preventiva é efetuado em intervalos de tempo preestabelecidos ou segundo um número definido de unidades de utilização, mas sem controlo prévio da condição do bem. Os intervalos de tempo ou o número de unidades de utilização podem ser estabelecidos com base no conhecimento do mecanismo de falha do bem (IPQ, 2021).

As intervenções sistemáticas serão programadas segundo uma periodicidade (T), obtida a partir de dados do fabricante, ou dos resultados operacionais das visitas preventivas ou ensaios realizados, visando a otimização de custos. As periodicidades (T) podem ser definidas segundo (Ferreira, 2021):

- Tempo absoluto: Tempo de calendário, ou seja, por exemplo uma revisão sistemática a cada seis meses. Esta definição de tempo é aplicada normalmente a equipamentos cujo funcionamento é regular;
- Tempo relativo: Tempo por unidades de utilização, como por exemplo, mudar o óleo de um equipamento a cada 10.000 km. Esta definição de tempo é aplicada normalmente a equipamentos cujo funcionamento é irregular.

A manutenção preventiva sistemática pode ser utilizada ao nível de certos órgãos sensíveis (rolamentos, filtros), subconjuntos (por módulos de desmontagem), conjuntos (revisões de máquinas) ou unidades de produção (paragens gerais). Diz respeito a (Ferreira, 2021):

- Equipamentos com custo de avaria elevados;
- Equipamentos, mesmo menores, acarretam a paragem de todo o equipamento global;
- Equipamentos cuja paragem será de longa duração;
- Equipamentos que colocam em causa a segurança do pessoal ou dos utilizadores;
- Equipamentos sujeitos a legislação particular.

3.1.2.2 Manutenção condicionada

Na manutenção condicionada, a decisão de intervenção de manutenção preventiva é tomada quando existe evidência experimental de avaria iminente ou da aproximação do limite de degradação admissível pré-determinado.

Existem algumas condicionantes na implementação deste tipo de manutenção, sendo que a primeira condição é relativa à capacidade de aplicabilidade da manutenção condicionada ao equipamento, ou seja, se existe uma degradação progressiva e detetável. Deve também ser tida em conta se vale a pena aplicar este tipo de manutenção ao equipamento, como por exemplo, equipamentos críticos para o sistema.

A manutenção condicionada apenas vale a pena, caso o custo da sua implementação seja inferior aos “ganhos” obtidos através da sua aplicação e utilização. Para ser verdadeiramente eficaz, as intervenções de manutenção com base na condição devem ser pensadas durante a conceção do equipamento (Ferreira, 2021).

Para que seja possível determinar a degradação admissível de um equipamento, torna-se necessário encontrar uma correlação entre um parâmetro mensurável e o estado do sistema. Estes parâmetros podem ser (Ferreira, 2021):

- Parâmetros físicos (pressões, caudais, temperaturas, etc.);
- Nível/frequência de vibrações e ruídos;
- Teor de resíduos de desgaste (por exemplo análise de lubrificantes).

Existem algumas técnicas para controlo do estado de condição de um determinado componente, sendo estas (Ferreira, 2021):

- **Controlo das variáveis de funcionamento:** Carga permitida ou pressão de contacto máxima, velocidade máxima permitida e temperatura de funcionamento;
- **Controlo de componentes e lubrificação:** Desalinhamentos e vibrações, estado da superfície dos componentes, alimentação de lubrificante, espessura do filme de óleo e eficiência do lubrificante;
- **Controlo das perdas de energia por atrito:** Características do atrito, ruído devido ao atrito e aumento da temperatura devido ao atrito;
- **Controlo das perdas de material por desgaste:** Partículas de desgaste e contaminantes do lubrificante.

Algumas das vantagens que se destacam da implementação de uma estratégia de manutenção condicionada são (tipos de manutenção):

- Aumento da longevidade dos equipamentos;

- Controlo eficaz das peças de reserva e as suas limitações;
- Custo de reparação reduzido;
- Aumento da produtividade.

A norma NP EN 13306 (IPQ, 2021) subdivide o tipo de manutenção condicionada em dois tipos distintos:

- **Manutenção baseada na condição não preditiva:** Resulta quando não existe um prognóstico da evolução da degradação;
- **Manutenção preditiva:** Que resulta quando existe um prognóstico da evolução da degradação e trata-se de uma manutenção baseada na condição, efetuada de acordo com as previsões extrapoladas de análises repetidas ou características conhecidas, bem como de avaliação de parâmetros significativos da degradação do bem.

Em ambos os tipos acima apresentados, caso não se verifique degradação do equipamento, não deve ser adotada uma ação de manutenção. Contrariamente, caso se verifique degradação do bem, deve ser adotada uma estratégia de **manutenção ativa**, onde as ações de manutenção são diretamente efetuadas num bem a fim de o manter ou de o restabelecer para um estado onde possa realizar a sua função requerida (IPQ, 2021).

3.2 Fiabilidade, Disponibilidade, Manutibilidade e Segurança (RAMS)

A metodologia RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*) introduz a interligação entre os elementos fiabilidade, disponibilidade, manutibilidade e segurança, aplicada a diversos setores da indústria, nomeadamente ao setor ferroviário, com o propósito de garantir a um ativo, um elevado padrão de desempenho e segurança durante o seu ciclo de vida (CENELEC, 1999).

A norma EN 50126:1999 (CENELEC, 1999) define estes elementos como:

- **Fiabilidade:** A probabilidade de um ativo falhar no cumprimento da sua função requerida, sob condições previamente definidas, durante um dado intervalo de tempo estabelecido;
- **Disponibilidade:** A capacidade de um ativo se encontrar num estado capaz de desempenhar a sua função requerida, sob condições previamente definidas, durante um determinado instante ou intervalo de tempo, assumindo que todos os recursos externos necessários à sua operação são providenciados;

- **Manutibilidade:** A probabilidade de uma determinada ação de manutenção ativa, poder ser realizada dentro de um intervalo de tempo especificado, para um ativo sob determinadas condições de utilização;
- **Segurança:** A ausência de risco de dano inaceitável para um determinado ativo.

A segurança e a disponibilidade encontram-se interligadas, uma vez que qualquer “fraqueza” ou gestão inadequada dos requisitos num destes elementos, pode impedir a obtenção de um sistema fiável. A figura 3.3 demonstra a interligação dos elementos que constituem a metodologia RAMS no contexto ferroviário (CENELEC, 1999).

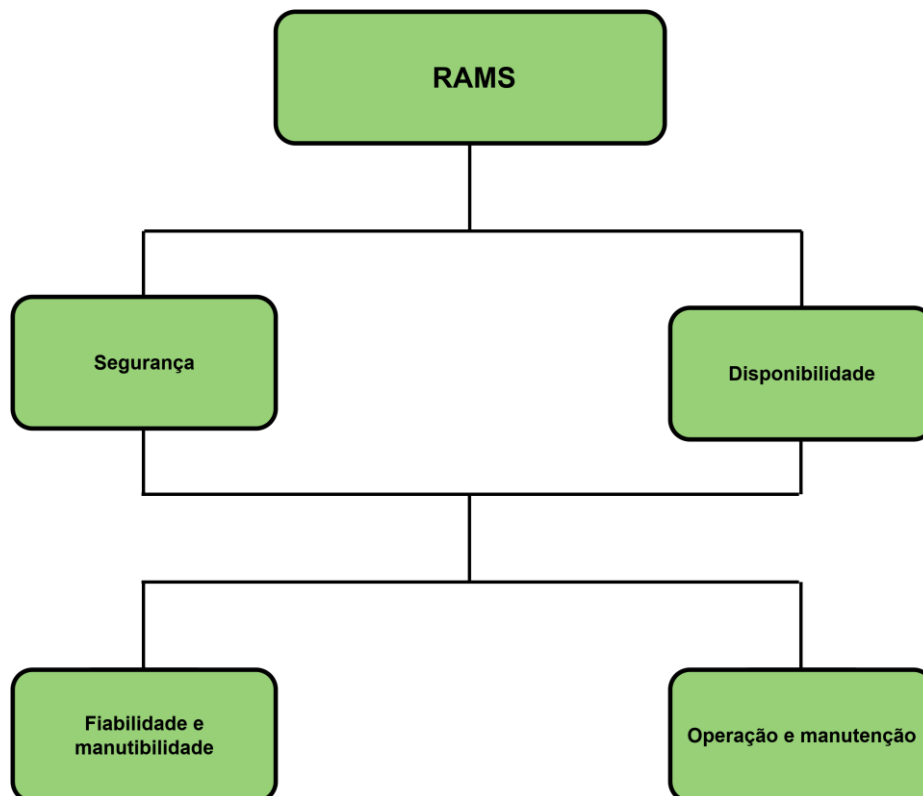


Figura 3.3 - Interligação entre os elementos da metodologia RAMS (adaptado de CENELEC, 1999).

Tal como é possível verificar na figura 3.3, o conceito técnico de disponibilidade e segurança está diretamente associado ao conhecimento da fiabilidade, manutibilidade, operação e manutenção. Assim deve ser tido em conta que (CENELEC, 1999):

1. Disponibilidade:

- No que diz respeito à **fiabilidade**, devem ser conhecidos todos os possíveis modos de falha de um determinado sistema no que diz respeito à sua aplicação e ambiente de operação, a probabilidade de ocorrência de cada

modo de falha ou em alternativa o volume de ocorrências registados relativamente ao mesmo e por fim, o efeito de cada modo de falha para a operação ativo;

- No que diz respeito à **manutibilidade**, deve ser considerado o tempo de atuação relativo à manutenção planeada, o tempo de deteção, identificação e localização de cada falha e o tempo de restauro de um sistema em falha (manutenção não planeada);
- No que respeita à **operação e manutenção**, devem ser tidos em conta todos os modos de operação e manutenção requerida, durante o ciclo de vida do sistema.

2. Segurança:

- **Fiabilidade:** Devem ser conhecidos todos os riscos associados ao sistema, sejam os mesmos relativos à operação, manutenção e ambiente, bem como o conhecimento da severidade das suas consequências. Deve ainda ser tido em conta todos os modos de falha do sistema que potencialmente possam gerar um nível de risco inaceitável, bem como a probabilidade de ocorrência de cada um desses modos de falha. É também importante assegurar o conhecimento das várias sequencias de eventos, falhas, estados de operação ou condições ambientais que possam resultar num acidente;
- **Manutibilidade:** Deve ser assegurada uma facilidade na execução de tarefas de manutenção associadas a sistemas ou componentes que apresentem modos de falha com impacto na segurança. Deve ainda ser tida em conta a probabilidade de ocorrência de um erro no decorrer das ações de manutenção, em ativos cuja falha possua implicações na segurança, bem como o tempo de restauro do ativo;
- **Operação e manutenção:** No que respeita a este elemento, devem ser conhecidos os fatores humanos que influenciam diretamente a manutenção dos equipamentos que possuam impacto na segurança do sistema, as ferramentas, as estruturas e procedimentos que garantam uma manutenção eficaz desses equipamentos. É também essencial criar medidas eficazes para controlo do risco ou mitigação das consequências associadas à falha.

Um sistema ferroviário fiável pode ser alcançado através da consideração das diferentes interações entre os diversos elementos que constituem a metodologia RAMS dentro de um sistema.

4 Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM2)

4.1 História e evolução do processo RCM

A indústria aeronáutica, na década de 1930 foi marcada pela crescente preocupação com o aumento da fiabilidade dos equipamentos, tornando assim o setor mais seguro (Silva, 2023).

Tradicionalmente, os programas de manutenção seguiam o conceito de que cada equipamento pertencente a um sistema/equipamento mais complexo possuía uma determinada vida útil, que quando atingida, deveria ser realizada uma revisão completa do ativo de modo a assegurar a segurança e fiabilidade operacional do mesmo. Com o decorrer dos anos, descobriu-se que tais tarefas de manutenção não resultavam na mitigação dos tipos de falha ocorridos, independentemente do grau de intensidade com que as mesmas fossem realizadas (Moubray, 2001).

No final dos anos 50, ocorreu um acréscimo significativo da frota, nas companhias de aviação comercial, culminando numa ampla gama de dados para estudo e num aumento do custo das atividades associadas à manutenção (Moubray, 2001). Apesar deste aumento, a indústria da aviação comercial possuía uma vasta população de equipamentos idênticos, transversais às diversas frotas e aos tipos de aviões que as constituíam. Como indústria, reuniram esforços para a criação de uma base de dados, recorrendo ao histórico operacional destes equipamentos. Nos anos 60, esta investigação foi conduzida como uma introdução ao processo RCM, a *United Airlines* (UA) utilizou a base de dados criada para desenvolver um padrão entre a vida e a fiabilidade dos componentes não estruturais que constituíam as frotas (Smith, 1993).

No final da década de 60, o licenciamento de uma aeronave, denominado por *Type Certification* pela FAA (*Federal Aviation Agency*), requeria (entre outros diversos elementos) um programa de manutenção preventiva especificado para aplicação e uso

de todos os proprietários ou operadores de aeronaves, aprovado pela FAA. O tamanho do Boeing 747 (com cerca de três vezes mais capacidade de passageiros que o 707), os seus potentes motores, os avanços tecnológicos com que estava equipado e as estruturas, levaram a FAA a considerar que toda a manutenção necessária seria muito extensa, podendo não ser lucrativo para as diversas companhias, a utilização do mesmo para serviço.

Este desenvolvimento levou a indústria aeronáutica comercial a realizar uma reavaliação completa da estratégia de manutenção preventiva. Tal processo foi liderado pela *United Airlines*, onde surgiram nomes como Bill Mentzer, Tom Matteson, Stan Nowland e Harold Heap, que realizaram uma revisão completa da forma como a manutenção estava implementada e qual seria a melhor maneira de a otimizar (Smith, 1993). Desta reavaliação resultou:

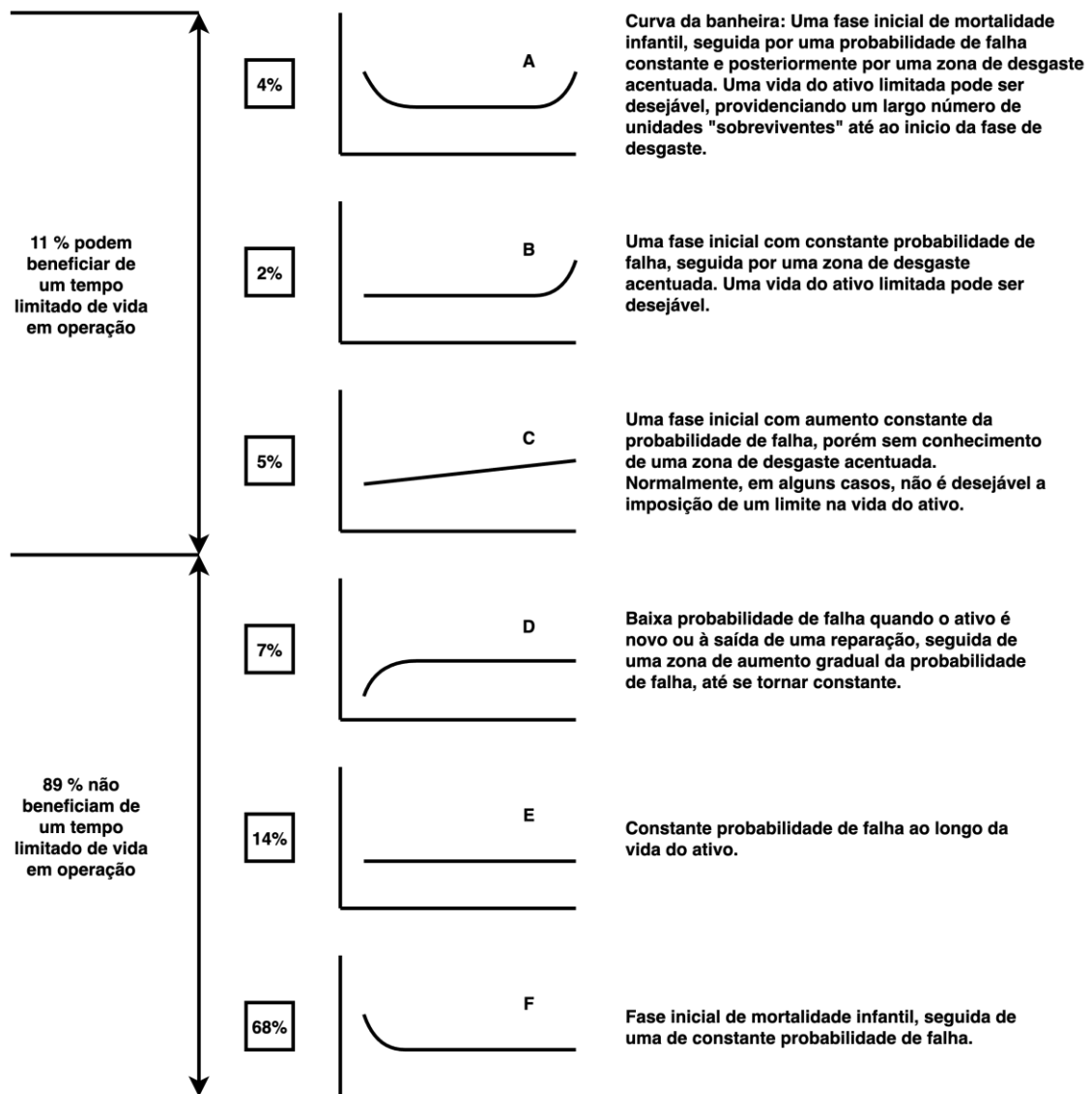


Figura 4.1 - Seis Padrões de Falha para equipamentos de aviação não estruturais (adaptado de Smith, 1993).

Tal como pode ser observado, grande parte das falhas não possuíam uma relação direta com o tempo de serviço (apenas 11%), destas, apenas 4% seguiam o padrão da “curva da banheira”. Através deste estudo, a *United Airlines* e a *Boeing*, descobriram seis padrões de falha (figura 4.1) agrupados em duas categorias, uma relacionada com o tempo de serviço e outra sem qualquer relação (Silva, 2023).

Da análise elaborada pela *United Airlines* (UA) acima mencionada, resultou também uma nova abordagem que passou pela criação de uma árvore lógica de decisão para classificação das tarefas necessárias à preservação das funções críticas das aeronaves durante a operação. Esta nova técnica de elaboração dos Planos de Manutenção foi definida como MSG – 1 (*Maintenance Steering Group – 1*) para o *Boeing 747*, tendo sido posteriormente aprovada pela FAA, tornando realidade o facto de que o impacto económico da manutenção preventiva numa aeronave de grandes dimensões como o 747 era viável.

A viabilidade do MSG – 1 foi tal e a sua aplicação foi de tal forma bem-sucedida, que os seus princípios foram aplicados nas restantes gerações, como no MSG – 2 com a certificação das aeronaves DC – 10 e L – 1011. Posteriormente o MSG – 3 desenvolveu o Plano de Manutenção para o 757 e o 767. O formato MSG orientou ainda Planos de Manutenção para o Concorde e Airbus, entre outros.

Em 1972, o conceito introduzido pela *United Airlines* foi aplicado pelo *Department of Defense* (DOD). Em 1975, o DOD propôs que o conceito de MSG fosse alterado para *Reliability Centred Maintenance* (RCM) e que o mesmo fosse aplicado a todos os sistemas militares. Em 1979, foi publicado o relatório intitulado de *Reliability Centred Maintenance* (RCM) por Stanley Nowlan e Howard Heap, responsáveis pelo departamento de manutenção da UA, tendo sido generalizado a toda a indústria de aviação militar e civil, dando um aumento considerável na segurança do setor (Smith, 1993) com a passagem de cerca de 60 acidentes por milhão de descolagens registados nos anos 60, para 2 acidentes por milhão de descolagens (Sifone & Reyes-Picknell, 2017).

Na década de 1980, o processo RCM passou a ser aplicado em diversos setores da indústria (Smith, 1993). Durante o período entre 1983 e 1990 foi criada uma versão ligeiramente modificada do diagrama de decisão criado por Nowlan e Heap. Durante este período, as consequências ambientais tornaram-se cada vez mais um alvo de estudo e análise. Os Facilitadores RCM, tratavam os modos de falha com consequências ambientais, como se fossem riscos com impacto na segurança, fazendo com que na prática, muitos dos MF (Modos de Falha) analisados com impacto ambiental, sem impacto na segurança, fossem analisados. A principal função dos Facilitadores é a facilitação da aplicação do processo RCM, garantindo assim a

qualidade técnica do estudo. São também responsáveis pela velocidade de conclusão do estudo e toda a sua gestão, pela atitude dos participantes relativamente ao processo RCM, pela aplicação de toda a lógica RCM, por conduzir reuniões e gerir o tempo.

Como resultado, em 1988 John Moubray em parceria com diversas organizações multinacionais realizaram uma análise precisa das falhas com impacto para o ambiente. Desta análise, em 1990 resultou um novo diagrama de decisão, que coloca o impacto ambiental exatamente ao mesmo nível e com a mesma prioridade, do impacto ao nível da segurança. Tal mudança, contribuiu para o nascimento do processo RCM2 (Moubray, 2001).

O processo RCM2 pode ser estruturado em 3 fases distintas, como ilustrado na figura 4.2.

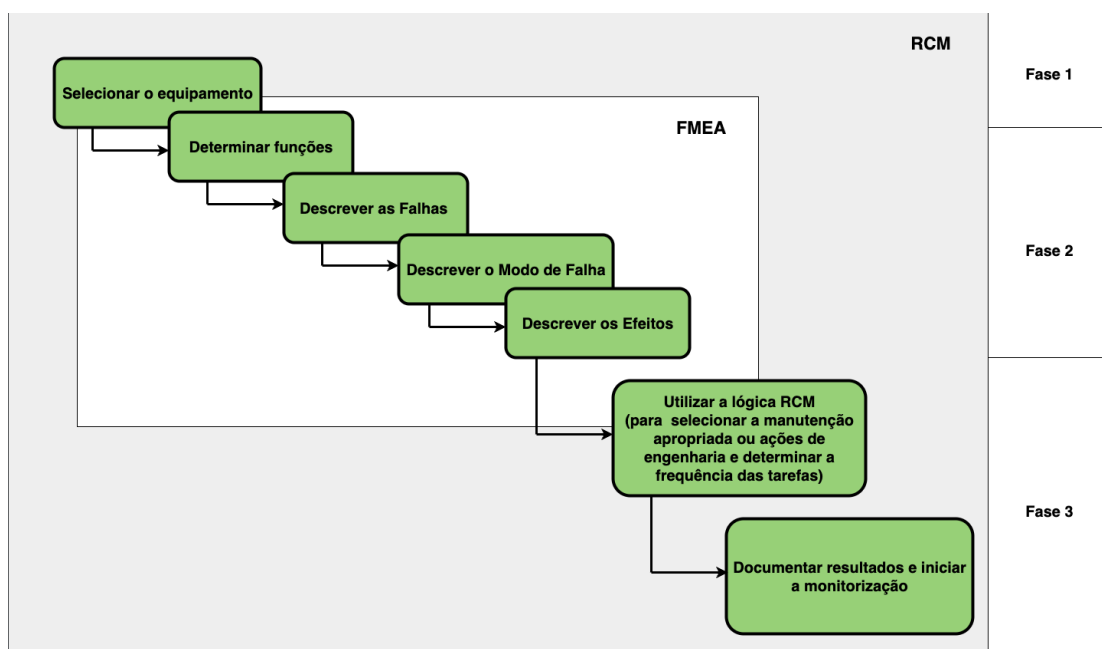


Figura 4.2 - Fases do processo RCM (adaptado de Braaksma, 2016).

No que diz respeito ao processo RCM2 é imprescindível a referência da metodologia FMEA. Segundo Ciani et al. (2021), a fase mais importante e desafiante do processo RCM é a seleção dos modos de falha e respetivos efeitos, bem como a análise da sua criticidade e a seleção de tarefas que resultam na sua mitigação. Tal como é possível verificar na figura 4.2, a metodologia FMEA abrange as diferentes fases do processo RCM, porém com um maior contributo durante a fase 2 do processo. Assim, pode afirmar-se que a metodologia FMEA constitui uma fase com relevo no que diz respeito à aplicação do processo RCM (Braaksma, 2016).

A FMEA é uma metodologia formal e sistemática cujo propósito é a identificação dos potenciais modos de falha de um sistema, as suas causas e os respetivos efeitos (SAE,

2001) identificando-os com precisão de acordo com um procedimento bem definido (Braaksma, 2016).

Durante a fase de projeto, a aplicação da metodologia assegura uma avaliação das condições de segurança do sistema, um planeamento das tarefas de manutenção, uma capacidade de isolar uma falha e atuar sobre a mesma e a identificação das modificações a realizar nessa mesma fase, para mitigação futura de possíveis falhas no sistema.

A metodologia FMEA é aplicada a qualquer sistema, subsistema ou componente que seja identificado/considerado dentro dos limites das fronteiras definidas (NASA, 2008). A aplicação da metodologia deve ser metódica, seguindo os seguintes passos (BS, 2018):

1. Planeamento;

- 1.1. Definição de objetivos e âmbito da análise;
- 1.2. Identificação de fronteiras de análise;
- 1.3. Definição dos critérios de decisão para os MF;
- 1.4. Definição dos requisitos da documentação;
- 1.5. Definição dos recursos da análise;

2. Implementação;

- 2.1. Subdivisão do sistema ou ativo em subelementos;
- 2.2. Identificação das Funções e padrões de desempenho;
- 2.3. Identificação dos Modos de Falha;
- 2.4. Identificação de métodos de controlo e deteção;
- 2.5. Identificação do Efeito local e global;
- 2.6. Identificação das causas associadas à falha;
- 2.7. Identificação de ações de tratamento/mitigação dos MF;

3. Documentação da análise.

Os passos acima referidos encontram-se representados e sintetizados na figura 4.3:

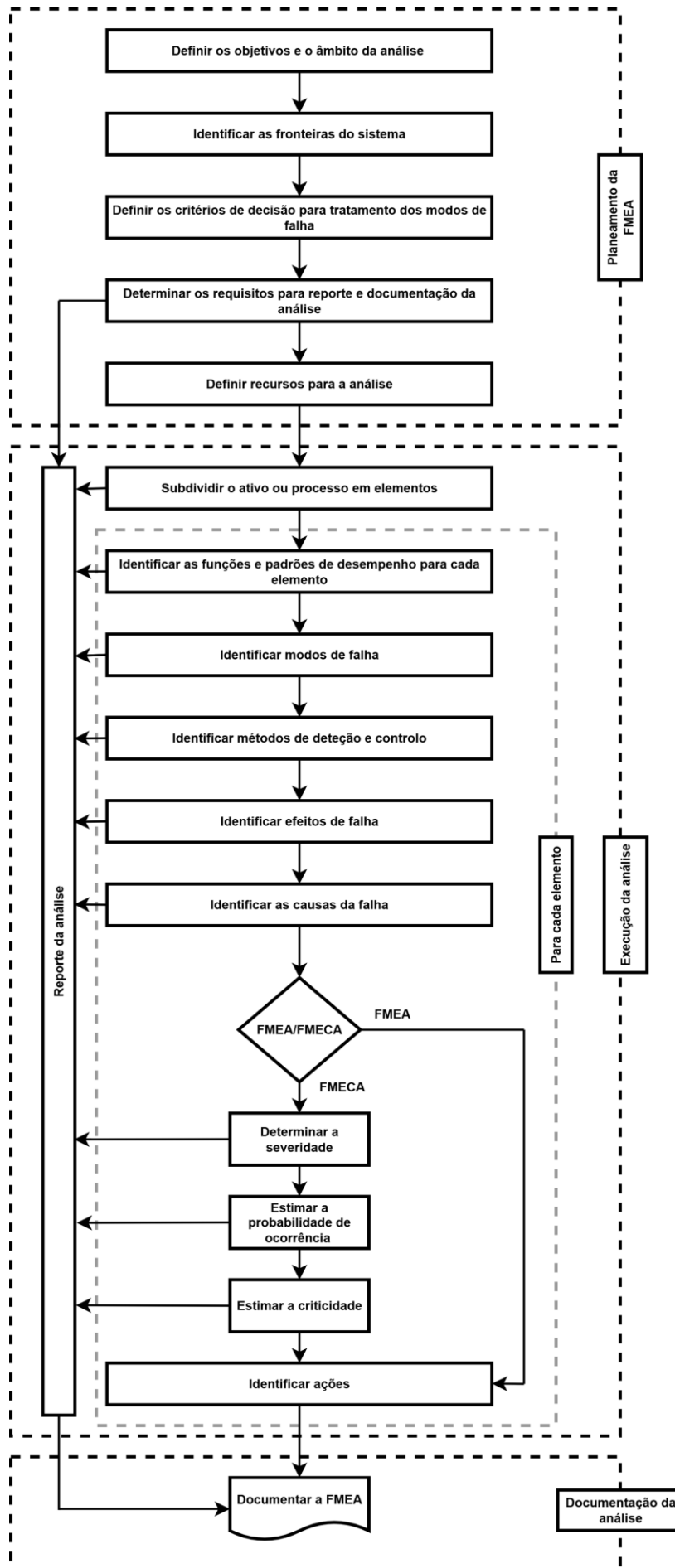


Figura 4.3 - Sequência de implementação da metodologia FMEA (adaptado de BS, 2018).

Quando a análise se estende à caracterização e comparação dos diferentes modos de falha de acordo com a sua criticidade, aplica-se a metodologia FMECA (SAE, 2001).

O propósito das metodologias FMEA e FMECA é estabelecer a forma como os ativos ou processos podem falhar ao cumprirem a sua função. A metodologia FMEA proporciona um método sistemático para identificar os modos de falha e os seus efeitos associados, tanto localmente, como globalmente. Durante o processo de tomada de decisão, quando a classificação da criticidade envolve a severidade, probabilidade de ocorrência ou detetabilidade (figura 4.4), a análise é conhecida como FMECA (BS, 2018).

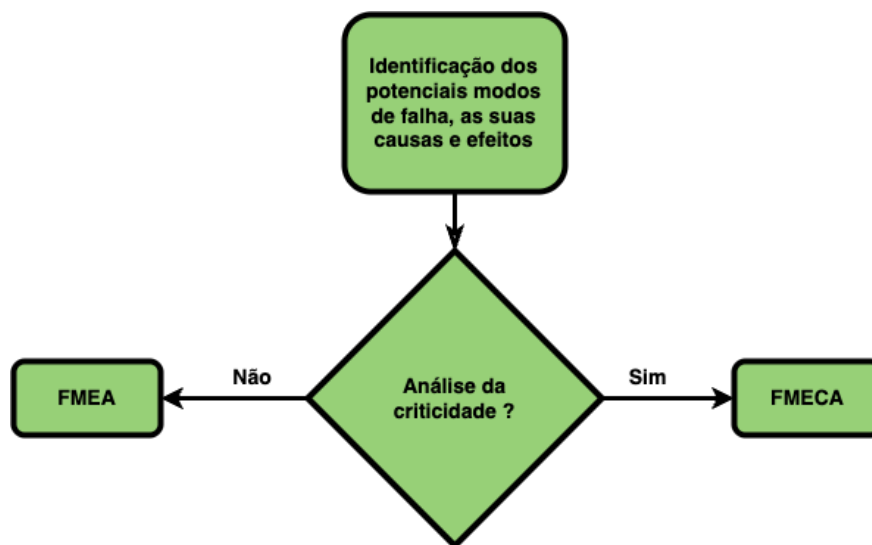


Figura 4.4 - FMEA VS FMECA (adaptado de Antunes, 2020).

A abordagem descrita na norma BS EN IEC 60812 (BS, 2018), que propõe uma distinção entre FMEA e FMECA, considera que a FMECA é composta por duas iterações (Antunes, 2020):

- Construção da FMEA onde são analisados os potenciais modos de falha e os seus efeitos, individualmente;
- Determinação da criticidade de cada potencial modo de falha, efetuando o cálculo do RPN. Após o cálculo individual do RPN, constrói-se um *ranking* de criticidade a fim de priorizar os potenciais modos de falha mais severos, para que sejam desencadeadas ações de carácter interventivo, visando a diminuição do nível de RPN, ou idealmente, a sua mitigação.

O RPN é obtido através do produto da severidade (S), da probabilidade de ocorrência (O) e da detetabilidade (D) dos modos falha:

$$RPN = S \times O \times D$$

A severidade descreve o efeito potencial da falha mais grave para o sistema e a detetabilidade refere-se à probabilidade de a falha ser detetada (Silva, 2021).

O processo RCM2 de John Moubray, juntamente com obras como *US Naval Aviation MIL-STD-2173* e *NES 45 – Naval Engineering Standard 45*, serviram como base de escrita da norma SAE JA-1011 – *Evaluation Criteria For RCM Process*, pela *Society of Automotive Engineers* (SAE) em 1999 (Silva, 2023). A norma tem como objetivo avaliar e dar suporte a qualquer processo que tem como objetivo ser estruturado como um processo RCM, analisando as especificações do processo, verificando que todos os pontos são aplicados. A norma SAE JA-1011 especifica os critérios mínimos de um processo para se poder denominar como um processo RCM (SAE, 1999).

Todo o detalhe e rigor do processo, tornou o RCM2 o processo mais seguido e implementado a nível mundial. Entre 2014 e 2019 Marius Basson e Theus Koekemoer, com base no processo criado por John Moubray, realizaram uma expansão do processo RCM2 com o intuito de considerar a gestão do risco das falhas. Assim, surgiu a variante RCM3 que adicionou uma estratégia para gestão do risco ao processo anteriormente desenvolvido. O processo RCM3 segue a norma SAE JA-1011, ultrapassando-a em alguns dos pontos, indo de encontro às exigências impostas pelas normas ISO de gestão do risco (Silva, 2023).

4.2 Implementação do processo RCM

A aplicação do processo RCM encontra-se assente em três pilares importantes, quando analisado de um ponto de vista macro, sendo estes o Planeamento, os Grupos de Revisão e os Facilitadores.

O sucesso da aplicação do processo depende de um planeamento rigoroso e estruturado, desta forma, procura-se que nesta fase sejam inseridos alguns pontos chave essenciais para o sucesso do RCM, dos quais se destacam:

- Decidir quais os ativos que têm maior probabilidade de beneficiar da aplicação do presente processo e de que forma será demonstrado esse benefício;
- Estimar quais os recursos necessários para aplicar o processo nos ativos anteriormente designados;
- Nos casos onde é tecnicamente e economicamente viável a aplicação do RCM, decidir qual será o grupo de trabalho e os auditores da análise RCM;
- Definir e estruturar de forma clara todo o contexto operacional do ativo a estudar.

Na secção 2 do presente documento, foram abordadas as 7 questões básicas que estão na base da aplicação do processo RCM, as mesmas devem ser respondidas de forma clara para o equipamento ou sistema a analisar (Moubray, 2000):

1. Qual a função do sistema/equipamento?
2. Qual a falha funcional?
3. Qual o modo de falha?
4. Qual o efeito de falha?
5. Quais as consequências do modo de falha?
6. Qual o tipo de manutenção necessária para mitigar o modo de falha?
7. Se nenhuma tarefa proativa for possível, deve-se adotar uma tarefa de busca de falha, executar um reprojeto ou optar por uma estratégia de manutenção corretiva?

Na prática, as sete questões referidas, devem ser respondidas no seio do grupo de trabalho, aquando da realização da análise. Assim nasce a necessidade de criação de um grupo multidisciplinar, com colaboradores de diferentes áreas, nomeadamente das áreas de operação/produção e manutenção. A figura 4.5, representa a constituição de um grupo de revisão RCM típico (Moubray, 2000).

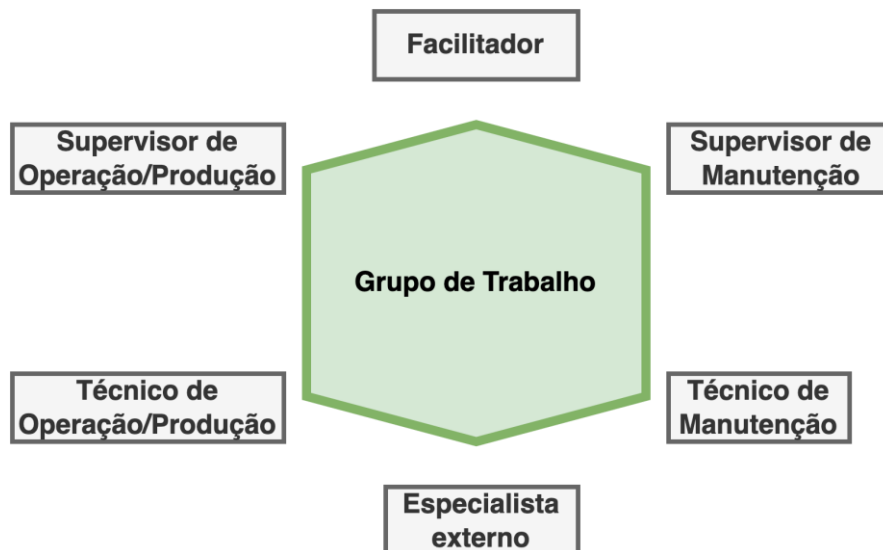


Figura 4.5 - Grupo de Revisão RCM (adaptado de Moubray, 2000).

A criação de um grupo de trabalho multidisciplinar permite também a transmissão de conhecimento entre as diversas áreas, possibilitando a cada elemento o conhecimento enriquecido do funcionamento do ativo no seu contexto operacional.

O grupo de revisão RCM deve ser orientado por um especialista altamente treinado no que diz respeito ao processo RCM, conhecido como Facilitador. O Facilitador RCM tem um papel essencial ao garantir que a análise é realizada a um nível correto, nem demasiado profundo, nem demasiado superficial, garantindo também que as fronteiras dos sistemas estudados sejam definidas com clareza. É também responsável pelo grupo de trabalho, procurando manter o consenso entre elementos de forma ordeira. Avalia o comprometimento individual de cada membro e assegura a transmissão de conhecimento relativamente ao processo RCM, garantindo a correta aplicação dos conceitos (Moubray, 2000).

A implementação do processo RCM deve assegurar a resposta às sete questões de forma ordenada, respeitando a sequência enunciada anteriormente. Para responder às questões de forma completa e metódica, deve ser seguida uma estratégia que visa a recolha da informação necessária e que auxilie no processo de tomada de decisão. Assim as seguintes secções do presente documento (4.2.1. a 4.2.7) dizem respeito à forma como deve ser estruturado o processo RCM, respeitando a ordem cujos mesmos se encontram enunciados.

4.2.1 Contexto operacional

O processo de manutenção centrada na fiabilidade surge como uma ferramenta que determina as ações de manutenção exigidas para um determinado ativo físico, no seu contexto operacional (Moubray, 2000). A definição e documentação do contexto operacional inclui informação técnica relevante para todo o processo RCM, funcionando como uma ferramenta centralizadora para toda a análise, devendo ser sempre desenvolvido numa fase anterior à análise RCM, com possibilidade de revisão quando necessário.

Uma correta aplicação do processo RCM, pressupõe uma clara compreensão do contexto operacional em que o ativo está inserido (SAE, 2002).

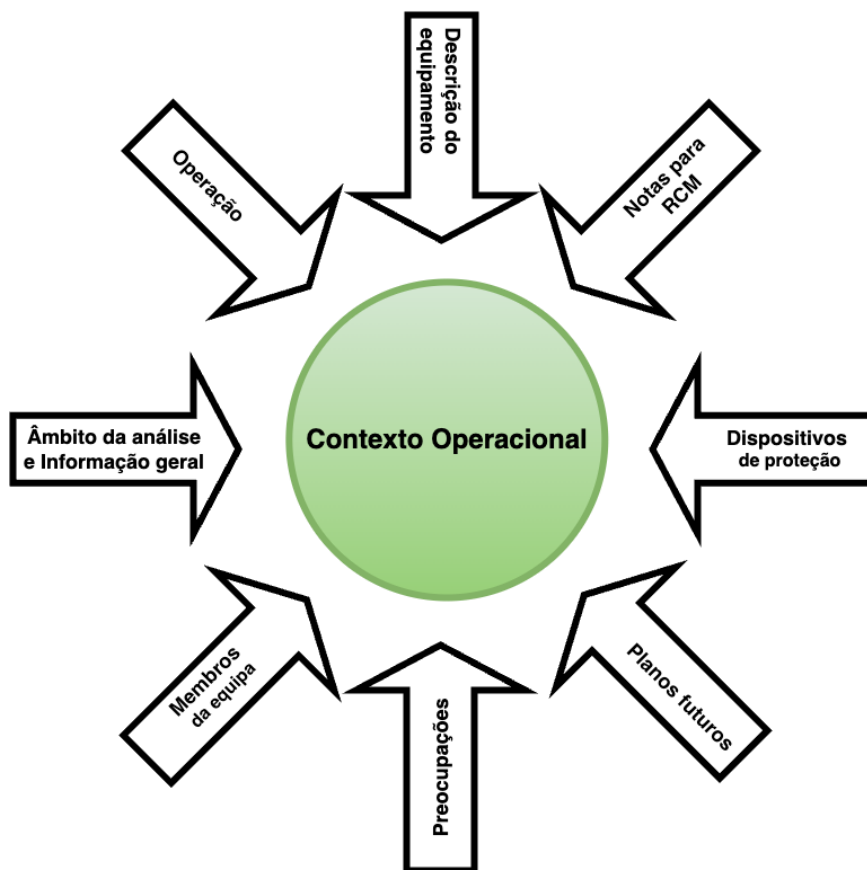


Figura 4.6 - Informação a constar no documento do contexto operacional.

Tal como se pode observar na figura 4.6, o contexto operacional deve ser descrito num documento que contenha diversas secções de informação, tais como:

- **Informação geral, propósito e uso:** onde se elabora uma descrição da organização e do sistema a ser analisado, a importância do sistema para a organização, o número de unidades, o tempo acumulado de funcionamento (ou se é um ativo novo), em que circunstâncias é operado, uma descrição do ambiente operacional, a indicação do tempo de operação diário, de que forma as falhas afetam a operação e a existência de redundâncias;
- **Âmbito da análise:** onde se define as fronteiras do sistema a estudar;
- **Operação:** com uma descrição detalhada do modo como o sistema opera, incluindo parâmetros específicos (por exemplo pressões ou temperaturas). Os parâmetros indicados devem refletir o que a organização espera e pretende do ativo e não as especificações de projeto;
- **Descrição do equipamento:** onde se descreve os componentes principais e subconjuntos que constituem o sistema ou ativo em análise (tais como tanques, bombas, motores, filtros, permutadores, etc.) incluindo as suas especificações e limitações operacionais;

- **Preocupações:** onde se enumeram os problemas ou questões relacionadas com o sistema ou ativo em análise;
- **Notas para RCM:** com os detalhes ou notas que possam dar suporte no processo de decisão durante a análise RCM;
- **Planos futuros:** onde se refere as potenciais alterações ao sistema ou ativo;
- **Membros da equipa:** com a indicação de informação importante relativa a cada elemento que constitui o grupo de trabalho.

A norma SAE JA1012:2002, no que respeita ao processo de elaboração do contexto operacional, apresenta também informações que complementam a informação apresentada anteriormente. Tais como (SAE, 2002):

- **Batch e processos contínuos:** Onde se define o modo como o ativo opera, ou seja, se opera num processo contínuo ou intermitente;
- **Padrões de qualidade:** Lista das exigências que garantem a qualidade do produto, seja ao nível do cliente ou operacional;
- **Normas ambientais:** Lista das normas ambientais, tanto ao nível da organização, como ao nível nacional e internacional;
- **Normas de segurança:** Impacto na segurança que o ativo possa ter;
- **Local de operação:** Condições do local onde o equipamento opera;
- **Intensidade das operações:** Tipo de operação, definindo qual o tempo de operação do ativo ou se o mesmo opera em carga máxima ou base.
- **Redundância:** Existência de uma alguma reserva ou redundância que proteja o ativo;
- **Operação em processo contínuo:** Existência de *stock* ou processos que permitam a paragem do equipamento, sem que falhe a produção;
- **Peças sobressalentes:** Plano de armazenamento de peças sobressalentes que caso não existam, quebrem a política de manutenção;
- **Mercado onde está inserido:** De que forma as flutuações do mercado ou do fornecimento de matérias-primas podem impactar as políticas para gestão de falha adotadas.

No processo de estudo RCM de um sistema de refrigeração do sistema de armas Pandur II 8x8, Silva (2021) refere que a primeira tarefa, após a definição do sistema, a ser estudada na análise RCM é a definição do contexto operacional. Neste caso em concreto, o contexto operacional foi definido tendo em consideração o clima e as condições do terreno das diversas regiões do país, onde o sistema é utilizado. Foi também considerada a tipologia de uso das viaturas (exercícios, treinos das forças, etc.) bem como o seu nível de utilização médio por ano.

4.2.2 Função

De um modo geral, a função de um ativo ou sistema designa-se como a atividade que um bem se destina a cumprir durante um determinado processo, requerida pelos seus utilizadores, segundo padrões de desempenho previamente especificados. Uma função corretamente descrita e detalhada torna-se essencial para o cumprimento e definição dos requisitos de manutenção de um determinado ativo. A mesma deve seguir uma metodologia base para ser definida, iniciando com um verbo, seguido de um objeto e por fim o seu padrão de desempenho (Moubray, 2000), como se pode verificar no seguinte exemplo:

“Variar a circulação do líquido refrigerante do circuito de refrigeração pequeno para o circuito de refrigeração grande quando atinge a temperatura de 75 °C”

(Silva, 2021)

Numa primeira instância devem ser identificadas todas as funções, as primárias, as secundárias ou funções relativas aos equipamentos de proteção (SAE, 2009). A função primária traduz o principal objetivo com que o ativo foi adquirido, fabricado ou projetado, cobrindo questões como velocidade, quantidade, capacidade de transporte ou armazenamento, qualidade do produto e serviço ao cliente. Já a função secundária, traduz todas as capacidades de um ativo, excetuando a sua função principal, definindo assim funções com impacto na segurança, operação, integridade estrutural, economia, proteção ambiental e até mesmo a estética do ativo (Moubray, 2000).

O método SF (*Significant Function Selection Logic*) trata-se de um método de seleção de tarefas, que “merecem” ser analisadas. A figura 4.7 mostra a árvore lógica que deve ser seguida durante esta seleção (Carretero et al., 2000):

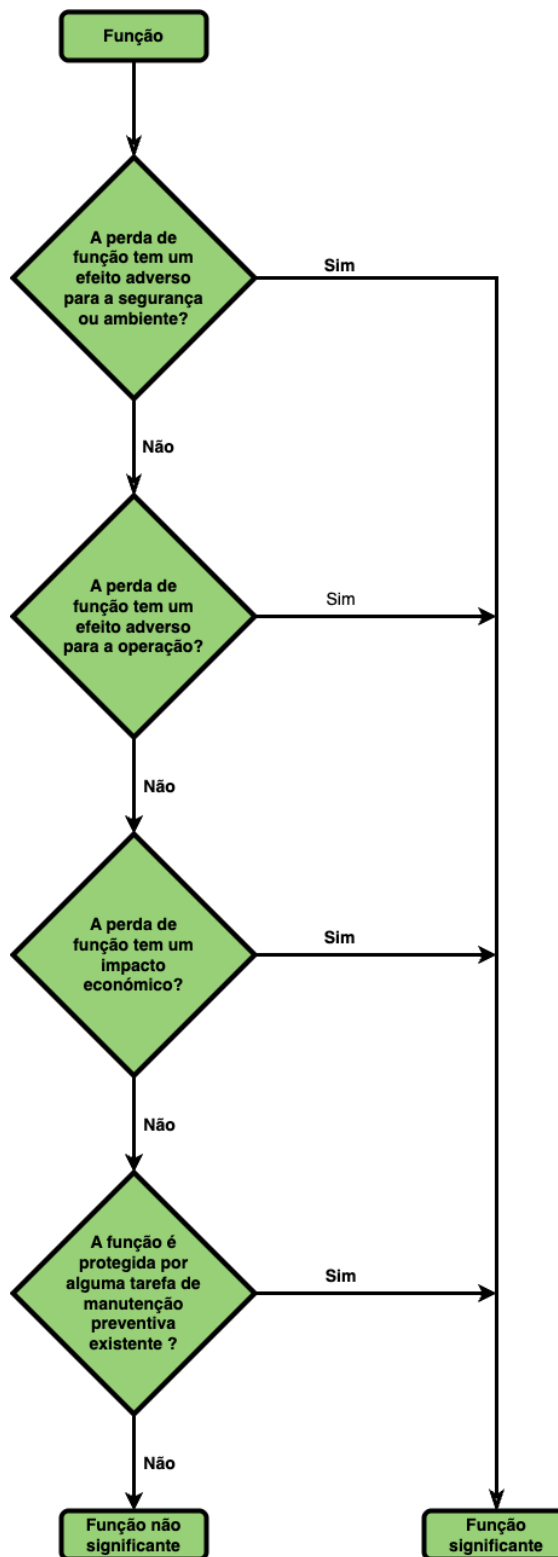


Figura 4.7 - Árvore lógica de seleção para funções (adptado de Carretero et al., 2000).

Tal como descrito anteriormente, um dos parâmetros essenciais no processo de definição de uma função, é a descrição dos padrões de desempenho. De um modo geral, os padrões de desempenho incorporados na descrição de uma função, devem ser os níveis de desempenho desejados para o ativo no seu contexto operacional. Este parâmetro torna-se essencial para a tomada de decisão, no decorrer de uma análise

RCM, uma vez que quando o desempenho do ativo desce abaixo do nível desejado, considera-se que o mesmo falhou (SAE, 2002). Tal permite uma tomada de decisão relativamente a ações que reponham o desempenho a um nível desejável no seu contexto operacional.

4.2.3 Falha funcional

Para cada função identificada, devem ser descritos os possíveis estados de falha funcional (SAE, 2009). Na presente secção, pretende-se analisar uma das sete questões abordadas no processo RCM, relativamente à forma como o ativo pode falhar no cumprimento das suas funções desejadas (questão 2 referenciada na secção 4.2 do presente documento). A falha funcional é definida como a incapacidade de qualquer ativo de cumprir a sua função, respeitando um padrão de desempenho aceitável (Moubray, 2000) ou genericamente falando, de que formas o ativo pode falhar no cumprimento das suas funções (SAE, 2009).

Direcionando esta informação para um caso prático, uma das funções de um motor *diesel* de baixa velocidade é transmitir um torque de 200 Nm a uma rotação de 91 rpm para um sistema de controlo. Nesta circunstância a perda de função poderá ocorrer das seguintes formas (ABS, 2018):

1. Incapaz de transmitir torque para sistema de controlo;
2. Transmitir um torque inferior a 200 Nm para o sistema de controlo;
3. Transmitir um torque superior a 200 Nm para o sistema de controlo;
4. Operar a uma rotação inferior a 91 rpm;
5. Operar a uma rotação superior a 91 rpm.

As falhas funcionais acima enumeradas, podem ser agrupadas em dois grupos distintos, falha funcional total e falha funcional parcial.

4.2.3.1 Falha funcional total e parcial

Existem dois tipos de falhas funcionais que são facilmente identificados. A perda de função de um bem, tanto pode ser total, como parcial. Considera-se uma **falha total**, aquela que proporciona uma total perda de função de um bem (SAE, 2002), como no exemplo anterior, relativo ao motor *diesel*, considera-se que a falha total será “**Incapaz de transmitir torque para sistema de controlo**” (ABS, 2018), facilmente identificada.

Já a **falha parcial**, resulta de uma falha que provoca apenas perda de alguns dos padrões de desempenho definidos na função (SAE, 2002), retomando o exemplo

anterior, este tipo de falha refere-se às falhas representadas nos **pontos 2,3,4 e 5** acima referenciados.

A sua análise deve ser realizada separadamente, uma vez que os modos de falha que provocam uma falha parcial, serão distintos dos modos de falha que causam a perda de função total, bem como as consequências associadas aos mesmos (SAE, 2002).

Exemplificando novamente a identificação dos dois tipos de falhas funcionais existentes, Silva et al. (2023), durante a implementação do processo RCM a uma central de produção de energia hidroelétrica, estudou o sistema de entrada de água que é composto por portas, cuja função principal é permitir a entrada de água quando a unidade geradora se encontra em funcionamento. Nesta situação, para a função descrita anteriormente, foram identificadas duas falhas funcionais, totalmente incapaz de permitir a entrada de caudal de água (falha total) e permitir a entrada de caudal insuficiente (falha parcial).

4.2.4 Modo de falha

Um modo de falha pode ser descrito como qualquer evento que pode levar qualquer ativo, processo ou sistema a um estado de falha (Moubray, 2000). Para além da causa associada ao estado de falha de um ativo, o MF define também qual o mecanismo da falha, permitindo ao grupo de trabalho identificar a sua causa raiz, com um nível de detalhe adequado (Silva, 2023). Deve haver um cuidado especial no que diz respeito aos tipos de verbos utilizados na descrição dos Modos de Falha, dado que os mesmos podem influenciar o processo de gestão da falha. Verbos como “falhar”, “quebrar” ou “mau funcionamento” devem ser utilizados de uma forma moderada, uma vez que os mesmos dão pouca ou nenhuma indicação relativamente ao modo como deve ser executada a gestão da falha. O uso de verbos específicos torna possível uma seleção adequada de estratégias de manutenção para mitigação da falha.

Tomando como exemplo o estudo dos MF associados a um acoplamento, referir o modo de falha “Acoplamento em falha” não dá qualquer indicação do que deve ser feito para antecipar ou prever a falha. No entanto caso seja referido “parafusos do acoplamento soltos” ou “cubo do acoplamento falha por fadiga”, torna-se mais facilitada a identificação de uma possível ação de manutenção proativa (Moubray, 2000).

As listas de Modos de Falha mais tradicionais contemplam falhas causadas pela deterioração ou desgaste normal. Contudo a mesma lista deve também conter falhas causadas por erros humanos (pelos operadores ou pelos técnicos de manutenção), por imperfeições associadas à fase de projeto do ativo ou por qualquer razão que possa causar uma falha no ativo, permitindo assim uma seleção de tarefas apropriadas

(Aladon, 2016). Durante a listagem dos diversos MF, é importante identificar apenas os Modos de Falha cuja probabilidade de ocorrência seja “razoável”, podendo haver divergências na definição de “razoável” nas diversas organizações e aplicações da metodologia (BS, 2009). Devem também ser incluídos os MF já identificados e ocorridos anteriormente, que possam estar atualmente a ser mitigados pela estratégia de manutenção em vigor, bem como modos de falha que nunca tenham sido verificados, mas que sejam prováveis de ocorrer durante o contexto operacional do ativo (SAE, 2009).

Durante esta fase do processo, para cada falha funcional devem ser listados todos os modos de falha prováveis de ocorrer. O método utilizado para análise da probabilidade de ocorrência do modo de falha, deve ser discutido e acordado entre o grupo de trabalho e o detentor ou utilizador do ativo.

A análise dos MF pode ser realizada a diversos níveis de detalhe, no entanto, o detalhe da análise deve respeitar a possibilidade de criar uma política de gestão da falha adequada (SAE, 2009).

4.2.5 Efeito da Falha

O efeito de falha descreve o que acontece quando ocorre um modo de falha. A descrição do efeito deve conter todas as informações necessárias que deem suporte à avaliação das consequências da falha (Moubray, 2000). Deve conter a informação necessária que suporte a avaliação das consequências do modo de falha, devendo conter (SAE, 2009):

- Qual a evidencia da ocorrência da falha (caso a falha seja oculta, deve ser descrito o efeito da falha múltipla);
- Informação relativamente aos riscos ao nível de segurança e ambiente;
- Informação que refira um possível impacto na produção ou operação;
- Se ocorre algum dano físico provocado pela falha;
- O que deve ser feito para repor a função do sistema, após a falha.

Um dos objetivos principais do processo de definição do efeito de falha é o estabelecimento de ações de manutenção, nesse sentido, deve ser assumido o efeito da falha, caso nenhum tipo de manutenção seja realizado para prevenir a ocorrência da mesma (Moubray, 2000).

4.2.6 Consequência da Falha

As consequências relativas a cada MF devem ser categorizadas de acordo com (SAE, 2009):

- O processo de categorização da consequência deve ser diferenciado para falhas evidentes e falhas ocultas;
- O processo deve realizar uma distinção clara de eventos que produzam impacto na segurança ou ambiente, dos que resultem num impacto económico (operacional ou não operacional).

A avaliação das consequências da falha deve ser realizada tendo em conta que nenhum tipo de tarefa é executado para antecipar, prever ou detetar a falha (SAE, 2009).

4.2.6.1 Diagrama de decisão

O processo de tomada de decisão, no diz respeito à identificação de tarefas e estratégias de mitigação de risco, orienta-se pelo diagrama de decisão (anexo A). O diagrama de decisão trata-se de uma árvore lógica que elabora uma série de questões relacionadas com a ocorrência das falhas, bem como as suas consequências/impactos, estas devem ser respondidas de acordo com a informação reunida ao longo do processo de aplicação do RCM2. As respostas às questões enunciadas no diagrama de decisão permitem registar (Moubray, 2000):

- Qual a rotina de manutenção que deve ser realizada, qual a sua frequência e quais os responsáveis?
- Quais as falhas que justificam um reprojeto?
- Quais os casos em que, de uma forma deliberada, deve ser tomada a decisão de deixar a falha ocorrer?

Este fluxograma denominado diagrama de decisão, serve-se de um grupo de respostas “sim e não” cujo objetivo é a classificação e caracterização de um determinado acontecimento. Serão as respostas às diversas questões colocadas pela árvore lógica de decisão, que no final, indicarão qual o grau de importância de cada modo de falha, bem como a ação de manutenção a aplicar para o seu controlo.

O diagrama de decisão estabelece quais as estratégias a adotar para os diversos tipos de falhas, sejam as mesmas com consequências ocultas, para a segurança ou ambiente, operacionais ou não operacionais:

- **Falhas com consequências ocultas:** Uma tarefa de manutenção preventiva vale a pena ser realizada se reduzir o risco de falha múltipla associada à função,

para um nível razoavelmente baixo. Se uma tarefa de busca de falha adequada não for encontrada e se a falha múltipla não tiver consequências para a segurança ou ambiente, deve adotar-se uma política de nenhuma manutenção programada. Caso contrário, será mandatário a execução de um reprojeto;

- **Falhas com consequências para a segurança ou ambiente:** Uma tarefa de manutenção preventiva só vale a pena ser aplicada se reduzir por si só o risco de falha a um nível muito baixo, caso não seja possível a sua eliminação. Se não for encontrada uma tarefa que reduza o risco a um nível razoavelmente baixo, o ativo tem de ser obrigatoriamente alvo de um reprojeto. Em alternativa deve ser alterado obrigatoriamente o processo de operação/manutenção;
- **Falhas com consequências operacionais:** Uma tarefa de manutenção preventiva só vale a pena ser aplicada se o custo da tarefa, durante um espaço temporal, for inferior ao custo das consequências operacionais, bem como o custo de reparação durante o mesmo período. Noutras palavras, a tarefa tem de ser justificada numa base económica. Se não for justificada tal tarefa, a decisão deve passar pela adoção de uma política de nenhuma manutenção programada. Caso a consequência operacional não seja aceitável, opta-se pela execução de um reprojeto;
- **Falhas com consequências não operacionais:** Uma tarefa de manutenção preventiva só vale a pena ser aplicada se o custo da tarefa, durante um espaço temporal, for inferior ao custo das consequências operacionais, bem como o custo de reparação durante o mesmo período. À semelhança das falhas com consequências operacionais, as decisões relativas às tarefas com consequências não operacionais devem também ser justificadas numa base económica. Se a mesma não puder ser justificada, a decisão deve passar pela adoção de uma política de nenhuma manutenção programada. Se os custos de reparação assumirem valores demasiado elevados opta-se, uma vez mais, pela execução de um reprojeto.

As decisões acima referidas para cada efeito de falha, resultam das respostas às questões estabelecidas pelo diagrama de decisão pela sua ordem sequencial. A aplicação desta árvore lógica pretende encontrar, caso exista, as ações de manutenção preventiva que deveriam ser implementadas para o controlo de cada modo de falha. Caso nenhuma ação de manutenção preventiva seja adequada e eficaz, todo o processo indica como alternativa o reprojeto do ativo ou adoção de uma estratégia de nenhuma manutenção programada, consoante a consequência do modo de falha. É de salientar que o diagrama de decisão apenas deve ser percorrido, quando todo o grupo de trabalho estiver de acordo relativamente ao efeito de cada modo de falha.

4.2.7 Política de gestão da falha

A seleção do processo de gestão de falha deve ser realizada tendo em consideração a probabilidade de ocorrência da falha. Em alguns casos, a probabilidade pode diminuir consoante o tempo de operação, noutros pode aumentar ou até mesmo não ser afetada pela vida útil do ativo. Todas as tarefas programadas devem ser tecnicamente e economicamente viáveis (SAE, 2009).

4.2.7.1 Política de gestão da falha – Tarefas programadas

As tarefas programadas devem contemplar os seguintes critérios (SAE, 2009):

- No caso de ser uma falha evidente com impacto na segurança ou ambiente, a tarefa deve ser capaz de reduzir a probabilidade de ocorrência para um nível tolerável;
- No caso de ser uma falha oculta, onde a falha múltipla associada tem impacto para a segurança ou ambiente, a tarefa de manutenção deve ser capaz de reduzir a probabilidade de ocorrência da falha oculta, visando a redução da probabilidade da falha múltipla a um nível tolerável;
- No caso de ser uma falha evidente, cujo impacto não seja para a segurança ou ambiente, os custos diretos e indiretos da tarefa que mitiga a falha, devem ser inferiores aos custos diretos e indiretos associados à ocorrência da falha no mesmo espaço temporal.;
- No caso de ser uma falha oculta, associada a uma falha múltipla cujo impacto não seja para a segurança ou ambiente, os custos diretos e indiretos associados à tarefa mitigadora devem ser inferiores aos custos associados à ocorrência da falha múltipla, somados com os custos da reparação do modo de falha oculto, durante o mesmo espaço temporal.

1. Tarefas sob condição

Qualquer tarefa sob condição definida deve satisfazer os seguintes critérios (SAE, 2009):

- Deve existir uma clara falha potencial;
- Deve existir um intervalo P-F identificável;
- O intervalo definido para a execução da tarefa deve ser inferior ao período P-F;

- Deve ser possível execução da tarefa definida numa periodicidade inferior ao período P-F;
- O mínimo intervalo P-F deve ser longo o suficiente, de forma a garantir uma possível execução de uma tarefa que mitigue o MF durante o intervalo definido.

2. Tarefas de descarte programado

Qualquer tarefa de descarte programado definida deve satisfazer os seguintes critérios (SAE, 2009):

- Deve ser evidente, e se possível, demonstrada uma idade a partir do qual a probabilidade de ocorrência do modo de falha, em análise, aumenta;
- Grande parte das ocorrências relacionadas com o modo de falha em análise devem ocorrer após a idade definida para o descarte do ativo, de forma a reduzir a falha prematura a um nível tolerável.

3. Tarefas de restauro programado

Qualquer tarefa de restauro programado definida deve satisfazer os seguintes critérios (SAE, 2009):

- Deve ser evidente, e se possível, demonstrada uma idade a partir do qual a probabilidade de ocorrência do modo de falha, em análise, aumenta;
- Grande parte das ocorrências relacionadas com o modo de falha em análise devem ocorrer após a idade definida para o restauro do ativo, de forma a reduzir a falha prematura a um nível tolerável.
- A tarefa definida deve garantir o restauro da condição do ativo a um nível tolerável.

4. Tarefas de busca de falha

Qualquer tarefa de busca de falha definida deve satisfazer os seguintes critérios (as tarefas de busca de falha não são aplicáveis para falhas evidentes) (SAE, 2009):

- A seleção do intervalo de busca de falha deve ter em consideração que a probabilidade da falha múltipla associada ao sistema protegido deve ser reduzida a um nível tolerável.
- A tarefa definida deve confirmar que todos os componentes cobertos pelo modo de falha são funcionais;

- Deve ser possível a execução física da tarefa no intervalo especificado.

4.2.7.2 Política de gestão da falha – Reprojeto e *Wait and See*.

1. Reprojeto

O processo RCM foca-se na disponibilização da *performance* desejada para um determinado sistema, tal como se encontra configurado e operado, recorrendo à aplicação de estratégias/tarefas de manutenção programadas. No entanto, por vezes, não são identificadas qualquer tipo de tarefas que cumpram o objetivo, para tal, é necessário recorrer a reprojeto/modificações ao ativo ou sistema, segundo os seguintes critérios (SAE, 2009):

- Nos casos em que a falha é oculta e a falha múltipla associado possui consequências relevantes para a segurança e para o ambiente, deve ser implementado um reprojeto com o objetivo de reduzir a probabilidade de ocorrência de falha múltipla a um nível tolerável;
- Nos casos em que a falha é evidente e possui impacto ao nível da segurança e ambiente, deve ser implementado um reprojeto com o objetivo de reduzir a probabilidade de ocorrência de falha múltipla a um nível tolerável;
- Nos casos em que a falha é oculta e a falha múltipla associada não possui qualquer impacto para a segurança ou ambiente, deve ser analisado o custo-benefício da execução de um reprojeto;
- Nos casos em que a falha é evidente e não possui impacto para a segurança ou ambiente, deve ser analisado o custo-benefício da execução de um reprojeto.

2. *Wait and See*

Qualquer política *Wait and See* adota, deve seguir os seguintes requisitos (SAE, 2009):

- Nos casos em que a falha é oculta ou evidente e não existe uma tarefa de manutenção programada eficaz, não pode existir uma falha múltipla cujo impacto seja para a segurança ou ambiente.

4.2.8 Documentação da análise RCM

A informação e os resultados obtidos através da implementação do processo RCM devem ser documentados, garantindo que a documentação da análise providencie (ABS, 2018):

- A facilitação da verificação e validação dos resultados da análise RCM pelos gestores responsáveis;
- A capacidade de auditoria dos resultados da análise RCM, garantindo a possibilidade de rever e auditar a informação pelas partes interessadas;
- A definição de uma linha base/guia, uma vez que para muitas organizações, a análise RCM é o primeiro contacto com uma metodologia de análise sistemática. Uma análise documentada e estruturada providencia uma excelente ferramenta para o estabelecimento de uma linha guia para a operação do sistema. Esta informação pode ser utilizada para uma avaliação do efeito das mudanças implementadas, bem como a possibilidade de avaliar outras ações de gestão do risco associado às atividades;
- A preservação do conhecimento da organização, uma vez que o grupo de análise RCM concentra uma grande parte do conhecimento de uma organização. Documentar a análise representa um meio de aprovisionamento do conhecimento das equipas, garantindo também a sua transmissão ao longo do tempo;
- A garantia de um programa RCM “vivo”. Enquanto os resultados RCM são implementados e os dados recolhidos, a análise deve ser atualizada periodicamente. A atualização da análise providencia uma oportunidade para a equipa RCM reavaliar as decisões baseadas na atual informação relativamente à falha e considerar novas oportunidades de melhoria. Sem uma análise RCM documentada, o processo de atualização dos resultados pode ser dispendioso e moroso.

Durante o processo de documentação da análise RCM devem ser seguidos passos que envolvam informação relativa aos resultados obtidos em cada passo da análise, bem como a descrição das ferramentas de decisão utilizadas e informação pertinente relacionada com cada passo do processo, nomeadamente, equipamentos excluídos da análise (ABS, 2018).

4.3 Processo RCM2 vs RCM3

O processo RCM2 foi aceite e reconhecida no meio industrial como uma das principais metodologias de aplicação do processo de manutenção centrada na fiabilidade. A constante atualização dos processos industriais e o acréscimo das necessidades e dos desafios da atualidade resultaram na necessidade de alterar e desenvolver o RCM2 (apesar de a mesma ser bastante completa), tendo surgido o RCM3. (Silva, 2021)

O RCM3 define-se como um processo utilizado para definir a quantidade mínima necessária de manutenção, engenharia e outras estratégias de gestão de riscos, com o objetivo de garantir um nível tolerável de segurança, integridade ambiental e capacidade operacional eficaz em termos de custos, conforme especificado no processo de gestão de ativos de cada empresa. Tal como na versão anterior do processo de manutenção centrada na fiabilidade, para uma correta aplicação, será necessário definir qual o sistema/ativo a estudar, bem como as fronteiras associadas ao mesmo, realizar uma descrição detalhada do contexto operacional em que o ativo está inserido e detalhar a um plano de ação (Aladon, 2016). Para tal, à semelhança do realizado no RCM2, no que diz respeito às 7 questões a ter em conta para a aplicação do processo, no RCM3 serão necessárias responder a 8 questões (Holt et al., s.d.)

1. Quais são as condições de operação?
2. Quais são as funções do ativo e os padrões de desempenho?
3. De que formas o ativo pode falhar?
4. Quais são as causas de cada falha?
5. O que acontece quando ocorre a falha?
6. Quais são os riscos associados a cada falha?
7. O que deve ser feito de forma a reduzir o risco intolerável a um nível tolerável?
8. O que pode ser feito, que seja economicamente viável, para reduzir um risco tolerável?

O RCM3 estendeu o processo RCM2, não só ao priorizar a definição do contexto operacional na sequência de passos a seguir durante a implementação do processo, como ao focar a análise de risco, tanto ao nível físico, como económico, incluindo assim nove fases que devem ser seguidas (Aladon, 2016):

1. Elaboração do contexto operacional;
2. Definição das funções e padrões de desempenho;
3. Descrição dos estados de falha;
4. Análise dos modos de falha;
5. Descrição dos efeitos da falha;
6. Análise das consequências dos modos de falha;
7. Identificação e análise dos riscos;
8. Análise do risco de tarefas de manutenção proativa;
9. Definição das tarefas que mitigam os modos de falha.

Para uma distinção clara entre as fases que constituem os processos RCM2 e RCM3, elaborou-se um quadro resumo comparativo entre ambos:

Tabela 4.1 - Comparação entre o processo RCM2 VS RCM3 (adaptado de Aladon, 2018).

Elemento RCM	RCM2	RCM3
Contexto operacional	O contexto operacional é considerado ao longo do processo. É essencial no que diz respeito à definição de funções e modos de falha, bem como nas estratégias adotadas para gerir a falha. O contexto operacional é considerado importante, porém não é um requisito obrigatório.	É considerado o primeiro passo e estratégia do processo RCM3. Torna-se essencial para uma boa análise e gestão do risco.
Funções	Requere a definição das funções primárias e secundárias, associando também os respetivos padrões de desempenho.	Requere a definição das funções primárias e secundárias, associando também os respetivos padrões de desempenho. Porém expande as funções secundárias a situações relacionadas com a limpeza, regulamentação e situações de reciclagem, incluindo maior foco na sustentabilidade e integridade ambiental.
Falhas funcionais	As falhas funcionais reconhecem o estado de falha: <ul style="list-style-type: none"> • Estado de falha geral; • Estado de falha total; • Estado de falha parcial. 	As falhas funcionais são definidas como estado de falha e reconhece a diferença entre: <ul style="list-style-type: none"> • Estado de falha geral; • Estado em falha; • Estado quando já ocorreu a falha; • Estado no final da falha.
Modos de falha	O modo de falha é definido como um evento que causa uma falha funcional. O Facilitador e o grupo de trabalho devem confirmar regularmente o nível de detalhe de análise que estão a realizar.	Define um modo de falha como uma “causa” e um “mecanismo” que causam o um estado de falha. Isto permite ao Facilitador / grupo de revisão identificar as causas principais de forma consistente e com o nível de detalhe adequado.
Efeitos de falha	O efeito de falha é definido num parágrafo, que descreve o que acontece caso aconteça o modo de falha, se nada for feito.	O efeito de falha é definido num parágrafo, que descreve o que acontece caso aconteça o modo de falha, se nada for feito, porém o efeito é dividido em três níveis diferentes: <ul style="list-style-type: none"> • Efeito local; • Efeito a um nível superior; • Efeito final; • Efeito no pior cenário.

Consequências vs Risco	<p>Considera a consequência de cada falha e categoriza-as em quatro categorias distintas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oculta; • Segurança/ambiental; • Operacional; • Não operacional. 	<p>Considera o risco “físico” e económico e divide a consequência oculta em duas categorias distintas, risco oculto físico e risco oculto económico. O risco físico é considerado todo aquele que tem impacto na saúde, segurança e ambiente, enquanto o risco económico é considerado aquele que tem impacto operacional, na capacidade e no bem-estar financeiro.</p>
Risco inerente	<p>Direciona de forma subjetiva para o risco, apenas no caso de falhas com impacto na segurança e no ambiente.</p>	<p>Define diretamente o risco e a sua gestão é baseada na norma ISO 31000.</p>
Diagrama de decisão	<p>O diagrama de decisão trata as falhas ocultas de uma só forma. O processo de decisão considera as tarefas de manutenção preditiva e preventiva, como uma estratégia proativa de gestão da falha e de busca de falha. Os reprojets e a manutenção programada são considerados como ações <i>default</i>. A combinação de tarefas é também vista como uma ação <i>default</i>.</p>	<p>Incorpora critérios adicionais para identificar falhas ocultas com risco “físico” e económico. Processo foca na fiabilidade do ativo protegido. O risco económico é considerado em primeiro lugar. A estratégia de mitigação definida deve diminuir substancialmente o risco operacional intolerável. O RCM3 resulta num processo defensivo para a mitigação do risco.</p>
SAE JA1011/1012	<p>O RCM2 cumpre na totalidade os requisitos mínimos dispostos nas normas SAE JA1011 e SAE JA1012.</p>	<p>O RCM3 cumpre na totalidade os requisitos mínimos dispostos nas normas SAE JA1011 e SAE JA1012. Estando também alinhado com os requisitos expostos na ISO 55000 e ISO 31000.</p>

A maior diferença entre o processo RCM2 e RCM3 é a forma como são tratadas as falhas. A distinção clara entre falhas evidentes e ocultas é o foco de ambos os processos, adequando a estratégia de manutenção consoante o caso, porém, adicionalmente o RCM3 distingue também o tipo de risco, ou seja, se o mesmo é tolerável ou intolerável.

O processo RCM3 resultou num novo modo de definir as estratégias de manutenção e de gestão de risco. O RCM3, cumpre integralmente com os requisitos da norma SAE Standard JA1011, alinhando-a com as normas ISO de gestão do risco, nomeadamente a norma ISO 31000, indo ao encontro de uma correta aplicação de todas as fases do RCM, em simultâneo (Basson, 2018).

4.3.1 Processo de Gestão do Risco (Norma ISO 31000)

Como já referido anteriormente, o processo RCM3 apresenta uma evolução significativa em relação ao RCM2, ao integrar os princípios de gestão do risco durante a tomada de decisão relativamente às estratégias de manutenção. Neste contexto, a norma ISO31000 estabelece diretrizes para gestão do risco, fornecendo um enquadramento estruturado e sistemático a ser seguido durante o processo RCM3. O processo RCM3 ao estar alinhado com os requisitos da norma ISO31000, garante que as decisões estejam fundamentadas não só por critérios técnicos e económicos, mas também por critérios de gestão e avaliação do risco, que visam a redução/mitigação de impactos críticos para a organização ou partes interessadas.

Como já referido, o procedimento de gestão do risco deve fazer parte do processo de gestão e de tomada de decisão. Deve também ser parte integrante da estrutura, da operação e dos demais procedimentos de uma organização, podendo ser aplicado ao nível estratégico, operacional, da programação e do projeto. Este processo de gestão do risco é ilustrado na figura 4.8 (ISO, 2018):

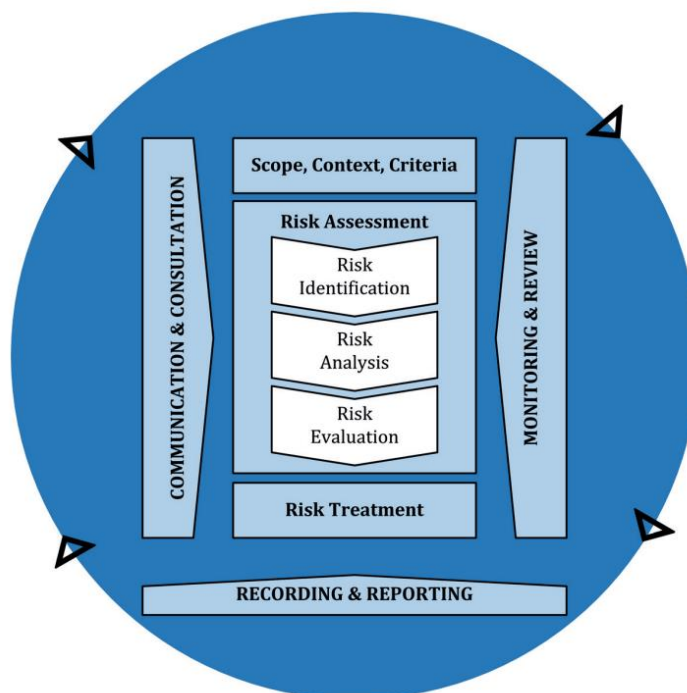


Figura 4.8 - Processo de gestão do risco (ISO, 2018).

O processo de gestão do risco é normalmente elaborado de forma sequencial, respeitando os seguintes pontos ordenadamente.

1. Comunicação e consultoria:

O objetivo da comunicação e da consultoria é auxiliar as partes interessadas a compreender o risco, a fundamentação das decisões e a necessidade de determinadas

ações. A comunicação visa à sensibilização e esclarecimento sobre o risco, enquanto a consultoria recolhe opiniões e informações que suportam o processo de tomada de decisão. A comunicação e consultoria com os diversas partes interessadas, tanto internas, como externas, devem fazer parte de todos os passos do processo de gestão do risco, tendo como objetivos (ISO, 2018)

- Agregação de diferentes áreas de especialização no processo de gestão do risco;
- Garantia da consideração de diversos pontos de vista;
- Recolha de informação suficiente para facilitar a supervisão do risco e a tomada de decisão;
- Construção de uma sensação de inclusividade perante todas as partes interessadas afetadas pelo risco.

2. Âmbito, contexto e critérios:

Estabelecer o âmbito, o contexto e os critérios durante o processo de gestão do risco permite uma avaliação e um tratamento adequado do risco, definindo o âmbito do processo, entendendo tanto o contexto interno, como externo e aplicando os critérios adequados ao processo.

O âmbito deve incluir os objetivos e as decisões que devem ser tomadas, as ferramentas e a técnicas a usar durante a avaliação de risco, os recursos necessários, as responsabilidades e os relatórios a realizar, bem como as relações com outros projetos, processos e atividades que possam existir.

O contexto deve incluir o ambiente externo e interno em que a organização opera, refletindo também o ambiente em que as atividades associadas à aplicação do processo de gestão de risco estão inseridas. É importante o estabelecimento do contexto, uma vez que a gestão do risco está apoiada no contexto da organização e das suas atividades, podendo os fatores organizacionais serem uma fonte de risco.

No processo de definição de critérios, a organização deve definir a quantidade e o tipo de risco que pode ou não ser aceitável, tendo em consideração os seus objetivos. Também deve estabelecer critérios para avaliar a relevância do risco e apoiar a tomada de decisão, alinhando-os ao quadro de gestão de risco e ao contexto das atividades (ISO, 2018).

Nível de risco	Amplitude do coeficiente de risco	Aceitabilidade	Alerta
Nível 1 risco	Coeficiente de risco entre 1 e 30	Aceitável	Verde
Nível 2 risco	Coeficiente de risco entre 30 e 40	Aceitável	Amarelo
Nível 3 risco	Coeficiente de risco superior a 40	Inaceitável	Vermelho

Figura 4.9 - Exemplo de critério que estabelece o nível do risco (adaptado de Xu et al., 2023).

Esses critérios devem refletir os valores, objetivos e recursos da organização, bem como a conformidade com as suas políticas e obrigações, considerando as perspectivas das partes interessadas. Na definição de critérios devem ser considerados (ISO, 2018):

- A natureza e o tipo de incertezas que podem afetar os objetivos (tangíveis e não tangíveis);
- A forma como as consequências devem ser definidas e medidas;
- Fatores relacionados com o tempo;
- A forma como o nível de risco é determinado;
- A forma como os riscos múltiplos serão tidos em conta;
- A capacidade da organização.

3. Avaliação de risco:

O processo de avaliação de risco foca na identificação, análise e avaliação dos riscos. Deve ser um processo metódico, conduzido pela interatividade e colaboração entre as diversas partes interessadas, garantindo a passagem de conhecimento e a visão de cada uma.

A identificação do risco tem como principal objetivo a recolha, descrição e reconhecimento dos riscos que possam causar o incumprimento dos objetivos de uma determinada organização. Durante a identificação, devem ser tidos em conta diversos fatores, dos quais (ISO, 2018):

- Fontes de risco;
- Ameaças e oportunidades;
- Vulnerabilidades e capacidades;

- Mudanças no contexto interno e externo;
- Consequências os impactos nos objetivos da organização;
- Limitações de conhecimento e a fiabilidade da informação.

Posteriormente à identificação do risco, deve ser realizada uma análise do mesmo, com o objetivo de compreender a sua natureza e as suas características, incluindo o nível do risco. A análise do risco envolve um estudo detalhado da incerteza, das fontes de risco, das consequências, da probabilidade, eventos, etc. Um evento associado a um risco, pode conter múltiplas causas e pode afetar múltiplos objetivos. A análise de risco fornece uma contribuição para a avaliação do risco, no que diz respeito a decisões relativamente às necessidades e formas como riscos devem ser tratados, a estratégias e métodos mais apropriados para o tratamento do risco.

A avaliação de risco tem como propósito dar suporte às decisões que devem ser tomadas, comparando os resultados obtidos através de uma análise de risco com os critérios definidos pela organização para gestão do risco, determinando quais as ações e medidas adicionais a implementar. As decisões decorrentes da avaliação efetuada devem ser comunicadas pelas diferentes áreas da organização (ISO, 2018).

4. Processo de tratamento do risco

O propósito do processo de tratamento do risco é a seleção e implementação de formas de lidar com o mesmo. Existem diversas opções no que diz respeito aos métodos para tratamento do risco, podendo os mesmos variar consoante as circunstâncias, tais como (ISO, 2018):

- Evitar o risco, decidindo não iniciar ou continuar atividades que resultem num acréscimo do risco;
- Não seguir uma oportunidade que resulte num aumento do risco;
- Remover a fonte do risco;
- Reduzir a probabilidade de ocorrência do risco;
- Alterar as consequências que advêm do risco;
- Reter e assumir o risco de forma responsável e informando as diversas partes interessadas.

As formas de gestão/tratamento do risco selecionadas devem ser compreendidas e monitorizadas pelas partes envolvidas no processo. Para tal, é necessário elaborar planos de ações de tratamento do risco que demonstram a forma como essas mesmas ações vão ser implementadas. Estes planos devem incluir (ISO, 2018):

- Os benefícios da aplicação dos métodos para tratamento do risco;
- Quem são os responsáveis pela aprovação e implementação do plano;
- As ações propostas;
- Os recursos necessários;
- As medidas de performance;
- Os constrangimentos;
- Como será realizado o reporte e a monitorização;

4.3.2 Monitorização e revisão

A monitorização e revisão asseguram e aumentam a qualidade, a eficácia do projeto, a implementação e os resultados dos processos. A monitorização contínua e a revisão periódica do processo de gestão de riscos devem fazer parte do planeamento do processo de gestão de riscos, responsabilizando as áreas envolvidas. A monitorização e revisão incluem o planeamento, recolha e análise da informação, o registo de resultados e o *feedback* (ISO, 2018).

4.3.3 Documentação e report

Todo o processo de gestão do risco deve ser documentado e distribuído pelos diferentes organismos de uma organização. O *report* da informação associada ao processo de gestão do risco, tem como objetivo:

- Comunicar as atividades de gestão do risco aos diversos organismos de uma organização;
- Providenciar informação de suporte à tomada de decisão;
- Melhorar as atividades associadas à gestão do risco;
- Auxiliar na interação entre as partes interessadas, incluindo as que têm responsabilidades perante a gestão do risco.
-

5 A empresa CP – Comboios de Portugal

5.1 Identificação, localização e estrutura

A CP – Comboios de Portugal é uma empresa pública de transporte ferroviário detida 100% pelo Estado. Controla empresas na esfera dos fornecimentos no setor, designadamente nas áreas de manutenção de material circulante, formação, cuidados de saúde e mediação de seguros e detém participações minoritárias casuísticas, numa lógica de cooperação, com outros operadores (CP, 2024).

O Grupo presta os seguintes serviços (CP, 2024):

- Transporte Ferroviário de Passageiros;
- Manutenção de material circulante, tanto próprio como de outros Operadores de Transporte;
- Formação Técnica;
- Medicina no trabalho, tanto a Empresas como a Particulares.

O seguinte esquema apresenta as diferentes participações da CP e as suas empresas participadas:

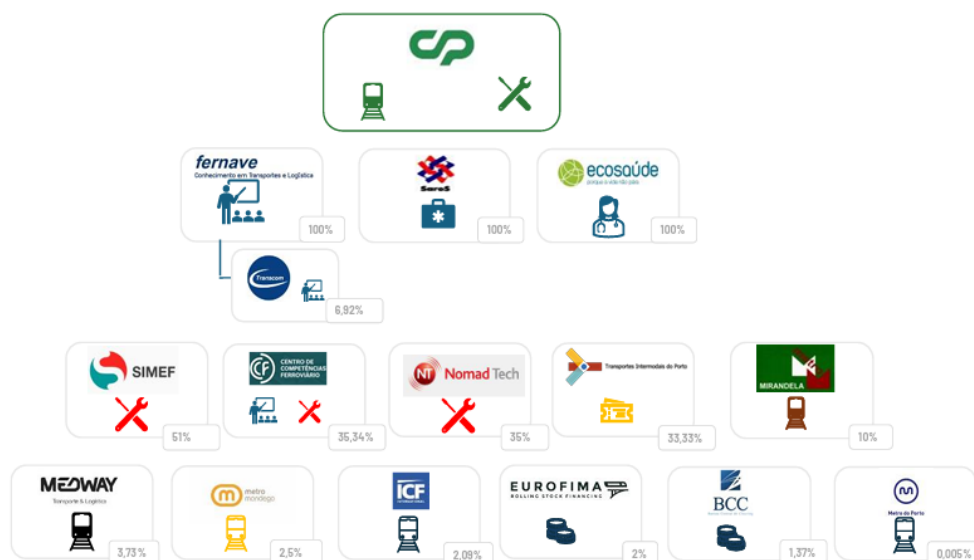


Figura 5.1 - Participações da empresa CP (CP, 2024).

No final do ano de 2024, o Grupo contava com 4.000 colaboradores, uma frota de 238 automotoras, 50 locomotivas e 156 carruagens. Estes meios permitiram fazer circular 416 mil comboios que transportaram mais de 188 milhões de passageiros (CP, 2024).

A CP – Comboios de Portugal, tem como objetivo principal a prestação de serviços de transporte ferroviário de passageiros. Engloba ainda a valência de fabrico, reabilitação, grande reparação e manutenção de equipamentos e veículos ferroviários, bem como o estudo de instalações oficinais para manutenção. Executa as funções oficinais de manutenção e reparação, não só para o seu próprio material circulante, como para outros operadores de transportes.

Dada a sua abrangência de serviços prestados, a empresa encontra-se distribuída de Norte a Sul de Portugal. Para o cumprimento da sua missão (produção de transporte público) a CP conta com os seguintes tipos de serviço:

- **Urbanos de Lisboa:** que disponibilizam operações em quatro eixos distintos, a Linha do Norte, a Linha de Cascais, o Eixo Barreiro/Praias Sado – A e as Linhas de Sintra e Cintura;
- **Urbanos do Porto:** que disponibilizam operações em quatro eixos distintos, Aveiro/Ovar, Braga, Penafiel/Marco de Canaveses e Guimarães;
- **Urbanos de Coimbra:** que disponibilizam operações entre as estações de Coimbra e Figueira da Foz;
- **Alfa Pendular e Intercidades:** que transportam passageiros no eixo Braga – Faro. Os AP (Alfa Pendular), juntamente com os comboios Intercidades,

executam serviço de transporte de passageiros entre cidades de Norte a Sul de Portugal, constituindo a oferta de longo curso da CP;

- **Regionais e Inter-regionais:** que servem diversos pontos do país, articulando diversos centros urbanos com as diversas áreas de influência, complementando o serviço de longo curso em pequenas e médias distâncias.

A fiabilidade e a segurança durante a circulação de comboios são asseguradas pela área de Manutenção e Engenharia, dispersa ao longo de todo o território nacional, acompanhando as necessidades de manutenção e reparação de material circulante.

Os complexos oficiais, bem como as áreas de apoio estão localizadas em:

- **Contumil** – Manutenção Porto, Comboios Históricos e Alta Velocidade;
- **Guifões** – Manutenção Guifões e Metro do Porto;
- **Entroncamento** – Reparação de rotáveis e Manutenção Centro;
- **Lisboa** – Oficinas de Santa Apolónia, Campolide e Oeiras;
- **Sul** – Oficinas do Barreiro e Vila Real de Santo António.

Apesar da área de Engenharia e Manutenção ter um relevo substancial no que respeita ao cumprimento da missão da CP, existem diversas áreas que trabalham diariamente para alcançar os objetivos a que a empresa se propõe, nomeadamente no que diz respeito à preparação de comboios (limpeza, engatagem e abastecimento), venda de bilhetes e o seu controlo a bordo, bem como quem efetue a condução dos diversos comboios.

Para além das áreas já referidas, tem de existir quem garanta a comunicação com os passageiros, quem zele pela sua segurança e dos seus bens, quem zele pelos trabalhadores e as suas necessidades e direitos, quem assegure o integral cumprimento das leis e normativos, quem execute o planeamento e quem garanta as ligações entre a empresa e outros parceiros a nível nacional e internacional.

Em suma, toda a organização segue uma estrutura disposta no organograma apresentado no anexo F.

5.2 Frota da CP – Comboios de Portugal

A CP – Comboios de Portugal possui uma vasta frota de material circulante que garante o cumprimento do serviço referido na secção anterior (5.1). A mesma é constituída por automotoras *diesel*, automotoras elétricas, carruagens, locomotivas elétricas e *diesel*, as quais se destacam, entre outras, as mencionadas nas secções seguintes.

5.2.1 Automotoras *diesel*

Existem atualmente três tipos de automotoras diesel ativas na frota da CP (CP, s.d.):

Série USD 0351-0371



- Ano de entrada ao serviço: 2000 (após modernização);
- Velocidade máxima: 100 km/h;
- Tipo de transmissão: Diesel-elétrica;
- Serviço: Regional e Inter-regional.

Figura 5.2 - Série USD0350 (CP, s.d.).

Série UDD 0451-0469



- Ano de entrada ao serviço: 1999 (após modernização);
- Velocidade máxima: 120 km/h;
- Tipo de transmissão: Diesel-hidráulica;
- Serviço: Intercidades, regional e inter-regional.

Figura 5.3 - Série UDD0450 (CP, s.d.).

Série UDD 9631-9637



- Ano de entrada ao serviço: 1991 (após modernização);
- Velocidade máxima: 90 km/h;
- Tipo de transmissão: Diesel-elétrica;
- Serviço: Regional e inter-regional.

Figura 5.4 - Série UDD9630 (CP, s.d.).

5.2.2 Automotoras elétricas

Existem atualmente três tipos de automotoras diesel ativas na frota da CP (CP, s.d.):

Série UTE 2241-2297



Figura 5.5 - Série UTE2240 (CP, s.d.).

- Ano de entrada ao serviço: 2003 (após modernização);
- Velocidade máxima: 120 km/h;
- Tipo de transmissão: Elétrica;
- Serviço: Intercidades, regional e Inter-regional, comboios urbanos de Lisboa e Porto.

Série UQE 2301-2342, 2351-2392, 2401-2414 e 2451-2664



Figura 5.6 - Série UQE2300/2400 (CP, s.d.).

- Ano de entrada ao serviço UQE 2301-2342, 2351-2392: 1992;
- Ano de entrada ao serviço UQE 2401-2414 e 2451-2664: 1997;
- Velocidade máxima: 120 km/h;
- Tipo de transmissão: Elétrica;
- Serviço: Comboios urbanos de Lisboa.

Série UME 3401-3434 e 3451-3484



Figura 5.7 - Série UME3400 (CP, s.d.).

- Ano de entrada ao serviço: 2002;
- Velocidade máxima: 140 km/h;
- Tipo de transmissão: Elétrica;
- Serviço: Comboios urbanos do Porto.

Série UQE 3519-3530 e 3569-3580



Figura 5.8 - Série UQE3500 (CP, s.d.).

- Ano de entrada ao serviço: 1999;
- Velocidade máxima: 140 km/h;
- Tipo de transmissão: Elétrica;
- Serviço: Comboios urbanos de Lisboa.

Série CPA 4001-4010 e 4051-4060



Figura 5.9 - Série CPA4000 (CP, s.d.).

- Ano de entrada ao serviço: 1999;
- Velocidade máxima: 220 km/h;
- Tipo de transmissão: Elétrica;
- Serviço: Alfa pendular (longo curso).

Série UTE 3151-3163, 3255, 3261-3263 e 3251-3271



Figura 5.10 - UTE 3150/3250 (CP, s.d.).

- Ano de entrada ao serviço: 1998 (após modernização);
- Velocidade máxima: 90 km/h;
- Tipo de transmissão: Diesel-elétrica;
- Serviço: Regional e inter-regional.

5.2.3 Carruagens

A frota da CP é constituída por diversas carruagens, destacam-se (CP, s.d.):

Série CIC 10-97, 19-97, 20-97, 21-97 e 85-97



Figura 5.11 - Série CIC (CP, s.d.).

- Ano de entrada ao serviço 10-97: 2011 (após modernização);
- Ano de entrada ao serviço 19-97: 2006 (após modernização);
- Ano de entrada ao serviço 20-97: 2011 (após modernização);
- Ano de entrada ao serviço 21-97: 2006 (após modernização);
- Ano de entrada ao serviço 85-97: 2006 (após modernização);
- Velocidade máxima: 200 km/h;
- Capacidade: Respetivamente, 58 lugares sentados, 58 lugares sentados, 82 lugares sentados, 88 lugares sentados, 28 lugares sentados;
- Serviço: Intercidades.

Série ARCO 19-97 500, 20-97 e 85-97 500



Figura 5.12 - Série ARCO (CP, s.d.).

- Ano de entrada ao serviço: 2022 (após modernização);
- Velocidade máxima: 200 km/h;
- Capacidade: 24 lugares sentados, 1 lugar para Cliente com Mobilidade Reduzida, 30 lugares sentados (sem numeração) e 8 suportes para bicicletas;
- Serviço: Regional e inter-regional.

5.2.4 Locomotivas diesel e elétricas

Desta secção de material circulante fazem parte (CP, s.d.):

Série LDE 1401-1467



Figura 5.13 - Série LDE 1400 (CP, s.d.).

- Ano de entrada ao serviço: 1967-1969;
- Velocidade máxima: 105 km/h;
- Tipo de transmissão: Diesel-elétrica;
- Serviço: Regional, inter-regional e serviço manobras.

Série LE 2600-2620



Figura 5.14 - Série LE2600/2620 (CP, s.d.).

- Ano de entrada ao serviço LE2600: 1974;
- Ano de entrada ao serviço LE2620: 1987;
- Velocidade máxima: 160 km/h;
- Tipo de transmissão: Elétrica;
- Serviço: Intercidades, regional e inter-regional.

Série LE 5601-5630



Figura 5.15 - Série LE5600 (CP, s.d.).

- Ano de entrada ao serviço: 1993;
- Velocidade máxima: 220 km/h;
- Tipo de transmissão: Elétrica;
- Serviço: Intercidades.

6 Caso de estudo RCM

6.1 Âmbito da análise e definição da equipa de trabalho

O presente caso de estudo pretende a aplicação do processo RCM2 ao sistema de Produção e Tratamento de Ar Comprimido (PTA) pertencente à série de material circulante UDD0450 (Automotora Dupla *Diesel* da série 0450). A análise incidiu sobre todas as funções identificadas como requeridas para o sistema, no atual contexto operacional das UDD0450, contemplando desde a monitorização do sistema através de manómetros, compressão de ar através dos compressores alternativos e respetivas unidades de separação de óleo, secagem e filtragem de ar, rede de armazenamento e distribuição de ar comprimido (reservatórios e tubagens), bem como todos os equipamentos de proteção da conduta principal.

As sessões de trabalho decorreram nas instalações oficinais da CP, localizadas em Santa Apolónia, ocupando os trabalhos de estudo e análise 11 dias úteis, distribuídos por duas sessões de trabalho por semana.

Para a realização das sessões de trabalho, foi necessária a criação de uma equipa multidisciplinar, contando assim com elementos de diversas áreas da empresa. A mesma é constituída por elementos da CP pertencentes área da Manutenção e Engenharia, nomeadamente à Engenharia de Manutenção, Gestão Técnica de Série, Manutenção Lisboa e Manutenção Sul.

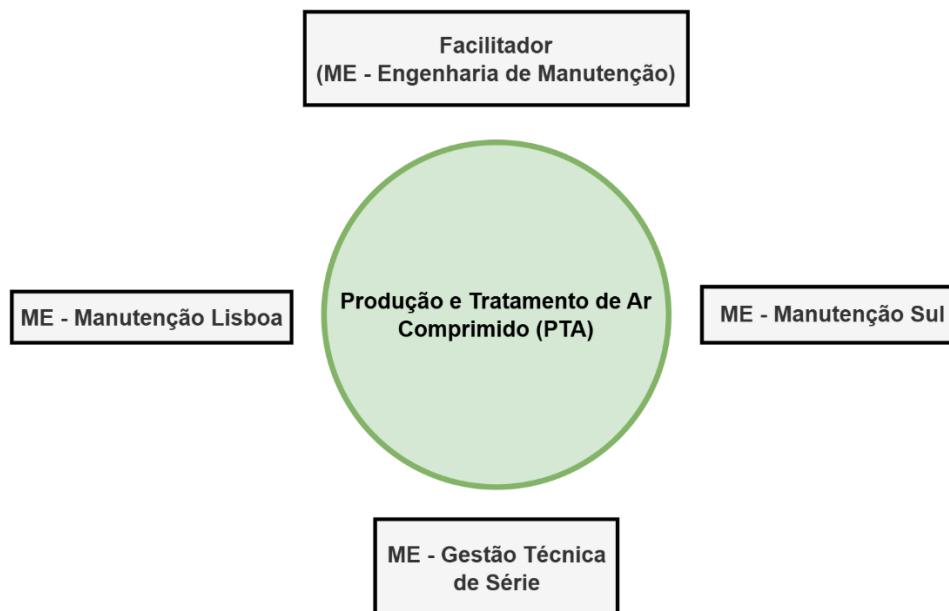


Figura 6.1 - Equipa de análise RCM ao sistema PTA.

6.2 Contexto operacional – Sistema PTA

O objetivo da presente secção é a contextualização da atividade das Unidades Duplas *Diesel* da série 0450 (UDD0450). Esta série de material circulante é constituído por 19 unidades motoras (UM) com numeração atribuída entre 0451 e 0469, afetas ao serviço regional de passageiros e intercidades (apenas as UM 0459 e 0461), percorrendo cada unidade, em média 72.000 km por ano.

Estas unidades, à data do presente estudo RCM, encontram-se a prestar serviço no sul de Portugal, nomeadamente:

- Linha do Algarve (14 unidades);
- Linha do Alentejo (5 unidades).

As UDD0450 são composições indeformáveis constituídas por dois veículos, ligados entre si por engates rígidos. Um dos veículos que constitui as UM é denominado por veículo motor, estando equipado com dois motores *diesel*, sendo que o outro veículo que as constitui é denominado por veículo reboque, estando o mesmo desprovido de motorização. Cada conjunto compreende duas cabinas de condução, situadas em cada extremo da unidade, o que permite a circulação em ambos os sentidos.

Podem circular em comando múltiplo, ou seja, num conjunto constituído no máximo por três UDD0450. Quando a circulação é realizada desta forma, o engate entre as unidades é do tipo UIC, sendo necessária a ligação do cabo de comando múltiplo que as equipa, permitindo assim a ligação dos circuitos elétricos entre unidades. Este tipo de serviço é executado diariamente na linha do algarve.

Cada motor *diesel* tem acoplado um conversor hidráulico de binário (NICO), à qual é transmitido o movimento. Por sua vez, através de um veio e caixa de transmissão mecânica (VOITH), é transmitido esse mesmo movimento ao rodado de cada bogie correspondente.

O objetivo principal durante o transporte de passageiros é transmitir movimento e ser capaz de frear em segurança. As UDD0450 estão equipadas com diferentes sistemas de freio:

- Freio automático: que por intermédio de blocos de freio (calços), atua sobre os discos de frenagem de cada rodado da unidade;
- Freio de estacionamento: que atua por molas sobre os discos de frenagem dos rodados pertencentes aos bogies intermédios;
- Freio dinâmico hidráulico: que tem ação sob os rodados motores;
- Freio EP;
- Freio de recurso.

Dispõe ainda de sistemas de segurança como o “Homem-Morto” (HM), que permite a imobilização da unidade em caso de incapacidade do maquinista. Existem também o sistema de controlo automático de velocidade (CONVEL), o sistema de registo de velocidades (TEL1000) e o sistema de Rádio SOLO-COMBOIO.

No que respeita ao conforto dos passageiros e maquinista, estas unidades encontram-se também equipadas com sistema de ar condicionado para salões de passageiros e cabinas de condução.

Entre as características já referidas, destacam-se outras (CP, 2012):

- Velocidade máxima: 120 km/h;
- Lotação:

Tabela 6.1 - Capacidade das automotoras UDD0450.

UDD do serviço Regional		UDD do serviço Intercidades	
Nº lugares 1ª classe	40	Nº lugares 1ª classe	32
Nº lugares 2ª classe	124	Nº lugares 2ª classe	105
Nº lugares em pé	280	Não permitido	---
Total de lugares	444	Total de lugares	137

- Peso em ordem de marcha: 92,7 toneladas;
- Potência nominal do motor diesel: 400 ± 10 CV;
- Comprimento (Motora + Reboque): 51,96 m;

- Areeiros: 4 ejetores;
- Lubrificadores de verdugos: 4 ejetores;
- Não possui ABS.

6.2.1 Fronteiras do sistema PTA

Todo o funcionamento da automotora UDD0450 está dependente do sistema PTA. Esta situação deriva do facto deste sistema fornecer ar comprimido necessário para o funcionamento de alguns dos principais sistemas da unidade. Para delimitar de forma rigorosa o sistema em estudo, deverá ser elaborado um esquema cujo objetivo é a identificação das fronteiras com os sistemas envolventes:

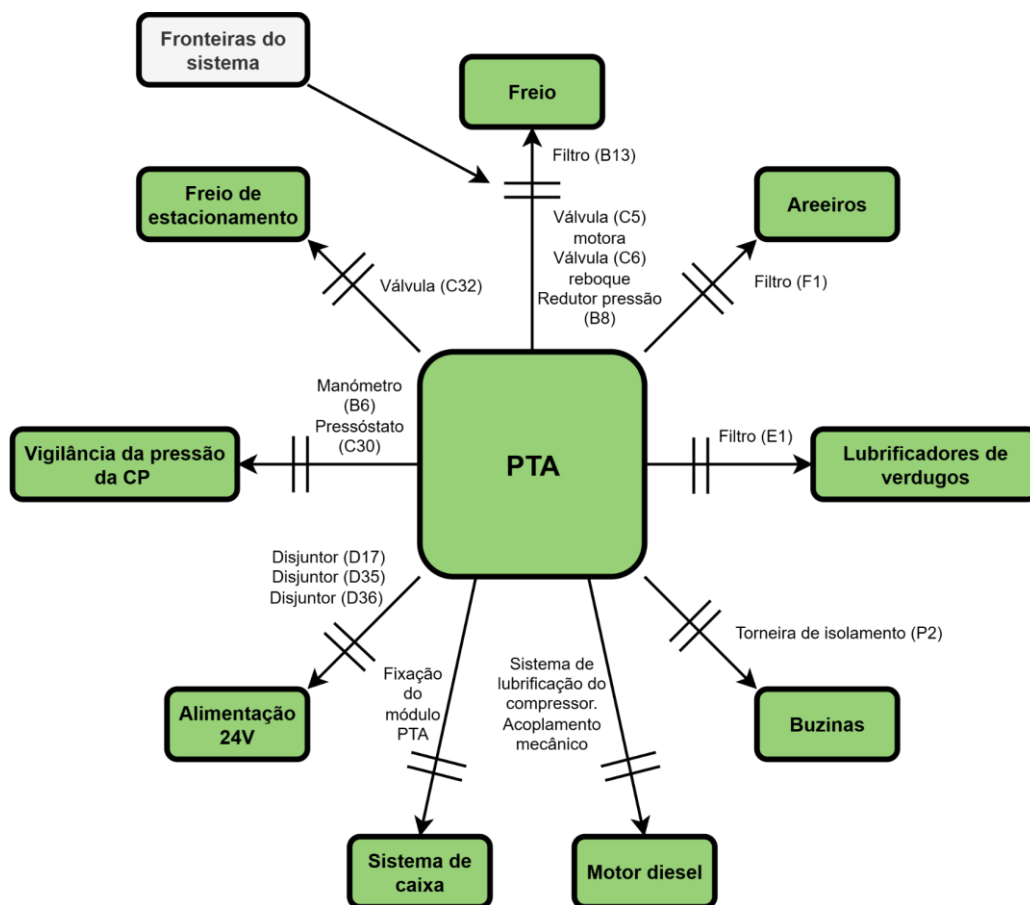


Figura 6.2 - Fronteiras do sistema PTA.

De um modo resumido, o sistema é constituído por:

- Dois compressores alternativos independentes, para compressão de ar à pressão nominal a 8,5 bar;
- Uma torre de secagem para desumidificação do ar comprimido produzido;
- Dois filtros para remoção de água e óleo;

- Dois reservatórios de ar comprimido;
- Órgãos de comando;
- Componentes pneumáticos diversos.

6.2.2 Descrição e funcionamento do sistema PTA

A principal função do presente sistema é a produção e tratamento do ar comprimido, todo o ar produzido pelo sistema é armazenado em reservatórios que se encontram ao longo da unidade motora, antes de ser utilizado pelos seguintes subsistemas:

- Freio;
- Buzinas;
- Areeiros;
- Lubrificadores de verdugos.

Sendo que o principal consumidor de ar comprimido é o subsistema freio.

6.2.3 Constituição do sistema PTA

O sistema de Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA) em análise é constituído por um grupo de compressão de ar e tratamento do ar produzido. Este grupo encontra-se instalado na unidade motora, sob controlo da respetiva cabina de condução, cujo objetivo principal é debitar ar comprimido para uma rede comum onde é realizado o armazenamento e distribuição do ar sob pressão para todos os sistemas pneumáticos da unidade motora.

O referido grupo é constituído por (EMEF, 2001):

- Compressor alternativo (A1);
- Flexível (A1.1);
- Arrefecedor de ar comprimido (A1.2);
- Válvula de retenção (A14);
- Filtro de ar (A24);
- Torneira de isolamento (A23);
- Válvula de descarga (A18);
- Electroválvula (A17);

- Torneira de isolamento (A16);
- Filtro (A15);
- Pressóstato (A12);
- Reservatório (A8) e torneira de purga (A9);
- Válvula de segurança (A3) e (A10);
- Torre de secagem (A4);
- Filtro de água (A19);
- Filtro de óleo (A20);
- Válvula de retenção (C5);
- Torneira de isolamento (C6);
- Válvula de retenção (C32);
- Torneira de isolamento (C18);
- Pressóstato (C30);
- Flexível (B12);
- Flexível (C20).

Os componentes acima referidos, encontram-se distribuídos ao longo da rede que constitui o sistema de Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA). Os esquemas elétricos e pneumáticos utilizados durante a aplicação do processo RCM, onde se encontram mencionados os componentes referidos anteriormente, podem ser observados nos anexos B e C do presente TFM.

6.2.3.1 Compressor alternativo (A1)

O ar comprimido é produzido por dois compressores alternativos da marca *Cummins* acoplados a cada motor *diesel*. Cada compressor encontra-se equipado com dois cilindros.

A figura 6.3, representa o desenho em vista explodida do referido compressor:

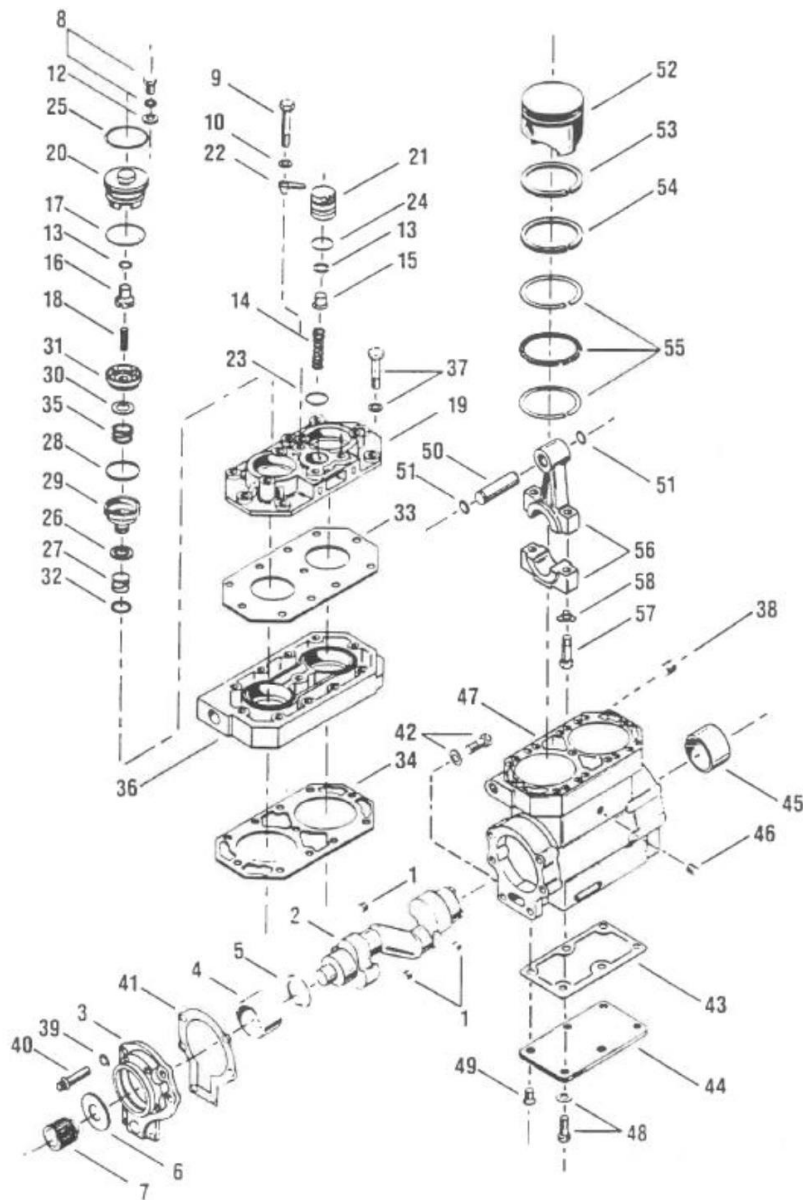


Figura 6.3 - Vista explodida do compressor principal (Cummins, 2002).

Em seguida, na tabela 6.2, a respetiva legenda:

Tabela 6.2 - Legenda da figura 6.3 (Cummins, 2002).

Referência	Designação
1	Tubo de ligação
2	Cambota
3	Suporte
4	Casquilho
5	Rolamento axial (Traseiro)
6	Rolamento Axial (Frontal)
7	Fusível mecânico
8	Parafuso de cabeça hexagonal

9	Parafuso de cabeça hexagonal
10	Anilha de bloqueio
11	Tubo de ligação
12	Anilha plana
13	Anel de vedação retangular
14	Mola da válvula de vazio
15	Tampa da válvula de vazio
16	Tampa de descarga da válvula de descarga
17	O-Ring vedante
18	Mola de descarga
19	Cabeça do compressor
20	Corpo de descarga da válvula de descarga
21	Corpo da válvula de colocação em vazio
22	Abraçadeiras
23	O-Ring vedante
24	O-Ring vedante
25	O-Ring vedante
26	Válvula de descarga
27	Mola da válvula de descarga
28	O-Ring vedante
29	Sede da válvula de descarga
30	Válvula de admissão
31	Sede da válvula de admissão
32	Prato de desgaste
33	Vedante da cabeça do compressor
34	Junta da cabeça do compressor
35	Mola da válvula de admissão
36	Cabeça do compressor
37	Parafuso de cabeça hexagonal
38	Tubo de ligação
39	Anilha de bloqueio
40	Parafuso de cabeça de 12 pontos
41	Vedante do suporte
42	Parafuso de cabeça hexagonal
43	Junta da tampa de acesso do compressor
44	Tampa de acesso do compressor
45	Casquilho da cambota
46	Tubo de ligação
47	Corpo do compressor
49	Parafuso de cabeça hexagonal
50	Parafuso de cabeça chata
51	Cavilham
52	Anel de retenção
53	Êmbolo

54	Segmento de compressão
55	Segmento de compressão
56	Biela
57	Parafuso de cabeça hexagonal
58	Placa de bloqueio

Com base na experiência dos elementos que constituem o grupo de trabalho, nomeadamente os elementos pertencentes à Manutenção Sul, foram selecionados os equipamentos críticos, com um maior histórico de falhas, tendo-se selecionado os seguintes equipamentos para serem alvo de estudo:

- Fusível mecânico (7);
- Corpo de descarga da válvula de descarga (20);
- Válvula de descarga (26);
- Mola da válvula de descarga (27);
- Sede da válvula de descarga (29);
- Válvula de admissão (30);
- Sede da válvula de admissão (31);
- Mola da válvula de admissão (35);
- Casquilho da cambota (45);
- Cavilham (50);
- Êmbolo (52);
- Segmento de compressão (53);
- Segmento de compressão (54);
- Segmento de óleo (55);
- Biela (56).

O grupo de trabalho realizou uma visita à Manutenção Sul (Complexo oficial do Barreiro), responsáveis pela reparação do compressor, para uma melhor compreensão do presente estudo ao compressor principal. Desta forma, foram fotografados (figuras 6.4 a 6.11) alguns dos componentes alvos de estudo.

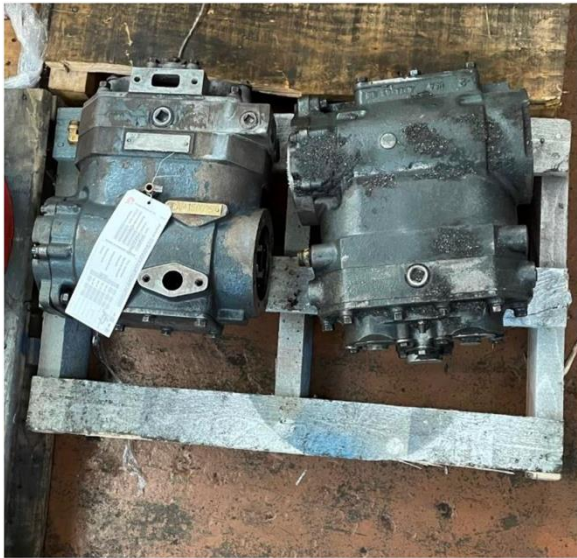


Figura 6.4 - Conjunto completo compressor.



Figura 6.5 - Válvula de admissão/descarga.



Figura 6.6 - Cabeça do compressor.



Figura 6.7 - Êmbolo do compressor.



Figura 6.8 - Corpo do compressor.



Figura 6.9 - Cambota do compressor.

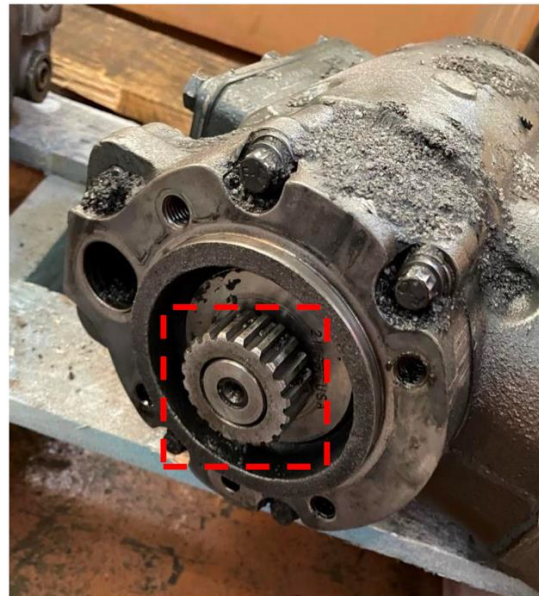




Figura 6.10 - Fusível mecânico do compressor.



Figura 6.11 - Localização do compressor (A1).

O compressor (A1), pertencente ao sistema de Produção e Tratamento de Ar comprimido, foi alvo de estudo RCM, tendo resultado do estudo diversos modos de falha associados ao mesmo. A tabela 6.3 exemplifica um dos modos de falha estudados no decorrer da aplicação do processo RCM.

Tabela 6.3 - Modo de falha exemplo do compressor (A1).

		 COMBOIOS DE PORTUGAL		Folha de Informação		
				Série:	Sistema:	Facilitador:
				UDD0450	PTA	João Silva
Função	Falha funcional	Modo de falha	Efeito de falha			
1	Comprimir ar para a conduta principal, a pressões compreendidas entre 7,5 bar e 8,5 bar, com humidade relativa não superior a 35% e uma concentração de óleo inferior a 0,1 ppm.	F	Comprimir ar com uma capacidade limitada a 50%.	11	Cilindro do compressor em falha por desgaste normal.	O funcionamento normal do compressor induz fenómenos de desgaste normal nos seus componentes internos. A falha de um dos cilindros do compressor por desgaste normal, provoca, numa fase inicial uma perda de rendimento do compressor (A1) e passagem de óleo para o circuito de ar comprimido, podendo provocar o seu entupimento. Esta circunstância pode provocar uma sobrecarga do compressor (A1), o que poderá levar à fratura do fusível mecânico (7) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor (A1) e do compressor (A1) à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente. No limite, a passagem de óleo dá-se num volume tal que, pode contaminar e prejudicar o funcionamento dos equipamentos de freio.

Os restantes modos de falha estudados durante a aplicação do processo RCM ao sistema PTA, podem ser consultados no anexo D.

6.2.3.2 Torre de secagem (A4)

O sistema de Produção e Tratamento de Ar comprimido, conta com uma torre de secagem, constituída por um secador de absorção com regeneração a frio, do tipo dupla câmara (dois vasos) modelo LTZ 015.1 (figura 6.12).

Os dois vasos trabalham simultaneamente em duas fases, a fase de secagem e a fase de regeneração. Enquanto o fluxo principal de ar é “seco” num dos vasos, o exsicante (sílica) é regenerado no vaso “vizinho”.



Figura 6.12 - Torre de secagem (A4).

O ar comprimido produzido no compressor principal (A1), ainda húmido, passa primeiramente por um filtro separador de óleo. Em seguida, passa pelo exsicante presente no vaso da torre de secagem. Ao atravessar o produto absorvente, a água contida no ar é extraída, possibilitando que à saída da torre de secagem, a humidade relativa do ar comprimido, no fluxo principal, seja $\leq 35\%$.

A fase de regeneração dá-se quando uma parte do ar seco no fluxo principal, é expandida através de um *gigleur* de regeneração, que posteriormente é enviada para o segundo vaso que possui exsicante já saturado. O ar, tornado extremamente seco devido à expansão, extrai do exsicante a humidade absorvida na fase de secagem precedente. Este processo de comutação ocorre a cada 120 segundos.

Na figura 6.13, pode-se observar a torre de secagem (em corte) na posição de serviço, em que o vaso (19a) se encontra na fase de secagem e o vaso (19b) na fase de regeneração.

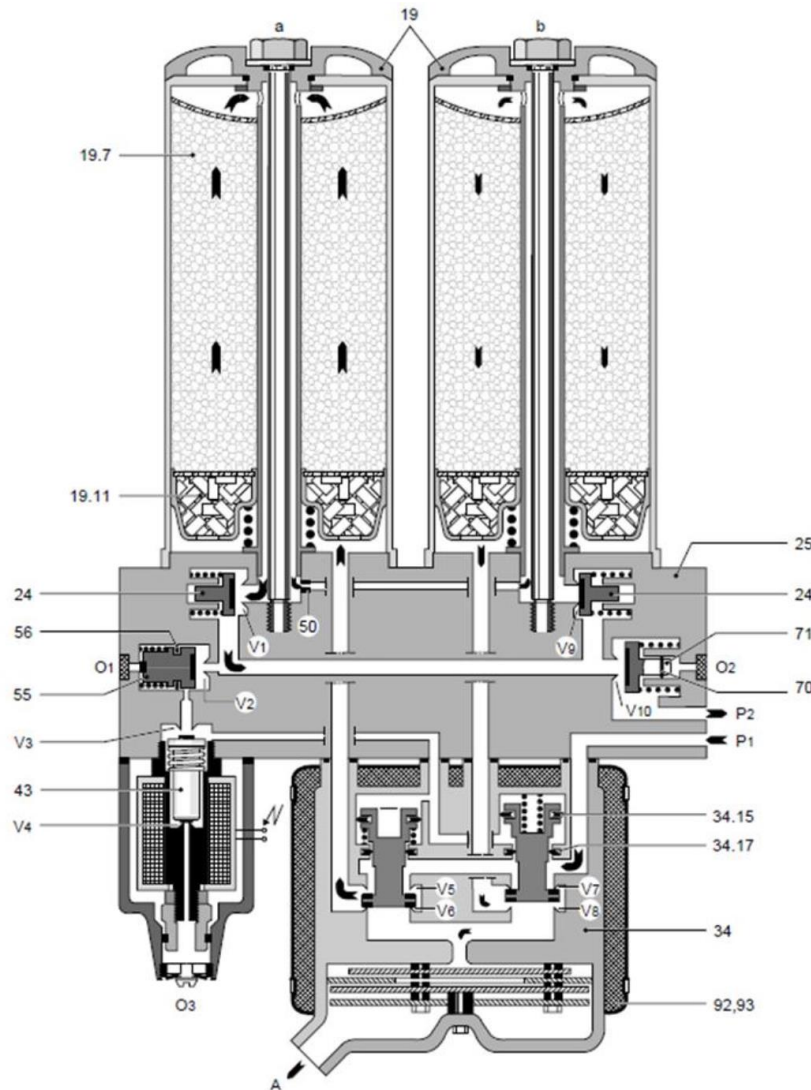


Figura 6.13 - Torre de secagem na posição de serviço (Knorr-Bremse, 2000).

Acompanhada da seguinte legenda:

Tabela 6.4 - Legenda da figura 6.13 (Knorr-Bremse, 2000).

Referência	Designação
19	Torre de secagem
19.7	Agente exsiccante
19.11	Depósito do separador de óleo com anéis <i>Rasching</i>
24	Cone da válvula para a válvula de retenção
25	Suporte
34	Válvula de êmbolo duplo

34.15	Anel K-Knorr
34.17	Anel K-Knorr
43	Solenoide
50	<i>Gigleur</i> de regeneração
55	Válvula de pré-comando
56	Anel K-Knorr
70	Anel K-Knorr
71	Cabeça da válvula para a válvula de descarga
92	Tampa de isolamento
93	Tampa de isolamento
A	Purga
O	Orifício de escape
P1	Alimentação de ar comprimido vindo do compressor principal
P2	Saída de ar comprimido, para o reservatório principal de ar
V	Sede da válvula

O processo de secagem do ar comprimido inicia-se quando o solenoide (43) está excitado pelo sinal elétrico emitido pelo ciclo de comando. O ar comprimido, vindo da respetiva tubagem para a saída (P2) flui pelas sedes abertas das válvulas (V2 e V3) para a válvula de êmbolo (34). A válvula de pré-comando (55) tem como função garantir que a válvula de êmbolo (34) abra/atue depois de atingida a pressão necessária para de comando. Esta pressão de comando, atua nos êmbolos, contrariando a força da mola para a posição inferior ou superior, dando origem a que as sedes das válvulas (V5 e V8) se abram.

O ar produzido pelo compressor, entra na torre de secagem pela ligação (P1) e pela sede da válvula (V5) aberta para a passagem de ar para o vaso (19a), percorrendo-o de cima para baixo, antes que o ar atravessasse o agente exsiccante (19.11) é conduzido pelos anéis *Rasching* no separador de óleo (A). Estes anéis têm uma função muito importante uma vez que, devido à múltiplas mudanças de direção, turbulência e impacto a que o ar é sujeito durante o seu percurso entre anéis, ocorra a precipitação (na superfície relativamente grande dos anéis *Rasching*) das partículas de óleo e de água que ainda possam estar contidas no ar comprimido.

Posteriormente à passagem pelos anéis *Rasching*, o ar atravessa o agente exsiccante (sílica), extraindo água ainda nele contida, garantindo que à saída do vaso (19a) a humidade relativa do ar seja $\leq 35\%$.

Uma parte do ar seco é desviado e expandido pelo *gigleur* de regeneração (50), passando posteriormente pelo exsicante do vaso (19b) e conduzido para a direção inversa. Este ar expandido, designado também de ar de regeneração, tem como função extrair a humidade ao exsicante, escapando de seguida para a atmosfera através da sede aberta da válvula (V8) e do silenciador.

A fase de regeneração encontra-se representada na figura 6.14:

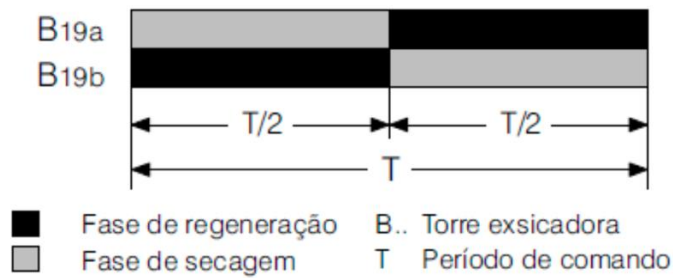


Figura 6.14 - Representação esquemática da fase de regeneração (Knorr-Bremse, 2000).

Numa fase prévia ao limiar de saturação do agente exsicante, presente no vaso onde é realizada a secagem do ar comprimido vindo do compressor principal (19a), dá-se a comutação pelo comando de ciclo temporizado com $T/2$, ou seja, o solenoide (43) é desexcitado. Nesta fase, a sede da válvula (V3) é fechada e a válvula (V4) aberta, possibilitando que a válvula de êmbolo (34) seja descarregada.

As forças da mola da válvula de êmbolo (34), dão origem a que as sedes da válvula (V5 e V8) fechem e as sedes da válvula (V6 e V7) abram. Nesta posição de comando, o fluxo de ar ($P1 \rightarrow P2$) é seco no vaso (19b), enquanto o exsicante do vaso (19a) é regenerado (Knorr-Bremse, 2000).

Ao longo da análise, o grupo de trabalho decidiu acompanhar a desmontagem de uma torre de secagem e analisar alguns dos modos detetados pela Manutenção Lisboa (Complexo oficial de Santa Apolónia). Durante estes trabalhos foi possível desmontar por completo uma torre de secagem no seu final de vida útil, para observação dos seus componentes internos (figuras 6.15 a 6.20).



Figura 6.15 - Filtro de óleo (A20) colmatado com água devido à não atuação da torre de secagem.



Figura 6.16 - Placa de circuitos impressos para comutação entre vasos da torre de secagem.

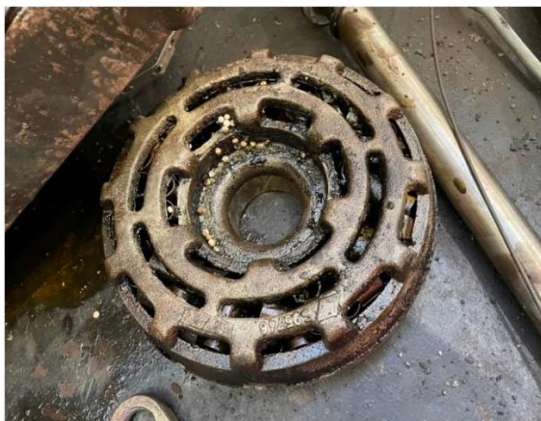


Figura 6.17 - Anéis Rasching.



Figura 6.18 - Válvulas de retenção.





Figura 6.19 - Exsicador degradado/contaminado.



Figura 6.20 - Sede da válvula de descarga.

Durante o estudo o grupo de trabalho teve em consideração as orientações do fabricante das torres de secagem para diagnóstico de falhas, nomeadamente no que diz respeito às causas que levam ao tipo de falhas com maior probabilidade de ocorrência, bem como informações relacionadas com a sua reposição de condições. Da aplicação do estudo RCM resultaram diversos modos de falha. A tabela 6.5 exemplifica um dos modos de falha estudados.

Tabela 6.5 - Modo de falha exemplo da torre de secagem (A4).

				Folha de Informação			
				Série:	Sistema:	Facilitador:	
				UDD0450	PTA	João Silva	
Função		Falha funcional		Modo de falha		Efeito de falha	
1	Comprimir ar para a conduta principal, a pressões compreendidas entre 7,5 bar e 8,5 bar, com humidade relativa não superior a 35% e uma concentração de óleo inferior a 0,1 ppm.	D	Produzir ar comprimido com humidade relativa superior a 35%.	15	Exsicante (19.7) em falha por degradação natural.	O funcionamento normal da torre de secagem leva à perda de características do exsicante. A falha por degradação natural do exsicante (19.7), impede a retenção de humidade presente no ar comprimido. Inicialmente a falha torna-se perceptível através da coloração esbranquiçada da água à saída do orifício de purga da torre de secagem. No limite, dá-se contaminação de toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio. Reposição de condições: LRU (-) / Mão de obra (-).	

Os restantes modos de falha estudados durante a aplicação do processo RCM ao sistema PTA, podem ser consultados no anexo D.

6.2.3.3 Dispositivos da conduta principal

Para o controlo da pressão na conduta principal, existem dispositivos que permitem manter a pressão da mesma dentro dos valores ideais para a exploração da unidade (7,5 a 8,5 bar).

O compressor principal (A1) encontra-se a comprimir ar para a conduta até que seja atingida uma pressão de 8,5 bar. Nesta situação a torre de secagem encontra-se em pleno funcionamento e os purgadores dos filtros de água e óleo, que constituem o sistema, encontram-se fechados. Para tal, até ser atingida a pressão referida, o

pressóstato (A12) mantém aberto o circuito à electroválvula (A17), que permite vedar a passagem de ar para as válvulas de descarga (A18).

Quando atingida a pressão de 8,5 bar, o pressóstato (A12) fecha o circuito à electroválvula (A17), excitando-a. Desta forma, o ar que se encontra no reservatório principal (A8), passa através do filtro (A15), da torneira (A16) e da electroválvula (A17), com o objetivo de abrir as válvulas de descarga (A18), colocando o compressor (A1) a trabalhar em vazio. Nesta situação o pressóstato (A12) coloca a torre de secagem fora de serviço e ativa os purgadores automáticos dos filtros de óleo e água. Após este ciclo, quando for atingida uma pressão mínima de 7,5 bar, inicia-se um novo ciclo de carga.

Em caso de falha de algum dos órgãos já mencionados existem duas válvulas de segurança (A3 e A10), que atuam quando atingidas as pressões limite de 10,5 e 9,5 bar (EMEF, 2001).

Nota: Os equipamentos referidos anteriormente encontram-se acompanhados com um número de esquema, que permite a sua consulta no esquema pneumático presente no anexo B.

6.2.3.3.1 Pressóstato (A12)

O pressóstato A12 tem como função principal regular o funcionamento do compressor (A1). Trata-se de um aparelho de diafragma que, quando atingida uma determinada pressão de comando, abre ou fecha alternadamente dois circuitos elétricos (EMEF, 2001).

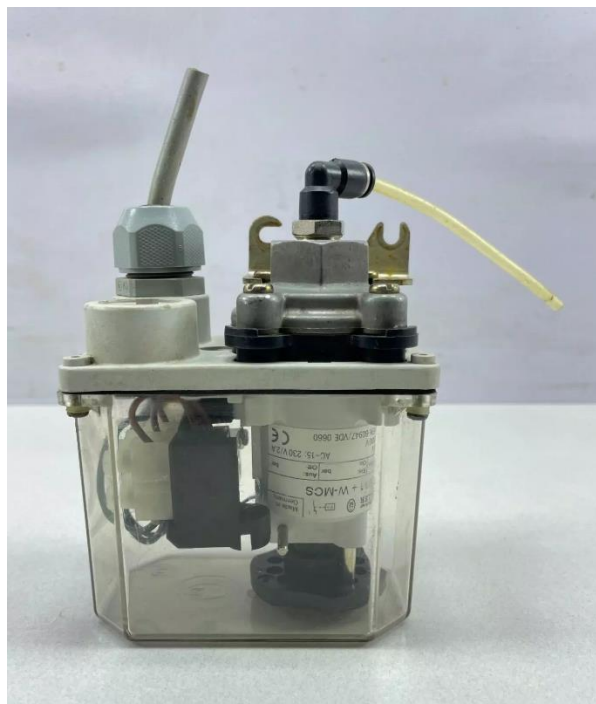




Figura 6.21 - Pressóstato regulador do compressor principal (A12).

Quando o pressóstato (A12) atinge o ponto de atuação superior (9 bar), a electroválvula (A17) é desexcitada de modo a aliviar a pressão na conduta entre o compressor (A1) e a válvula de retenção (A14). Simultaneamente o compressor deixa de fornecer ar ao reservatório principal, e sai para a atmosfera através das válvulas de descarga (A18), ficando o compressor a trabalhar em vazio.

Quando o consumo de ar for tal e a pressão no reservatório principal atingir o ponto de atuação inferior do pressóstato (A12) (7,5 bar), a electroválvula (A17) volta a ser ativada de modo a isolar a conduta e as válvulas de descarga (A18). Nesta situação os compressores voltam a funcionar em carga.

A tabela 6.6 exemplifica um dos modos de falha estudados no decorrer da aplicação do processo RCM.

Tabela 6.6 - Modo de falha exemplo da pressóstato (A12).

				Folha de Informação		
				Série:	Sistema:	Facilitador:
				UDD0450	PTA	João Silva
Função	Falha funcional	Modo de falha	Efeito de falha			
1 Comprimir ar para a conduta principal, a pressões compreendidas entre 7,5 bar e 8,5 bar, com humidade relativa não superior a 35% e uma concentração de óleo inferior a 0,1 ppm.	B Comprimir ar para a conduta principal a pressões superiores a 8,5 bar.	1 Pressóstato (A12) desregulado para cima.	O funcionamento continuado dos pressóstatos pode levar à desregulação dos mesmos impedindo o seu fecho na pressão definida. Neste caso o pressóstato (A12) não alimenta a electroválvula (A17) e conseqüentemente perde-se a alimentação à válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca, no limite, os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se a fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina. Reposição de condições: LRU (Pressóstato A12) / Mão de obra (2h/1H).			

Os restantes modos de falha estudados durante a aplicação do processo RCM ao sistema PTA, podem ser consultados no anexo D.

6.2.3.3.2 Filtro de ar (A15)

O ar comprimido ao atravessar o filtro é purificado no elemento filtrante (3). Além disso, como a velocidade de fluxo é reduzida, a condensação deposita-se nas paredes do corpo do filtro e acumulam-se na câmara existente na parte inferior do filtro (EMEF, 2001).

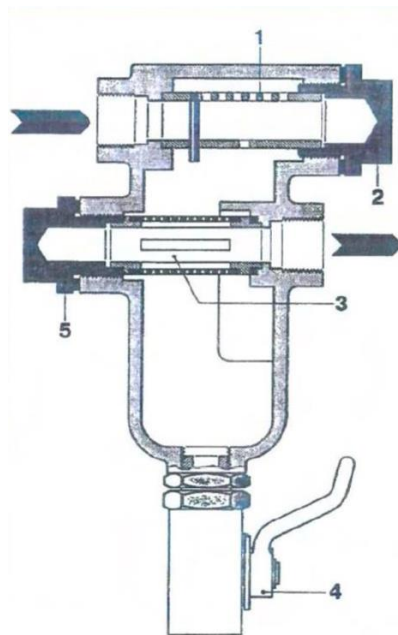


Figura 6.22 - Filtro de ar (A15) (EMEF, 2001).

Com a seguinte legenda:

Tabela 6.7 - Legenda da figura 6.22 (EMEF, 2001). -

Referência	Designação
1	Filtro de crivo
2	Bujão
3	Elemento filtrante
4	Electroválvula de purga automática
5	Bujão

6.2.3.3.3 Válvula de descarga (A18)

A válvula de descarga (A18) pertence a um grupo de equipamentos que tem como função controlar e comandar os períodos de carga e vazio do compressor. Tem como função principal produzir uma descarga para a atmosfera do ar comprimido pelo compressor em cada ciclo de trabalho, sempre que seja atingida uma pressão máxima de 8,5 bar (EMEF, 2001).

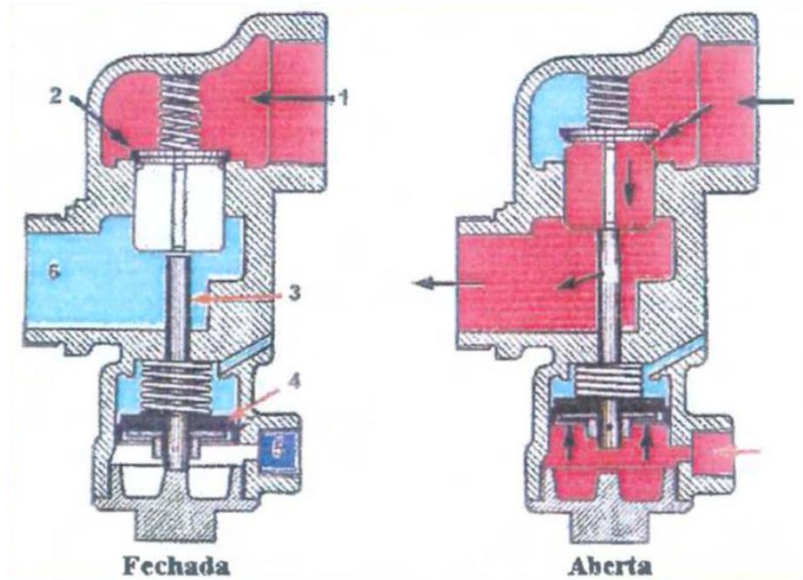




Figura 6.23 - Vista em corte da válvula (A18) (EMEF, 2001).

Até ser atingida uma pressão de 8,5 bar, a câmara inferior do êmbolo (4) não é alimentada. Nesta situação, a válvula (2) mantém-se assente na sua sede e o ar vindo do compressor não é expulso para a atmosfera, mantendo a compressão de ar para o reservatório. Assim que atingida a pressão de 8,5 bar, a electroválvula (A17) é excitada e envia ar do reservatório para a câmara inferior do êmbolo (4), originando a sua subida, conduzindo à elevação da haste (3) e à abertura da válvula (2). Nesta circunstância o compressor passa a comprimir ar diretamente para a atmosfera até que seja atingida a pressão de 7,5 bar (EMEF, 2001).

A válvula de descarga (A18) foi alvo de estudo RCM, a tabela 6.8 exemplifica um dos modos de falha estudo associados ao referido equipamento.

Tabela 6.8 - Modo de falha exemplo da válvula de descarga (A18).

				Folha de Informação		
				Série:	Sistema:	Facilitador:
				UDD0450	PTA	João Silva
Função		Falha funcional		Modo de falha	Efeito de falha	
1	Comprimir ar para a conduta principal, a pressões compreendidas entre 7,5 bar e 8,5 bar, com humidade relativa não superior a 35% e uma concentração de óleo inferior a 0,1 ppm.	B	Comprimir ar para a conduta principal a pressões superiores a 8,5 bar.	15	Válvula de descarga (A18) falha fechada por prisão.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha fechada por prisão da válvula de descarga (A18) coloca o respetivo compressor a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina. Reposição de condições: LRU (Válvula de descarga A18) / Mão de obra (2h/1H).

Os restantes modos de falha estudados durante a aplicação do processo RCM ao sistema PTA, podem ser consultados no anexo D.

6.2.3.3.4 Válvulas de segurança (A3 e A10)

Tal como já referido anteriormente, o sistema de Produção e Tratamento de Ar comprimido encontra-se equipado com duas válvulas de segurança que atuam segundo diferentes pressões. Estas válvulas permitem o controlo da pressão no sistema.





Figura 6.24 - Válvula de segurança.

Para proteção do sistema de Produção e Tratamento de Ar comprimido, estas unidades motoras encontram-se equipadas com duas válvulas de segurança, que possuem o seguinte funcionamento (EMEF, 2001):

- A válvula de segurança (A3) é acionada quando atingida uma pressão de 10,5 bar;
- A válvula de segurança (A10) é acionada quando é atingida uma pressão de 9,5 bar.

Ambas as válvulas foram alvo de estudo no decorrer do processo RCM, tendo resultado diversos modos de falha. A tabela 6.9 exemplifica dois modos de falha associados às respetivas válvulas.

Tabela 6.9 - Modo de falha exemplo das válvulas de segurança (A3 e A10).

				Folha de Informação		
				Série:	Sistema:	Facilitador:
				UDD0450	PTA	João Silva
Função		Falha funcional		Modo de falha	Efeito de falha	
1	Comprimir ar para a conduta principal, a pressões compreendidas entre 7,5 bar e 8,5 bar, com humidade relativa não superior a 35% e uma concentração de óleo inferior a 0,1 ppm.	A	Totalmente incapaz de comprimir ar.	2	Válvula de segurança (A3) falha aberta. O envelhecimento normal dos elementos da válvula de segurança (A3) pode originar fugas através da válvula de segurança. A falha aberta da válvula de segurança (A3) pode originar fugas de ar que, numa fase inicial, causam ruído perceptível ao maquinista e no limite, comprometam o fornecimento de ar à conduta principal. Neste caso, o maquinista apercebe-se da falha, através do manómetro B6 ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme - Baixa pressão conduta principal). Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá pedir socorro ao comboio. Reposição de condições: LRU (Válvula de segurança (A3)) / Mão de obra (1h/1H).	
		A		3	Válvula de segurança (A10) falha aberta. O envelhecimento normal dos elementos da válvula de segurança (A10) pode originar fugas através da válvula de segurança. A falha aberta da válvula de segurança (A10) pode originar fugas de ar que, numa fase inicial, causam ruído perceptível ao maquinista e no limite, comprometam o fornecimento de ar à conduta principal. Neste caso, o maquinista apercebe-se da falha, através do manómetro B6 ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme - Baixa pressão conduta principal). Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá pedir socorro ao comboio. Reposição de condições: LRU (Válvula de segurança (A10)) / Mão de obra (1h/1H).	

Os restantes modos de falha estudados durante a aplicação do processo RCM ao sistema PTA, podem ser consultados no anexo D.

6.2.3.4 Armazenamento de ar comprimido – Reservatório (A8)

O sistema PTA possui um reservatório principal (A8) de 150 litros, cuja principal função é o armazenamento de ar comprimido seco, utilizado posteriormente para a alimentação da conduta principal, bem como de diversos órgãos de freio (EMEF, 2001).

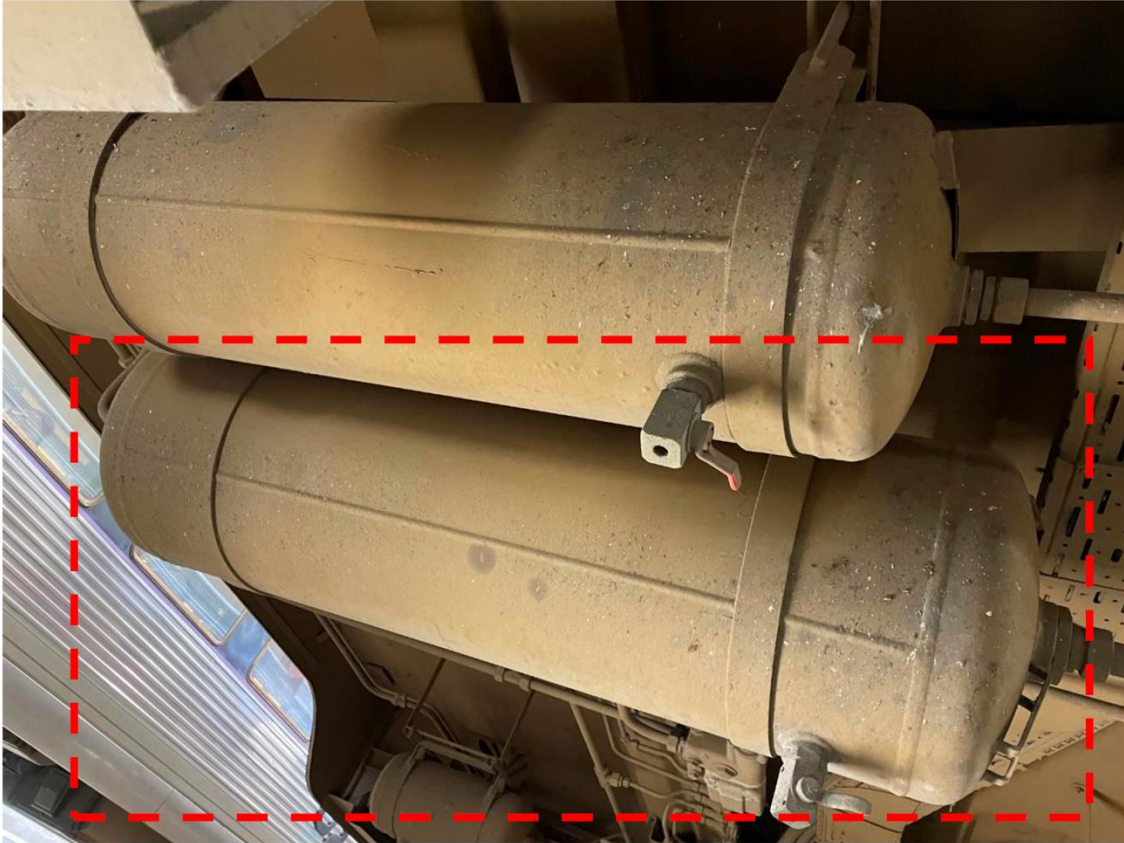




Figura 6.25 - Reservatório principal de ar comprimido (A8).

O reservatório encontra-se também equipado com uma torneira de purga (A9) possibilitando a purga dos condensados formados no seu interior (EMEF, 2001).

A tabela 6.10 exemplifica um dos modos de falha estudados, relativamente ao reservatório (A8), ao longo da aplicação do processo RCM.

Tabela 6.10 - Modo de falha exemplo do reservatório (A8).

				Folha de Informação			
				Série:	Sistema:	Facilitador:	
				UDD0450	PTA	João Silva	
Função		Falha funcional		Modo de falha		Efeito de falha	
7	Armazenar 150 litros de ar comprimido, para a utilização pelos restantes sistemas, à pressão nominal de 8,5 bar.	A	Incapaz de armazenar 150 litros de ar comprimido, para a utilização pelos restantes sistemas, à pressão nominal de 8,5 bar.	1	Reservatório de ar comprimido (A8) em falha por corrosão interna.	A exposição continuada à humidade, provoca a corrosão interna do reservatório de ar comprimido (A8). A falha por corrosão interna do reservatório de ar comprimido (A8), no limite, poderá provocar o colapso com consequente rebentamento.	

Os restantes modos de falha estudados durante a aplicação do processo RCM ao sistema PTA, podem ser consultados no anexo D.

6.3 Folha de informação e decisão

Tal como já referido anteriormente na secção 4 do presente documento, a aplicação do processo RCM resulta da elaboração de diferentes fases. Após conclusão da definição do âmbito da análise, equipa de trabalho e do contexto operacional, será necessário elaborar as folhas de informação e decisão, onde constará toda a informação relativa a:

- Função;
- Falha funcional;
- Modo de falha;
- Efeito de falha;
- Consequência da falha;
- Política de gestão da falha.

Toda esta informação foi tratada e discutida no seio do grupo de trabalho, sendo registada na folha de informação e decisão (anexos D e E).

Ao longo da elaboração do presente estudo RCM, devem ser considerados alguns princípios que auxiliam a tomada de decisão, nomeadamente:

- As periodicidades, associadas a cada tarefa de manutenção, presentes na folha de decisão resultam de uma análise das características técnicas do material, do seu contexto operacional e do retorno da experiência e conhecimento oficial/grupo de trabalho;
- Os tempos estimados para a reposição de condições, associada a cada modo de falha, comportam, para além do tempo de reposição da condição, o tempo de diagnóstico e localização dos componentes em falha. Estes tempos são definidos pressupondo a existência em armazém de todos os materiais necessários;
- Para os modos de falha com impacto para a segurança, a reposição de condições não é considerada. Esta circunstância deriva do facto de não ser admissível a ocorrência de modos de falha com impacto para a segurança;
- Perante a ausência de valores de custo que permitam a determinação dos impactos originados pelos modos de falha identificados como tendo consequências diretas ao nível operacional, a sua avaliação foi relativizada através do tempo de indisponibilidade ou operacionalidade deficiente originada na automotora, bem como os custos associados à reparação dos componentes em falha.

6.4 Resultados obtidos (programa de gestão de falhas)

Após implementação do processo RCM ao sistema de Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA) da série de material circulante UDD0450, verificou-se que este sistema, dada a sua complexidade, apresenta-se vulnerável a 123 modos de falha possíveis de ocorrer.

O quadro seguinte, exhibe uma distribuição dos resultados obtidos na presente análise RCM, onde é notório uma maior incidência em falhas cujo impacto é operacional.

Consequência dos modos de falha

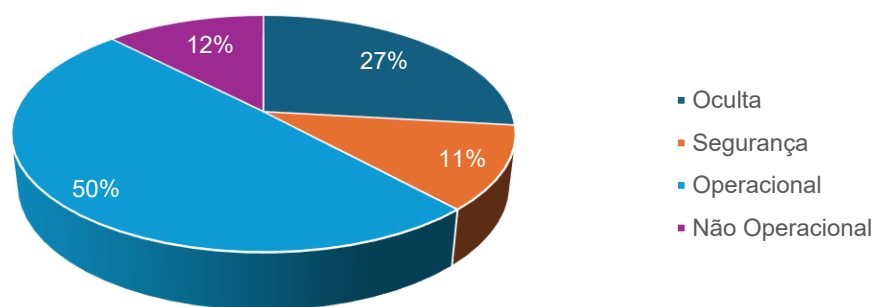


Figura 6.26 - Consequência dos Modos de Falha obtidos na análise RCM ao sistema PTA.

Tabela 6.11 - Legenda da figura 6.26.

Consequência	Nº de falhas	%
Oculta	33	26,8%
Segurança	14	11,4%
Ambiental	0	0%
Operacional	61	49,6%
Não operacional	15	12,2%

6.4.1 Estratégias de manutenção

Da aplicação do processo RCM ao sistema PTA, foram identificadas, como forma de preservação das funções do sistema, as seguintes estratégias de manutenção:

Estratégia de Manutenção

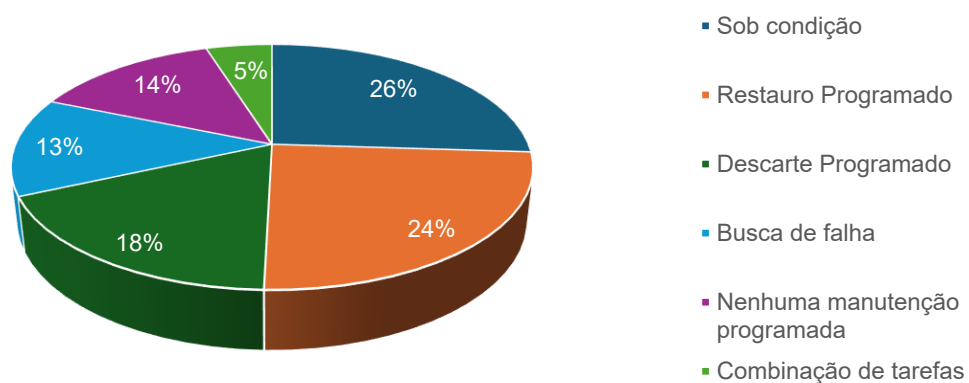


Figura 6.27 - Estratégias de manutenção obtidas na análise RCM ao sistema PTA.

No quadro resumo seguinte (tabela 6.12) é apresentada a estratégia de manutenção adotada relativamente às consequências dos MF:

Tabela 6.12 - Decisão associada às consequências dos modos de falha.

Consequência	Decisão	Nº de tarefas	%
Oculta	Tarefa sob condição	4	3,3%
	Tarefa de restauro programado	12	9,8%
	Tarefa de descarte programado	1	0,8%
	Tarefa de busca de falha	16	13,0%
Segurança	Tarefa sob condição	5	4,1%
	Tarefa de restauro programado	1	0,8%
	Tarefa de descarte programado	2	1,6%
	Combinação de tarefas	6	4,9%
Operacional	Tarefa sob condição	22	17,9%
	Tarefa de restauro programado	13	10,6%
	Tarefa de descarte programado	19	15,4%
	Nenhuma manutenção programada	7	5,7%
Não operacional	Tarefa sob condição	1	0,8%
	Tarefa de restauro programado	4	3,3%
	Tarefa de descarte programado	0	0%
	Nenhuma manutenção programada	10	8,1%
Total		123	---

6.4.2 Reprojeto

Aquando da análise foram identificados e propostos reprojeto que visam ao aumento do desempenho e da fiabilidade do sistema e conseqüentemente da unidade motora.

- **Reprojeto 1:** Visando o aumento da manutibilidade do sistema e assegurando o cumprimento da tarefa associada ao modo de falha (1B12), é proposto pelo grupo de trabalho, um reprojeto que passa pela instalação de um purgador automático no filtro A15, uma vez que o mesmo se encontra num local de difícil acessibilidade;
- **Reprojeto 2:** Visando o aumento da manutibilidade do sistema e mitigando os modos de falha (1D3 a 1D5), é proposto pelo grupo de trabalho, um reprojeto que passa pela criação de um visor nos vasos da torre de secagem, cujo objetivo é permitir a observação direta do estado do exsicante no interior de cada vaso.

- **Reprojeto 3:** O grupo de trabalho propõe que se proceda à implementação imediata da alteração, uma vez que cobre modos de falha (1F9 e 1F11) com impacto para a segurança. Este reprojeto permitirá a colocação em vazio diretamente na “cabeça” do compressor, por ação direta pneumática da válvula de descarga do compressor (A18), com o objetivo de eliminar pressões residuais existentes a jusante do compressor, permitindo que o mesmo opere em vazio em condições menos adversas, resultando num aumento da longevidade dos seus componentes internos, nomeadamente segmentos e êmbolos.



Figura 6.28 - Primeira fase do reprojeto 3.

Todos os reprojeto acima referidos, foram analisados e discutidos em sede de auditoria da análise RCM, tendo sido aprovada a sua implementação nas restantes unidades motoras que constituem a série de material circulante.

7 Conclusões e trabalho futuro

Apesar da manutenção centrada na fiabilidade ser processo complexo e eventualmente moroso, possibilita a obtenção de resultados rapidamente. Um estudo RCM bem executado, acompanhado de uma correta implementação das recomendações que advêm do mesmo, possibilitam à empresa um retorno do investimento a curto prazo, permitindo que a organização tenha um controlo total sobre a fiabilidade, disponibilidade e sobre os custos associados à manutenção.

Todo o processo possibilita às empresas um conhecimento dos requisitos de manutenção associados a um bem, com a construção de uma base de dados fiável, porém é de extrema importância cada organização garantir uma equipa especializada, capacitada para análise dos resultados obtidos com o estudo RCM e que garanta a constante realimentação dos planos de manutenção através dos *outputs* obtidos.

A elaboração do presente documento, de um ponto de vista macro, possui duas fases distintas. A primeira fase, onde foram abordados temas como, a manutenção de um ponto de vista geral, a história dos processos RCM2 e RCM3, bem como a metodologia necessária para a sua aplicação. Numa segunda fase, foi realizado um caso de estudo RCM aplicado à frota de material circulante selecionada. Durante esta fase foram aplicadas todas as etapas do processo RCM, tendo sido necessário para o devido efeito, a criação de uma equipa de trabalho composta por colaboradores de diversas áreas da CP. Teve como resultados principais o disposto na secção 6.4 e nos anexos D e E do presente documento. A adoção das estratégias que resultam do estudo permitirá à empresa a constante evolução dos requisitos de manutenção, mesmo em unidades motoras com alguma antiguidade, possibilitando à CP – Comboios de Portugal um lugar de destaque no que respeita à manutenção ferroviária dentro de um futuro mercado liberalizado e competitivo.

Futuramente ao trabalho realizado, serão analisados os resultados obtidos no estudo RCM ao sistema de Produção e Tratamento de Ar comprimido das UDD0450. Os

resultados obtidos permitiram ao departamento de Engenharia de Manutenção reformular o Manual de Manutenção em vigor, implementando as estratégias RCM estudadas no decorrer da aplicação do processo RCM. O futuro manual, com base nestas estratégias, servirá de suporte à reformulação das instruções de trabalho utilizadas em ambiente oficial de manutenção, resultando na otimização dos planos/atividades de manutenção, no acréscimo da manutibilidade, da fiabilidade da série de material circulante e da disponibilidade, garantindo a prestação de um serviço seguro e de qualidade.

Referências bibliográficas

- Afey, H. (2010). *Reliability- Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study*. Engineering. Scientific Research, Vol. 2, pp. 863-873.
- Alkali, B.; Orsi, V. & Ramani, A. (2016). *Rolling stock door system reliability improvement using maintenance optimization*. Proceedings of the Third International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance, pp. 281. Glasgow Caledonian University
- American Bureau of Shipping, ABS (2018). *Guidance Notes on Reliability-Centred Maintenance*. ABS Plaza 16855 Northchase Drive Houston, TX 77060 USA.
- Antunes, N. (2020). *Avaliação de risco em ativos físicos baseada numa metodologia Fuzzy – FMEA*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Basson, M. (2018). *RCM 3: Risk-Based Reliability Centered Maintenance*. South Norwalk: Industrial Press, INC.
- Benini, L. & Santos, A. (2021). *Reliability- maintenance maintenance (RMC) using in food vacuum packaging*. The Journal of Engineering and Exact Sciences, Vol. 07, N. 02.
- Braaksma, A.; Klingenberg, W. & Veldman, J. (2016). *Failure mode and Effect analysis in asset maintenance: a multiple case study in the process industry*. International Journal of Production Research, 51:4, 1055-1071.
- BSI Standards Publication, BS (2009). *Part 3-11: Application guide – Reliability Centred Maintenance*. BS EN IEC 60300-3-11:2009.
- BSI Standards Publication, BS (2018). *Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)*. BS EN IEC 60812:2018.
- Carretero, J.; Chabrol, J.; Cotaina, N.; Djeapragache, D.; Garcia, F.; Matos, F.; Peña, J.; Pérez, J.; Pérez, M. & Prete, P. (2000). *Study of existing Reliability Centred Maintenance (RCM) approaches used in different industries*. Facultad de Informática de Madrid. Technical Report Number: FIM/110.1/DATSI/00.
- Ciani, L.; Galar, D.; Guidi, G. & Patrizi, G. (2021). *Condition-Based Maintenance of HVAC on a High-Speed Train for Fault Detection*. Electronics 2021, 10, 1418. <https://doi.org/10.3390/electronics10121418>.
- CP – Comboios de Portugal (2012). *Ficha de Características Técnicas – UDD série 450*. Direção de Engenharia. Edição de 9-4-2012.

CP – Comboios de Portugal (2024). *CP – A empresa*. <https://www.cp.pt/institucional/pt/empresa/destaque-empresa> (Acedido em 12 de julho de 2025).

CP – Comboios de Portugal (2024). *Relatório e Contas Consolidadas*. CP- Comboios de Portugal, Calçada do Duque, nº 20 1249 – 109 Lisboa.

CP – Comboios de Portugal (s.d.). *CP – Frota de material circulante*. <https://www.cp.pt/institucional/pt/cultura-ferroviaria/frota-material-circulante> (Acedido em 12 de julho de 2025).

CP – Comboios de Portugal (s.d.). *CP – Frota de material circulante*. <https://www.cp.pt/institucional/pt/cultura-ferroviaria/frota-material-circulante> (Acedido em 12 de julho de 2025).

Cummins (2002). *Shop Manual – ST 676 Two Cylinder Air Compressor*. Grupo Oficial do Porto - Documentos.

De Souza, S. (2017). *Manutenção-Função Estratégica*. Universidade Federal de Viçosa.

Do Cabo, T. (2017). *Implementação de RCM- Reliability Centred Maintenance em equipamento novo: Caso de estudo*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto.

EMEF (2001). *Automotoras UDD 0450 – Manual de Pneumática*. UMAT – Unidade de Material de Tração. Edição Abril 2001.

European Committee for Electrotechnical Standardization, CENELEC (1999). *Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)*. EN 50126:1999.

Ferreira, L. (2021). *Uma introdução à Manutenção – 2ª edição*. Quântica editora – Conteúdos Especializados, Lda. Praça da Corujeira nº 38, 4300-144 Porto.

Garcia, P. (2020). *As gerações da manutenção e o RCM*. LinkedIn – <https://www.linkedin.com/pulse/gera%C3%A7%C3%B5es-da-manuten%C3%A7%C3%A3o-e-o-rcm-paulo-henrique-volpato-garcia/> (Acedido em 3 de fevereiro de 2025).

Holt, J. & Palmeri, F. (s.d.). *Reliability Centred Maintenance & Maintenance Planning*. Washington Metropolitan Area Transit Authority.

Instituto Português da Qualidade (2021). *Norma Europeia da Manutenção: Terminologia de manutenção*. Versão portuguesa da EN 13306: 2017, 2ª edição.

Instituto Português da Qualidade, IPQ (2021). *Manutenção – Terminologia de manutenção*. NP EN 13306:2021.

International Standard, ISO (2018). *Risk management – Guidelines*. ISO 31000:2018
Knorr-Bremse (2000). *Descrição Técnica – Secadores de ar de câmara dupla LTZ 015.0, 015.1, 015.2, 015.0H, 015.1H, 015.2H*. Divisão Freios Ferroviários. B-MA20.26-pt. Edição 06/2000 Rev.01.

Luqman, A. & Kusumah, H. (2022). *Improving the Effectiveness of Rolling Stock Maintenance: A Systematic Literature Review*.

- Machado, C.; Junior, S.; Celestino, Y.; Andrade, J. & Junior, A. (2023). *Manutenção Prescritiva: A Evolução da Manutenção na Indústria 4.0*. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação- REASE, Vol. 9, pp. 4444- 4458.
- Moubray, J. (2000). *RCM II – Manutenção Centrada na Confiabilidade*. Edição brasileira. Aladon LLC, Canada.
- National Aeronautics and Space Administration, NASA (2008). *RCM GUIDE, Reliability-Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment*.
- Recanpri (s.d.). *Recanpri – Recambios de maquinaria*. <https://www.recambiosdemaquinariaop.com/principales-caracteristicas-los-dumper/> (Acedido em 24 de setembro de 2025).
- Rezvanizani, S.; Barabady, J.; Valibeigloo, M.; Asghari, M. & Kumar, U. (2009). *Reliability analysis of the rolling stock industry: A case study*. *International Journal of Performability Engineering*, Vol. 5, pp. 167.
- Samanta, B.; Sarkar, B. & Mukherjee, S. (2001). *Reliability centred maintenance (RCM) for heavy earth-moving machinery in an open cast coal mine*. *CIM Bulletin*, Vol. 94, pp. 104-108.
- Santos, M. (2009). *Gestão de Manutenção do Equipamento*. Relatório do Projeto Final. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Sifonte, J. & Reyes-Picknell, J. (2017). *Reliability Centered Maintenance - Reengineered*. CRC Press.
- Silva, F. (2021). Aplicação de metodologia “Reliability Centered Maintenance 3” (RCM3) ao sistema de refrigeração do sistema de armas Pandur II 8x8. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnico de Lisboa.
- Silva, J. (2023). *Implementação do Projeto RCM num Ativo Crítico na Indústria Alimentar*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Silva, R.; Melani, A.; Michalski, M. & Sousa, G. (2023). *Reliability and Risk Centered Maintenance: A Novel Method for Supporting Maintenance Management*. Department of Mechatronics and Mechanical Systems Engineering, University of São Paulo (USP).
- Smith, A. (1993). *Reliability-Centered Maintenance*. McGraw-Hill, New York, 1993.
- The Aladon Network (2016). *Reliability Centered Maintenance (RCM3)*. Aladon, PO Box 656 Wrightsville Beach, NC 28480 USA.
- The Aladon Network (2018). *Progression from RCM2 to RCM3 including Highlights*. Aladon, <https://www.aladon.com/wp-content/uploads/2020/03/Progression-From-RCM2-To-RCM3-V1.0-818.pdf> (Acedido em 12 de abril de 2025).
- The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space, SAE (2002). *A guide to the Reliability Centred Maintenance (RCM) standard*. SAE JA1012: 2002.
- The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space, SAE (2001). *Recommended Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Practices for Non-Automobile Applications*. SAE ARP5580:2000.
- The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space, SAE (2009). *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*. SAE JA1011:200908.

Usrey, M. (2000). *Reliability- Centered Maintenance: A Case Study*. Engineering Management Journal, Vol. 12, pp. 25-31.

Xu, L.; Cai, H.; Zhang, D.; Zheng, C. & Wang, L. (2023). *Improving Civil Aviation Service Risk Management with FMEA*. China Academy of Civil Aviation Science and Technology, Chaoyang District, Beijing, China.

Anexos

Anexo A – Diagrama de decisão RCM.

Anexo B – Esquema pneumático do sistema PTA.

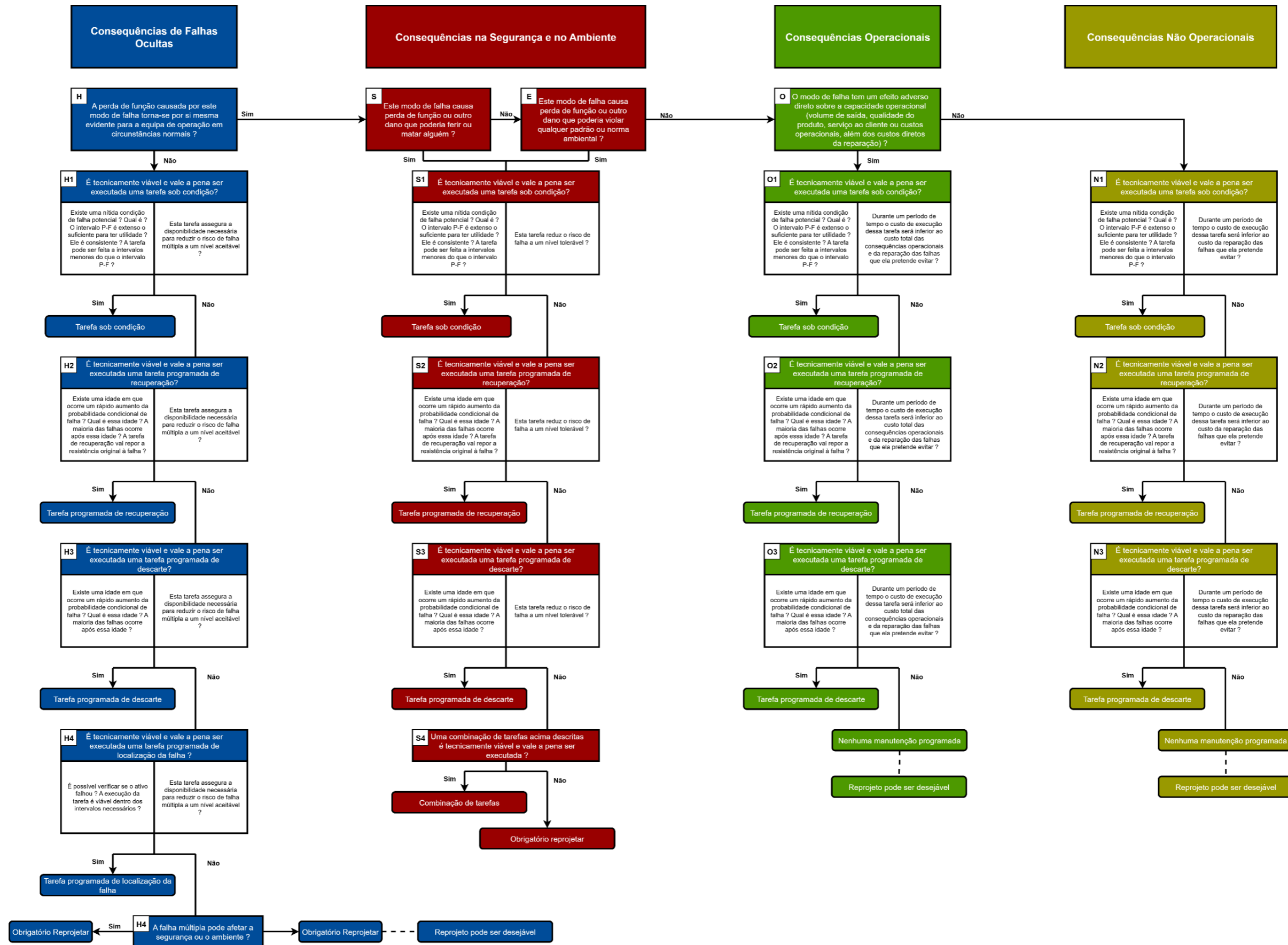
Anexo C – Esquemas elétricos do sistema PTA (utilizados no estudo).

Anexo D – Folha de informação do estudo RCM.

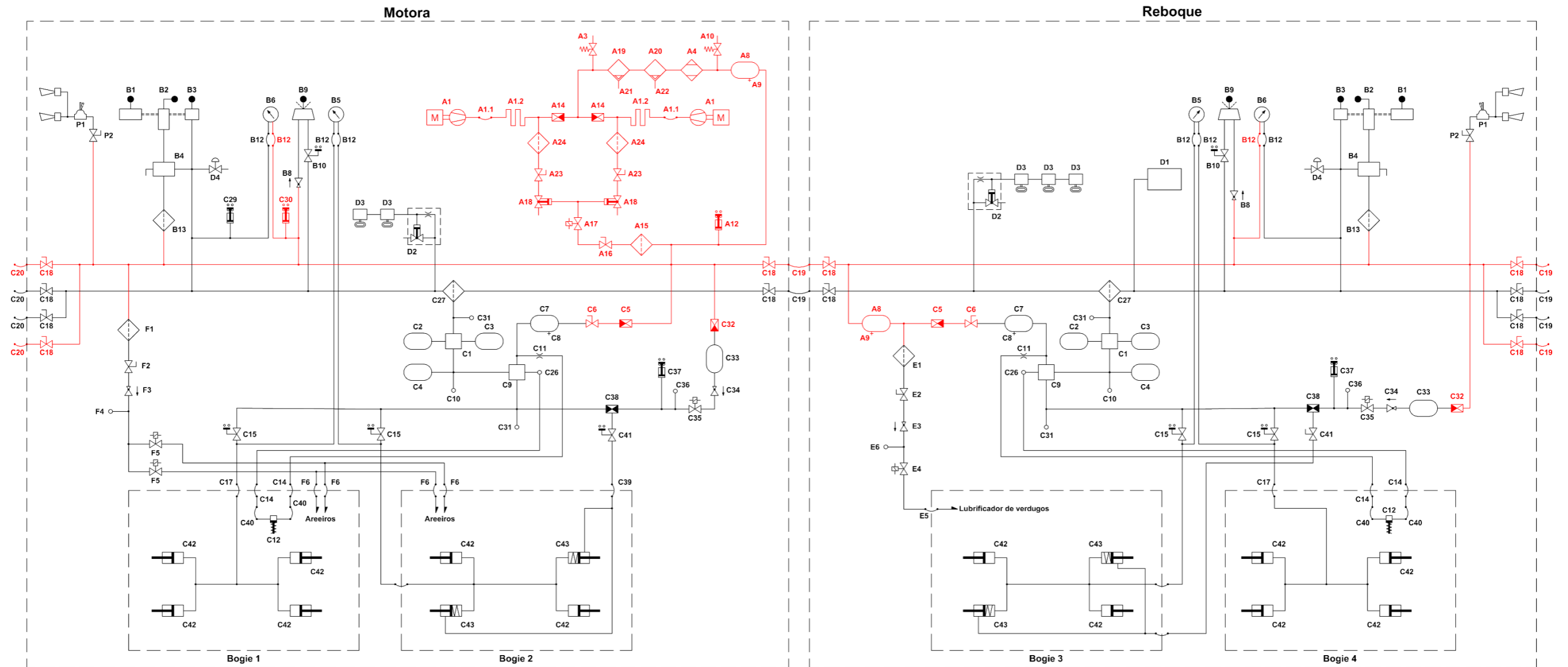
Anexo E – Folha de decisão do estudo RCM.

Anexo F – Organograma da empresa CP – Comboios de Portugal.

Anexo A – Diagrama de decisão RCM

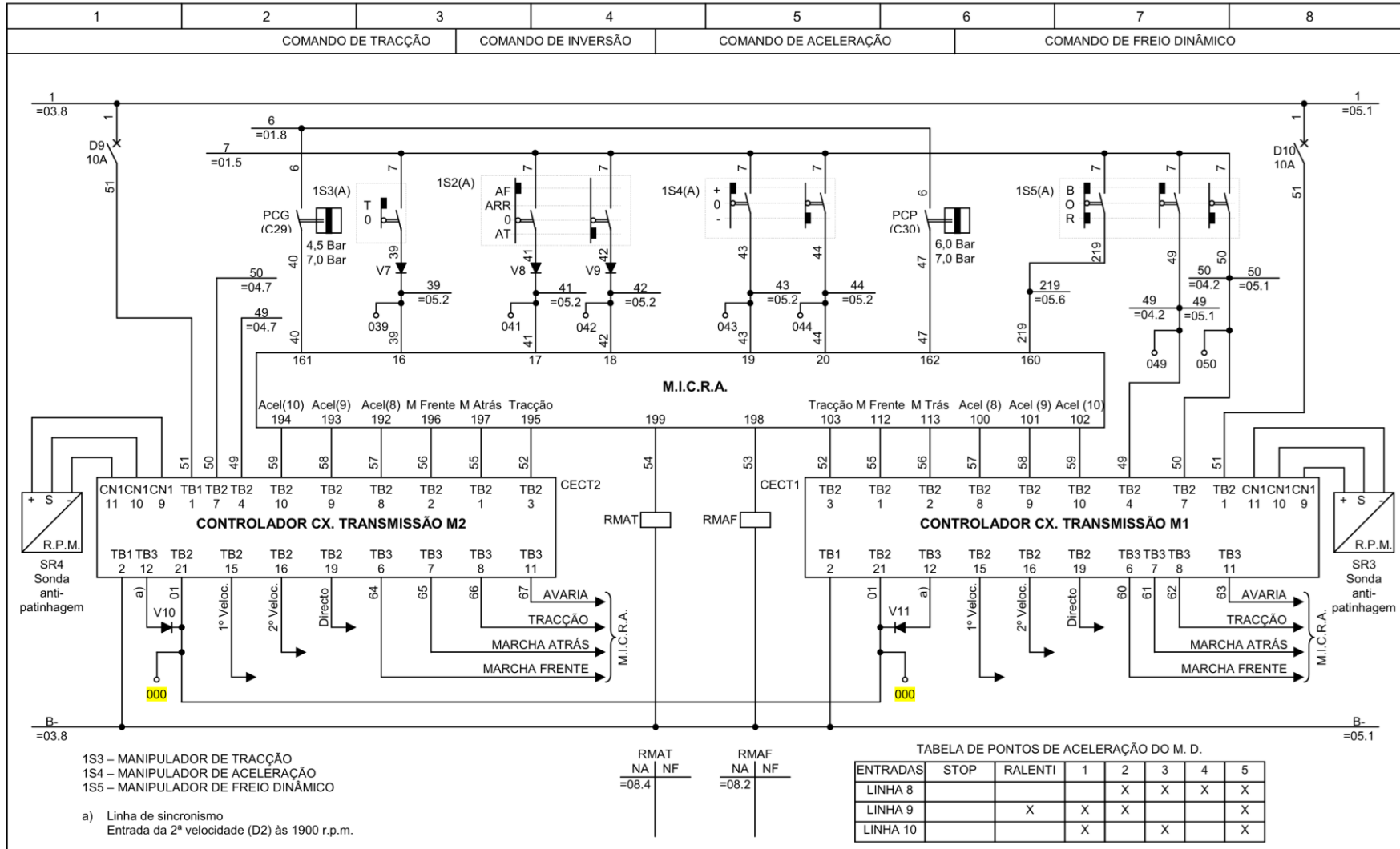


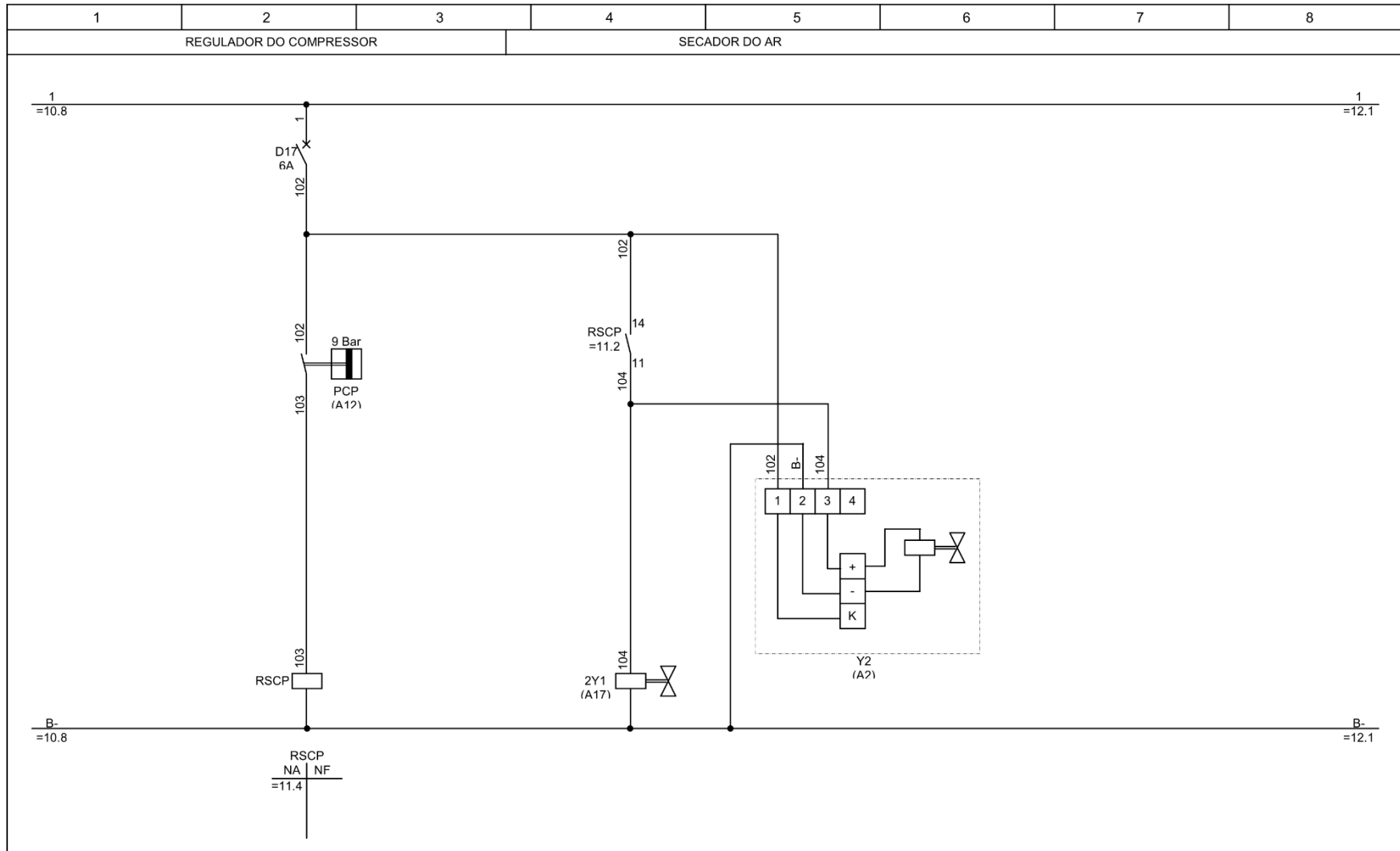
Anexo B – Esquema pneumático do sistema PTA



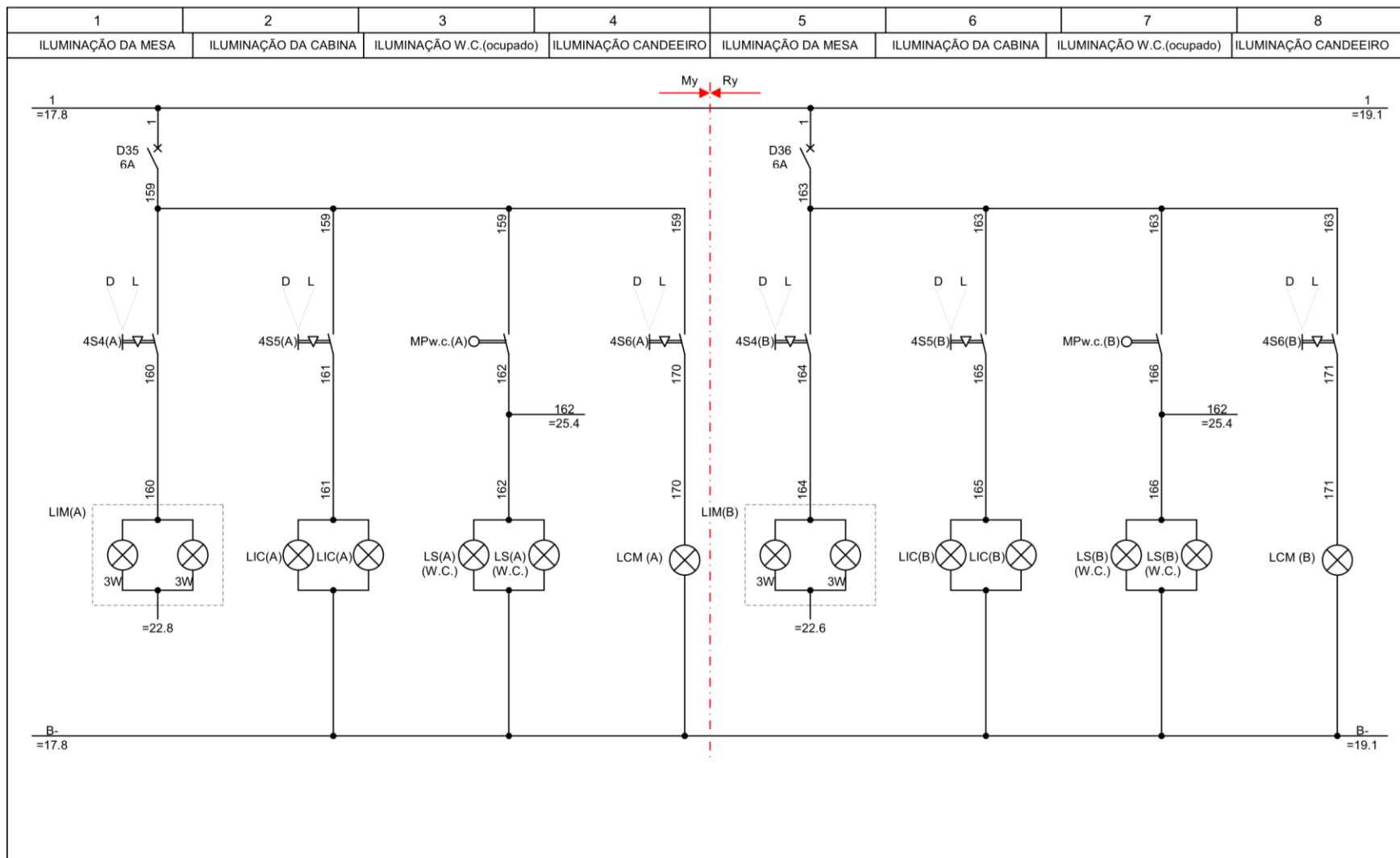
Anexo C – Esquemas elétricos do sistema PTA (utilizados no estudo)

U.D.D. 451-469 esquema (01-10)







U.D.D. 451-469 esquema (11-20)



Anexo D – Folha de informação do estudo RCM

 ISEL  COMBOIOS DE PORTUGAL	Folha de Informação		
	Série: Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Sistema: Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	Facilitador: João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1 Comprimir ar para a conduta principal, a pressões compreendidas entre 7,5 bar e 8,5 bar, com humidade relativa não superior a 35% e uma concentração de óleo inferior a 0,1 ppm.	A Totalmente incapaz de comprimir ar.	1 Disjuntor (D17) falha aberto.	O envelhecimento natural dos disjuntores pode levar ao isolamento dos contactos, impedindo o fecho do circuito elétrico de alimentação ou a sua abertura intempestiva. No caso da falha aberta do disjuntor (D17) perde-se a alimentação elétrica à electroválvula (A17) e consequentemente dá-se a alimentação à válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar em vazio, impedindo a subida da pressão na conduta principal. Surge a mensagem no display do maquinista (Alarme - Baixa pressão conduta principal). Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, dar-se-á a imobilização da unidade por falta de ar e será necessário pedir socorro.



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	A	2 Válvula de segurança (A3) falha aberta.	O envelhecimento normal dos elementos da válvula de segurança (A3) pode originar fugas através da válvula de segurança. A falha aberta da válvula de segurança (A3) pode originar fugas de ar que, numa fase inicial, causam ruído perceptível ao maquinista e no limite, comprometam o fornecimento de ar à conduta principal. Neste caso, o maquinista apercebe-se da falha, através do manómetro B6 ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme - Baixa pressão conduta principal). Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá pedir socorro ao comboio.



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	A	3 Válvula de segurança (A10) falha aberta.	O envelhecimento normal dos elementos da válvula de segurança (A10) pode originar fugas através da válvula de segurança. A falha aberta da válvula de segurança (A10) pode originar fugas de ar que, numa fase inicial, causam ruído perceptível ao maquinista e no limite, comprometam o fornecimento de ar à conduta principal. Neste caso, o maquinista apercebe-se da falha, através do manómetro B6 ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme - Baixa pressão conduta principal). Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá pedir socorro ao comboio.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	A	4 Filtro de decantação de água (A19) colmatado por sujidade.	A filtragem do ar origina a progressiva colmatção do filtro de decantação de água. Se nada for feito, o filtro de decantação de água (A19) entope impedindo a passagem de ar para a conduta principal. A pressão irá subir até aos 10,5 bar, até que seja atuada a válvula de segurança (A3). Perde-se a alimentação à conduta principal, sendo este facto, perceptível ao maquinista através do manómetro (B6) ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme - Baixa pressão conduta principal). Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá pedir socorro ao comboio.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	A	5 Bobina da electroválvula de comutação (43) da torre de secagem em curto-circuito.	O funcionamento repetido da electroválvula induz ciclos de fadiga térmica na respetiva bobina que podem originar a sua entrada em curto-circuito. A falha em curto-circuito da bobina da electroválvula de comutação (43), provoca a atuação do disjuntor (D17), perdendo-se a alimentação elétrica à electroválvula (A17) e consequentemente dá-se a alimentação à válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar em vazio, impedindo a subida da pressão na conduta principal. Surge a mensagem no display do maquinista (Alarme - Baixa pressão conduta principal). Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, dar-se-á a imobilização da unidade por falta de ar e será necessário pedir socorro.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	A	6 Electroválvula (A17) falha aberta por prisão.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha aberta por prisão da electroválvula (A17), mantém alimentada a válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar permanentemente em vazio, comprometendo o fornecimento de ar à conduta principal. Neste caso, o maquinista apercebe-se da falha, através do manómetro (B6) ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal). Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a tripulação atuar sobre a torneira de isolamento (A16). Nestas circunstâncias a unidade deverá ser enviada à oficina logo que possível, uma vez que o controlo de pressão na conduta principal passa a ser efetuado pela válvula de segurança (A10).



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	<p>B Comprimir ar para a conduta principal a pressões superiores a 8,5 bar.</p>	<p>1 Pressóstato (A12) desregulado para cima.</p>	<p>O funcionamento continuado dos pressóstatos pode levar à desregulação dos mesmos impedindo o seu fecho na pressão definida. Neste caso o pressóstato (A12) não alimenta a electroválvula (A17) e consequentemente perde-se a alimentação à válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca, no limite, os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se a fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	2 Contacto do pressóstato (A12) falha aberto.	O funcionamento continuado dos pressóstatos pode levar ao bloqueio dos mesmos, impedindo o seu fecho. No caso da falha em posição de aberto dos contactos do pressóstato (A12) suprime-se a alimentação à electroválvula (A17) e consequentemente perde-se a alimentação da válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9.5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está cima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	3 Relé RSCP com bobina interrompida.	O envelhecimento natural e as vibrações induzidas pelo movimento da unidade podem originar falhas dos relés. A falha por interrupção da bobina do relé RSCP, impede o fecho do respetivo contacto, deixando de regular o compressor, suprimindo a alimentação à electroválvula (A17) e consequentemente perde-se a alimentação da válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

9



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	4 Relé RSCP com bobina em curto-circuito.	O envelhecimento natural e as vibrações induzidas pelo movimento da unidade podem originar falhas dos relés. A falha por curto-circuito da bobina do relé RSCP, no limite, provoca o desarme do disjuntor (D17) que coloca o regulador do compressor fora de serviço. É suprimida a alimentação da electroválvula (A17) e consequentemente perde-se a alimentação da válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	5 Contacto 14-11 (NO1) do relé RSCP falha aberto.	Os ciclos normais de abertura e fecho do relé provocam descargas nos contactos que originam a sua degradação ao longo do tempo. A falha em aberto do contacto 14-11 (NO1) do relé RSCP suprime a alimentação à electroválvula (A17) e consequentemente perde-se a alimentação da válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	6 Base do relé RSCP com contactos isolados por envelhecimento natural.	O envelhecimento natural e as vibrações induzidas pelo movimento da unidade podem originar falhas nas bases dos relés. A falha por isolamento dos contactos do relé RSCP suprime a alimentação à electroválvula (A17) e consequentemente perde-se a alimentação da válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	7 Electroválvula (A17) (2Y1) com bobina interrompida.	O envelhecimento natural e as vibrações induzidas pelo movimento da unidade podem originar falhas nas electroválvulas. A falha por interrupção da bobina da electroválvula (A17), suprime a alimentação à válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	8 Electroválvula (A17) (2Y1) com bobina em curto-circuito.	O envelhecimento natural e as vibrações induzidas pelo movimento da unidade podem originar falhas nas electroválvulas. A falha por curto-circuito da bobina da electroválvula (A17), no limite, provoca o desarme do disjuntor (D17) que coloca o regulador do compressor fora de serviço. É suprimida a alimentação à electroválvula (A17) e consequentemente perde-se a alimentação da válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

14



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas Diesel da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	9 Electroválvula (A22) de purga do filtro de óleo (A20) com bobina em curto-circuito.	O envelhecimento natural e as vibrações induzidas pelo movimento da unidade podem originar falhas nas electroválvulas. A falha por curto-circuito da bobina da electroválvula de purga do filtro de óleo (A22), no limite, provoca o desarme do disjuntor (D17) que coloca o regulador do compressor fora de serviço. É suprimida a alimentação à electroválvula (A17) e consequentemente perde-se a alimentação da válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

15



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas Diesel da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	10 Electroválvula (A21) de purga do filtro de água (A19) com bobina em curto-circuito.	O envelhecimento natural e as vibrações induzidas pelo movimento da unidade podem originar falhas nas electroválvulas. A falha por curto-circuito da bobina da electroválvula de purga do filtro de água (A21), no limite, provoca o desarme do disjuntor (D17) que coloca o regulador do compressor fora de serviço. É suprimida a alimentação à electroválvula (A17) e consequentemente perde-se a alimentação da válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

16

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	11 Filtro (A15) colmatado por sujidade.	O normal funcionamento da unidade provoca a acumulação de sujidade nos seus componentes internos. A falha por colmatação do filtro (A15) impede a colocação dos compressores em vazio. Esta circunstância coloca os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.



COMBOIOS DE PORTUGAL



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450



Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

<p>1</p>	<p>B</p>	<p>12 Filtro (A15) em falha por acumulação de água.</p>	<p>O normal funcionamento da unidade provoca a acumulação de humidade nos seus componentes internos. A falha por acumulação de água no filtro (A15) provoca a perda da sua função e consequentemente permite a passagem de humidade para os componentes adjacentes, o que origina a sua degradação precoce. No limite, poderá prejudicar o funcionamento do sistema de colocação dos compressores em vazio. Esta circunstância pode colocar os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>
----------	----------	---	--

  COMBOIOS DE PORTUGAL	Folha de Informação		
	Série:	Sistema:	Facilitador:
	Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	13 Torneira de isolamento (A16) falha fechada por prisão.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha fechada por prisão da torneira de isolamento (A16), apenas acontece após o isolamento do sistema de colocação em vazio, em caso de avaria de um outro componente, ou seja, apenas é perceptível pela equipa de manutenção. Esta falha coloca os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10).



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	14 Electroválvula (A17) falha fechada por prisão.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha fechada por prisão da electroválvula (A17), suprime a alimentação à válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	15 Válvula de descarga (A18) falha fechada por prisão.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha fechada por prisão da válvula de descarga (A18) coloca o respetivo compressor a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

  COMBOIOS DE PORTUGAL	Folha de Informação		
	Série:	Sistema:	Facilitador:
	Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	16 Torneira de isolamento (A23) falha fechada por prisão.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha fechada por prisão da torneira de isolamento (A23), apenas acontece após isolamento da válvula de descarga (A18), em caso de avaria da mesma, ou seja, apenas é perceptível pela equipa de manutenção. Esta falha coloca o respetivo compressor a funcionar permanentemente em carga, provocando a subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10).



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	B	17 Filtro (A24) colmatado por sujidade.	O normal funcionamento da unidade provoca a acumulação de sujidade nos seus componentes internos. A falha por colmatação do filtro (A24) impede a colocação do respetivo compressor em vazio. Esta circunstância coloca o respetivo compressor a funcionar permanentemente em carga, provocando uma subida de pressão na conduta principal acima do limite estipulado. Logo que seja atingida a pressão de 9,5 bar, começa a verificar-se fuga de ar perceptível através da válvula de segurança (A10). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está acima do normal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	C Comprimir ar para a conduta principal a pressões inferiores a 7,5 bar.	1 Pressóstato (A12) desregulado para baixo.	O funcionamento continuado dos pressóstatos pode levar à desregulação dos mesmos, podendo provocar o seu fecho abaixo da pressão indicada. No caso da desregulação para baixo do pressóstato (A12) dá-se a alimentação elétrica à electroválvula (A17), a uma pressão abaixo de 7,5 bar, e consequentemente dá-se a alimentação à válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar em vazio, impedindo a subida de pressão da conduta principal até ao intervalo definido. Surge a mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão na conduta principal). Nesta circunstância o maquinista deverá colocar o regulador do compressor fora de serviço, atuando o disjuntor (D17). Esta ação fará subir a pressão na conduta principal, até que seja atuada a válvula de segurança (A10). Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

24



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas Diesel da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	C	2 Contacto do pressóstato (A12) falha fechado.	O funcionamento continuado dos pressóstatos pode levar ao bloqueio dos mesmos, impedindo a sua abertura. No caso da falha em posição de fechado dos contactos do pressóstato (A12) mantém-se a alimentação elétrica à electroválvula (A17) e consequentemente dá-se a alimentação à válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar em vazio, impedindo a subida da pressão na conduta principal. Surge a mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão na conduta principal). Nesta circunstância o maquinista deverá colocar o regulador do compressor fora de serviço, atuando o disjuntor (D17). Esta ação fará subir a pressão na conduta principal, até que seja atuada a válvula de segurança (A10). Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

25



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	C	3 Contacto 14-11 (NO1) do relé RSCP falha fechado.	Os ciclos normais de abertura e fecho do relé provocam descargas nos contactos que originam a sua degradação ao longo do tempo. A falha fechado do contacto 14-11 (NO1) do relé RCSP alimenta a electroválvula (A17) e consequentemente dá-se a alimentação à válvula de descarga (A18). Esta circunstância coloca os compressores a funcionar em vazio, impedindo a subida da pressão na conduta principal. Surge a mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal). Nesta circunstância o maquinista deverá colocar o regulador do compressor fora de serviço, atuando o disjuntor (D17). Esta ação fará subir a pressão na conduta principal, até que seja atuada a válvula de segurança (A10). Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	D Produzir ar comprimido com humidade relativa superior a 35%.	1 Carta eletrónica (Y2) da electroválvula de comutação da torre de secagem (A4) em falha.	A carta eletrónica de comutação da torre de secagem, no local onde encontra é quase exclusivamente afetada por um padrão de falha aleatório. A falha da carta eletrónica da electroválvula de comutação da torre de secagem inibe a alternância entre vasos de exsicante, mantendo um deles sempre em serviço. Neste caso, dá-se a saturação do exsicante do vaso em serviço, provocando, no limite, a passagem de água para a conduta principal, podendo danificar todos os componentes adjacentes, incluindo órgãos de freio.
1	D	2 Filtro de decantação de água (A19) degradado por utilização normal.	A ação de limpeza do filtro, potencia a degradação do elemento centrifugo. A degradação do filtro de decantação de água (A19) por utilização normal, impede a separação de água que se encontra no ar comprimido, podendo dar-se a passagem de água para jusante, contaminando órgãos adjacentes. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do exsicante presente na torre de secagem, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	D	3 Gigueur de regeneração (50) entupido por acumulação de sujidade.	O funcionamento normal da torre de secagem leva à acumulação de sujidade nos seus componentes internos. A falha por acumulação de sujidade do gigueur de regeneração (50) da torre de secagem, impede, no limite, a regeneração do exsicante de um dos vasos. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do exsicante presente na torre de secagem, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.
1	D	4 Qualquer um dos êmbolos da válvula de êmbolo duplo (34) bloqueado na posição de secagem por desgaste.	O funcionamento normal da torre de secagem leva ao aparecimento de desgastes nos seus componentes internos. O bloqueio de qualquer um dos êmbolos da válvula de êmbolo duplo (34) na posição de secagem, impede a regeneração do exsicante do vaso correspondente. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do exsicante desse vaso, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.



COMBOIOS DE PORTUGAL



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas Diesel da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	D	5 Qualquer um dos êmbolos da válvula de êmbolo duplo (34) bloqueado na posição de secagem por acumulação de sujidade.	O funcionamento normal da torre de secagem leva à acumulação de sujidade nos seus componentes internos. O bloqueio de qualquer um dos êmbolos da válvula de êmbolo duplo (34) na posição de secagem, impede a regeneração do exsicante do vaso correspondente. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do exsicante desse vaso, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.
1	D	6 Qualquer um dos êmbolos da válvula de êmbolo duplo (34) bloqueado na posição de regeneração por desgaste.	O funcionamento normal da torre de secagem leva ao aparecimento de desgastes nos seus componentes internos. O bloqueio de qualquer um dos êmbolos da válvula de êmbolo duplo (34) na posição de regeneração, impede a secagem por um dos vasos e a regeneração do exsicante do vaso que permanece em serviço. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do exsicante desse vaso, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	D	7 Qualquer um dos êmbolos da válvula de êmbolo duplo (34) bloqueado na posição de regeneração por acumulação de sujidade.	O funcionamento normal da torre de secagem leva à acumulação de sujidade nos seus componentes internos. O bloqueio de qualquer um dos êmbolos da válvula de êmbolo duplo (34) na posição de regeneração, impede a secagem por um dos vasos e a regeneração do exsicante do vaso que permanece em serviço. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do exsicante desse vaso, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.
1	D	8 Qualquer uma das sedes V da electroválvula de comutação (43) da torre de secagem em falha por acumulação de sujidade.	O funcionamento normal da torre de secagem leva à acumulação de sujidade nos seus componentes internos. A falha por acumulação de sujidade de qualquer uma das sedes V da electroválvula de comutação (43) da torre de secagem, impede, no limite, a secagem por um dos vasos e a regeneração do exsicante do vaso que permanece em serviço. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do exsicante desse vaso, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

30



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas Diesel da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	D	9 Qualquer uma das sedes V da electroválvula de comutação (43) da torre de secagem em falha por desgaste.	O funcionamento normal da torre de secagem leva ao aparecimento de desgastes nos seus componentes internos. A falha por desgaste de qualquer uma das sedes V da electroválvula de comutação (43) da torre de secagem, impede, no limite, a secagem por um dos vasos e a regeneração do exsicante do vaso que permanece em serviço. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do exsicante desse vaso, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.
1	D	10 Qualquer uma das sedes V da electroválvula de comutação (43) da torre de secagem em falha por desgaste.	O funcionamento normal da torre de secagem leva ao aparecimento de desgastes nos seus componentes internos. A falha por desgaste de qualquer uma das sedes V da electroválvula de comutação (43) da torre de secagem, impede, no limite, a secagem por um dos vasos, bem como a regeneração do exsicante do vaso em serviço. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do exsicante desse mesmo vaso, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive órgãos de freio.

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)



31



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	D	11 Qualquer uns dos anéis vedantes K (34.17) da válvula de comutação (34) da torre de secagem em falha por degradação natural.	O funcionamento normal da torre de secagem leva ao envelhecimento natural dos seus componentes internos em borracha. A falha por degradação natural de qualquer um dos anéis vedantes K (34.17) da válvula de comutação (34) da torre de secagem, impede a comutação entre vasos. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do vaso que permanece ao serviço, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.
1	D	12 Bobina da electroválvula de comutação (43) da torre de secagem interrompida.	O funcionamento repetido da electroválvula induz ciclos de fadiga térmica na respetiva bobina, que podem originar a sua interrupção. A falha por interrupção da bobina da electroválvula de comutação (43), impede a comutação entre vasos. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do vaso que permanece ao serviço, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.

  COMBOIOS DE PORTUGAL	Folha de Informação		
	Série:	Sistema:	Facilitador:
	Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função		Falha funcional		Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1		D		13 Placa de circuitos impressos em falha por envelhecimento natural.	<p>O envelhecimento natural e as vibrações induzidas pela unidade podem provocar a falha da placa de circuitos impressos.</p> <p>A falha por envelhecimento natural da placa de circuitos impressos pode originar deficiência na comutação da torre de secagem. No limite, impede a comutação entre vasos. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do vaso que permanece ao serviço, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.</p>



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	D	14 Anel vedante k (56) da válvula de alimentação (55) à válvula de comutação (34) da torre de secagem em falha por degradação natural.	<p>O funcionamento normal da torre de secagem leca ao envelhecimento natural dos seus componentes internos em borracha.</p> <p>A falha por degradação natural do anel vedante k (56) da válvula de alimentação (55) à válvula de comutação (34) da torre de secagem, origina a fuga de ar pelo orifício (01), o que impede a comutação entre vasos. Se nada for feito, dá-se a saturação prematura do vaso que permanece ao serviço, podendo contaminar toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.</p>
1	D	15 Exsicante (19.7) em falha por degradação natural.	<p>O funcionamento normal da torre de secagem leva à perda de características do exsicante.</p> <p>A falha por degradação natural do exsicante (19.7), impede a retenção de humidade presente no ar comprimido. Inicialmente a falha torna-se perceptível através da coloração esbranquiçada da água à saída do orifício de purga da torre de secagem. No limite, dá-se contaminação de toda a instalação de ar comprimido com humidade, inclusive os órgãos de freio.</p>


Folha de Informação
Série:

 Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450



Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	E Produzir ar comprimido com uma concentração de óleo superior a 0,1 ppm.	1 Electroválvula (A22) de purga do filtro de óleo (A20) com bobina interrompida.	O envelhecimento natural e as vibrações induzidas pelo movimento da unidade podem originar falhas nas electroválvulas. A falha por interrupção da bobina da electroválvula de purga do filtro de óleo, impede a purga de óleo do filtro. Quando o filtro estiver cheio poderá dar-se a passagem de óleo para jusante, contaminando os órgãos adjacentes, podendo danificar os órgãos de freio.
1	E	2 Resistência da electroválvula de purga do filtro de óleo interrompida.	A fadiga térmica e as vibrações induzidas pelo movimento da unidade podem originar falhas nas resistências das electroválvulas. A falha por interrupção da resistência da electroválvula de purga do filtro de óleo, não possui quaisquer consequências.
1	E	3 Filtro separador de óleo (A20) colmatado por sujidade.	A filtração do ar origina a progressiva colmatção do filtro separador de óleo. Se nada for feito, o filtro colapsa permitindo a passagem de ar comprimido contaminado com óleo para a torre de secagem. Este facto, deteriora o exsiccante, permitindo a passagem de humidade e óleo para toda a instalação de ar comprimido, inclusive órgãos de freio.

  COMBOIOS DE PORTUGAL	Folha de Informação		
	Série:	Sistema:	Facilitador:
	Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função		Falha funcional		Modo de falha (Causa da falha)		Efeito da falha (o que acontece quando falha)	
1		E		4	Elemento filtrante do filtro separador de óleo (A20) degradado por envelhecimento natural.	O funcionamento continuado do filtro separador de óleo (A20), induz degradação no elemento filtrante. A degradação do elemento filtrante do filtro separador de óleo (A20) por envelhecimento natural, poderá resultar no colapso do filtro, possibilitando a passagem de ar comprimido contaminado com óleo para a torre de secagem. Este facto, deteriora o exsicante, permitindo a passagem de humidade e óleo para toda a instalação de ar comprimido, inclusive órgãos de freio.	

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F Comprimir ar com uma capacidade limitada a 50%.	1 Lubrificante do motor/compressor falha por degradação natural.	<p>A permanência de óleo em circulação degrada as suas características, reduzindo progressivamente a capacidade de lubrificação.</p> <p>A falha por degradação natural do óleo lubrificante pode originar o desgaste prematuro dos componentes internos do compressor (A1), podendo, no limite, ocorrer a falha catastrófica do mesmo.</p> <p>Em situações limite, dá-se a fratura do fusível mecânico (7), perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor (A1) e do compressor (A1) à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente.</p> <p>O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração, deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

37

**Folha de Informação**

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	2 Lubrificante do motor/compressor falha por consumo normal.	<p>O funcionamento normal do motor diesel, origina o consumo normal de óleo.</p> <p>A falha por consumo normal de óleo lubrificante pode originar, no limite, a atuação do pressóstato de baixa pressão do óleo (PSH1/PSH2). Neste caso dá-se a emissão de um aviso no display do maquinista de "Baixa pressão de óleo no MD1/MD2" e a paragem do motor diesel correspondente, levando à paragem do compressor (A1).</p> <p>Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	3 Líquido refrigerante do motor/ compressor falha por degradação natural.	<p>A permanência do líquido refrigerante em circulação degrada as suas propriedades anticongelantes, anticorrosivas e refrigerantes.</p> <p>A falha por degradação natural do líquido refrigerante pode originar o congelamento do mesmo, a corrosão dos elementos internos do compressor (A1) ou a perda da capacidade de refrigeração, podendo ocorrer a falha catastrófica do mesmo.</p> <p>Em situações limite, dá-se a fratura do fusível mecânico (7) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor (A1) e do compressor à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente.</p> <p>O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

39



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	4 Líquido refrigerante do motor/compressor em falta por consumo normal.	<p>O funcionamento normal do motor diesel, provoca o consumo normal de líquido refrigerante.</p> <p>A falha por consumo normal do líquido refrigerante pode originar, no limite, a atuação do sensor de nível de líquido refrigerante (SNASP1/SNASP2). Neste caso dá-se a emissão de um aviso no display do maquinista de "Baixo nível de água no MD1/MD2" e a paragem do motor diesel correspondente.</p> <p>Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	5 Bielas (56) do compressor fraturadas por fadiga.	<p>O funcionamento normal do compressor (A1) induz fenómenos de fadiga nos seus componentes internos. A fratura por fadiga de uma das bielas (56) provoca, no limite, a destruição dos componentes adjacentes. Em situações limite, dá-se a fratura do fusível mecânico (7) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor (A1) e do compressor (A1) à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente.</p> <p>O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display do maquinista que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	6 Êmbolos (52) do compressor fraturados por fadiga.	<p>O funcionamento normal do compressor (A1) induz fenómenos de fadiga nos seus componentes internos. A fratura por fadiga de um dos êmbolos (52) provoca, no limite, a destruição dos componentes adjacentes. Em situações limite, dá-se a fratura do fusível mecânico (7) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor (A1) e do compressor (A1) à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente.</p> <p>O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display do maquinista que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

1	F	7
		<p>Êmbolos (52) do compressor em falha por desgaste normal.</p>
		<p>O funcionamento normal do compressor (A1) induz fenómenos de desgaste normal nos seus componentes internos.</p> <p>A falha de um dos êmbolos (52) por desgaste normal, provoca, numa fase inicial uma perda de rendimento do compressor (A1). No limite, o desgaste pode evoluir ao ponto de provocar instabilidade no êmbolo (52), levando à sua fratura. Poderá dar-se a fratura do fusível mecânico (7) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor (A1) e do compressor (A1) à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente.</p> <p>O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display do maquinista que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas Diesel da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	8 Segmentos (53, 54 e 55) do compressor fraturados por fadiga.	<p>O funcionamento normal do compressor (A1) induz fenómenos de fadiga nos seus componentes internos. A fratura por fadiga de um dos segmentos (53, 54 e 55) provoca, no limite, a gripagem do êmbolo (52) respetivo e a destruição dos componentes adjacentes. Em situações limite, dá-se a fratura do fusível mecânico (7) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor (A1) e do compressor (A1) à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente.</p> <p>O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display do maquinista que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
11	F	9 Segmentos (53, 54 e 55) do compressor em falha por desgaste normal.	<p>O funcionamento normal do compressor (A1) induz fenómenos de desgaste normal nos seus componentes internos.</p> <p>A falha de um dos segmentos (53, 54 e 55) por desgaste normal, provoca, numa fase inicial uma perda de rendimento do compressor (A1) e passagem de óleo para o circuito de ar comprimido, podendo provocar o seu entupimento. Esta circunstância pode provocar uma sobrecarga do compressor (A1), o que poderá levar à fratura do fusível mecânico (7) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor (A1) e do compressor (A1) à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente. No limite, a passagem de óleo dá-se num volume tal que, pode contaminar e prejudicar o funcionamento dos equipamentos de freio.</p>



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	10 Cavilhão (50) do compressor em falha por desgaste normal.	<p>O funcionamento normal do compressor (A1) induz fenómenos de desgaste normal nos seus componentes internos.</p> <p>A falha de um dos cavilhões (50) por desgaste normal, provoca, numa fase inicial batimento no alojamento no êmbolo (52). No limite, os batimentos podem levar à fratura do êmbolo (52).</p> <p>Poderá dar-se a fratura do fusível mecânico (7) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor (A1) e do compressor (A1) à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente.</p> <p>O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display do maquinista que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	11 Cilindro do compressor em falha por desgaste normal.	<p>O funcionamento normal do compressor induz fenómenos de desgaste normal nos seus componentes internos.</p> <p>A falha de um dos cilindros do compressor por desgaste normal, provoca, numa fase inicial uma perda de rendimento do compressor (A1) e passagem de óleo para o circuito de ar comprimido, podendo provocar o seu entupimento. Esta circunstância pode provocar uma sobrecarga do compressor (A1), o que poderá levar à fratura do fusível mecânico (7) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor (A1) e do compressor (A1) à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente. No limite, a passagem de óleo dá-se num volume tal que, pode contaminar e prejudicar o funcionamento dos equipamentos de freio.</p>

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	12 Cabeças da biela (56) do compressor em falha por desgaste normal.	O funcionamento normal do compressor induz fenómenos de desgaste normal nos seus componentes internos. A falha das cabeças da biela (56) por desgaste normal, provoca, numa fase inicial, batimentos na biela que podem levar à fratura da mesma ou gripagem do moente. No limite, poderá dar-se a fratura do fusível mecânico (7) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor e do compressor à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente. O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display do maquinista que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

**Folha de Informação**

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

1	F	13	<p>Casquilho da cambota (45) do compressor, do lado do acionamento pelo motor, em falha por desgaste normal.</p>	<p>O funcionamento normal do compressor induz fenómenos de desgaste normal nos seus componentes internos. A falha do casquilho da cambota (45), do lado acionamento pelo motor, por desgaste normal, provoca, numa fase inicial, oscilações na cambota que podem levar ao desalinhamento da mesma relativamente às transmissões, causando a degradação precoce dos componentes adjacentes. No, limite, poderá dar-se a fratura do fusível mecânico (63) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor e do compressor à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente.</p> <p>O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display do maquinista que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>
---	---	----	--	--



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	14 Casquilho da cambota (45) do compressor, do lado do acionamento da bomba de carga, em falha por desgaste normal.	O funcionamento normal do compressor induz fenómenos de desgaste normal nos seus componentes internos. A falha do casquilho da cambota (45), do lado da bomba de carga, por desgaste normal, provoca numa fase inicial, oscilações na cambota que podem levar ao desalinhamento da mesma relativamente às transmissões, causando a degradação precoce dos componentes adjacentes. No limite, poderá dar-se a fratura do fusível mecânico (63) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor e do compressor à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente. O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display do maquinista que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

50



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas Diesel da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	15 Mola da válvula de admissão (35) do compressor fraturada por fadiga.	<p>O funcionamento normal do compressor induz fenómenos de fadiga nos seus componentes internos. A fratura por fadiga da mola da válvula de admissão (35) provoca numa fase inicial, perda de rendimento do compressor e, no limite, caso a mesma caia para a camara de compressão, provocar danos no topo do embolo, podendo levar à gripagem do mesmo. Em situações limite, dá-se a fratura do fusível mecânico (63) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor e do compressor à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente.</p> <p>O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display do maquinista que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

51



COMBOIOS DE PORTUGAL



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas Diesel da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

1		F		16	Mola da válvula de descarga (27) do compressor fraturada por fadiga.	<p>O funcionamento normal do compressor induz fenómenos de fadiga nos seus componentes internos. A fratura por fadiga da mola da válvula de descarga (27) provoca, numa fase inicial, perda de rendimento do compressor e, no limite, caso a mesma siga para o tubo de descarga, pode potenciar a acumulação de detritos, levando ao seu entupimento. Esta circunstância pode provocar uma sobrecarga do compressor (A1), que poderá levar à fratura do fusível mecânico (63) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor (A1) e do compressor (A1) à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente.</p> <p>O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display do maquinista que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>
---	--	---	--	----	--	--

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
	F	17 Arrefecedor de ar (A1.2) com fuga por degradação natural.	<p>A exposição do arrefecedor de ar às agressões externas (vibrações, condições atmosféricas, lavagens, etc.) promove a sua degradação.</p> <p>A degradação do arrefecedor de ar (A1.2), pode originar fugas de ar que comprometam o fornecimento de ar à conduta principal. Em circunstâncias limite poderá provocar a falta de ar comprimido na conduta principal. Neste caso, o maquinista apercebe-se da falha, através do manómetro (B6) ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal).</p> <p>Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	18 Válvula de retenção (A14) falha fechada por prisão.	<p>O funcionamento continuado da válvula de retenção (A14) origina desgastes internos que podem levar à sua prisão na posição fechada.</p> <p>A falha por prisão na posição de fechada da válvula de retenção (A14) provoca a obstrução da passagem do ar para a conduta principal. Esta circunstância provoca uma sobrecarga do compressor (A1), o que poderá levar à fratura do fusível mecânico (7) perdendo-se a transmissão de movimento do motor ao compressor (A1) e do compressor (A1) à bomba de carga. Nesta circunstância dá-se a paragem do motor diesel correspondente.</p> <p>O maquinista apercebe-se da falha devido à falta de capacidade de tração da unidade, acabando por confirmar através do display do maquinista que o motor diesel se encontra parado. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

54



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	19 Válvula de descarga (A18) falha aberta por prisão.	<p>O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos.</p> <p>A falha aberta por prisão da válvula de descarga (A18) coloca o compressor respetivo a funcionar permanentemente em vazio, comprometendo o fornecimento de ar à conduta principal. No limite, o maquinista apercebe-se da falha, através do manómetro (B6) ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal).</p> <p>Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a tripulação atuar sobre a torneira de isolamento (A23). Nestas circunstâncias a unidade deverá ser enviada à oficina logo que possível, uma vez que o controlo de pressão na conduta principal passa a ser efetuado pela válvula de segurança (A10).</p>

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva



Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	20 Torneira de isolamento (A23) falha aberta por prisão.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha aberta por prisão da torneira de isolamento (A23), impede a tripulação de isolar o circuito de colocação em vazio, em caso de falha da válvula de descarga (A18). O fornecimento de ar à conduta principal pode ficar comprometido, por impossibilidade de isolamento da válvula de descarga em falha. No limite, o maquinista apercebe-se da falha, através do manómetro (B6) ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal). Nestas circunstâncias o maquinista poderá prosseguir a marcha até ao destino, tendo em atenção a capacidade limitada de produção de ar.



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	21 Filtro de entrada do compressor (25) colmatado por sujidade.	<p>O normal funcionamento da unidade provoca a acumulação de sujidade nos seus componentes internos.</p> <p>A falha por colmatção do filtro de entrada do compressor (A25) impede a aspiração de ar atmosférico por parte do compressor respetivo. Nesta circunstância é prejudicado o rendimento do compressor, comprometendo-se, no limite, a alimentação da conduta principal. Neste caso, o maquinista apercebe-se da falha, através do manómetro (B6) ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal). Nestas circunstâncias o maquinista poderá prosseguir a marcha até ao destino, tendo em atenção a capacidade limitada de produção de ar.</p>

  COMBOIOS DE PORTUGAL	Folha de Informação		
	Série:	Sistema:	Facilitador:
	Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	F	22 Flexível (A1.1) em falha por degradação natural.	<p>As vibrações induzidas pela unidade, em conjugação com o envelhecimento do flexível podem originar fugas de ar.</p> <p>A falha por degradação natural do flexível (A1.1) origina uma fuga de ar que pode, no limite, comprometer o fornecimento de ar comprimido à conduta principal pelo respetivo compressor. Neste caso, o maquinista apercebe-se da falha, através do manómetro (B6) ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal). Nestas circunstâncias o maquinista poderá prosseguir a marcha até ao destino, tendo em atenção a capacidade limitada de produção de ar.</p>



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	G	1 Mola da válvula de admissão (35) do compressor pasmada.	O funcionamento normal do compressor induz fenómenos de fadiga nos seus componentes internos. A mola da válvula de admissão (35) pasmada provoca, numa fase inicial, perda de rendimento do compressor que pode chegar aos 50%. Em circunstâncias limite poderá provocar a falta de ar comprimido na conduta principal. Neste caso, o maquinista apercebe-se da falha, através do manómetro (B6) ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal). Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas Diesel da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	G	2 Sede da válvula de admissão (31) do compressor em falha por desgaste.	<p>O funcionamento normal do compressor induz fenómenos de fadiga nos seus componentes internos. A falha por desgaste da sede da válvula de admissão (31) provoca, numa fase inicial, perda de rendimento do compressor que pode chegar aos 50%. Em circunstâncias limite, poderá provocar a falta de ar comprimido na conduta principal. Neste caso, o maquinista apercebe-se da falha através do manómetro (B6) ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal).</p> <p>Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	G	3 Sede da válvula de descarga (29) do compressor em falha por desgaste.	<p>O funcionamento normal do compressor induz fenómenos de fadiga nos seus componentes internos. A falha por desgaste da sede da válvula de descarga (29) provoca, numa fase inicial, perda de rendimento do compressor que chegar aos 50%. Em circunstâncias limite, poderá provocar a falta de ar comprimido na conduta principal. Neste caso, o maquinista apercebe-se da falha através do manómetro (B6) ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal).</p> <p>Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
1	G	4 Mola da válvula de descarga (27) do compressor pasmada.	<p>O funcionamento normal do compressor induz fenómenos de fadiga nos seus componentes internos. A mola da válvula de descarga (27) pasmada provoca, numa fase inicial, perda de rendimento do compressor que pode chegar aos 50%. Em circunstâncias limite, poderá provocar a falta de ar comprimido na conduta principal. Neste caso, o maquinista apercebe-se da falha através do manómetro (B6) ou através da mensagem no display do maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal).</p> <p>Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função		Falha funcional		Modo de falha (Causa da falha)		Efeito da falha (o que acontece quando falha)	
2	Arrefecer o ar à saída do compressor.	A	Incapaz de arrefecer o ar à saída do compressor.	1	Arrefecedor de ar (A1.2) colmatado exteriormente por sujidade.	A circulação normal da unidade promove a acumulação de sujidade nas alhetas do arrefecedor de ar. A colmatção exterior do arrefecedor de ar (A1.2) por sujidade origina insuficiente arrefecimento do ar à saída do compressor. A temperatura do ar comprimido mantém-se elevada na passagem pelo arrefecedor, prejudicando a precipitação da humidade e a purga dos vapores de óleo no desoleador, causando a impregnação do exsicante das torres de secagem e o arrastamento para as tubagens e reservatórios. Esta falha é perceptível para a equipa de manutenção através da presença de água e óleo nos reservatórios da conduta principal. Se nada for feito, a passagem de óleo dá-se num volume tal, que pode contaminar e prejudicar o funcionamento dos equipamentos de freio.	



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função		Falha funcional		Modo de falha (Causa da falha)		Efeito da falha (o que acontece quando falha)	
3	Encher a conduta principal no início da exploração até aos 8,3 bar, num tempo inferior ou igual a 12 min, com os motores diesel a trabalhar ao ralenti.	A	Encher a conduta num tempo superior a 12 min.	1	Electroválvula (A21) de purga do filtro de água (A19) em falha aberta por prisão.	O desgaste normal dos elementos internos da electroválvula (21) de purga do filtro de água (A19) pode originar a sua prisão. A falha aberta da electroválvula de purga do filtro de água, origina fugas de ar que penalizam o tempo de enchimento da conduta principal, porém de forma limitada, podendo não ser perceptível para a operação.	
3		A		2	Electroválvula (A22) de purga do filtro de óleo (A20) em falha aberta por prisão.	O desgaste normal dos elementos internos da electroválvula (A22) de purga do filtro de óleo (A20) pode originar a sua prisão. A falha aberta da electroválvula de purga do filtro de óleo origina fugas de ar que penalizam o tempo de enchimento da conduta principal, porém de forma limitada, podendo não ser perceptível para a operação.	

**Folha de Informação**

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
3	A	3 Qualquer uma das sedes V da válvula de embolo duplo (34) da torre de secagem em falha por acumulação de sujidade.	O funcionamento normal da torre de secagem leva à acumulação de sujidade nos seus componentes internos. A falha por acumulação de sujidade de qualquer uma das sedes V da válvula de êmbolo duplo (34) da torre de secagem, origina numa fase inicial, a fuga de ar de um dos vasos, durante a fase de secagem, para a atmosfera. No limite, poderá comprometer o tempo de enchimento da conduta principal, uma vez que a falha apenas afeta a secagem num dos ciclos. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
3	A	4 Qualquer uma das sedes V da válvula de êmbolo duplo (34) da torre de secagem em falha por desgaste.	O funcionamento normal da torre de secagem leva ao aparecimento de desgastes nos seus componentes internos. A falha por desgaste de qualquer uma das sedes V da válvula de embolo duplo (34) da torre de secagem, origina, numa fase inicial, a fuga de ar de um dos, durante a fase de secagem, para a atmosfera. No limite, poderá comprometer o tempo de enchimento da conduta principal, uma vez que a falha só afeta a secagem num dos ciclos. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
3	A	5 Elemento de borracha dos êmbolos da válvula de embolo duplo (34) da torre de secagem em falha por degradação natural.	O funcionamento normal da torre de secagem leva ao envelhecimento natural dos seus componentes internos em borracha. A falha por degradação natural do elemento de borracha dos êmbolos da válvula de embolo duplo (34) da torre de secagem, origina, numa fase inicial, a fuga de ar de um dos, durante a fase de secagem, para a atmosfera. No limite, poderá comprometer o tempo de enchimento da conduta principal, uma vez que a falha só afeta a secagem num dos ciclos. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
3	A	6 Qualquer uma das sedes V1 ou V9 das válvulas de retenção (24) da torre de secagem em falha por acumulação de sujidade.	O funcionamento normal da torre de secagem leva à acumulação de sujidade nos seus componentes internos. A falha por acumulação de sujidade de qualquer uma faz sedes V1 ou V9 das válvulas de retenção (24) da torre de secagem, origina, numa fase inicial, a fuga de ar de um dos vasos durante a fase de secagem para a atmosfera. No limite, poderá comprometer o tempo de enchimento da conduta principal, uma vez que a falha só afeta a secagem num dos ciclos. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
3	A	7 Qualquer uma das sedes V1 ou V9 das válvulas de retenção (24) da torre de secagem em falha por desgaste.	O funcionamento normal da torre de secagem leva ao aparecimento de desgastes nos seus componentes internos. A falha por desgaste de qualquer uma faz sedes V1 ou V9 das válvulas de retenção (24) da torre de secagem, origina, numa fase inicial, a fuga de ar de um dos vasos durante a fase de secagem para a atmosfera. No limite, poderá comprometer o tempo de enchimento da conduta principal, uma vez que a falha só afeta a secagem num dos ciclos. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
3	A	8 Elemento de borracha do embolo da válvula de retenção (24) da torre de secagem em falha por degradação natural.	O funcionamento normal da torre de secagem leva ao envelhecimento natural dos seus componentes internos em borracha. A falha por degradação natural do elemento de borracha do embolo da válvula de retenção (24) origina, numa fase inicial, a fuga de ar de um dos vasos durante a fase de secagem para a atmosfera. No limite, poderá comprometer o tempo de enchimento da conduta principal, uma vez que a falha só afeta a secagem num dos ciclos. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
3	A	9 Anel vedante K (70) da válvula de retenção (71) da torre de secagem em falha por desgaste natural.	O funcionamento normal da torre de secagem leva ao envelhecimento natural dos seus componentes internos em borracha. A falha por degradação natural do anel vedante K (70) da válvula de retenção (71) da torre de secagem, origina a fuga de ar audível pelo orifício (O2), o que provoca, no limite, um comprometimento do tempo de enchimento da conduta principal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função		Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
4	Proteger a instalação até à torre de secagem de pressões superiores a 10,5 bar.	A Não proteger a instalação até à torre de secagem de pressões superiores a 10,5 bar.	1 Válvula de segurança (A3) falha fechada.	O envelhecimento normal dos elementos da válvula de segurança (A3) pode originar prisões no seu funcionamento que impeçam a sua abertura quando solicitado. A falha fechada da válvula de segurança (A3), apenas terá consequências, se o regulador do compressor e a válvula de segurança (A10) falharem em simultâneo. Se esta situação se verificar, a pressão vai subir até à destruição de um dos componentes da conduta principal, podendo ferir ou matar alguém.
5	Proteger a conduta principal de pressões superiores a 9,5 bar.	A Não proteger a conduta principal de pressões superiores a 9,5 bar.	1 Válvula de segurança (A10) falha fechada.	O envelhecimento normal dos elementos da válvula de segurança (A10) pode originar prisões no seu funcionamento que impeçam a sua abertura quando solicitado. A falha fechada da válvula de segurança (A10) apenas terá consequências se o regulador do compressor falhar. Nesta circunstância, a pressão na conduta principal irá subir até aos 10,5 bar, até que seja atuada a válvula de segurança (A3), este facto sobrecarrega a instalação podendo acelerar a degradação dos restantes elementos.



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função		Falha funcional		Modo de falha (Causa da falha)		Efeito da falha (o que acontece quando falha)	
6	Impedir o retorno do ar para o compressor.	A	Permitir o retorno do ar para o compressor.	1	Válvula de retenção (A14) falha aberta por prisão.	<p>O funcionamento continuado da válvula de retenção (A14) origina desgastes internos, que podem levar à sua prisão na posição aberta.</p> <p>A falha por prisão na posição de aberta da válvula de retenção (A14) possibilita o retorno do ar da conduta principal para o compressor, quando o mesmo é colocado em vazio, permitindo o seu escape para a atmosfera através da válvula de descarga (A18). Este facto é perceptível para o maquinista através do ruído audível da descarga do ar e das oscilações de pressão no manómetro da conduta principal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.</p>	



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
6	A	2 Mola da válvula de retenção (A14) pasmada.	O funcionamento continuado da válvula de retenção induz fenómenos de fadiga nos seus componentes internos. A mola da válvula de retenção (A14) pasmada, possibilita o retorno do ar da conduta principal para o compressor, quando o mesmo é colocado em vazio, permitindo o seu escape para a atmosfera através da válvula de descarga (A18). Este facto é perceptível para o maquinista através do ruído audível da descarga do ar e das oscilações de pressão no manómetro da conduta principal. Se a falha se verificar no início da exploração deverá ser solicitada a substituição da unidade. Caso a falha se verifique durante a exploração, deverá, a unidade, prosseguir até ao destino, sendo posteriormente encaminhada à oficina.
7 Armazenar 150 litros de ar comprimido, para a utilização pelos restantes sistemas, à pressão nominal de 8,5 bar.	A Incapaz de armazenar 150 litros de ar comprimido, para a utilização pelos restantes sistemas, à pressão nominal de 8,5 bar.	1 Reservatório de ar comprimido (A8) em falha por corrosão interna.	A exposição continuada à humidade, provoca a corrosão interna do reservatório de ar comprimido (A8). A falha por corrosão interna do reservatório de ar comprimido (A8), no limite, poderá provocar o colapso com conseqüente rebentamento.



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
7	A	2 Reservatório de ar comprimido (A8) em falha por corrosão externa.	A exposição continuada aos agentes agressivos externos, provoca a corrosão externa do reservatório de ar comprimido (A8). A falha por corrosão externa do reservatório de ar comprimido (A8), no limite, poderá provocar o colapso com consequente rebentamento.
7	A	3 Reservatório de ar comprimido (A8) em falha fadiga estrutural.	A exposição continuada a ciclos de pressurização e despressurização induzem fenómenos de fadiga na estrutura do reservatório de ar comprimido (A8). A falha por fadiga do reservatório de ar comprimido (A8), no limite, poderá provocar o colapso com consequente rebentamento.
7	A	4 Reservatório de ar comprimido (A8) em falha por impactos com corpos estranhos.	Durante o funcionamento normal da unidade, o reservatório poderá ser sujeito a impactos com corpos estranhos. O impacto de corpos estranhos no reservatório de ar comprimido (A8) pode originar defeitos que comprometam a integridade estrutural do reservatório. No limite, estes defeitos podem provocar o colapso da estrutura do reservatório e consequente rebentamento.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
7	A	5 Torneira de purga (A9) do reservatório de ar comprimido (A8) em falha aberta.	O desgaste normal dos elementos internos da torneira de purga (A9) do reservatório de ar comprimido (A8) pode originar fugas de ar. A falha aberta da torneira de purga (A9) do reservatório de ar comprimido (A8) pode originar fuga de ar que penaliza o tempo de enchimento da conduta principal. No limite, a fuga é de tal dimensão que provoca ruído audível perceptível ao maquinista. Nesta circunstância a unidade deve ser enviada à oficina de manutenção logo que possível.
8 Permitir a purga de água, óleo e outras impurezas acumuladas no reservatório e filtros.	A Incapaz de purgar a água, óleo e outras impurezas acumuladas no reservatório.	1 Electroválvula de purga do filtro de água (A21) com bobina interrompida.	O envelhecimento natural e as vibrações induzidas pelo movimento da unidade podem originar falhas nas electroválvulas. A falha por interrupção da bobina da electroválvula de purga do filtro de água (A21), impede a purga de água do filtro. Quando o filtro estiver cheio poderá dar-se a passagem de água para jusante, contaminando os órgãos adjacentes, podendo danificar os órgãos de freio.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
8	A	2 Resistência da electroválvula de purga do filtro de água interrompida.	A fadiga térmica e as vibrações induzidas pelo movimento da unidade podem originar falhas nas resistências das electroválvulas. A falha por interrupção da resistência da electroválvula de purga do filtro de água, permite a obstrução da electroválvula com gelo, na presença de condições climatéricas adversas. Nestas circunstâncias o filtro poderá ficar cheio e poderá dar-se a passagem de água para jusante, contaminando os órgãos adjacentes, podendo danificar os órgãos de freio.
8	A	3 Electroválvula de purga do filtro de água (A21) em falha fechada por prisão.	O desgaste normal dos elementos internos da electroválvula de purga do filtro de água (A21) pode originar a sua prisão. A falha fechada da electroválvula de purga do filtro de água (A21) impede a purga de água do filtro. Quando o filtro estiver cheio poderá dar-se a passagem de água para jusante, contaminando os órgãos adjacentes, podendo danificar órgãos de freio.



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
8	A	4 Electroválvula de purga do filtro de óleo (A22) em falha fechada por prisão.	O desgaste normal dos elementos internos da electroválvula de purga do filtro de óleo (A22) pode originar a sua prisão. A falha fechada da electroválvula de purga do filtro de óleo (A22) impede a purga de óleo do filtro. No limite, quando o filtro estiver cheio, dá-se a passagem de óleo para a torre de secagem. Este facto, deteriora o exsicante, permitindo a passagem de humidade e óleo para toda a instalação de ar comprimido, inclusive órgãos de freio.
8	A	5 Torneira de purga (A9) do reservatório de ar comprimido (A8) em falha fechada.	O desgaste normal dos elementos internos da torneira de purga (A9) do reservatório de ar comprimido (A8) pode originar a sua prisão. A falha fechada da torneira de purga (A9) do reservatório de ar comprimido (A8) impede a purga de água do reservatório pela equipa de manutenção.



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função		Falha funcional		Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
9	Permitir o isolamento da conduta principal entre veículos.	A	Não permitir o isolamento da conduta principal entre veículos.	1 Torneira de isolamento de intercirculação (C18) falha aberta por prisão.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha aberta por prisão da torneira de isolamento de intercirculação (C18) impede o isolamento entre veículos quando necessário. No limite, em caso de fuga de ar num dos veículos será necessário pedir socorro.
9		A		2 Torneira de isolamento das cabeceiras da unidade (C18) falha aberta por prisão.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha aberta por prisão da torneira de isolamento das cabeceiras da unidade (C18) impede o isolamento entre veículos quando as unidades são desacopladas. Caso a falha se verifique no reboque será possível fechar a torneira de isolamento entre veiculos da mesma unidade (C18) prosseguindo a viagem, efetuando a condução apenas na motora. Se a falha se verificar na motora, será necessário pedir socorro.



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
10 Indicar ao maquinista a pressão na conduta principal com uma tolerância de 0,2 bar.	A Não indicar ao maquinista a pressão na conduta principal com uma tolerância de 0,2 bar.	1 Manómetro (B6) em falha por desregulação.	O funcionamento continuado dos manómetros pode levar à desregulação dos mesmos, indicando de forma incorreta a pressão nas condutas. A falha por desregulação do manómetro (B6) impede a leitura correta das pressões na conduta principal e geral. No limite, o maquinista apercebe-se da discrepância entre os valores exibidos pelo manómetro e a reação da unidade. Nesta circunstância, o maquinista poderá confrontar os valores do manómetro com os da cabina contraria. O maquinista deverá registar a anomalia em DTB e prosseguir a marcha sem limitações.
10	A	2 Manómetro (B6) em falha por prisão.	O funcionamento continuado dos manómetros pode levar ao desgaste e prisão dos mesmos, indicando de forma incorreta a pressão nas condutas. A falha por prisão do manómetro (B6) impede a leitura das pressões na conduta principal e geral. No limite, o maquinista poderá confrontar os valores do manómetro com os da cabina contraria. O maquinista deverá registar a anomalia em DTB e prosseguir a marcha sem limitações.

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

80



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
10	A	3 Lâmpadas de iluminação dos manómetros em falha.	A falha da lâmpada de iluminação dos manómetros impede a leitura correta das pressões na conduta principal e geral. Nesta circunstância, o maquinista poderá fazer uso da restante iluminação da cabina de condução para visualizar os manómetros. O maquinista deverá registar a anomalia em DTB e prosseguir a marcha sem limitações.
11 Garantir o suporte e fixação dos componentes do grupo de produção e tratamento de ar à caixa do veículo.	A Perder o suporte e fixação dos componentes do grupo de produção e tratamento de ar à caixa do veículo.	1 Fixação dos componentes do grupo PTA em falha por desaperto.	As vibrações resultantes do normal funcionamento da unidade promovem o desaperto das fixações dos componentes do grupo PTA. A falha por desaperto da fixação dos componentes do grupo PTA pode originar a sua queda à linha, podendo verificar-se a sua projeção perigosa.
11	A	2 Fixação dos componentes do grupo PTA em falha por corrosão.	A exposição continuada aos agentes agressivos externos, provoca a corrosão das fixações dos componentes do grupo PTA. A falha por corrosão da fixação dos componentes do grupo PTA, no limite, poderá levar à sua degradação, comprometendo assim a fixação dos componentes e consequentemente a sua queda à linha, podendo verificar-se a sua projeção perigosa.

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

81



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)			
11	A	3	<p>Fixação dos componentes do grupo PTA fraturada por fadiga.</p> <p>O normal funcionamento da unidade induz fenómenos de fadiga nos seus componentes. A fratura por fadiga das fixações dos componentes do grupo PTA, no limite, poderá levar à sua fratura devido ao aparecimento de fissuras, comprometendo assim a fixação dos componentes e consequentemente a sua queda à linha, podendo verificar-se a sua projeção perigosa.</p>			
12	Conter ar na conduta principal (queda inferior a 0,3 bar em 5 min., à pressão de 8,5±0,2 bar).	A	Incapaz de conter ar na conduta principal (queda inferior a 0,3 bar em 5 min., à pressão de 8,5±0,2 bar).	1	Torneira de isolamento (A16) falha aberta por prisão.	<p>O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha aberta por prisão da torneira de isolamento (A16), impede a tripulação de isolar o circuito de colocação em vazio em caso de necessidade. No limite, dá-se uma queda acentuada na pressão da conduta principal, por impossibilidade de isolamento, que impede a unidade de prosseguir marcha, sendo necessário pedir socorro.</p>



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
12	A	2 Torneira de isolamento entre veículos da mesma unidade (C18) falha fechada por prisão.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha fechada por prisão da torneira de isolamento entre veículos da mesma unidade (C18), impede o estabelecimento da continuidade na conduta principal após intervenção de manutenção ou desempanagem.
12	A	3 Torneira de isolamento entre veículos da mesma unidade (C18) falha com fuga de ar.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha, por fuga de ar, da torneira de isolamento entre veículos da mesma unidade (C18), origina queda de pressão na conduta principal. No limite, dá-se uma queda acentuada na pressão da conduta principal que impede a unidade de prosseguir marcha. Se a falha se verificar do lado da motora será necessário pedir socorro. Caso a falha se verifique do lado do reboque e a condução seja efetuada a partir da motora, deverá isolar o reboque, prosseguindo a marcha utilizando o freio de recurso. Neste caso a unidade deverá ser retirada no final do trajeto.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
12	A	4 Flexível (C19) em falha por degradação natural.	O funcionamento continuado da unidade promove a degradação natural dos seus componentes. A falha por degradação natural dos flexíveis (C19), pode resultar no seu rebentamento originando uma queda acentuada na pressão da conduta principal que impede a unidade de prosseguir a marcha. Nesta circunstância é possível isolar o flexível danificado através das torneiras de isolamento (C18). Contudo a condução só poderá ser efetuada utilizando o freio de recurso a partir da motora. Neste caso a unidade deverá ser retirada no final do trajeto.
12	A	5 Flexível (C19) em falha por degradação natural.	O funcionamento continuado da unidade promove a degradação natural dos seus componentes. A falha por degradação natural dos flexíveis (C20), pode resultar no seu rebentamento originando uma queda acentuada na pressão da conduta principal que impede a unidade de prosseguir a marcha. Nesta circunstância o maquinista deverá isolar o flexível danificado e utilizar a outra mangueria presente no cabeçote, registando a ocorrência em DTB.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função		Falha funcional		Modo de falha (Causa da falha)		Efeito da falha (o que acontece quando falha)	
13	Sinalizar ao maquinista a ausência de pressão na conduta principal sempre que esta atinja 7 bar na ascendente e 6 bar na descendente.	A	Incapaz de sinalizar ao maquinista a ausência de pressão na conduta principal sempre que esta atinja 7 bar na ascendente e 6 bar na descendente.	1	Pressóstato (C30) desregulado para cima.	O funcionamento continuado dos pressóstatos pode levar à desregulação dos mesmos, podendo provocar o seu fecho acima da pressão indicada. No caso da falha desregulado para cima do pressóstato (C30) não é enviado o sinal ao MICRA de pressão na conduta principal superior a 7 bar, mantendo-se a sinalização para o maquinista (Alarme – Baixa pressão na conduta principal). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está normal. Em caso de dúvida poderá também consultar o manómetro da outra cabina de condução. Após confirmação da falha no circuito de informação ao maquinista, a mesma deve ser reportada em DTB e solicitada a substituição da unidade, quando conveniente.	

**Folha de Informação**

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
13	A	2 Contacto do pressóstato (C30) falha aberto.	O funcionamento continuado dos pressóstatos pode levar ao bloqueio dos mesmos, impedindo o seu fecho. No caso da falha em posição de aberto dos contactos do pressóstato (C30) não é enviado o sinal ao MICRA de pressão na conduta principal superior a 7 bar, mantendo-se a sinalização para o maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal). O maquinista constata, através do manómetro (B6), que a pressão na conduta principal está normal. Em caso de dúvida poderá também consultar o manómetro da outra cabina de condução. Após confirmação da falha no circuito de informação ao maquinista, a mesma deve ser reportada em DTB e solicitada a substituição da unidade, quando conveniente.



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
13	A	3 Contacto do pressóstato (C30) falha fechado.	O funcionamento continuado dos pressóstatos pode levar ao bloqueio dos mesmos, impedindo a sua abertura. No caso da falha em posição de fechado dos contactos do pressóstato (C30) envia incorretamente o sinal ao MICRA de pressão na conduta principal superior a 7 bar, não havendo qualquer sinalização para o maquinista, podendo, no limite, levar a utilização da unidade até que a mesma fique sem ar comprimido na conduta geral e principal.
13	A	4 Pressóstato (C30) desregulado para baixo.	O funcionamento continuado dos pressóstatos pode levar à desregulação dos mesmos podendo provocar o seu fecho abaixo da pressão indicada. No caso da falha desregulado para baixo do pressóstato (C30) envia incorretamente o sinal ao MICRA de pressão na conduta principal superior a 7 bar, não havendo qualquer sinalização para o maquinista (Alarme – Baixa pressão conduta principal) em qualquer circunstância. Podendo, no limite, levar a utilização da unidade até que a mesma fique sem ar comprimido na conduta geral e principal.



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450



Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

	Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
14	Proteger o circuito elétrico do regulador de funcionamento do compressor e da torre de secagem.	A Incapaz de proteger o circuito elétrico do regulador de funcionamento do compressor e da torre de secagem.	1 Disjuntor (D17) falha fechado.	A passagem de corrente elétrica através dos contactos do disjuntor pode provocar a sua colagem (fusão). Neste caso, quando se verificar uma sobrecarga no circuito não será efetuada a sua devida proteção, podendo originar a destruição de outros componentes elétricos do circuito e até mesmo um incêndio na unidade.
15	Permitir indicação visual da comutação da torre de secagem.	A Incapaz de permitir indicação visual da comutação da torre de secagem.	1 Indicador de pressão (1) da torre de secagem (A4) colmatado com sujidade.	O funcionamento continuado da torre de secagem promove a acumulação de sujidade nos seus componentes internos. A falha por colmatção do indicador de pressão (1) da torre de secagem (A4), impede a visualização por parte da equipa de manutenção, da comutação entre vasos da torre de secagem.

 COMBOIOS DE PORTUGAL 	Folha de Informação		
	Série:	Sistema:	Facilitador:
	Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função		Falha funcional		Modo de falha (Causa da falha)		Efeito da falha (o que acontece quando falha)	
16	Fornecer ar ao sistema de freio a uma pressão de 5±0,1 bar.	A	Incapaz de fornecer ar ao sistema de freio a uma pressão de 5±0,1 bar.	1	Redutor de pressão (B8) falha desregulado para baixo.	<p>O funcionamento continuado dos redutores de pressão pode levar à desregulação dos mesmos, podendo provocar o fornecimento de ar abaixo da pressão indicada.</p> <p>A falha desregulado para baixo do redutor de pressão (B8) impede o fornecimento de ar comprimido, à pressão de 5 bar, ao comando de freio de recurso. No limite, impede o alívio do freio de recurso, inibindo consequentemente a tração da unidade. Nesta situação, a unidade é impedida de prosseguir marcha, sendo necessário pedir socorro.</p>	



Folha de Informação

Série:

Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
16	A	2 Redutor de pressão (B8) falha desregulado para cima.	O funcionamento continuado dos redutores de pressão pode levar à desregulação dos mesmos, podendo provocar o fornecimento de ar acima da pressão indicada. A falha desregulado para cima do redutor de pressão (B8) origina o fornecimento de ar comprimido, a uma pressão superior a 5 bar, ao comando de freio de recurso, podendo, no limite, ser atingida a pressão da conduta principal. O maquinista apercebe-se da subida da pressão através dos manómetros da cabina. Nesta circunstância a aplicação do freio de recurso pode ser mais demorada.
17 Impedir o retorno do ar do freio de estacionamento para a conduta principal.	A Permitir o retorno do ar do freio de estacionamento para a conduta principal.	1 Válvula de retenção (C32) falha aberta por prisão.	O funcionamento continuado da válvula de retenção (C32) origina desgastes internos, que podem levar à sua prisão na posição de aberta. A falha por prisão na posição de aberta da válvula de retenção (C32) possibilita o retorno do ar do circuito do freio de estacionamento para a conduta principal quando a mesma não se encontra pressurizada, o que dificulta a realização de manobras de reboque.

**Folha de Informação****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
17	A	2 Mola da válvula de retenção (C32) pasmada.	O funcionamento continuado da válvula de retenção (C32) induz fenómenos de fadiga nos seus componentes internos. A mola da válvula de retenção (C32) pasmada possibilita o retorno do ar do circuito do freio de estacionamento para a conduta principal quando a mesma não se encontra pressurizada, o que dificulta a realização de manobras de reboque.
18 Impedir o retorno do ar do reservatório de freio para a conduta principal.	A Permitir o retorno do ar do reservatório de freio para a conduta principal.	1 Válvula de retenção (C5) falha aberta por prisão.	O funcionamento continuado da válvula de retenção (C5) origina desgastes internos, que podem levar à sua prisão na posição de aberta. A falha por prisão na posição de aberta da válvula de retenção (C5) possibilita o retorno do ar do reservatório de freio para a conduta principal quando a mesma não se encontra pressurizada, o que pode originar a perda de freio em caso de fuga franca na conduta principal por incapacidade de alimentação da válvula de carga RLV.



Folha de Informação

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função	Falha funcional	Modo de falha (Causa da falha)	Efeito da falha (o que acontece quando falha)
18	A	2 Mola da válvula de retenção (C5) pasmada.	O funcionamento continuado da válvula de retenção (C5) origina fadiga nos seus componentes internos. A mola da válvula de retenção (C5) possibilita o retorno do ar do reservatório de freio para a conduta principal quando a mesma não se encontra pressurizada, o que pode originar a perda de freio em caso de fuga franca na conduta principal por incapacidade de alimentação da válvula de carga RLV.
19 Permitir o isolamento da alimentação ao reservatório de freio.	A Não permitir o isolamento da alimentação ao reservatório de freio.	1 Torneira de isolamento do reservatório de freio (C6) falha aberta por prisão.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha aberta por prisão da torneira de isolamento do reservatório de freio (C6) permite a passagem de ar para o circuito de freio em caso de necessidade de isolamento. No limite, este facto impede a circulação da unidade, sendo necessário pedir socorro.
20 Alimentar o reservatório de freio.	A Incapaz de alimentar o reservatório de freio.	1 Torneira de isolamento do reservatório de freio (C6) falha fechada por prisão.	O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos. A falha fechada por prisão da torneira de isolamento do reservatório de freio (C6) impede a alimentação do reservatório de freio a partir da conduta principal após uma intervenção de manutenção ou desmanpanagem.

  COMBOIOS DE PORTUGAL	Folha de Informação		
	Série:	Sistema:	Facilitador:
	Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Função		Falha funcional		Modo de falha (Causa da falha)		Efeito da falha (o que acontece quando falha)	
21	Permitir a continuidade da conduta principal para outra unidade.	A	Não permitir a continuidade da conduta principal para outra unidade.	1	Torneira de isolamento das cabeceiras da unidade (C18) falha fechada por prisão.	<p>O funcionamento continuado da unidade provoca a degradação dos seus componentes internos.</p> <p>A falha fechada por prisão da torneira de isolamento das cabeceiras da unidade (C18) impede o estabelecimento da continuidade na conduta principal aquando de um acoplamento entre duas unidades.</p> <p>Nesta circunstância, o maquinista deverá utilizar a outra mangueira presente no cabeçote e registar a ocorrência em DTB.</p>	

Anexo E – Folha de decisão do estudo RCM

 ISEL  COMBOIOS DE PORTUGAL	Folha de Decisão		
	Série:	Sistema:	Facilitador:
	Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Informação de referência			Consequência e avaliação		Tarefa a propor	Intervalo de execução
Função	Falha funcional	Modo de falha				
1	A	1	Operacional	Nenhuma manutenção programada	Nenhuma manutenção programada.	---
1	A	2	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição da válvula de segurança (A3).	800.000 km
1	A	3	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição da válvula de segurança (A10).	800.000 km
1	A	4	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Limpeza do filtro de decantação de água (A19).	10.000 km
1	A	5	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição da bobina da electroválvula de comutação (43) da torre de secagem.	1.200.000 km
1	A	6	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Reparação geral da electroválvula (A17).	400.000 km
1	B	1	Operacional	Tarefa sob condição	Verificar a regulação do pressóstato (A12), através dos manómetros da cabina.	10.000 km
1	B	2	Operacional	Nenhuma manutenção programada	Nenhuma manutenção programada.	---
1	B	3	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição do relé RSCP e da respetiva base.	1.200.000 km
1	B	4	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição do relé RSCP e da respetiva base.	1.200.000 km
1	B	5	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição do relé RSCP e da respetiva base.	1.200.000 km
1	B	6	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição do relé RSCP e da respetiva base.	1.200.000 km
1	B	7	Operacional	Nenhuma manutenção programada	Nenhuma manutenção programada.	---
1	B	8	Operacional	Nenhuma manutenção programada	Nenhuma manutenção programada.	---

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

1



Folha de Decisão

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Informação de referência			Consequência e avaliação		Tarefa a propor	Intervalo de execução
Função	Falha funcional	Modo de falha				
1	B	9	Operacional	Nenhuma manutenção programada	Nenhuma manutenção programada.	---
1	B	10	Operacional	Nenhuma manutenção programada	Nenhuma manutenção programada.	---
1	B	11	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Efetuar a reparação geral do filtro (A15).	400.000 km
1	B	12	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Purga do filtro (A15).	10.000 km
1	B	13	Não operacional	Nenhuma manutenção programada	Nenhuma manutenção programada.	---
1	B	14	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Reparação geral da electroválvula (A17).	400.000 km
1	B	15	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Reparação geral da válvula de descarga (A18).	400.000 km
1	B	16	Não operacional	Nenhuma manutenção programada	Nenhuma manutenção programada.	---
1	B	17	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Efetuar a limpeza do filtro (A24).	10.000 km
1	C	1	Operacional	Tarefa sob condição	Verificar a regulação do pressóstato (A12) através dos manómetros da cabina.	10.000 km
1	C	2	Operacional	Nenhuma manutenção programada	Nenhuma manutenção programada.	---
1	C	3	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição do relé RSCP e da respetiva base.	1.200.000 km
1	D	1	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Medição do tempo de comutação da electroválvula da torre de secagem (120 seg.)	100.000 km

**Folha de Decisão****Série:**Unidades Duplas *Diesel* da série UDD0450**Sistema:**

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Informação de referência			Consequência e avaliação		Tarefa a propor	Intervalo de execução
Função	Falha funcional	Modo de falha				
1	D	2	Oculto	Tarefa sob condição	Inspeção visual ao elemento centrífugo em busca de degradação que impeça o seu funcionamento.	10.000 km
1	D	3	Oculto	Tarefa programada de recuperação	Limpeza interna da torre de secagem (A4).	400.000 km
1	D	4	Oculto	Tarefa programada de recuperação	Substituição dos componentes internos da torre de secagem (A4).	400.000 km
1	D	5	Oculto	Tarefa programada de recuperação	Limpeza interna da torre de secagem (A4).	400.000 km
1	D	6	Oculto	Tarefa programada de recuperação	Substituição dos componentes internos de desgaste da torre de secagem (A4).	400.000 km
1	D	7	Oculto	Tarefa programada de recuperação	Limpeza interna da torre de secagem (A4).	400.000 km
1	D	8	Oculto	Tarefa programada de recuperação	Limpeza interna da torre de secagem (A4).	400.000 km
1	D	9	Oculto	Tarefa programada de recuperação	Limpeza interna da torre de secagem (A4).	400.000 km
1	D	10	Oculto	Tarefa programada de recuperação	Substituição dos componentes internos de desgaste da torre de secagem (A4).	400.000 km
1	D	11	Oculto	Tarefa programada de recuperação	Substituição dos componentes internos de borracha da torre de secagem (A4).	400.000 km
1	D	12	Oculto	Tarefa programada de descarte	Substituição da bobina da electroválvula de comutação (43) da torre de secagem.	1.200.000 km
1	D	13	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Verificação da comutação entre vasos.	10.000 km
1	D	14	Oculto	Tarefa programada de recuperação.	Substituição dos componentes internos de borracha da torre de secagem (A4).	400.000 km

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

3



Folha de Decisão

Série:

Unidades Duplas Diesel da série UDD0450

Sistema:

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

Facilitador:

João Pedro Silva

Informação de referência			Consequência e avaliação		Tarefa a propor	Intervalo de execução
Função	Falha funcional	Modo de falha				
1	D	15	Oculto	Tarefa sob condição	Inspeção visual da coloração da água no orifício de purga (A) da torre de secagem. Caso a água se encontre com uma coloração esbranquiçada, deve-se substituir a torre de secagem.	10.000 km
1	E	1	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Verificação do funcionamento da electroválvula de purga do filtro de óleo (A22).	10.000 km
1	E	2	Não operacional	Nenhuma manutenção programada	Nenhuma manutenção programada.	---
1	E	3	Segurança	Tarefa sob condição	Inspeção visual do estado e limpeza do elemento filtrante do filtro separador de óleo (A20).	10.000 km
1	E	4	Segurança	Tarefa sob condição	Inspeção visual do estado e limpeza do elemento filtrante do filtro separador de óleo (A20).	10.000 km
1	F	1	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição do óleo do motor diesel/compressor/turbo.	10.000 km
1	F	2	Operacional	Tarefa sob condição	Verificar o nível do óleo do motor diesel.	5 dias
1	F	3	Operacional	Tarefa sob condição	Recolha de uma amostra de líquido refrigerante para análise.	10.000 km
1	F	4	Operacional	Tarefa sob condição	Verificar o nível do líquido refrigerante no motor diesel.	5 dias
1	F	5	Operacional	Tarefa sob condição	Ensaio não destrutivo por líquidos penetrantes.	200.000 km
1	F	6	Operacional	Tarefa sob condição	Ensaio não destrutivo por líquidos penetrantes.	200.000 km



Folha de Decisão

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas Diesel da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Informação de referência			Consequência e avaliação		Tarefa a propor	Intervalo de execução
Função	Falha funcional	Modo de falha				
1	F	7	Operacional	Tarefa sob condição	Verificação do tempo de enchimento da conduta principal de forma individual (<=24 min., dos 0- 8,3 bar). Nota: Se a tarefa não se revelar eficaz, realiza-se a verificação geométrica dos êmbolos com uma periodicidade de 200.000 km.	100.000 km
1	F	8	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição dos segmentos (53, 54, 55) do compressor por descarte.	200.000 km
1	F	9	Segurança	Combinação de tarefas	Inspeção visual do tubo de descarga do compressor, em busca de entupimentos ou resíduos excessivos de óleo. Limpar se necessário. Caso se verifique acumulação entre inspeções, substituir o compressor (20.000 km). Verificação do tempo de enchimento da conduta principal de forma individual (<= 24 min., dos 0-8,3 bar) (100.000 km). Substituição dos segmentos (200.000 km).	---
1	F	10	Operacional	Tarefa sob condição	Controlo geométrico do cavilhão (50) do compressor.	200.000 km
1	F	11	Segurança	Tarefa sob condição	Inspeção visual do tubo de descarga do compressor, em busca de entupimentos ou resíduos excessivos de óleo. Limpar se necessário. Caso se verifique acumulação entre inspeções, substituir o compressor (20.000 km). Verificação do tempo de enchimento da conduta principal de forma individual (<= 24 min., dos 0-8,3 bar) (100.000 km). Substituição dos segmentos (200.000 km).	---
1	F	12	Operacional	Tarefa sob condição	Verificação geométrica das cabeças da biela (56) do compressor.	200.000 km

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

5



Folha de Decisão

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Informação de referência			Consequência e avaliação		Tarefa a propor	Intervalo de execução
Função	Falha funcional	Modo de falha				
1	F	13	Operacional	Tarefa sob condição	Verificação geométrica do casquilho da cambota, do lado do acionamento pelo motor (45).	200.000 km
1	F	14	Operacional	Tarefa sob condição	Verificação geométrica do casquilho da cambota, do lado da bomba de carga (45).	200.000 km
1	F	15	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição da mola da válvula de admissão (35) do compressor (avaliar exequibilidade da tarefa).	100.000 km
1	F	16	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição da mola da válvula de descarga (27) do compressor.	200.000 km
1	F	17	Operacional	Tarefa sob condição	Realização do ensaio de estanquidade do arrefecedor de ar (A1.2).	400.000 km
1	F	18	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Substituição dos componentes de desgaste internos da válvula de retenção (A14).	400.000 km
1	F	19	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Reparação geral da válvula de descarga (A18).	400.000 km
1	F	20	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Manobrar a torneira, verificando o isolamento da torneira (A23).	100.000 km
1	F	21	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição do filtro de entrada do compressor (A25).	10.000 km
1	F	22	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição do flexível (A1.1).	400.000 km
1	G	1	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição da mola da válvula de admissão (35) (Avaliar exequibilidade da tarefa).	100.000 km
1	G	2	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Retificação da sede (31) em plano com massa abrasiva ou substituição se necessário.	200.000 km
1	G	3	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Retificação da sede (29) em plano com massa abrasiva ou substituição se necessário.	200.000 km

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

6



Folha de Decisão

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Informação de referência			Consequência e avaliação		Tarefa a propor	Intervalo de execução
Função	Falha funcional	Modo de falha				
1	G	4	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição da mola da válvula de descarga (27).	200.000 km
2	A	1	Segurança	Tarefa programada de recuperação	Limpeza do arrefecedor de ar (A1.2) com água quente sob pressão.	10.000 km
3	A	1	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Verificação do funcionamento da electroválvula de purga do filtro de água (A21).	10.000 km
3	A	2	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Verificação do funcionamento da electroválvula de purga do filtro de óleo (A22).	10.000 km
3	A	3	Operacional	Tarefa sob condição	Verificação do tempo de enchimento da conduta principal de forma individual (≤ 24 min., dos 0-8,3 bar).	100.000 km
3	A	4	Operacional	Tarefa sob condição	Verificação do tempo de enchimento da conduta principal de forma individual (≤ 24 min., dos 0-8,3 bar).	100.000 km
3	A	5	Operacional	Tarefa sob condição	Verificação do tempo de enchimento da conduta principal de forma individual (≤ 24 min., dos 0-8,3 bar).	100.000 km
3	A	6	Operacional	Tarefa sob condição	Verificação do tempo de enchimento da conduta principal de forma individual (≤ 24 min., dos 0-8,3 bar).	100.000 km
3	A	7	Operacional	Tarefa sob condição	Verificação do tempo de enchimento da conduta principal de forma individual (≤ 24 min., dos 0-8,3 bar).	100.000 km
3	A	8	Operacional	Tarefa sob condição	Verificação do tempo de enchimento da conduta principal de forma individual (≤ 24 min., dos 0-8,3 bar).	100.000 km
3	A	9	Operacional	Tarefa sob condição	Inspeção auditiva em busca de fugas de ar, através do orifício (Q2).	100.000 km

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

7



Folha de Decisão

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas Diesel da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Informação de referência			Consequência e avaliação		Tarefa a propor	Intervalo de execução
Função	Falha funcional	Modo de falha				
4	A	1	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Ensaio de atuação em banco de ensaio.	400.000 km
5	A	1	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Ensaio de atuação em banco de ensaio.	400.000 km
6	A	1	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Substituição dos componentes de desgaste internos da válvula de retenção (A14).	400.000 km
6	A	2	Operacional	Tarefa programada de recuperação	Substituição dos componentes de desgaste internos da válvula de retenção (A14).	400.000 km
7	A	1	Segurança	Combinação de tarefas	Atuar a torneira de purga (A9) do reservatório de ar comprimido (A8), para eliminar os condensados (10.000 km). Inspeção visual do interior do reservatório de ar comprimido (A8). Se a corrosão tiver uma espessura superior a 1 mm, rejeitar o reservatório. Em caso de dúvida efetuar exame por ultrassons (24 anos).	---
7	A	2	Segurança	Combinação de tarefas	Inspeção visual exterior do reservatório de ar comprimido (A8) (5 dias). Pintura do reservatório de ar comprimido (A8) (400.000 km).	400.000 km
7	A	3	Segurança	Tarefa sob condição	Realização de uma prova hidráulica de uma amostra de 1% de todos os equipamentos, a partir dos 20 anos.	Anual
7	A	4	Segurança	Tarefa sob condição	Inspeção visual exterior do reservatório de ar comprimido (A8), em caso de presença de defeitos, respeitar as condições do ponto G.4.3 da norma EN286-3.	5 dias
7	A	5	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição da torneira de purga (A9).	400.000 km
8	A	1	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Verificação do funcionamento da electroválvula de purga do filtro de água (A21).	10.000 km

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

8



Folha de Decisão

Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas Diesel da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Informação de referência			Consequência e avaliação		Tarefa a propor	Intervalo de execução
Função	Falha funcional	Modo de falha				
8	A	2	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Verificação do funcionamento da resistência da electroválvula de purga do filtro de água.	400.000 km
8	A	3	Segurança	Tarefa programada de descarte	Substituição da electroválvula de purga do filtro de água (A21).	400.000 km
8	A	4	Segurança	Tarefa programada de descarte	Substituição da electroválvula de purga do filtro de óleo (A22).	400.000 km
8	A	5	Não operacional	Nenhuma manutenção programada.	Nenhuma manutenção programada.	---
9	A	1	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Verificação da funcionalidade da torneira de intercirculação (C18).	10.000 km
9	A	2	Operacional	Tarefa sob condição	Verificação da funcionalidade da torneira de isolamento das cabeceiras da unidade (C18).	10.000 km
10	A	1	Não operacional	Tarefa sob condição	Aferição periódica do manómetro (B6).	400.000 km
10	A	2	Não operacional	Nenhuma manutenção programada.	Nenhuma manutenção programada.	---
10	A	3	Não operacional	Nenhuma manutenção programada.	Nenhuma manutenção programada.	---
11	A	1	Segurança	Tarefa sob condição	Verificação visual do aperto das fixações dos componentes do grupo PTA. Para facilitar a inspeção das fixações aparafusadas deve, sempre que viável, executar a marcação com fixolide.	5 dias
11	A	2	Segurança	Combinação de tarefas	Inspeção visual do estado das fixações (5 dias). Sanear fixações e aplicar pintura de revestimento se adequado (400.000 km).	---
11	A	3	Segurança	Combinação de tarefas	Inspeção visual em busca de fissuras (5 dias). Ensaios não destrutivos em busca de fissuras, se aplicável (400.000 km).	---

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

9



Folha de Decisão



Série:	Sistema:	Facilitador:
Unidades Duplas Diesel da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Informação de referência			Consequência e avaliação		Tarefa a propor	Intervalo de execução
Função	Falha funcional	Modo de falha				
12	A	1	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Manobrar a torneira (A16), verificando o isolamento do circuito de colocação em vazio.	100.000 km
12	A	2	Não operacional	Tarefa programada de recuperação	Reparação geral da torneira de isolamento entre veículos da mesma unidade (C18).	400.000 km
12	A	3	Operacional	Tarefa sob condição	Ensaio de estanquidade da conduta principal.	100.000 km
12	A	4	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição do flexível (C19).	400.000 km
12	A	5	Operacional	Tarefa programada de descarte	Substituição do flexível (C20).	400.000 km
13	A	1	Não operacional	Nenhuma manutenção programada.	Nenhuma manutenção programada.	---
13	A	2	Não operacional	Nenhuma manutenção programada.	Nenhuma manutenção programada.	---
13	A	3	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Ensaio a sinalização de baixa pressão na conduta principal.	10.000 km
13	A	4	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Verificar as pressões de regulação do pressóstato (C30), através dos manómetros da cabina.	100.000 km
14	A	1	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Ensaio de sobrecarga do disjuntor (D17) em oficina reparadora.	800.000 km
15	A	1	Não operacional	Nenhuma manutenção programada.	Nenhuma manutenção programada.	---
16	A	1	Oculto	Tarefa sob condição	Verificação periódica das pressões de comando de freio de recurso no ensaio de freio.	100.000 km
16	A	2	Oculto	Tarefa sob condição	Verificação periódica das pressões de comando de freio de recurso no ensaio de freio.	100.000 km
17	A	1	Não operacional	Tarefa programada de recuperação	Substituição dos componentes de desgaste internos da válvula de retenção (C32).	400.000 km

Série: UDD0450

Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)

10

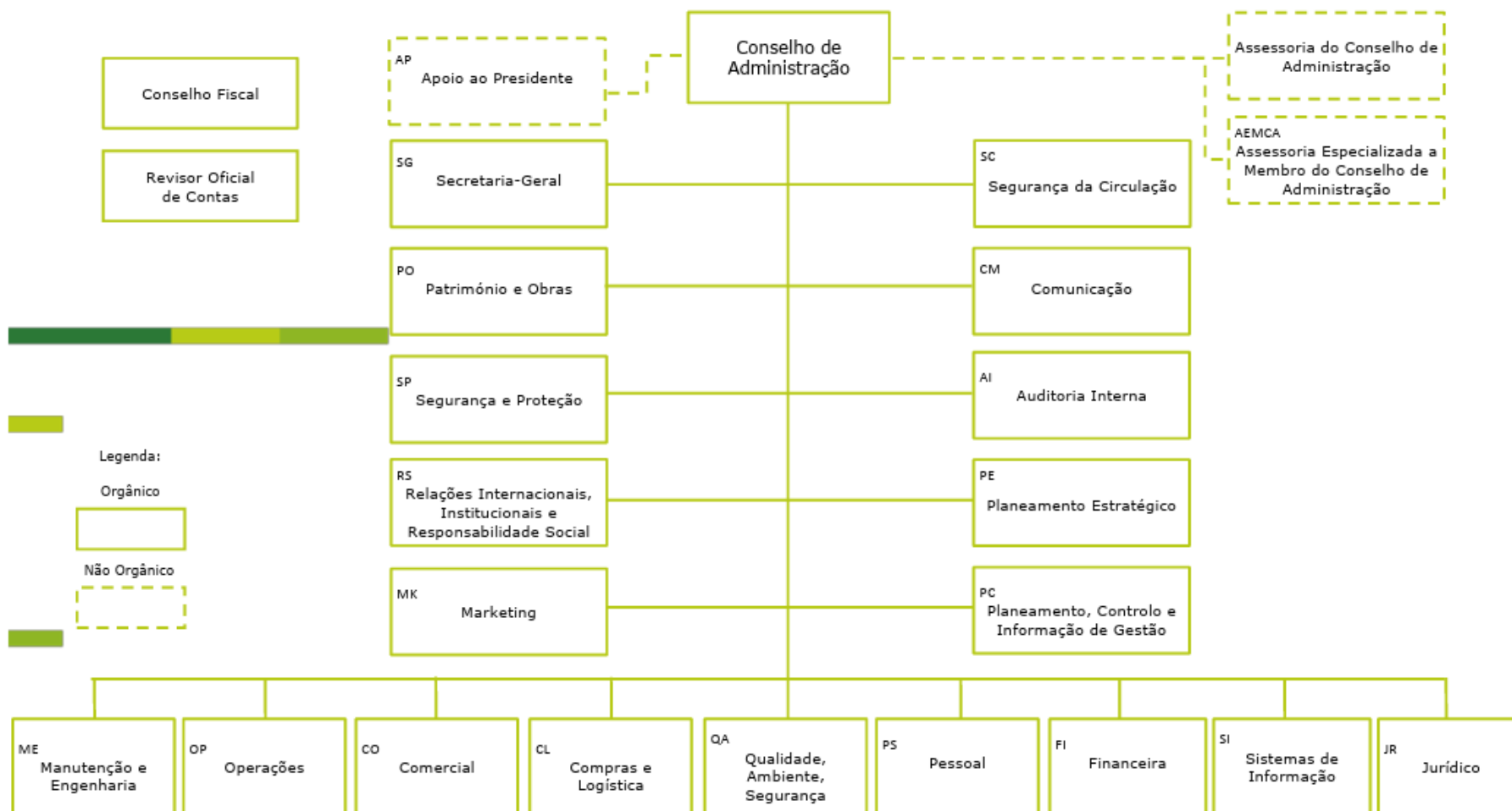
 ISEL COMBOIOS DE PORTUGAL 	Folha de Decisão		
	Série:	Sistema:	Facilitador:
	Unidades Duplas <i>Diesel</i> da série UDD0450	Produção e Tratamento de Ar comprimido (PTA)	João Pedro Silva

Informação de referência			Consequência e avaliação		Tarefa a propor	Intervalo de execução
Função	Falha funcional	Modo de falha				
17	A	2	Não operacional	Tarefa programada de recuperação	Substituição dos componentes de desgaste internos da válvula de retenção (C32).	400.000 km
18	A	1	Oculto	Tarefa programada de recuperação	Substituição dos componentes de desgaste internos da válvula de retenção (C5).	400.000 km
18	A	2	Oculto	Tarefa programada de recuperação	Substituição dos componentes de desgaste internos da válvula de retenção (C5).	400.000 km
19	A	1	Oculto	Tarefa programada de localização da falha	Verificação da funcionalidade da torneira (C6).	100.000 km
20	A	1	Não operacional	Nenhuma manutenção programada.	Nenhuma manutenção programada.	---
21	A	1	Não operacional	Tarefa programada de recuperação	Reparação geral da torneira de isolamento das cabeceiras da unidade (C18).	200.000 km

Anexo F – Organograma da empresa CP – Comboios de Portugal



SECRETARIA-GERAL



Legenda:
 Orgânico
 Não Orgânico