Aplicação do processo Reliability Centered Maintenance (RCM) a uma Viatura Blindada de Rodas

João Fernandes Fonseca

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Luís António de Andrade Ferreira

Coorientador: Tenente Coronel Énio Rodrigo Pereira Chambel



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Setembro 2021

Resumo

A necessidade de evolução da manutenção, provocada pelas crescentes necessidades e exigências dos consumidores, originou várias mudanças na forma como se faz manutenção, tornando-a uma área operacional cada vez mais importante para as organizações. No caso desta dissertação o Exército Português demonstrou interesse na implementação de uma nova metodologia - a manutenção centrada na fiabilidade - a uma viatura militar terrestre de elevada performance. Esta metodologia tem como foco a fiabilidade dos equipamentos e faz uma gestão de riscos identificados de modo que a máquina opere com níveis toleráveis de risco.

Esta dissertação começa com uma revisão história da evolução da manutenção até ao desenvolvimento da manutenção centrada na fiabilidade e é feita uma descrição dessa metodologia. É feita uma divisão da viatura estudada nos vários sistemas a estudar e é feita a análise funcional desses sistemas. De seguida são definidas falhas funcionais, modos de falha e efeitos associados às funções previamente definidas. Com todos estes conceitos definidos é em seguida avaliado e quantificado o risco associado a cada modo de falha. Considerando um padrão que separe níveis de risco toleráveis e não toleráveis é finalmente proposto um novo programa de manutenção com o objetivo de reduzir os riscos intoleráveis para níveis toleráveis de risco.

Por fim, o novo plano de manutenção foi comparado com o plano de manutenção em vigor e foram reavaliados os níveis de risco considerando o novo plano de manutenção. Foram tiradas conclusões acerca dos resultados provocados pelo plano de manutenção produzido e a sua influência nos níveis de risco intoleráveis previamente identificados.

Palavras-Chave: RCM; Veículo Blindado de Rodas

Application of the Reliability Centered Maintenance (RCM) Process to an Armored Vehicle with Wheels

Abstract

The need to evolve maintenance, caused by the growing needs and demands of consumers, led to several changes in the way maintenance is performed, making it an increasingly important operational area for organizations. In the context of the dissertation, the Portuguese Army has shown interest in implementing a new maintenance methodology – the reliability centered maintenance - for a high-performance ground military vehicle. This methodology has, as focus, the reliability of equipments and manages identified risks so that the machine operates with tolerable levels of risk.

This dissertation begins with a historical review of the evolution of maintenance up to the development of the Reliability Centered Maintenance and it's described the methodology. The vehicle is divided into several systems to be studied and it's done a functional analysis of those systems. Afterwards, the functional failures, failure modes and effects, associated to the previously defined functions, are defined. After all these concepts are defined it's done a risk evaluation and quantification for risks associated to each failure mode. Considering a risk standard that separates risk tolerable levels from non-tolerable risk levels it's proposed a new maintenance program aiming to reduce intolerable risk levels back to tolerable risk levels.

Finally, the new maintenance plan is compared to the current maintenance plan and the risk levels are revaluated considering the new maintenance plan. Conclusions were drawn about the results brought about by the maintenance plan produced and its influence on intolerable risk levels previously identified.

Key-Words: RCM; Armoured Wheeled Vehicle

Agradecimentos

Ao Professor Luís António de Andrade Ferreira, por todo o acompanhamento e apoio que sempre se disponibilizou a prestar ao longo do desenvolvimento deste documento e de todo o trabalho associado ao mesmo.

Ao Tenente Coronel Énio Rodrigo Pereira Chambel, que me transmitiu bastante conhecimento acerca do funcionamento da máquina o que facilitou bastante o meu trabalho.

À Major Paula Gonçalves pela disponibilidade para rever o trabalho realizado no âmbito desta dissertação e dar a sua opinião critica para melhorar esta dissertação.

Aos Alferes Jóni André Santo Bernardo, Artur Jorge Silva Coutinho Machado, Filipe Emanuel Carvalho da Silva e Sérgio Martins Maciel Moreira pela cooperação e ajuda na realização desta dissertação.

À minha família, em particular aos meus pais, que foram o grande pilar que me permitiu estudar até aqui e realizar esta dissertação, o que sem o seu apoio não seria possível.

Aos meus amigos e colegas de curso que me acompanharam e sempre me ajudaram a ultrapassar os demais desafios que a vida académica proporciona.

A todos um grande obrigado.

Índice

1 Introdução 1

1.1 Enquadramento e Motivação 1

1.2 Objetivos 1

1.3 Estrutura da dissertação 2

2 Estado da Arte 3

2.1 A Evolução da Manutenção 3

2.1.1 As Quatro Gerações da Manutenção 3

2.2 Desenvolvimento da Manutenção Centrada na Fiabilidade 5

3 Descrição da Metodologia de Análise de Equipamentos 7

3.1 Exposição da Metodologia RCM 7

3.1.1 Definição da Metodologia RCM3 7

3.1.2 Objetivos da Metodologia RCM 7

3.1.3 As 8 questões da metodologia RCM3 9

3.2 Fiabilidade 13

3.2.1 Distribuições Estatísticas de Vida (Modelos de Fiabilidade) 17

3.3 Dados Censurados 21

3.3.1 Dados Censurados à Direita 21

3.4 *Software* Utilizado 22

4 Caso Prático 25

4.1 Caracterização dos Sistemas da Viatura 25

4.2 Plano de Manutenção Atual da Viatura em Estudo 28

4.3 Aplicação da Metodologia RCM3 28

4.3.1 Definição do Contexto Operacional 28

4.3.2 Ficha de informação RCM3 29

4.3.3 Análise funcional dos sistemas da viatura 29
4.3.4 Análise de modos de falha 30
4.3.5 Descrição dos efeitos da falha 31
4.3.6 Determinação de RPNi 32
4.3.7 Análise do Risco 33
4.3.8 Definição de ações de mitigação de risco 36
5 Análise e discussão de resultados 38
6 Conclusões e Trabalhos Futuros 40
6.1 Conclusões 40
6.2 Propostas de Trabalhos Futuros 40
Bibliografia 42
Anexos 45
Anexo I – Diagrama de decisão RCM3 45
Anexo II – Manutenção Preventiva Aconselhada pelo Fabricante 46
Anexo III – Registo de MTBs Calculados 52
Anexo IV – Fichas de Informação RCM3 55
Sistema de Potência 55
Sistema de Transferência de Potência 58
Sistema de Segurança 61
Sistema Hidráulico 62
Sistema Pneumático 65
Sistema de Aquecimento e Arrefecimento 66
Sistema Elétrico 67
Casco 69
Anexo V – Plano de Manutenção Proposto 70
Anexo VI – Ficha RCM com RPN Revistos 73

Índice de figuras

Figura 1: Evolução da manutenção [3] 5

Figura 2: Visão global do processo RCM (BSI 2009) 8

Figura 3: Função Fiabilidade(RAUSAND and HOYLAND 2004)..... 14

Figura 4: Representação gráfica da taxa de falha - curva da banheira(LAFRAIA 2001)..... 16

Figura 5: Dados Censurados à Direita(ReliaWiki 2015) 22

Figura 6: Viatura em Estudo 25

Figura 7-Capacidades da Viatura em vários tipos de terreno(Spezialfahrzeug 2011) 29

Figura 8: Cabeçalho da ficha de informação 29

Figura 9: Exemplo de registo de funções na ficha de informação..... 30

Figura 10: Exemplo de registo dos modos de falha na ficha de informação 31

Figura 11:Exemplo de registo dos efeitos da falha na ficha de informação..... 31

Figura 12: Exemplo de registo dos valores de RPNi na ficha de informação..... 33

Figura 13: Diagrama de Decisão ReliaSoft..... 37

Índice de tabelas

Tabela 1: Matriz do risco (SILVA 2021) 35

1 Introdução

Esta dissertação, realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, tem como propósito rever e melhorar o plano de manutenção de uma viatura blindada de rodas utilizando a metodologia RCM3 (*Reliability Centered Maintenance* 3).

Neste capítulo é explicado o enquadramento desta dissertação e o que motivou à sua realização, são expostos os objetivos que se esperam cumprir ao concluir esta dissertação e no final deste capítulo é exposta a estrutura deste documento.

1.1 Enquadramento e Motivação

A viatura em estudo é usada pelo exército português desde 2009 e o programa de manutenção utilizado é ainda o recomendado pelo fabricante.

Uma vez que esta dissertação trata uma viatura de combate a necessidade de fiabilidade é extremamente elevada. Isto motivou a que tenha sido feita já uma dissertação acerca da implementação da metodologia RCM3 ao sistema de refrigeração desta mesma viatura. Assim, esta dissertação pretende ser uma continuação desse trabalho abordando os restantes sistemas da viatura.

Esta viatura é utilizada por poucos países pelo que a informação disponível acerca do seu funcionamento em operação é reduzida. Por este motivo apenas agora está a ser feita esta dissertação uma vez que foi necessário tempo de utilização para que fossem recolhidos dados que possibilitam agora reavaliar a forma como a manutenção é feita e idealmente melhorar esse processo.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é produzir um programa de manutenção melhorado para uma viatura militar terrestre de elevada performance utilizando a metodologia RCM3. Para que seja possível alcançar este objetivo é necessário realizar um trabalho incremental seguindo as etapas caraterísticas da metodologia RCM3. Assim, pretende-se com este trabalho:

- Definir o contexto operacional da viatura em estudo;
- Definir os sistemas da viatura a analisar;
- Efetuar uma análise funcional aos sistemas em análise;
- Identificar as potenciais falhas que podem ocorrer em cada sistema;

- Definir um padrão que distingue riscos toleráveis e riscos intoleráveis;
- Quantificar o risco associado a cada falha previamente definida;
- Definir tarefas de manutenção de modo a reduzir riscos intoleráveis para níveis toleráveis de risco

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação é constituída por 6 capítulos. Um primeiro capítulo introdutório onde é exposto o enquadramento deste trabalho, o que motivou a sua realização e os objetivos que este trabalho pretende cumprir. O segundo capítulo é o estado da arte que contém uma revisão histórica da manutenção e como esta evoluiu até chegarmos à metodologia RCM3. No terceiro capítulo é descrita a metodologia utilizada: é descrita a metodologia RCM3; é feita uma pequena descrição de fiabilidade e dados censurados e é também feita uma descrição do *software* utilizado e a sua utilidade no âmbito desta dissertação. No quarto é exposto o trabalho prático desta dissertação em que foi aplicada a metodologia descrita no terceiro capítulo à viatura em estudo. Este capítulo termina com a proposta de um plano de manutenção. No quinto capítulo é feita uma análise e discussão do plano de manutenção produzido no capítulo anterior. Finalmente, o último capítulo contém a conclusão desta dissertação e algumas propostas de trabalhos futuros.

2 Estado da Arte

Neste capítulo é feita uma breve revisão da evolução da manutenção desde a revolução industrial até aos dias de hoje. É exposto também como os crescentes padrões de qualidade e segurança provocaram uma maior necessidade de fiabilidade e como surgiu a Manutenção Centrada na Fiabilidade.

2.1 A Evolução da Manutenção

Com o desenvolvimento da tecnologia a sociedade depende cada vez mais de meios de produção mecanizados e automatizados. Manter a disponibilidade dos equipamentos e seus sistemas, é importante para o controle das falhas, por forma a reduzir o impacto negativo nas atividades desenvolvidas pelas organizações, bem como contribuir decisivamente para a gestão do risco e segurança. Por isso, no sentido de evitar as consequências destas falhas, tanto do ponto de vista da segurança, como do ponto de vista da produção, surgem técnicas e processos de manutenção que conduzem à Manutenção Centrada na Fiabilidade dos bens ou em inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM)[1].

Para que se possa entender o que é o RCM e qual a objetivo da sua utilização, é necessário em primeiro lugar entender o que é manutenção, qual o seu propósito e a sua finalidade. A norma europeia EN 13306:2017 define a manutenção como sendo "a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão realizadas durante o ciclo de vida de um item com a intenção de o manter ou restaurar até um estado onde consegue realizar a função pretendida"[2]. Segundo John Moubray, na sua obra "RCMII – *Reliability Centered Maintenance*"[1] a finalidade da manutenção é: "Garantir que os ativos físicos continuam a fazer o que os seus utilizadores pretendem que façam". Assim é possível compreender o propósito da manutenção manter o nível de operacionalidade de um determinado ativo a um nível que possibilite o mesmo de continuar a cumprir as funções que lhe foram atribuídas.

2.1.1 As Quatro Gerações da Manutenção

A evolução da manutenção desde a década de 1930 pode ser dividida em quatro gerações, sendo que o RCM marca o início da terceira geração[3].

Primeira Geração:

A primeira geração representa o período que começou com a revolução industrial no final do século XIX até ao início da segunda guerra mundial. Neste período a produção não era muito automatizada e por isso a interrupção de funcionamento de um equipamento não era

muito valorizada. Por essa razão não era muito importante evitar a falha de um equipamento, portanto não existiam planos de manutenção dos equipamentos sendo estes reparados em caso de avaria[1].

Segunda Geração:

Com a segunda guerra mundial a necessidade de produção aumentou ao mesmo tempo que a mão de obra disponível diminui. Estes dois fatores levaram à automatização da produção o que levou à maior dependência da indústria na maquinaria. Por isso foi dada mais importância à prevenção de falhas para evitar a interrupção da produção. Assim, começou a ser mais importante planear uma manutenção preventiva contrariamente à abordagem anterior que consistia em esperar pela falha para a reparar[1].

Terceira Geração:

A terceira geração surge com a revolução digital. A revolução digital trouxe-nos a internet e os computadores e, principalmente, graças a estes dois fatores foi possível implementar na produção melhores softwares, robots mais capazes e novos processos de fabrico. Todas estas melhorias feitas aos processos de fabrico elevaram o nível de exigência o que obrigou as indústrias a investirem mais na manutenção e foi neste contexto que surgiu a metodologia RCM[3].

Quarta Geração:

A separação entre a terceira e a quarta geração, segundo a literatura, ocorre com a passagem da década de 90 para os anos 2000. Esta mudança acontece com o desenvolvimento da internet e o seu envolvimento nas indústrias e na vida das pessoas.

Desde o início dos anos 2000, tem sido valorizado o controlo da forma como as organizações gerem os seus ativos. Embora ainda não exista muita legislação, e muito seja deixado para à consideração e responsabilidade das organizações para valorizarem a segurança e a consciência ambiental. As organizações têm atualmente, com frequência problemas com as autoridades judiciais, porque os seus programas de gestão de ativos apresentavam falhas.

A Figura 1 resume assim a evolução da manutenção ao longo destas quatro gerações.

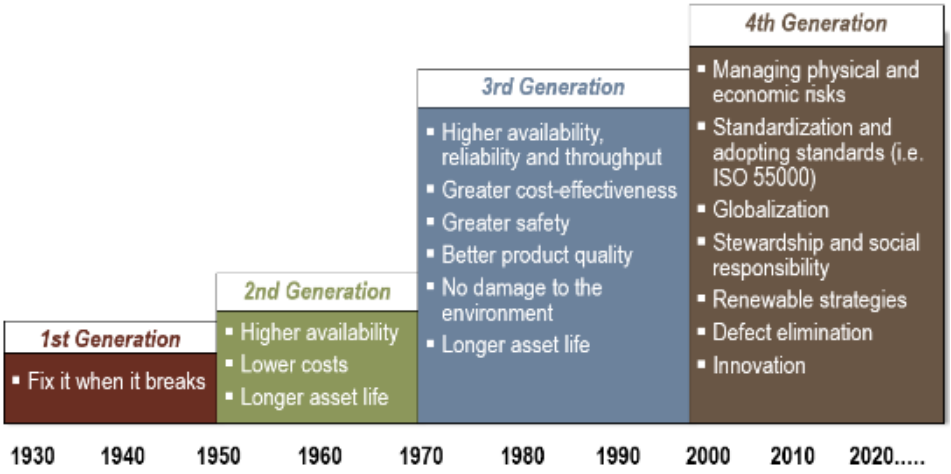


Figura 1: Evolução da manutenção [3]

2.2 Desenvolvimento da Manutenção Centrada na Fiabilidade

A metodologia da manutenção centrada na fiabilidade surge devido aos crescentes padrões de exigência em diversas indústrias. Em particular, na indústria da aviação, no final da década de 1950, existia já uma ampla variedade de dados sobre a manutenção dos equipamentos e a sua fiabilidade e o custo associado à manutenção era já suficientemente elevado para justificar repensar a forma como era feita manutenção até então. A manutenção até então baseava-se na premissa de que um componente de um ativo tem um período de revisão "ideal" que garantiria a segurança e fiabilidade do ativo. Contudo, estudos realizados no início na década de 1960, revelaram que o controlo dos tempos de revisão de um componente não está diretamente relacionado com a fiabilidade do ativo que esse componente integra, contrariamente ao que se assumia até então. Com este novo conhecimento, foram surgindo diversas tentativas de reorganizar a manutenção no sentido de garantir uma maior fiabilidade dos ativos. Assim, em 1978 Nowlan e Heap apresentaram um relatório[4] que descreve o desenvolvimento e a aplicação da metodologia RCM. Representou uma primeira iteração da metodologia RCM[1].

Mais tarde, em 1991, John Moubray escreveu o livro *Reliability-Centered Maintenance II*[1] que expõe um processo melhorado de implementação do RCM comparativamente com o trabalho de Nowlan e Heap que ficou definido como RCM2. O livro de Moubray trouxe vários pequenos melhoramentos ao trabalho de Nowlan e Heap, mas a principal mudança que justificou a nomenclatura RCM2 foi a distinção entre risco ambientais e riscos de segurança que até então não existia. Os riscos de segurança e ambientais eram colocados na mesma categoria o que na prática fazia com que os riscos ambientais fossem muitas vezes

desvalorizados. Esta distinção levou ao acrescento da questão E no diagrama de decisão do RCM2 (exposto no Anexo I). Para além desta questão foram também alteradas ligeiramente algumas outras questões do diagrama de decisão para que a sua utilização seja mais fácil e clara[1].

Mais recentemente, em 2018, foi publicado por Marius Basson o livro RCM3: *Risk-Based Reliability Centered Maintenance*[3]. Este livro é a mais recente adição à metodologia RCM e uma continuação do trabalho de Moubray. O RCM3 vem acrescentar uma preocupação com o contexto operacional de um equipamento, passando o primeiro passo da aplicação da metodologia RCM3 a definição do contexto operacional do equipamento. Esta alteração auxilia na compreensão do funcionamento do equipamento, assim como e na criação do seu plano de gestão de risco. Para além disto, a metodologia RCM3 efetua uma distinção entre causas e mecanismos dos modos de falha. Esta distinção permite, para além de registar o evento que provoca uma falha funcional (causa), registar também os mecanismos que provocam degradação do equipamento e conduzem à ocorrência do modo de falha. É feita também uma separação dos efeitos da falha que não existia no RCM2, assim os efeitos são separados do seguinte modo: efeito local; efeito de nível superior; efeito final; e efeito no pior cenário possível[3].

A mais importante alteração entre o RCM2 e o RCM3 é forma como o risco é analisado. Na abordagem do RCM2 a análise do risco era evitada a todo o custo, no RCM3 é efetuada uma gestão mais eficiente do risco. Esta gestão de risco tem por base a definição de risco apresentada no ISO31000: "Risco: efeito da incerteza na consecução dos objetivos", sendo Efeito definido como "desvio, positivo ou negativo, relativamente ao esperado"[5]. A norma refere ainda que "O risco é frequentemente expresso como a combinação das consequências de um dado evento e a respetiva probabilidade de ocorrência."[5]. Assim, é possível quantificar o risco, e por consequência uma distinção entre níveis toleráveis e intoleráveis de risco, melhorando o processo de decisão antes de ser tomada uma decisão sobre o que precisa de ser feito para mitigar o risco[3].

3 Descrição da Metodologia de Análise de Equipamentos

Neste capítulo são expostas as metodologias de análise utilizadas nesta dissertação. Primeiramente é feita uma descrição da metodologia RCM e da sua implementação. Esta descrição é seguida por uma secção acerca de fiabilidade uma vez que serão utilizados vários conceitos de fiabilidade durante a implementação da metodologia RCM. Finalmente são também referidos dados censurados uma vez que, devido ao tempo limitado de observação de componentes, serão utilizados dados censurados durante esta dissertação.

3.1 Exposição da Metodologia RCM

3.1.1 Definição da Metodologia RCM3

A metodologia RCM3 consiste na criação de estratégias e planos de manutenção de ativos através da identificação dos riscos provenientes das falhas desse ativo e dos seus componentes, a qualificação dessas falhas, consoante o nível do risco e, por fim, a determinação e construção da melhor modalidade a adotar para as prevenir e corrigir. Esta metodologia surge da necessidade de tentar mitigar os riscos físicos de segurança, ambiental ou económicos dos ativos, de uma organização , promovendo assim, a eficiência e eficácia da manutenção desses ativos[3].

A metodologia RCM3 promove assim uma nova "dimensão" na estratégia maximizando a eficiência de gestão dos riscos e a conservação do nível de fiabilidade adequada dos ativos, estando assente nas normas SAE (SAE JA 1011 e SAE JA 1012)[6, 7] e nas normas ISO (ISO 31000 e ISO 55000)[5, 8].

3.1.2 Objetivos da Metodologia RCM

A implementação da metodologia RCM implica que sejam realizados os seguintes passos:[9]

1. Instauração e planeamento da RCM;
2. Análise de falhas funcionais;
3. Seleção de tarefas;
4. Implementação;
5. Melhoria contínua.

Esta sequência ilustra de forma genérica e resumida o percurso que deve ser percorrido para que a metodologia RCM seja aplicada corretamente[9]. Na Figura 2 é possível verificar

esta sequência de forma esquemática, permitindo uma visão mais global de todo o processo de implementação do RCM.

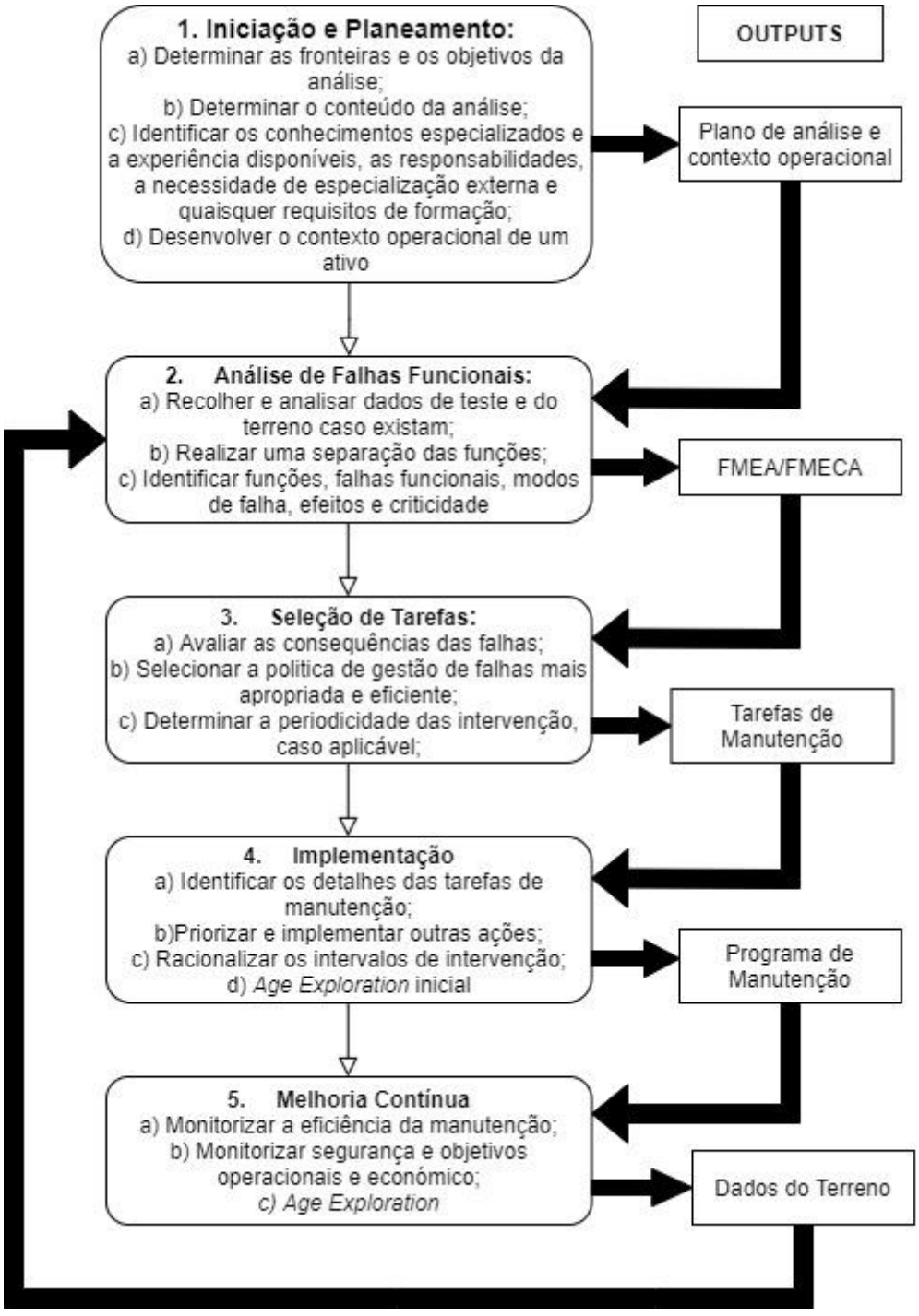


Figura 2: Visão global do processo RCM [9]

De forma genérica é possível sintetizar os objetivos de um programa RCM da seguinte forma:[9]

- Manter a função de um ativo no nível de desempenho necessário dentro do contexto operacional em que se encontra inserido;

- Obter as informações necessárias para a melhoria do projeto ou caso necessário introdução de redundância para os ativos com fiabilidade que se revele inadequada;
- Alcançar estes objetivos minimizando os custos de manutenção e os custos de falhas residuais;
- Obter a informação necessária para avaliar a implementação do programa de manutenção em curso, de maneira a poder avaliar a eficácia das tarefas de manutenção definidas;
- A monitorização de componentes críticos, dispendiosos ou específicos de segurança, reveste-se de especial importância para o desenvolvimento e avaliação do programa de manutenção.

Marius Basson [3] refere que "estes objetivos reconhecem que os programas de manutenção não podem corrigir deficiências de projeto nos níveis de segurança e fiabilidade dos equipamentos e estruturas. O programa de manutenção só pode minimizar a deterioração e restaurar o item aos seus níveis operacionais de projeto. Se os níveis intrínsecos de fiabilidade forem considerados insatisfatórios, modificações no projeto, mudanças operacionais ou de procedimentos (como programas de formação) podem ser necessárias para atingir o desempenho desejado."

Se corretamente aplicada a análise RCM3 permite obter os seguintes resultados:[9]

1. Contexto operacional definido;
2. Risco inerente (associado com a operação e manutenção do ativo) definido e quantificado;
3. Calendários de manutenção para serem executados pela organização;
4. Procedimentos de operação e manutenção revistos (para o ativo em questão);
5. Risco revisto ou residual após implementação das estratégias de gestão de risco;
6. Propostas de "mudanças únicas" (relacionadas com alterações de projeto do ativo ou com o modo de operação).

3.1.3 As 8 questões da metodologia RCM3

Para orientar a aplicação da metodologia RCM3 a qualquer sistema existem oito perguntas que devem ser respondidas. Por isso serão aqui enumeradas essas questões seguidas de uma breve explicação:[3]

1. Qual o contexto operacional do equipamento?
2. Quais as funções e padrões de desempenho do equipamento no contexto operacional definido?
3. De que formas pode o equipamento falhar no cumprimento destas funções (falhas funcionais)?
4. Quais os eventos que provocam as falhas funcionais? (modos de falha)
5. Quais as consequências do modo de falha? (efeitos da falha e severidade da falha)
6. Quais os riscos associados a cada modo de falha?
7. O que deve ser feito para reduzir os riscos intoleráveis para níveis toleráveis de risco?
8. O que pode ser feito para reduzir ou gerir riscos toleráveis de forma eficiente?

Em seguida é feita uma pequena exposição do trabalho necessário fazer para responder a cada uma desta pergunta, expondo assim o caminho a percorrer para implementar a metodologia RCM3.

Contexto Operacional

A norma SAE JA1012 define contexto operacional como "as circunstâncias em que é esperado que um ativo ou sistema atue"[7].

Compreender o contexto operacional de um determinado ativo é por isso essencial uma vez que, consoante o seu contexto operacional, as funções que este terá de desempenhar serão diferentes (equipamentos semelhantes podem ter diferentes funções consoante o seu contexto operacional). Para além de afetar as funções que o ativo terá de desempenhar, compreender o contexto operacional do equipamento facilitará bastante os restantes passos da metodologia RCM3 (definir modos de falha, os seus efeitos e consequências, a frequência a que podem ocorrer e formas de gerir essas falhas)[3].

Funções e Padrões de Desempenho

Conforme exposto anteriormente a manutenção é o conjunto de ações realizadas com o objetivo de manter um determinado ativo num estado em que este seja capaz de desempenhar as funções que lhe são requeridas. Como tal é necessário definir quais são essas funções e para além disso associar, sempre que possível, padrões de desempenho a essas mesmas funções. Para a definição das funções é aconselhada a contribuição dos utilizadores do equipamento uma vez

que estes têm um conhecimento mais aprofundado sobre a influência de cada sistema ou subsistema na capacidade operacional do equipamento[3].

As funções estão subdivididas em dois tipos de funções: funções principais e funções secundárias. As funções principais são aquelas cumprem as necessidades que motivaram a utilização do equipamento em primeiro lugar, já as funções secundárias são as funções que o equipamento precisa de cumprir para realizar as funções principais[3].

Falhas Funcionais

Tendo já definido as funções que o equipamento deve cumprir o próximo passo é definir a forma como estas funções podem não ser cumpridas (falhas funcionais). Estas falhas funcionais podem incluir a total incapacidade do equipamento cumprir a sua função ou o equipamento pode ser capaz de cumprir a função mas não ao nível requerido pelos padrões de desempenho da função[3].

Modos de Falha

Após definir as falhas funcionais é necessário perceber os eventos que provocaram essas falhas funcionais, esses eventos são os modos de falha. Modos de falha podem ser eventos que já ocorrem e efetivamente provocaram falhas ou eventos que apesar de nunca terem acontecido são uma possibilidade no contexto operacional do equipamento, por isso é importante a implementação da metodologia RCM3 seja feita em conjunto com equipas especialistas no equipamento em estudo. Nesta fase devem ser incluídos na análise todos os modos de falha independentemente da probabilidade de ocorrência, contudo é importante evitar perdas de tempo ao entrar em níveis demasiado elevados de pormenor[3].

Efeitos de Falha e sua Severidade

O próximo passo na implementação da metodologia RCM3 consiste em averiguar o que acontece quando ocorre cada um dos modos de falha já identificados, ou seja, definir os efeitos de falha. A descrição dos efeitos de falha devem conter informação que permita avaliar a severidade da falha em questão, como por exemplo:[3]

- Quando é mais provável dar-se a falha (arranque, funcionamento normal, após manutenção)?
- Com que frequência a falha ocorreria se nada fosse feito para evitar?
- Que sinais existem de que a falha ocorreu?
- De que forma a falha constitui uma ameaça à segurança ou ao ambiente?

- De que forma a falha afeta o funcionamento do equipamento?
- Quais os danos causados pela falha?
- Quais os prejuízos causados pela falha?

É, no entanto, possível que não seja possível responder a todas estas perguntas, no entanto é importante ter em consideração que quanto mais informação existir relativamente aos efeitos da falha mais fácil será averiguar a sua severidade.

Riscos Associados a cada Modo de Falha

Conforme já foi expresso nesta dissertação a norma ISO31000 define risco como "combinação das consequências de um dado evento e a respetiva probabilidade de ocorrência"[5]. O RCM3 usa esta definição para quantificar o risco através da combinação da probabilidade de ocorrência da falha e a severidade das consequências dessa mesma falha:

Risco = Severidade das Consequências x Probabilidade de Ocorrência[3]

Para definir um valor de risco é necessária uma avaliação quantitativa da severidade e da probabilidade e assim, com a combinação desses dois valores numa matriz de risco, é possível chegar a um valor de risco. Uma vez definido um valor de risco é toma a decisão de tomar ou não ações preventivas para baixar esse valor de risco, reduzindo a probabilidade de ocorrência falha ou alterando o projeto do equipamento de forma a reduzir a severidade das consequências da falha. Esta é a principal vantagem da metodologia RCM3, tem como objetivo reduzir o valor do risco conforme o critério definido pelo responsável pelo equipamento em questão e não evitar a ocorrência de toda e qualquer falha, mas sim reduzir o valor do risco conforme o critério definido pelo responsável pelo equipamento em questão[3].

Estratégias de Gestão de Risco

Após definir quais os riscos intoleráveis é então preciso tomar medidas preventivas para os trazer para níveis toleráveis de risco. Para isso a metodologia RCM3 considera seis categorias de estratégias preventivas de gestão de risco:[3]

- **Tarefas consoante condição:** esta técnica baseia-se no princípio de que a maior parte das falhas ocorrem após sinais de que estas vão acontecer. Estes sinais são chamados de falhas potencias e esta técnica é usada para as detetar para que possam ser tomadas medidas preventivas que evitem os efeitos da falha.

- **Tarefas de renovação programadas:** tarefas de renovação programadas são tarefas de substituição ou reconstrução de peças ou subsistemas de forma periódica independentemente do seu estado no momento para o qual a tarefa está programada.
- **Tarefas de substituição programadas:** semelhantes às tarefas de renovação programadas as tarefas de substituição consistem na substituição de determinada peça após um determinado tempo de utilização também independentemente do seu estado no momento de substituição.
- **Combinação de tarefas:** Em casos em que a falha implica riscos físicos (como de saúde, segurança ou danos ambientais) e uma única tarefa individual não é suficiente para mitigar esse risco é implementada uma combinação de tarefas para reduzir.
- **Tarefas de deteção de falhas e verificações funcionais:** Este tipo de tarefas, realizadas de forma periódica, são usadas para confirmar que determinado sistema ou subsistema cumpre as suas funções e para verificar se ocorreu alguma falha.
- **Alterações únicas:** Este conjunto de tarefas incluem todas as tarefas que produzem alterações ao equipamento em si alterando assim as suas caraterísticas intrínsecas.

3.2 Fiabilidade

A fiabilidade, segundo a norma EN 13306:2017, corresponde "à capacidade que um bem apresenta para cumprir uma determinada função solicitada, em determinadas condições durante um certo intervalo de tempo"[2]. A fiabilidade de um equipamento, pode ser calculada a partir do registo de falhas observadas, ou de um conjunto de equipamentos comparáveis num dado intervalo de tempo, e a sua previsão representa o nível de confiança nele depositado. É possível interpretar a fiabilidade (do ponto de vista qualitativo) como sendo a probabilidade de sucesso de um equipamento para um determinado intervalo de tempo [0, t], sendo complementar da sua probabilidade de falha (acumulada)[2].

Quando se pretende estudar e quantificar a fiabilidade de um determinado equipamento, é necessário conhecer alguns conceitos, nomeadamente a função fiabilidade *R(t)*, a taxa de falha *λ(t)* e o "Mean Time Between Failure" *MTBF* (ou tempo médio entre falhas)[10]. Considerando que:

- N_S: número de equipamentos/componentes que não falharam no momento *t*;
- N_i: número de equipamentos/componentes iguais testados;

Para um determinado momento *t*, a probabilidade de sobrevivência de um certo equipamento/componente é definida por:

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N_i}[10] \tag{3.1}$$

Analogamente (e tendo em conta, como já referido, que a fiabilidade e a probabilidade de falha são complementares) a função fiabilidade de um equipamento (que pode ser um sistema ou um componente) pode ser matematicamente descrita como:

$$R(t) = 1 - \Pr(T \leq t) = 1 - F(t)[10] \tag{3.2}$$

Em que *F(t)* representa a probabilidade de falha (também chamada de função de distribuição acumulada) e *T* representa a vida do equipamento (isto é, o tempo desde que é posto em serviço até que se verifica a primeira falha). *T* pode ser definido em tempo de calendário, ou através de outros indicadores indiretos de tempo, como número de quilómetros percorridos, número de ciclos executados, número de Horas de motor efetuadas, etc. Desta forma, também é possível definir *R(t)* como:

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^\infty f(t)dt\ [10] \tag{3.3}$$

Neste caso, recorreu-se à função densidade de probabilidade (ou função de mortalidade) *f(t)* (que representa a percentagem de equipamentos em falha por unidade de tempo) para definir a função de fiabilidade[10]. A equação 3.4 mostra a função densidade de probabilidade e a Figura 3 a sua representação gráfica.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}\ [10] \tag{3.4}$$

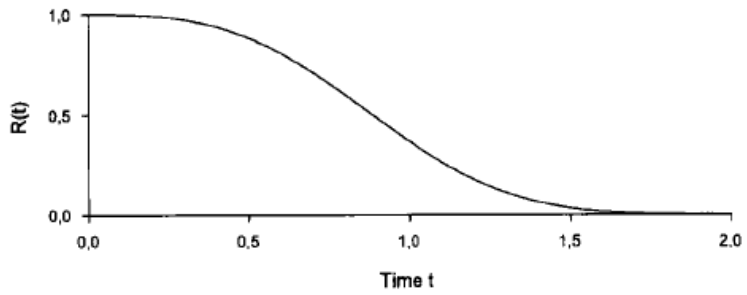


Figura 3: Função Fiabilidade[10]

Tendo em consideração a origem dos dados de falha, é possível dividir a fiabilidade em fiabilidade inerente (também designada por intrínseca ou à saída de fábrica) e fiabilidade extrínseca (ou demostrada). A primeira é obtida a partir de ensaios normalizados, realizados pelo fabricante, que não refletem as condições reais de serviço a que o equipamento está sujeito, e resulta da qualidade intrínseca do projeto. A fiabilidade extrínseca (também designada operacional), por sua vez, é obtida através de dados de falhas operacionais, registados durante a utilização do equipamento em condições de serviço, o que a torna de grande importância por ser o reflexo do equipamento em condições reais de aplicação.

Outro dos parâmetros referidos com interesse para o estudo da fiabilidade é a taxa de falha *λ(t),* que pode ser definida matematicamente como:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \text{ [10]} \tag{3.5}$$

Ou pode de forma análoga ser calculada através da expressão:

$$\lambda(t) = \frac{Número\ de\ falhas\ registadas}{Tempo\ total\ de\ operação} = \frac{N_f}{T} \text{ [10]} \tag{3.6}$$

A representação gráfica da função taxa de falha encontra-se na Figura 4, e é conhecida por curva da banheira, devido à sua forma característica. Nesta curva encontra-se representado o padrão de falha típico, e é possível distinguir três zonas, correspondentes a três fases diferentes da vida de um equipamento.

A primeira fase, a que se dá o nome de mortalidade infantil, é caraterizada pela existência de uma taxa de falha elevada com tendência para decrescer mais ou menos rapidamente. Este comportamento é explicado pela presença de componentes inadequados, de imperfeições de fabrico, erros de projeto e defeitos de instalação[10].

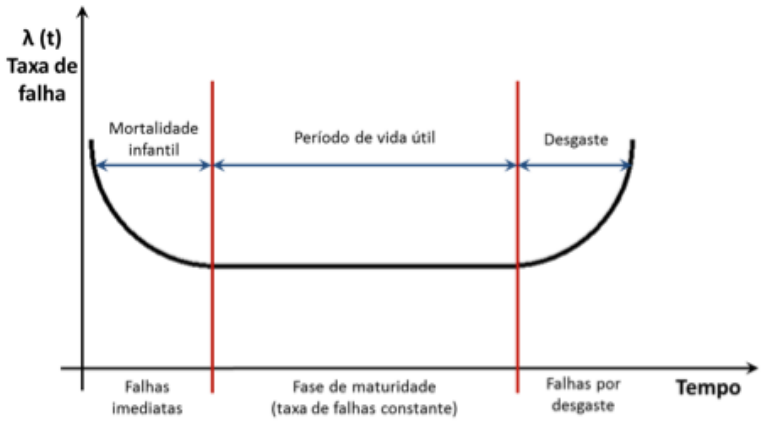


Figura 4: Representação gráfica da taxa de falha - curva da banheira[11]

Durante o período de vida útil, a taxa de falha tende a estabilizar e a manter-se constante, verificando-se a existência de falhas aleatórias relacionadas com as condições de uso do equipamento. Esta fase corresponde ao período mais significativo da vida do equipamento e termina no período correspondente à idade de vida nominal. Por fim o período de desgaste carateriza-se por um aumento progressivo da taxa de falhas, originado essencialmente pela idade do equipamento e pelo respetivo desgaste associado do material. O grande interesse do estudo desta fase reside no facto de se tentar determinar o seu início, de maneira a tentar evitar que um equipamento entre na fase de desgaste e prevenir as consequências que daí possam advir[10].

Finalmente, é necessário definir *MTBF* que corresponde, como já referido, ao tempo médio entre falhas. É então pertinente distinguir *MTBF* e *MTTF* (*Mean Time to Failure*). Apesar de semelhantes é importante perceber a diferença entre ambos: *MTBF* é usado na análise de sistemas ou componentes reparáveis após falha; já *MTTF* é usado para sistemas ou componentes que são completamente inutilizados após se dar a falha[12].

Durante todo o trabalho no âmbito desta dissertação todos os componentes ou sistemas são considerados reparáveis, assim é possível definir *MTBF* pela seguinte equação[10]:

$$MTBF = \int_0^\infty R(t)dt = \frac{1}{\lambda}\,[10] \tag{3.7}$$

3.2.1 Distribuições Estatísticas de Vida (Modelos de Fiabilidade)

Existem atualmente na literatura diversas distribuições de probabilidade que podem ser utilizadas para modelar a vida útil de um equipamento, como a distribuição exponencial, a distribuição Gama, a distribuição normal ou a distribuição de Weibull. Apesar da grande variedade de modelos matemáticos aplicáveis, a distribuição de Weibull será a mais abordada no âmbito desta dissertação (pelas suas caraterísticas esta torna-se muito versáteis, considerando-se um dos modelos mais utilizados para representar a vida de equipamentos em análises de fiabilidade [10, 13]). Para além da distribuição de Weibull é importante referir a distribuição exponencial (por ser a que melhor descreve a fase de vida útil, que devido à experiência prévia com o equipamento em análise se assume como a fase de vida mais provável para os componentes em análise) e a distribuição Normal (que permite cobrir de forma satisfatória o período de desgaste)[14].

Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull corresponde a uma expressão semi-empírica desenvolvida pelo sueco Ernest Weibull, em 1939, com o objetivo de modelar a dureza de certos materiais e efetuar previsões sobre a sua vida quando sujeitos a condições de fadiga. É uma distribuição adequada para ativos com vários componentes e para casos em que a taxa de falha pode ou não ser constante[13].

A equação abaixo ilustra a função de distribuição de Weibull de três parâmetros.

$$F(t,\theta) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\tau}{\alpha}\right)^{\beta}} \text{ [13]} \tag{3.8}$$

Sendo θ função de α, β e τ, onde α corresponde ao parâmetro de escala; β corresponde ao parâmetro de forma e τ corresponde ao parâmetro de localização.[13]

Esta distribuição pode assumir várias formas, sendo que o modelo padrão corresponde a um caso particular da distribuição de 3 parâmetros onde o fator de localização assume o valor nulo, ao qual se dá o nome de distribuição de 2 parâmetros e que assume a seguinte forma:[13]

$$F(t,\theta) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} \text{ [13]} \tag{3.9}$$

A variabilidade e capacidade dos parâmetros de escala e de forma em assumir diversos valores conferem a este modelo uma grande versatilidade e adaptabilidade a diversas formas de distribuições de probabilidade, o que permite representar qualquer fase da vida do equipamento (mortalidade infantil, vida útil ou desgaste).

No que diz respeito ao parâmetro de forma, é um valor adimensional, responsável pela forma da distribuição, e traduz o mecanismo de degradação do equipamento, permitindo relacionar a distribuição com as fases de vida identificadas na curva da banheira (já descritas anteriormente). As variações deste valor refletem-se no comportamento da distribuição, aproximando-se, para certos valores, de outras distribuições de probabilidade utilizadas em estudos de fiabilidade[13]:

- $\beta = 1$: a função densidade de probabilidade da distribuição de Weibull assume a forma da distribuição exponencial. Neste caso a taxa de falha é constante e dada por $\lambda = \frac{1}{\alpha}$, o que permite representar o período de vida útil;
- $\beta < 1$: a função densidade de probabilidade assume a forma da distribuição gama. Neste caso a taxa de falha vai ser decrescente, o que se adequa ao período de mortalidade infantil;
- $\beta > 1$: a função densidade de probabilidade assume a forma da distribuição normal (se $\beta = 3{,}5$) ou da distribuição log-normal (se $\beta = 2$). Neste caso a taxa de falha é crescente, o que por sua vez, se adequa ao período de desgaste.

Resta apenas descrever o parâmetro de escala, também conhecido como vida caraterística, que corresponde ao intervalo tempo no qual ocorrem 63,2% das falhas. Ao contrário de β, este parâmetro apresenta as mesmas dimensões que a variável *t* (seja horas, quilómetros, ciclos, etc.)[13].

Uma vez definidos os parâmetros da distribuição de Weibull é necessário chegar a um valor de taxa de falha que permitirá obter o MTBF (*Mean Time Between Failure*) pretendido. Como esse objetivo é então necessário obter a função fiabilidade que corresponde ao complementar da função probabilidade de falha da seguinte forma:

$$R(t) = 1 - F(t) = exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right] \tag{3.10}$$

A função densidade de probabilidade desta distribuição, é representada como:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right] \tag{3.11}$$

Tendo em conta as equações anteriores, a taxa de falha pode então ser definida, em termos de distribuição de Weibull, da seguinte forma:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \tag{3.12}$$

Assim, basta agora calcular o MTBF. Conforme já foi referido neste capítulo o MTBF corresponde ao inverso da taxa de falha, assim:

$$MTBF = \bar{T} = \eta\Gamma(\frac{1}{\beta} + 1) \tag{3.13}$$

Para a determinação dos parâmetros da distribuição de Weibull é possível utilizar diversos métodos gráficos ou analíticos. Contudo durante o trabalho no âmbito desta dissertação foi utilizado o *Software ReliaSoft* que possui capacidades de calculo probabilístico que permitem a obtenção de MTBFs. Para isso, o s*oftware* analisa os dados de vida do equipamento e faz uma análise de qual a distribuição mais adequada para representar os dados em análise. Com esta informação é possível escolher qual a distribuição mais adequada (seguindo ou não a sugestão do *software*) e calcular os parâmetros a distribuição. Depois de calculados os parâmetros é então possível calcular o *MTBF* do equipamento em análise.

Para além da distribuição de Weibull é possível que sejam utilizadas outras distribuições, por isso são em seguida expostas outras distribuições pertinentes para o trabalho desta dissertação.

Distribuição Exponencial

Esta distribuição caracteriza-se por apresentar uma taxa de falha (λ) constante, propriedade que é caraterística da fase de vida útil, sendo adequada para os casos em que as falhas são aleatórias. Esta distribuição possui apenas um parâmetro que é a referida taxa de falha λ ou o seu inverso, o *MTBF*. Posto isto, a função densidade de probabilidade desta distribuição assume a seguinte forma[15]:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \tag{3.14}$$

A função fiabilidade representa-se como:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \tag{3.15}$$

E tendo em conta o que foi referido anteriormente:

$$MTBF = \int_0^\infty R(t) = \frac{1}{\lambda} \tag{3.16}$$

Esta distribuição, à semelhança da distribuição de Weibull, pode também ser estimada com recurso a vários métodos, gráficos ou analíticos, dos quais se destacam o método de regressão linear e o método da máxima verosimilhança, sobejamente considerado como o mais consistente[15].

Distribuição Normal

Esta distribuição de probabilidade, permite pelas suas caraterísticas, representar de forma muito satisfatória o comportamento de um conjunto de falhas de um equipamento/componente, que atinge o período de desgaste, isto é, cuja taxa de falha cresce de forma acentuada com a idade (tempo em serviço), ajustando-se aos modos de falha que se relacionam com a degradação inevitável que ocorre com o aumento da vida/tempo em serviço do equipamento. A sua aplicação dá-se quando as falhas ocorrem de forma simétrica e em torno de um valor médio, indicando por isso que existem poucas falhas no início e no final do tempo de serviço do equipamento. A distribuição normal é bi-paramétrica, ou seja, é caraterizada por 2 parâmetros, nomeadamente[15]:

- μ (ou média dos tempos até à falha): corresponde ao parâmetro de localização;
- σ (ou desvio padrão da amostra): corresponde ao parâmetro de escala

Para esta distribuição a função densidade de probabilidade é representada pela seguinte equação:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{t-\mu}{\sigma})^2} \tag{3.17}$$

Por sua vez a função fiabilidade é determinada, nesta distribuição, através de:

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{t-\mu}{\sigma})^2} \, dt \tag{3.18}$$

Distribuição Lognormal

Diz-se que a variável aleatória *t* (tempo de falha) se ajusta a uma distribuição lognormal se o seu logaritmo natural for normalmente distribuído. Esta distribuição ao contrário da distribuição normal é uma distribuição assimétrica com tendência para assumir uma simetria com baios valores de desvio padrão, adequando-se de uma forma geral à representação de falhas originadas por fadiga. Para esta distribuição a função densidade de probabilidade é representada por [14]:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma'\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{t'-\mu'}{\sigma'})^2} \tag{3.19}$$

Sendo que:

- σ' representa o desvio padrão do logaritmo natural dos tempos de falha;
- μ' representa a média do logaritmo natural dos tempos de falha;

Por sua vez, a função fiabilidade é dada por:

$$R(t) = \int_{t'}^{\infty} \frac{1}{\sigma'\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{t'-\mu'}{\sigma'})^2} \, dt \tag{3.20}$$

Tal como acontece para a distribuição normal, não é possível obter uma solução exata e direta da equação anterior, pelo que esta pode ser obtida através de tabelas ou programas informáticos específicos.

3.3 Dados Censurados

Para realizar qualquer tipo de análise estatística, como por exemplo em análises de fiabilidade, é necessário obter dados acerca do objeto em estudo. No caso do trabalho desta dissertação será necessário usar dados acerca do tempo de vida de determinados equipamentos até que ocorra uma falha. Contudo é possível que durante o intervalo de tempo de observação dos equipamentos uma falha não ocorra e nesse caso não será possível obter um valor acerca do tempo de falha desse mesmo equipamento. Neste caso estamos perante um exemplo de dados censurados à direita.

3.3.1 Dados Censurados à Direita

Um conjunto de dados dizem-se censurados quando não existe informação completa sobre o seu comportamento. Tal como foi dito anteriormente, o exemplo mais corrente, no âmbito desta dissertação, de dados censurados ocorre porque não é possível determinar o tempo de falha de um determinado equipamento. Isto acontece porque o tempo de análise dos equipamentos não é grande o suficiente para que todos os equipamentos em estudo falhem[10].

Para que não existissem dados censurados seria necessário que todos os equipamentos falhassem durante o tempo de análise dos mesmos. Isso é impossível uma vez que desde a sua produção até ao presente não falharam todos os equipamentos, o que não quer dizer que seja impossível que uma falha ocorra nesses equipamentos. Por isso é importante contabilizar a esta censura de dados para estimar corretamente os parâmetros da distribuição[10].

Em casos como este em que não existe informação completa sobre o fim de vida de um equipamento diz-se que os dados estão censurados à direta. Nestes casos o tempo exato de falha é desconhecido, pelo que se sabe que esse tempo é superior a um tempo conhecido (o tempo de fim de registo de informação). A Figura 5 mostra um exemplo de 5 ativos em que 2 deles não falham durante o tempo de observação, estando por isso perante um caso de dados censurados à direita:

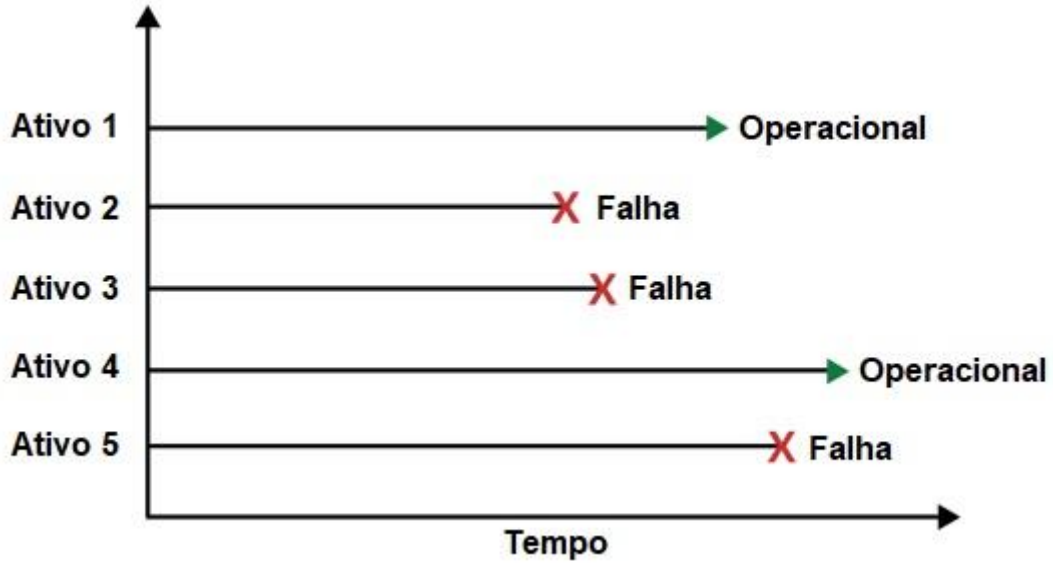


Figura 5: Dados Censurados à Direita[16]

Dentro da categoria de dados censurados à direita, é ainda possível dividir os dados em censura do Tipo 1 e censura do Tipo 2[16]:

- Tipo 1: O registo de informação termina ao fim de um tempo pré-determinado (seja por motivos de ordem económica, tempo disponível, etc.). O tempo de observação, neste caso, é fixo e no final do registo, tal como já foi referido, apenas vai ser conhecido o tempo de vida dos ativos que falharam antes do tempo de fim de observação.
- Tipo 2: O registo de informação termina após se verificar um número pré-determinado de falhas (definido no início da análise). Todos os ativos em estudos são observados até a ocorrência do número de falhas pretendido, sendo o tempo de observação, neste caso, variável.

3.4 Software Utilizado

Implementar a metodologia RCM a uma máquina de elevado grau de complexidade é uma tarefa complexa e trabalhosa. Por esse motivo, para tornar este processo mais rápido e eficiente foi utilizado o *Software Reliasoft*. Este software é um excelente auxiliar ao trabalho a

realizar. Com o auxilio do *Reliasoft* é possível dividir a máquina nos seus sistemas e subsistemas e atribuir funções a cada um desses sistemas. Uma vez definidas as funções e com o apoio do programam foram definidas as falhas funcionais, modos de falha, e efeitos de falha. Para além disto, o *software* é também extremamente útil em análises estatísticas permitindo através de dados de vida de um componente definir a distribuição de probabilidades que melhor representa os dados em causa e assim obter o tempo de vida até que ocorra a falha. Finalmente, o *software* é também bastante útil para definir, de forma mais organizada, as tarefas a implementar num plano de manutenção.

4 Caso Prático

Neste capítulo é finalmente implementada a metodologia RCM ao objeto de estudo desta dissertação. Deste modo, o capítulo inicia com uma descrição da viatura em estudo e os seus sistemas; em seguida é exposto o plano de manutenção em vigor essa mesma viatura. O capítulo termina com a exposição da implementação da metodologia RCM à viatura em estudo.

4.1 Caracterização dos Sistemas da Viatura

O Exército, enquanto ramo das Forças Armadas Portuguesas responsável pela componente terrestre das operações militares é equipado por diversas viaturas blindadas, nas quais se inclui a viatura em estudo. A viatura em estudo é uma Viatura Blindada de Rodas (VBR) que visa garantir mobilidade tática terreste, conferindo flexibilidade às forças médias, facultando-lhes proteção blindada. Estas viaturas equipam as Unidades da Brigada de Intervenção (BrigInt) e estiveram empenhadas em teatros de operações do Kosovo e Lituânia e atualmente encontram-se empenhadas na República Centro-Africana. Estas viaturas estão inseridas na categoria de viaturas blindadas de transporte de pessoal (VBTP) e estão ao serviço do Exército desde 2009[17]. A Figura 6 mostra uma viatura em missão na República Centro-Africana.



Figura 6: Viatura em Estudo [18]

Atualmente o Exército possui uma frota de 188 destas viaturas, repartidas em 9 tipologias diferentes, que lhe conferem uma grande versatilidade ao nível da sua utilização tática e operacional. Cada viatura permite transportar até 10 militares (incluindo o condutor) com uma

velocidade máxima em estrada pavimentada de cerca de 105 Km/h. É uma viatura com 4 eixos dos quais 2 são direcionais, possui 6 rodas motrizes (ou 8 no modo 8x8) e um peso que pode variar entre as 18,5 toneladas e as 22,5 toneladas. No que diz respeito às suas dimensões gerais apresenta um comprimento de 7,62 metros, uma largura de 2,87 metros e uma altura total de 2,84 metros.

Devido ao elevado grau de complexidade da viatura em estudo foi necessário, para facilitar a implementação da metodologia RCM, dividir a mesma em sistemas e assim aplicar a cada um destes sistemas a metodologia. Uma vez que existem 9 tipologias diferentes desta viatura foi estudada, no âmbito desta dissertação, a viatura com a configuração ICV (*Infantary Carrier Vehicle*). A divisão da viatura foi feita tendo por base a que está definida nos manuais técnicos produzidos pelo fabricante. Contudo, essa divisão foi ajustada no sentido de agrupar os diversos componentes da viatura consoante a sua função. Adicionalmente, foi feita uma triagem para evitar um nível de pormenor demasiado elevado, o que seria contraproducente para a analise global da viatura que é o objetivo desta dissertação. A viatura foi dividida da seguinte forma:

1. Sistema de Potência
    a. Motor
    b. Sistema de Admissão de Ar
        i. Turbo
    c. Sistema de Alimentação de Combustível
    d. Sistema de Escape
2. Sistema de Transferência de Potência
    a. Transmissão Automática
    b. Trem de Rodagem
        i. Suspensão e Amortecimento
    c. Sistema de Direção
3. Sistema de Segurança
    a. Sistema de Travagem
    b. Sistema de Supressão e Extinção de Incêndios

    c. Sistema NBQ

4. Sistema Hidráulico
    a. Sistema do Guincho
    b. Sistema de acionamento de emergência da rampa
5. Sistema Pneumático
    a. Sistema Pneumático Central
    b. CTIS
6. Sistema de Aquecimento e Arrefecimento
    a. Aquecimento
    b. Ventilação e Ar Condicionado
7. Sistema Elétrico
    a. Sistema de Geração e Armazenamento Elétrico
    b. Sistema de Iluminação
    c. Sistema de Aviso
    d. Sistema de Controlo
8. Casco

4.2 Plano de Manutenção Atual da Viatura em Estudo

O plano de manutenção em vigor vai de encontro ao plano de manutenção descrito no manual de manutenção produzido pelo fabricante da viatura[19]. Este plano, exposto no Anexo II, consiste num conjunto de medidas preventivas, realizadas com periodicidades específicas, para os diversos sistemas da viatura.

As tarefas de manutenção com periodicidade anual devem ser realizadas anualmente ou a cada 250 horas de motor ou a cada 5000 km, dependendo de que ocorra primeiro. Da mesma forma, as tarefas bianuais devem ser realizadas a cada 2 anos ou a cada 500 horas de motor ou a cada 10 000 km, dependendo de que ocorra primeiro. As tarefas de manutenção com periodicidade de 6 anos devem ser realizadas de 6 em 6 anos ou a cada 1500 horas de motor, dependendo de que ocorra primeiro.

4.3 Aplicação da Metodologia RCM3

Neste subcapítulo é exposta a implementação passo a passo do RCM3, descrito no capítulo 3, aos sistemas em estudo nesta dissertação.

4.3.1 Definição do Contexto Operacional

Tal como foi exposto anteriormente, a definição do contexto operacional é o primeiro passo na aplicação do RCM. A viatura em estudo é utilizada pelas Forças Armadas Portuguesas pelo que faz então sentido averiguar as condições do terreno onde estas atuam.

O tipo de viatura em estudo incorpora as unidades pertencentes à Brigada de Intervenção do Exército Português [17]. O clima em Portugal Continental divide-se em duas regiões: uma de clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e quente e outra de clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente[20]. Com esta informação pode-se concluir que as viaturas, quando em território português, são utilizadas em condições de clima ameno não sendo expostas a temperaturas demasiado altas ou demasiado baixas.

Estas viaturas de elevada performance devem ser capazes de se movimentar em estrada (a uma velocidade máxima de 105 km/h) mas também devem ser capazes de operar em qualquer tipo de terreno e ultrapassar obstáculos, tal como ilustra a Figura 7:

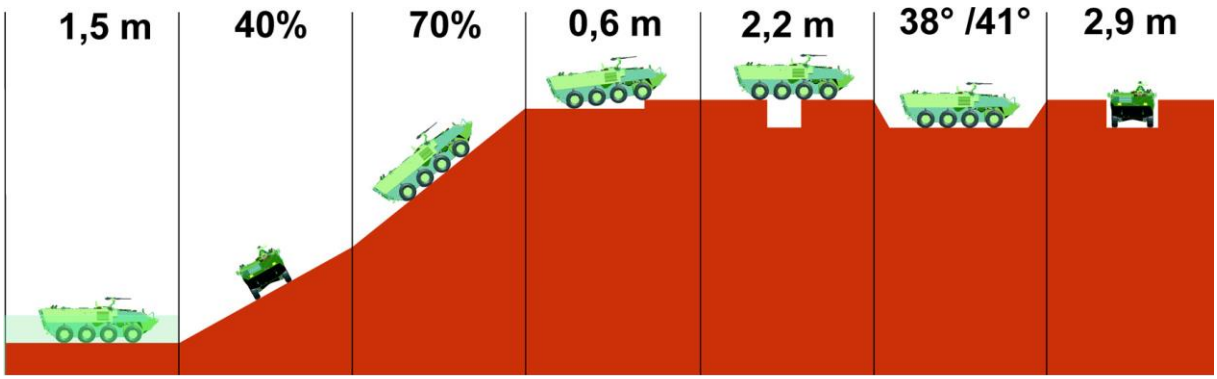


Figura 7-Capacidades da Viatura em vários tipos de terreno*[21]*

4.3.2 Ficha de informação RCM3

De forma a facilitar a implementação da metodologia RCM3 foi definido um modelo de ficha de informação (produzidas com o auxílio do *Software ReliaSoft*). Estas fichas consistem em tabelas onde foram registadas as informações necessárias sobre cada sistema para a implementação da metodologia RCM3. As fichas completas estão apresentadas no Anexo IV desta dissertação pelo que aqui fica exposto, na Figura 8, um cabeçalho exemplo (comum a todos os sistemas da viatura):

Ficha de Informação RCM3

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)	Descrição do Efeito no Nível Local	Descrição do Efeito no Nível Posterior	Descrição do Efeito Final	Efeito do pior cenário	Si	Oi	Di	RPNi
Sistema Hidráulico										

Figura 8: Cabeçalho da ficha de informação

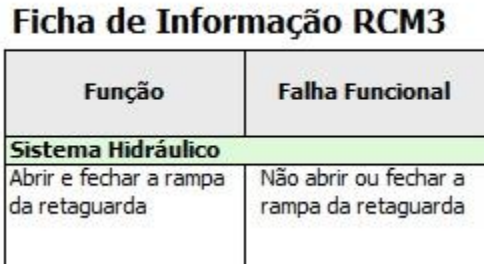
Estas fichas estão divididas pelos diversos sistemas em estudo da viatura (o exemplo acima mostra o sistema hidráulico destacado a verde). Em cada sistema foram descritas as diversas funções que este realiza e que são pertinentes de avaliar e analisar; as falhas funcionais que podem ocorrer e os diversos modos de falha lhe estão associados. Foram também descritos os efeitos associados a cada modo de falha. Foram considerados efeitos a nível local, efeitos de nível superior, efeito final e efeito de pior cenário. Por fim as últimas 4 colunas representam os valores necessários para calcular os RPNi (*Risk Priority Number* inicial) associados a cada modo de falha. Sendo "Si" a severidade inicial; "Oi" o nível de ocorrência inicial; e "Di" a detetabilidade inicial.

4.3.3 Análise funcional dos sistemas da viatura

Para realizar a análise funcional de cada um dos sistemas em estudo foi necessário perceber quais as funções inerentes ao sistema como um todo, definindo assim as funções principais desse sistema. Para além disso, foram analisados os componentes desse sistema e,

caso desempenhem funções vitais para o bom funcionamento do sistema, as suas funções foram também definidas como função do próprio sistema.

Além da definição das funções do sistema foram também definidas as falhas funcionais associadas às diversas funções. Na Figura 9 é apresentado um exemplo do registo de uma função e respetiva falha funcional do sistema hidráulico.



Ficha de Informação RCM3

Função	Falha Funcional
Sistema Hidráulico	
Abrir e fechar a rampa da retaguarda	Não abrir ou fechar a rampa da retaguarda

Figura 9: Exemplo de registo de funções na ficha de informação

Cada componente pode apresentar diversas funções, e cada função pode ter associadas diversas falhas funcionais.

4.3.4 Análise de modos de falha

Após efetuar a analise funcional dos diversos sistemas da viatura foi necessário identificar os modos de falha (causas) associados a cada uma das falhas funcionais. Para isso foram consultados os registos de todas as falhas ocorridas entre 2014 e 2020 e foi feita uma análise crítica as diversos sistema para averiguar se existiriam falhas possíveis ainda não detetadas devido ao reduzido tempo de vida das viaturas em questão (as viaturas em estudo estão em atividade desde 2009[17]).

A Figura 10 apresenta um exemplo do registo dos modos de falha de uma falha funcional do sistema hidráulico.

Ficha de Informação RCM3

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)
Sistema Hidráulico		
Abrir e fechar a rampa da retaguarda	Não abrir ou fechar a rampa da retaguarda	Fuga de óleo no cilindro hidráulico da rampa
		Válvula de comando elétrica da rampa inoperacional

Figura 10: Exemplo de registo dos modos de falha na ficha de informação

4.3.5 Descrição dos efeitos da falha

Foi feita uma descrição dos efeitos da falha para cada modo de falha registado. Esta descrição será importante na fase seguinte de análise do risco uma vez que descreve as consequências resultantes dos modos de falha ocorridos.

A Figura 11 apresenta um exemplo do registo da descrição dos efeitos de dois modos de falha do sistema hidráulico.

Ficha de Informação RCM3

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)	Descrição do Efeito no Nível Local	Descrição do Efeito no Nível Posterior	Descrição do Efeito Final	Efeito do pior cenário
Sistema Hidráulico						
Abrir e fechar a rampa da retaguarda	Não abrir ou fechar a rampa da retaguarda	Fuga de óleo no cilindro hidráulico da rampa	Falta de pressão nos cilindros da rampa	Devido à falta de pressão os cilindros, estes não são capazes de mover a rampa para a abrir ou fechar e esta fica imóvel	Substituição do cilindro defeituoso	Rampa incapaz de ficar fixa provocando acidente
		Válvula de comando elétrica da rampa inoperacional	As válvulas inoperacionais não direcionam o óleo hidraulico para mover os cilindros	Não é possível comandar a abertura e fecho da rampa da retaguarda	Substituir válvulas inoperacionais	Rampa incapaz de ficar fixa provocando acidente

Figura 11:Exemplo de registo dos efeitos da falha na ficha de informação

O registo dos efeitos da falha na ficha de informação é dividido em quatro categorias:[3]

- Efeito de falha local: descreve a consequência da ocorrência do modo de falha no próprio sistema;
- Efeito de nível superior seguinte: descreve o impacto do modo de falha no sistema superior em que se insere o sistema em que ocorre o modo de falha e a sequência de eventos provocados pela ocorrência do modo de falha;

- Efeito final: descreve as consequências do modo de falha na segurança, ambiente e capacidade operacional e o que deve ser feito para reparar o equipamento que falhou;
- Efeito de potencial pior cenário: descreve as consequências da ocorrência do modo de falha caso não seja efetuada qualquer ação de deteção, prevenção ou reparação da falha.

4.3.6 Determinação de RPNi

O último passo para preencher as fichas de informação consiste na determinação dos RPNi. O cálculo do RPNi foi feito através da seguinte multiplicação[3]:

$$RPNi = Si \times Oi \times Di \text{ [3]} \quad (4.1)$$

Sendo "Si" a severidade inicial antes de qualquer atividade de manutenção seja implementada; "Oi" a probabilidade de ocorrência antes de qualquer atividade de manutenção seja implementada; e "Di" a detetabilidade da falha antes de qualquer atividade de manutenção seja implementada. Assim, é possível obter um valor de *Risk Priority Number* antes de qualquer atividade de manutenção seja implementada.

O primeiro passo para determinar os parâmetros da distribuição de Weibull foi atribuir a cada um dos registos das falhas um modo de falha. Usando a informação presente nesses registos acerca das horas de motor de cada viatura aquando da ocorrência da falha foi possível determinar os MTBFs. Em virtude de diversas viaturas não terem sofrido falhas associadas aos modos de falha em estudo foi utilizado um valor de referência que corresponde a um valor de tempo superior ao valor mais elevado em que se registou uma falha para determinado modo de falha. Por exemplo, para o modo de falha "Rampa de Retaguarda não abre" o maior número de horas de motor em que se registou uma falha foi 383 horas, portanto foi usado como valor de referência até ao qual não foi registada essa falha 400 horas de motor, considerando assim dados censurados à direita.

No Anexo III, estão expostos os valores obtidos para MTBFs dos modos de falha em que foram possível determinar a partir dos dados acerca de falha ocorridas entre 2014 e 2020.

Com base nos MTBFs obtidos foi possível determinar um valor de probabilidade de ocorrência inicial dos modos de falha, a que correspondem esses MTBFs. Contudo, foi necessário atribuir valores de probabilidade de ocorrência inicial para os restantes modos de falha. Para isso foram consultadas bases de dados acerca dos tempos de falha de equipamentos semelhantes e de aplicação semelhante aos estudados nesta dissertação[22].

Para determinar os valores da severidade inicial e detetabilidade inicial foram analisados todos os modos de falha em conjunto com um técnico especialista nesta área que determinou, utilizando a sua experiência na área, valores adequados para cada modo de falha.

Finalmente, com todos estes valores definidos foi possível determinar os valores de RPNi de todos os modos de falha. Na Figura 12 é possível então ver um exemplo de toda a ficha de informação preenchida:

Ficha de Informação RCM3

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)	Descrição do Efeito no Nível Local	Descrição do Efeito no Nível Posterior	Descrição do Efeito Final	Efeito do pior cenário	Si	Oi	Di	RPNi
Sistema Hidráulico										
Abrir e fechar a rampa da retaguarda	Não abrir ou fechar a rampa da retaguarda	Fuga de óleo no cilindro hidráulico da rampa	Falta de pressão nos cilindros da rampa	Devido à falta de pressão os cilindros, estes não são capazes de mover a rampa para a abrir ou fechar e esta fica imóvel	Substituição do cilindro defeituoso	Rampa incapaz de ficar fixa provocando acidente	5	6	1	30
		Válvula de comando elétrica da rampa inoperacional	As válvulas inoperacionais não direcionam o óleo hidraulico para mover os cilindros	Não é possível comandar a abertura e fecho da rampa da retaguarda	Substituir válvulas inoperacionais	Rampa incapaz de ficar fixa provocando acidente	3	6	7	126

Figura 12: Exemplo de registo dos valores de RPNi na ficha de informação

No Anexo IV estão apresentadas as fichas de informação completas de todos os sistemas estudados.

4.3.7 Análise do Risco

Para fazer uma análise quantitativa do risco foi utilizada uma matriz de risco, tal como é proposto na bibliografia sobre RCM3[3], foi utilizada uma matriz de risco que combina a severidade da consequência com a probabilidade de ocorrência do modo de falha, obtendo assim um valor de classificação do risco. Para este efeito foi utilizada uma matriz de risco já utilizada anteriormente para análises de risco na aplicação desta metodologia à viatura estudada nesta dissertação.

Na página seguinte está apresentada a matriz de risco utilizada:

Efeito da falha/ Severidade da consequência

Consequência	1 Insignificante	2 Baixa	3 Moderada	4 Elevada	5 Grave
Segurança e saúde	Primeiros socorros/ Risco para a saúde ligeiro.	Tratamento médico/ Risco para a saúde considerável.	Lesão grave/ Impacto reversível para a saúde.	Óbito único ou perda de qualidade de vida/ Impacto irreversível na saúde.	Vários óbitos/ impacto na saúde que pode levar à morte.
Ambiental	Dano ambiental mínimo.	Impacto ligeiro – recuperação a curto prazo.	Dano significativo – com impacto irreversível durante a vida do ativo.	Dano grave com impacto irreversível após vida do ativo.	Dano extremo com impacto irreversível.
Operacional	Falha resolvida pelo operador/tripulação	Breve indisponibilidade. Reparação efetuada na unidade orgânica com duração inferior a 6 horas.	Indisponibilidade parcial. Implica reparação na unidade de manutenção intermédia de apoio direto com duração até 36 horas.	Indisponibilidade parcial. Implica reparação na unidade de manutenção intermédia de apoio geral com duração até 96 horas.	Indisponibilidade total do sistema de armas. Implica reparação/substituição na unidade de manutenção de depósito.
Económica	Custos de reparação até 1500 €.	Custos de reparação de 1500 € até 10000 €.	Custos de reparação de 10000 € até 50000 €.	Custos de reparação de 50000 € até 500000 €.	Custos de reparação superiores a 500000 €.

Probabilidade de ocorrência		Classificação do risco				
5 Praticamente certo	Falha ocorre uma ou mais vezes a cada 250 Horas de motor (ou 1 ano).	11(M)	16(S)	20(S)	23(H)	25(H)
4 Provável	Falha ocorre menos de uma vez a cada 250 Horas de motor e é provável que ocorra num prazo de 1250 Horas de motor (ou 5 anos).	7(M)	12(M)	17(S)	21(H)	24(H)
3 Eventual	Falha ocorre eventualmente e pode dar-se num prazo de 2500 Horas de motor (ou 10 anos).	4(L)	8(M)	13(S)	18(S)	22(H)

2 Improvável	Falha ocorre eventualmente e pode dar-se num prazo de 5000 Horas de motor (ou 20 anos).	2(L)	5(L)	9(M)	14(S)	19(S)
1 Raro	Falha nunca aconteceu e não é expectável que aconteça num prazo de 5000 Horas de motor (ou 20 anos).	1(L)	3(L)	6(M)	10(M)	15(S)

Tabela 1: Matriz do risco [23]

Com esta matriz e com valores de severidade e probabilidade de ocorrência já definidos é então direta a classificação de risco para os diversos modos de falha. Como é possível verificar, a matriz de risco apresenta quatro níveis de risco (divididos em vinte e cinco valores de risco diferentes correspondes às combinações possíveis entre a severidade e a probabilidade de ocorrência):

- Ligeiro (L);
- Médio (M);
- Severo (S);
- Grave (H).

Os níveis ligeiro e médio, são considerados riscos toleráveis, isto é, aceitáveis para a organização, enquanto os níveis severo e grave são níveis de risco considerados intoleráveis, e que obrigam a uma intervenção e à adoção de medidas de mitigação do risco que os permitam tornar aceitáveis[23].

4.3.8 Definição de ações de mitigação de risco

Para o processo de tomada de decisões de definição de ações de mitigação do risco usando a metodologia RCM3 é feito recorrendo ao diagrama de decisão do RCM3 (exposto no Anexo I**Error! Reference source not found.** desta dissertação). Contudo, uma vez que foi usado o *Software ReliaSoft* durante a realização desta dissertação foi utilizado também o diagrama de decisão do *ReliaSoft* para a categorização das falhas. A Figura 13 mostra o diagrama de decisão proposto pelo *ReliaSoft*.

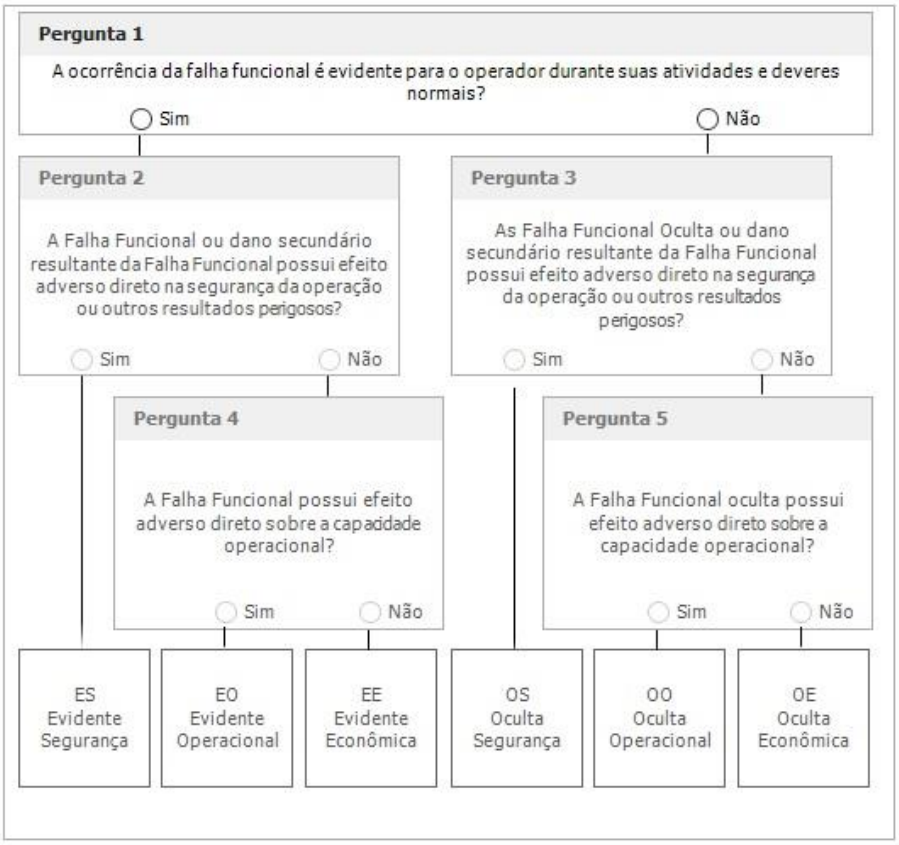


Figura 13: Diagrama de Decisão *ReliaSoft*

Assim, com o auxílio desta ferramenta foram planeadas novas tarefas preventivas tendo como objetivo diminuir o valor do risco associado a modos de falha que apresentem valores de risco demasiado elevados. Para isso foram sempre consultadas as tarefas de manutenção já em vigor (presentes no Anexo II) e a esse programa de manutenção foram acrescentadas tarefas ou no caso de uma tarefa existente foi aumentada a sua frequência. O novo plano de manutenção proposto nesta dissertação encontra-se exposto no Anexo V (as tarefas já existentes no plano de manutenção original não foram mencionadas neste novo plano, uma vez que se prossupõe que este novo plano de manutenção seja um acrescento ao plano de manutenção original).

5 Análise e discussão de resultados

Este capítulo tem como objetivo analisar as mudanças aplicadas ao plano de manutenção previamente existente da viatura e justificar as mudanças efetuadas.

Para evitar introduzir um maior grau de complexidade ao processo de manutenção das viaturas, as propostas de alteração ao plano de manutenção incluem apenas tarefas a realizar com uma periodicidade já contemplada no plano de manutenção original. De acordo com o plano de manutenção original as viaturas são submetidas a diversas tarefas de manutenção sendo algumas realizadas a cada 6 meses, anualmente, a cada 2 anos, a cada 4 anos, a cada 6 anos ou a cada 10 anos. Deste modo as novas tarefas a realizar foram planeadas de modo a serem incluídas num destes grupos.

Tal como foi mencionado no capítulo anterior, o risco associado a uma falha é avaliado através da combinação da probabilidade de ocorrência da falha e a sua severidade. Assim, com a informação acerca dos níveis de risco associados a cada falha são definidos quais os sistemas ou subsistemas cujo plano de manutenção precisa de ser alterado. Para isso foi feita uma análise falha a falha e foram implementadas novas tarefas de manutenção (nos casos em que o risco era intolerável) com o objetivo de reduzir a probabilidade de ocorrência da falha ou reduzir a sua severidade ou ambos reduzindo assim o risco para níveis toleráveis.

Assim, foram analisadas de novo as falhas tendo em consideração o novo plano de manutenção. Com isto foi possível definir novos valores de severidade, probabilidade de ocorrência e detetabilidade, sendo assim possível chegar a novos valores de RPN (*Risk Priority Number*). Deste modo o Anexo VI mostra os valores de RPN revistos para os modos de falha aos quais estão associadas novas tarefas de manutenção. Pela análise do Anexo VI é possível verificar que foi possível reduzir os riscos classificados como graves (a vermelho) para níveis de risco severos (a amarelo). Para além disso com uma visão global é possível verificar que todos os RPN foram reduzidos em média 46.37%, sendo que a maioria das falhas apresentaram reduções de 50% e 60% e a menor redução foi de 33%.

6 Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões

Esta dissertação tinha como objetivo a produção de um programa de manutenção melhorado para uma viatura militar terrestre de elevada performance utilizando a metodologia RCM3. É agora possível concluir que esse objetivo foi concluído com sucesso com a produção de um novo e melhorado plano de manutenção. Pela análise das fichas de informação RCM é possível verificar que grande parte das falhas consideradas têm um valor de risco associado tolerável, o que revela que o programa de manutenção em vigor é aceitável. Assim, o trabalho desta dissertação produziu um melhoramento a esse plano de manutenção que visa reduzir riscos intoleráveis para valores toleráveis de risco.

Durante a realização dissertação foram encontrados alguns obstáculos ao progresso do trabalho. Inicialmente, para ao definir as funções e falhas funcionais, foi feita uma análise teórica das falhas possíveis de ocorrer o que não se revelou eficiente uma vez que a análise do historial de falhas já ocorridas se revelou uma ferramenta bastante mais útil para a definição das funções e falhas funcionais. Contudo, é também importante notar, que estes registos contém uma grande quantidade de informação e não possuem um nível de organização satisfatório para analisar essa informação de forma eficiente.

Uma vez implementado o plano de manutenção proposto nesta dissertação vai possibilitar uma redução da probabilidade de ocorrência de falhas graves o que resultará numa redução do risco associado à utilização da viatura em estudo e também numa redução dos custos associados em reparações dos equipamentos após se dar a falha.

6.2 Propostas de Trabalhos Futuros

Finalmente, serve este último capítulo para fornecer algumas recomendações de acerca o trabalho que deve ser feito em continuação desta dissertação e também algumas mudanças que podem ser feitas para facilitar análises como esta:

- A metodologia RCM considera a constante melhoria dos programas de manutenção, como tal é sugerido que seja feito um acompanhamento continuo do funcionamento das viaturas de modo a alterar, caso necessário, qualquer informação presente nas fichas RCM desta dissertação ou o plano de manutenção;
- O registo de falhas é essencial neste tipo de análises e a capacidade de aceder a grandes quantidades de informação de forma eficiente também. Por isso, o registo das falhas

poderia ser feito de forma mais estrutura de modo a disponibilizar mais facilmente os dados necessários.

Bibliografia

1. MOUBRAY, J., *Reliability-centered Maintenance*. 1991: Industrial Press. ISBN 0750633581

2. BSI, *BS EN 13306:2017*, in *Maintenance terminology*. 2017. Reino Unido

3. BASSON, M., *RCM3: Risk-Based Reliability Centered Maintenance*. 2018: Industrial Press, Incorporated. ISBN 978-0-8311-3632-1

4. NOWLAN, F. and H. HEAP, *Reliability-centered Maintenance*. 1978, United Airlines

5. Norma Portuguesa, *ISO 31000:2009*, in *Gestão do risco Princípios e linhas de orientação*. 2009. Portugal

6. SAE, *JA 1011*, in *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*. 2009. Estados Unidos da América

7. SAE, *JA 1012*, in *A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard*. 2002. Estados Unidos da América

8. Norma Portuguesa, *ISO 55000:2016*, in *Gestão de Ativos*. 2016. Portugal

9. BSI, *BS EN 60300-3-11*, in *Dependability Management*. 2009. Reino Unido

10. RAUSAND, M. and A. HOYLAND, *System reliability theory: models, statisical methods, and applications*. 2004: Hoboken, NJ: Wiley-Interscience. ISBN 0-471-47133-X

11. LAFRAIA, J.R.B., *Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade*, ed. QualityMark. 2001.

12. O'CONNOR, P. and A. KLEYNER, *Practical Reliability Engineering*. 2012: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-97981-5

13. MURTHY, D.N.P., M. XIE, and R. JIANG, *Weibull Models*, ed. I. John Wiley & Sons. 2004. ISBN 0-471-36092-9

14. NACHLAS, J.A., *Reliability Engineering Probabilistc Models and Maintenance Methods*. 2017: CRC Press. ISBN 978-1-4987-5247-3

15. DUARTE, A.M.S., *Acompanhamento e Análise da Degradação em Componentes Mecânicos*, in *Engenharia Mecânica*. 2010, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa: Lisboa.

16. ReliaWiki. *Life data classification*. 2015]; Available from: http://reliawiki.org/index.php/Life_Data_Classification. Ultimo acesso em: 10/08/2021

17. *Exército Português*.]; Available from: https://www.exercito.pt/pt/meios/equipamentos?menu=forcas-medias. Ultimo acesso em: 01-07-2021

18. *Operacional*.]; Available from: https://www.operacional.pt/os-combates-em-bambari-e-o-baptismo-de-fogo-das-pandur-ii/. Ultimo acesso em: 30-09-2021

19. Spezialfahrzeug, S.D.P., *Manual de Manutenção/Reparação Nível II*. 2011.

20. *Instituto Português do Mar e da Atmosfera*.]; Available from: https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/. Ultimo acesso em: 02-08-2021

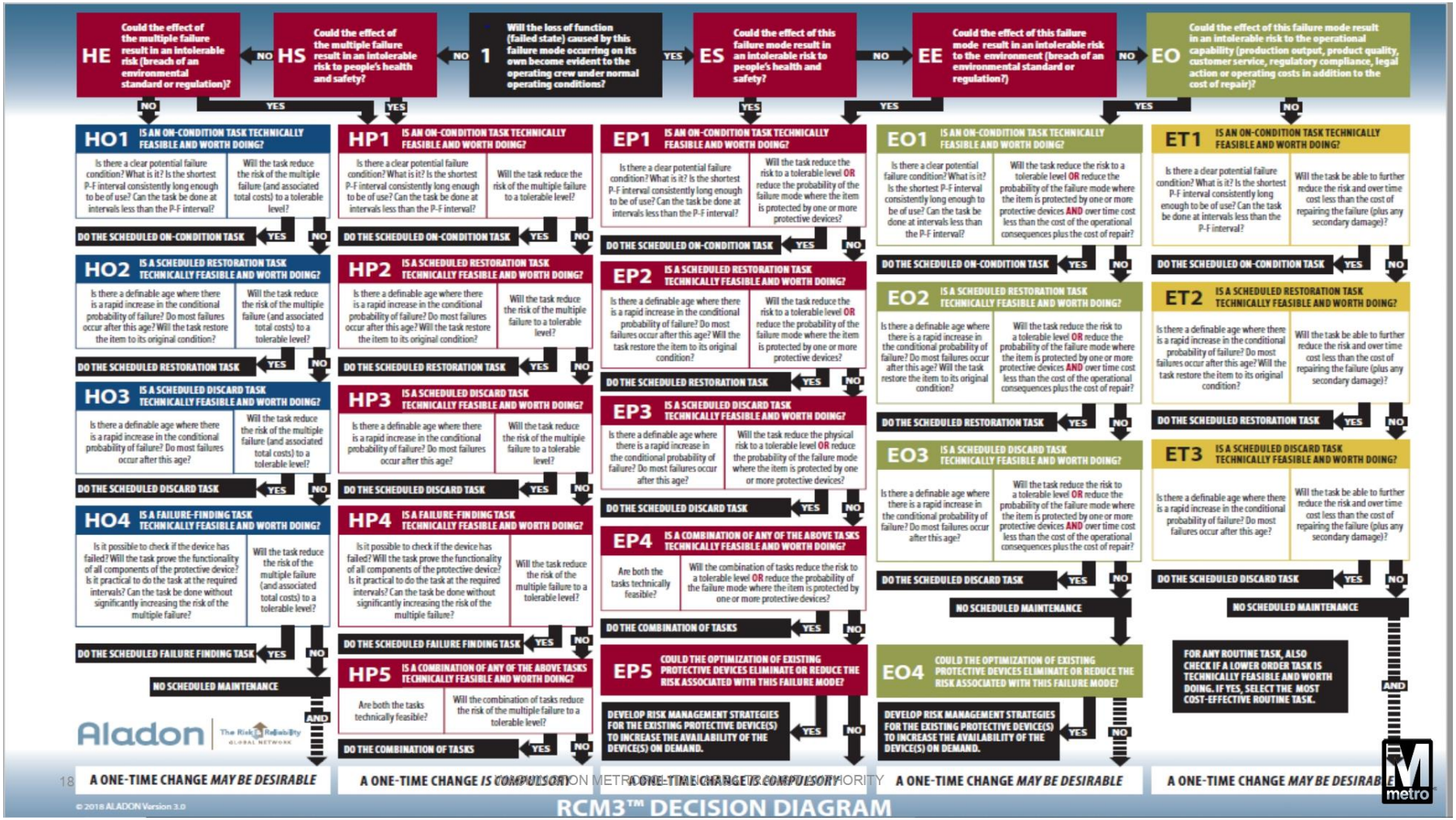
21. Spezialfahrzeug, S.D.P., *Manual do Operador VBR Pandur 8x8 12,7 mm*. 2011.

22. Denson, W., et al., *Nonelectronic Parts Reliability Data*. Base de Dados.1991: Reliability Analysis Center.

23. SILVA, F., *Aplicação de metodologia "Reliability Centered Maintenance 3" (RCM3) ao sistema de refrigeração do sistema de armas Pandur II 8x8*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. 2021.

Anexos

Anexo I – Diagrama de decisão RCM3



ON METRO-TRANSPORTATION AUTHORITY

Anexo II – Manutenção Preventiva Aconselhada pelo Fabricante

Descrição	Atividade	Período
Líquido de refrigeração	verificar	a cada 6 meses
Agente anticongelante	verificar, adicionar	a cada 6 meses
Aditivo de cavitação e de corrosão	verificar, adicionar	a cada 6 meses
Correia trapezoidal, gerador	verificar	a cada 6 meses
Tubo de fixação (1ºe 2º eixos)	verificar	a cada 6 meses
Aquecimento	verificar visualmente	a cada 6 meses
Sensor de deteção de ameaça	Purga de nitrogénio	a cada 6 meses
Cartuchos do filtro de ar	limpar	anualmente
Interruptor de baixa pressão	verificar o funcionamento	anualmente
Sistema de alimentação de combustível	verificar	anualmente
Alojamento da tela do filtro, tubo de enchimento	limpar	anualmente
Depósito de alimentação de combustível	drenar	anualmente
Alojamento da tela do filtro, pré-filtro	limpar	anualmente
Junta, turbocompressor	verificar	anualmente
Radiador	aspirar	anualmente
Terminais de bateria	lubrificar com massa lubrificante	anualmente
Cablagem	verificar visualmente	anualmente
Fusíveis principais	verificar	anualmente
Peças de montagem, sistema de iluminação	verificar	anualmente
Faróis	ajustar	anualmente
Velocidade de emergência	verificar o funcionamento	anualmente
Caixa de transferência com 2.º eixo motriz	verificar visualmente	anualmente
Nível do óleo (vareta de nível), caixa de transferência com 2.º eixo motriz	verificar	anualmente
Veios do cardan	verificar	anualmente
Nível do óleo (vareta de nível), eixo motriz (1.º,	verificar	anualmente

3.º e 4.º eixos)		
Suporte de borracha, eixo motriz	verificar	anualmente
Folga, união de rótula da roda (1.º e 2.º eixos)	verificar	anualmente
Veio do cardan (3.º e 4.º eixos)	lubrificar com massa lubrificante	anualmente
Tela, filtro de linha	limpar	anualmente
Sistema de travagem	verificar	anualmente
Travão de parque e o travão auxiliar	verificar	anualmente
Ponto de ebulição, óleo dos travões	verificar	anualmente
Tubos hidráulicos, sistema de travagem	verificar	anualmente
Revestimentos do travão (todos)	verificar	anualmente
Pastilha de travão	limpar	anualmente
Discos de travão	verificar	anualmente
Revestimentos do travão, travão de parque	verificar	anualmente
tirante de aperto da direcção	verificar	anualmente
Fita vedante, tampas internas	limpar, verificar, lubrificar	anualmente
Painéis isolantes	verificar visualmente	anualmente
Anéis vedantes, bujões de drenagem do casco	substituir	anualmente
Juntas	limpar, verificar, lubrificar	anualmente
Tampas das escotilhas, tampas, rampa	lubrificar com massa lubrificante	anualmente
Escovas do limpa pára-brisas	verificar visualmente	anualmente
Gancho	lubrificar com massa lubrificante	anualmente
Guincho	verificar	anualmente
Nível do óleo da engrenagem, guincho	verificar	anualmente
"Sensor ""Laçada no cabo"""	verificar o funcionamento	anualmente
Linhas hidráulicas, guincho	verificar visualmente	anualmente
Cablagem eléctrica, guincho	verificar visualmente	anualmente
Roletes de cabo	verificar	anualmente
Roletes de cabo	limpar	anualmente
Cabo	limpar	anualmente
Coloração, cabo	verificar	anualmente
"Sensor ""Extremidade do cabo""	verificar o funcionamento	anualmente

Tubos lança granadas de fumo	verificar o funcionamento	anualmente
Sistema de supressão e extinção de incêndios	verificar	anualmente
Fita de descarga electrostática	verificar visualmente	anualmente
Extintores	verificar	anualmente
Dispositivo de ignição, extintor	verificar	anualmente
Garrafas de supressão de incêndio	verificar	anualmente
Sistema de suporte de vida (NBQ)	verificar	anualmente
Sistema de suporte de vida (AC)	verificar visualmente	anualmente
Molas do berço do reparo (7,62 mm)	lubrificar com massa lubrificante	anualmente
Filtro, secador de ar	substituir	anualmente
Grupo de alimentação	remoção e instalação	a cada 2 anos
Grupo de alimentação	efectue um teste de funcionamento	a cada 2 anos
Suportes de fixação do grupo de alimentação	verificar	a cada 2 anos
Cartuchos do filtro de ar	substituir	a cada 2 anos
Filtro do tipo ciclone	limpar	a cada 2 anos
Tubos para poeira	verificar visualmente	a cada 2 anos
Válvula de verificação, sistema de purga	limpar	a cada 2 anos
Ligações rápidas	verificar	a cada 2 anos
Separador de água	substituir	a cada 2 anos
Motor	verificar, com software	a cada 2 anos
Correia trapezoidal, compressor AC	verificar	a cada 2 anos
Tensionador da correia	verificar	a cada 2 anos
Óleo do motor	mudar	a cada 2 anos
Filtro do óleo do motor	substituir	a cada 2 anos
Correia trapezoidal, bomba de água	verificar	a cada 2 anos
Tubos do combustível (pressão baixa)	verificar visualmente	a cada 2 anos
Filtro de combustível	substituir	a cada 2 anos
Tubos de alimentação do injector (alta pressão)	verificar visualmente	a cada 2 anos
Mangueira do líquido de refrigeração	verificar visualmente	a cada 2 anos
Sistema eléctrico – Chassis	verificar, com software	a cada 2 anos
Bateria	medir a carga	a cada 2 anos

Óleo, transmissão automática	mudar	a cada 2 anos
Filtro do óleo	substituir	a cada 2 anos
Óleo, caixa de transferência com 2.º eixo motriz	mudar	a cada 2 anos
Válvula de purga, caixa de transferência	limpar	a cada 2 anos
Veios do cardan	lubrificar com massa lubrificante	a cada 2 anos
Óleo, eixo motriz (1.º, 3.º e 4.º eixos)	mudar	a cada 2 anos
Assistência Automática do Trem de Rodagem (ADM)	verificar, com software	a cada 2 anos
Óleo, roda motriz	mudar	a cada 2 anos
Tela, filtro de linha	substituir	a cada 2 anos
Veio de controlo da direcção	verificar	a cada 2 anos
Ligações dos tirantes de direcção (compartimento do motor)	verificar	a cada 2 anos
Ligações rápidas	verificar	a cada 2 anos
Cabeça da junta, cilindro de trabalho	lubrificar com massa lubrificante	a cada 2 anos
Camada vedante, placas do compartimento do motor	verificar visualmente	a cada 2 anos
Protecção contra corrosão	verificar	a cada 2 anos
Anéis vedantes, tampa de drenagem do óleo	substituir	a cada 2 anos
Escovas do limpa pára-brisas	substituir	a cada 2 anos
Sistema de supressão e extinção de incêndios	verificar, com software	a cada 2 anos
Ligações, fitas de descarga electrostática	limpar	a cada 2 anos
Sensor de temperatura	verificar	a cada 2 anos
Tubos	verificar visualmente	a cada 2 anos
Cartucho do filtro do combustível	substituir	a cada 2 anos
Sistema de suporte de vida	verificar, com software	a cada 2 anos
Sistema hidráulico	verificar a pressão	a cada 2 anos
Veio do cardan, bomba hidráulica	lubrificar com massa lubrificante	a cada 2 anos
Bomba manual	verificar o funcionamento	a cada 2 anos
Suporte cónico, bloco de válvulas (grupo de alimentação)	verificar visualmente	a cada 2 anos
Óleo hidráulico	mudar	a cada 2 anos

Filtro de fluxo parcial	substituir	a cada 2 anos
Filtro de linha	substituir	a cada 2 anos
Ligações rápidas	verificar	a cada 2 anos
Sistema eléctrico com Ferramenta de Diagnóstico	verificar, com software	a cada 2 anos
Assistência Automática do Trem de Rodagem (ADM)	verificar, com software	a cada 2 anos
Motor	verificar, com software	a cada 2 anos
ABS	verificar, com software	a cada 2 anos
Sistema de supressão e extinção de incêndios	verificar, com software	a cada 2 anos
Sistema de suporte de vida	verificar, com software	a cada 2 anos
jogo de escovas de carvão, soprador de poeiras	substituir	a cada 4 anos
Líquido de refrigeração	mudar	a cada 4 anos
Bateria	substituir	a cada 4 anos
Depósito de combustível	drenar sedimentos	a cada 6 anos
Filtro do purgador	substituir	a cada 6 anos
Depósito de alimentação de combustível	drenar sedimentos	a cada 6 anos
Correia trapezoidal, compressor AC	substituir	a cada 6 anos
Tolerância das válvulas	ajustar	a cada 6 anos
Correia trapezoidal, bomba de água	substituir	a cada 6 anos
Correia trapezoidal, gerador	substituir	a cada 6 anos
Bateria, placa CPU	substituir	a cada 6 anos
Tubos pneumáticos	verificar	a cada 6 anos
Jogo de retentores, veio sincronizado (1.º para 2.º eixo)	substituir	a cada 6 anos
Jogo de retentores, eixo de transmissão (3.º para 4.º eixo)	substituir	a cada 6 anos
Filtro do purgador (1.º+2.º e 3.º+4.º eixos)	substituir	a cada 6 anos
Tubos	verificar	a cada 6 anos
Óleo dos travões	mudar	a cada 6 anos
Tubos pneumáticos, sistema de travagem	verificar	a cada 6 anos
Válvula de purga, caixa de direcção	substituir	a cada 6 anos
Pressão do bloqueio da direcção	verificar	a cada 6 anos
Pressão de desactivação, caixa de direcção	verificar	a cada 6 anos

Válvula de purga, cilindro de trabalho	substituir	a cada 6 anos
Tubos hidráulicos, guincho	substituir	a cada 6 anos
Extintores	reparar	a cada 6 anos
Dispositivo de ignição, extintor	substituir	a cada 6 anos
Bico do combustível, aquecedor de água	substituir	a cada 6 anos
Detector de chamas, aquecedor de água	substituir	a cada 6 anos
Unidade de ignição electrónica, aquecedor de água	verificar	a cada 6 anos
Unidade de ignição electrónica, aquecedor de água	substituir	a cada 6 anos
Bobina magnética compl., aquecedor de água	substituir	a cada 6 anos
Embraiagem do motor, aquecedor de água	substituir	a cada 6 anos
Rolamento linear de esferas	lubrificar com massa lubrificante	a cada 6 anos
Óleo de fuga, sistema hidráulico	medir	a cada 6 anos
Tubos pneumáticos	verificar	a cada 6 anos
Jogo de retentores, roda motriz	substituir	a cada 10 anos
Conjunto de vedantes do CTIS	substituir	a cada 10 anos
O-rings, cubo da roda/flange	substituir	a cada 10 anos
Óleo da engrenagem, guincho	mudar	a cada 10 anos
Garrafas de supressão de incêndio	reparar	a cada 10 anos
Secador do filtro	substituir	a cada 10 anos

Anexo III – Registo de MTBs Calculados

Sistema	Modo de Falha	MTBF
Admissão de ar	Falha do Soprador de Poeiras	3321,64
Admissão de ar	Fuga de ar à Saída do Turbo	9594,75
Admissão de ar	Mangueira de ar fissurada	218231,14
Caixa Automática	Caixa de velocidades inoperacional	12108,91
Caixa Automática	Caixa de transmissão automatica com nivel do oleo baixo.	2791,33
Rodas	Bujão do cubo danificado	36867,76
Rodas	Cubo danificado	138681,12
Rodas	Válvula de enchimento danificada	9355
Casco	Amortecedor da parta traseira inoperacional	54280,00
Casco	Anilhas de fixação dos ADD-Ons com corrosão avançada	633,16
Casco	Corrosão no casco	1296,16
Casco	Escotilha tem o fecho de segurança bloqueado	79461,91
Casco	Foles da porta traseira danificados	457,79
Casco	FORRO DO TEJADILHO DESCOLADO	1050,36
Casco	Paneis isolantes (protecção almofadada) do tecto da viatura estão a descolar-se	224,41
Hidráulico	Falha do bloco de válvulas de comando	386038,03

Hidráulico	Fuga de óleo hidráulico	1483,65
Hidráulico	Fuga de óleo no bloco de válvulas do sistema hidráulico	1288,88
Hidráulico	Fuga de óleo no cilindro hidráulico da rampa	2900,95
Hidráulico	Fuga no motor do gerador.	1908,71
Hidráulico	Rampa não abre com baixa temperatura.	15707,43
Alimentação de combustível	Deposito de combustivel sujo	5535
Alimentação de combustível	Fuga de combustível no filtro	4412,93
Alimentação de combustível	Pré filtro entupido	4486
Alimentação de combustível	Separador de água inoperacional	785,5
Guincho	Cabo do guincho danificado	2974,49
Guincho	Cabo sem marcas vermelhas	2945,69
Guincho	Circuito hidráulico do guincho com fuga	1893,5
Elétrico	A marcação digital dos quilómetros no velocimetro não funciona.	3551,55556
Elétrico	Bateria tem tensão baixa	3861,70245
Elétrico	Kit de baterias de arranque e o kit de baterias da viatura não aguentam a carga.	7072,18803
Elétrico	Baterias de arranque da viatura inoperacionais	1684,1577
Elétrico	Correia do alternador danificada	4628,52877

Elétrico	Piscas e faróis com condensação	1042,625
Elétrico	Avisador sonoro inoperacional	1913,25
Elétrico	Fusivel defeituoso	4209,8
Elétrico	Monitor destacavel External Display, Assy com o botão de intensidade luminosa danificado	3438,87429
Elétrico	Carregador de baterias INOP	3345,66667
Elétrico	ECU Inop	9638,25
Elétrico	Regulador de Tensão Inop	6876
Ventilação	Corrosão nas condutas de ar condicionado	7055,99
Ventilação	Uniões de AC defeituosas	9040,78
Trem motriz	Eixo motriz inoperacional	1529,4308
Trem motriz	O ring defeituoso	814,584582
Trem motriz	Veio de transmissão lado roda com folga	922,670155
Direção	Rótula danificada	4000,5
Travagem	Desgaste anormal nas pastilhas	729,333333
Suspensão e amortecimento	União da Suspensão das Rodas danificada	20497,7556
Ar, penus e CTIS	Fuga de ar no pneu	3307
Ar, penus e CTIS	Bloco de válvulas defeituoso	2980,45

Anexo IV – Fichas de Informação RCM3

Sistema de Potência

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)	Descrição do Efeito no Nível Local	Descrição do Efeito Final	Descrição do Efeito no Nível Posterior	Efeito do pior cenário	Si	Oi	Di	RPNi
Sistema de Potência										
Motor										
Produzir a energia mecânica necessária para o movimento do veículo	O motor não produz a energia necessária para o movimento do veículo	Motor inoperacional	Motor para de trabalhar	Substituir motor		Viatura imobilizada	5	2	1	10
Lubrificar todas as partes moveis do motor	Não lubrificar devidamente todas as partes do motor	Nível de óleo do motor em baixo	Falta de lubrificação nos subsistemas do motor	Reposição do óleo no motor	Gripar o motor	Viatura imobilizada	5	2	1	10
Fornecer a energia inicial para o motor de combustão começar a funcionar	Não fornecer a energia inicial para o motor de arranque começar a funcionar	Motor de arranque inoperacional	Não fornecer a energia inicial para o motor de arranque começar a funcionar	Substituir o motor de arranque	Motor de combustão não arrancar	Viatura imobilizada	3	6	1	18
Sinalizar a ocorrência de falha no sistema	Não sinalizar a ocorrência de falhas no sistema	Sensores inoperacionais	Devido aos defeitos dos sensores podem ser detetadas falhas inexistentes ou não serem detetadas falhas que estão efetivamente a ocorrer	Substituir sensores	A viatura é enviada para operações com um motor defeituoso	Viatura imobilizada	5	2	10	100
Controlar a combustão (mistura de combustível, ponto de ignição, tempos de combustão)	Não controlar a combustão devidamente	Módulo de controlo eletrónico (ECM) defeituoso	A combustão não será ideal e por isso o rendimento do motor será inferior	Substituir o ECM	Rendimento reduzido do motor	Viatura com capacidade de locomoção reduzida	5	2	1	10
Sistema de Admissão de Ar										
Fornecer à câmara de combustão a quantidade ideal de ar	Não chega ar suficiente à câmara de combustão	Fuga de ar à saída do turbo	Esta fuga de ar faz com que chegue menos ar à câmara de combustão	Necessário apertar abraçadeiras junto à fuga	Chegando menos ar à câmara de combustão o rendimento do motor será inferior	Viatura com capacidade de locomoção reduzida	3	2	2	12

Filtrar o ar	Ar não é filtrado	Filtro inoperacional	A filtragem deficiente do ar leva a que seja admitido ar na câmara de combustão com resíduos.	Substituir o filtro inoperacional	Rendimento do motor reduzido	Viatura com capacidade de locomoção reduzida	5	2	2	20
Turbo										
Aumentar o caudal de ar injetado no motor	Não aumentar o caudal de ar injetado no motor	Turbo inoperacional	Com o turbo inoperacional chega menos ar à câmara de combustão	Substituir o turbo	Rendimento do motor reduzido	Viatura com capacidade de locomoção reduzida	3	2	1	6
Sistema de Alimentação de Combustível										
Fazer o combustível chegar ao motor em condições ideais para a combustão	Combustível não chega ao motor	Bomba de alta pressão inoperacional	Não há combustível na câmara de combustão	Substituir a bomba de combustão	A combustão não acontece devido à falta de combustível na câmara	Viatura imobilizada	4	8	1	32
	Combustível não é extraído do depósito de alimentação para o filtro de combustível	Bomba de alimentação inoperacional	O sistema de alimentação de combustível está interrompido	Substituir a bomba de alimentação	Deixa de chegar combustível ao motor e por isso o motor deixa de funcionar	Viatura imobilizada	4	8	1	32
Armazenar o combustível	Não armazenar combustível	Depósito de combustível danificado	Fuga de combustível pelo depósito	Reparar ou substituir o depósito	Desperdício de combustível	O combustível que escapou do depósito pode provocar um foco de incêndio no interior da viatura e colocar em perigo todos os ocupantes	4	2	2	16
Medir o nível de combustível	Não medir o nível de combustível	Sensor de combustível apresenta leituras inconstantes.	A informação acerca da quantidade de combustível disponível não chega aos utilizadores do veículo	Substituir sensor de combustível	A viatura fica sem combustível sem aviso prévio	Viatura imobilizada	2	2	5	20
Garantir que o combustível não é contaminado	Combustível contaminado	Deposito de combustível sujo	O combustível é contaminado pela sujidade do depósito	Limpar o depósito	Entope o pré filtro	Danos severos no motor	3	8	10	240
Impedir fugas de combustível	Não impedir fugas de combustível	Fuga de combustível no filtro	Desperdício de combustível	Substituir o filtro que apresenta a fuga	O combustível que escapou pode entrar em combustão no interior da viatura e colocar em perigo todos os ocupantes		2	6	1	12

Filtrar o combustível entre o depósito de alimentação de combustível e a bomba de alimentação	Combustível não é devidamente filtrado entre o depósito de alimentação e a bomba de alimentação	Pré filtro entupido	O combustível chega à câmara de combustão sem ter sido devidamente filtrado	Limpar ou substituir o pré filtro	Danificar o motor, Rendimento do motor reduzido	Viatura com capacidade de locomoção reduzida	2	8	1	16
Retirar água que exista no combustível	Água no combustível	Separador de água inoperacional	Água na camara de combustão	Substituir separador de água	Motor danificado	Viatura com capacidade de locomoção reduzida	2	8	8	128
Pré aquecer o combustível	Não pré aquecer o combustível	Aquecedor de combustível inoperacional	Em situações de temperaturas muito baixas o combustível congelado não é pré aquecido para passar ao estado líquido		O combustível congelado não pode ser transportado até ao motor e por isso a quantidade de combustível disponível será muito reduzida	Viatura imobilizada				
Sistema de Escape										
Evacuar os gases da câmara de combustão até ao exterior	Não evacuar os gases de escape da câmara de combustão até ao exterior	Corrosão junto à saída do escape de gases do motor.	Fuga de gases de escape ainda dentro do veículo	Substituir partes do sistema de escape que apresentem corrosão	Acumulação de gases de escape no interior de veículo					
Reduzir o ruído provocado pelo motor	Não reduzir o ruído provocado pelo motor	Silenciador inoperacional	Nível elevado de ruído	Substituir silenciador	Os níveis elevados de ruído podem ser prejudiciais para o bem-estar dos ocupantes do veículo					

Sistema de Transferência de Potência

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)	Descrição do Efeito no Nível Local	Descrição do Efeito Final	Descrição do Efeito no Nível Posterior	Efeito do pior cenário	Si	Oi	Di	RPNi
Sistema de Transferência de Potencia										
Transmissão Automática										
Multiplicar o binário ou velocidade do motor para as rodas e inverter o sentido do movimento do veículo	Não multiplicar o binário ou velocidade do motor	Caixa de velocidades inoperacional	Com a caixa de velocidades inoperacional não é possível alterar entre as diferentes velocidades	Substituir caixa de velocidades		Viatura com capacidade de locomoção reduzida	5	2	1	10
Garantir a lubrificação do sistema de transmissão	Lubrificação do sistema de transmissão deficiente	Caixa de transmissão automática com nível do óleo baixo.	Falta de lubrificação na transmissão	Reposição do óleo da transmissão	Falta de lubrificação provoca um desgaste mais rápido das peças da transmissão automática, aumenta o ruído provocado pela transmissão e pode levar ao sobreaquecimento da mesma	A transmissão é danificada ao ponto de ser necessário a sua substituição	3	4	10	120
Trem de Rodagem										
Transferir potência do Power Pack para as rodas	Não transferir potência do Power Pack para as rodas	Caixa de transferência inoperacional	Não transferir potência da transmissão automática para o veio cardan	Substituir caixa de transferência	A potência do power pack não chega às rodas	Viatura imobilizada	4	2	2	16
		Veio cardan inoperacional	Não transferir potência da caixa de transferência do 2º eixo para as restantes caixas de transferência	Substituir veio cardan	A potência do power pack não chega às rodas	Viatura imobilizada	4	2	1	8
		Eixo motriz inoperacional	Não transferir potência da caixa de transferência para as rodas motrizes	Substituir eixo motriz	A potência do power pack não chega às rodas	Viatura imobilizada	3	6	1	18
		Cubo da roda inoperacional	Não transferir potência para as rodas	Substituir cubo da roda	A potência do motor não chega às rodas	Viatura imobilizada	2	2	1	4
Estabilizar o veículo	Veículo não se mantém estável	Veio de transmissão lado roda com folga	Perda de potência a transmitir à roda	Substituir veio de transmissão	Partir a transmissão	Viatura imobilizada	3	8	8	192

Impedir fugas de óleo	Fuga de óleo no retentor do diferencial	O ring defeituoso	Falta de óleo no trem de rodagem	Substituição do O ring defeituoso	Falta de lubrificação provoca um desgaste mais rápido das peças do trem de rodagem, aumenta o ruído que este provoca e pode levar ao sobreaquecimento do mesmo	Viatura com capacidade de locomoção reduzida	2	8	1	16
Lubrificar as partes moveis do trem de rodagem	Não lubrificar as partes moveis do trem de rodagem	Impossível acrescentar óleo ao trem de rodagem	Bujão danificado				2	2	1	4
		Fole danificado	Sujidade acumulada na suspensão				2	8	5	80
Acionar automaticamente os bloqueios do diferencial de todo o trem de rodagem	Bloqueios do diferencial não são acionados automaticamente	ECU inoperacional	Não controlar o bloqueio do diferencial	Substituir ECU	Viatura descontrolada	Acidente	4	2	1	8
Suspensão e amortecimento										
Diminuir as vibrações provocadas pelo terreno	Não diminuir as vibrações provocadas pelo terreno	Amortecedor da parte traseira inoperacional	Suspensão deficiente	Substituir amortecedor inoperacional	Perda de estabilidade da viatura	Viatura imobilizada	2	6	1	12
Diminuir as vibrações entre as rodas e os eixos motrizes	Não diminuir a vibração entre as rodas e os eixos motrizes	União da Suspensão das Rodas danificada	Suspensão deficiente	Substituição das partes danificadas	Falta de estabilidade do veículo, desgaste mais rápido dos pneus, instabilidade da direção	Menor controlo do condutor sobre a viatura	3	2	5	30
Sistema de Direção										
Alterar a direção do veículo	Não alterar a direção do veículo	Rótula danificada	A ligação entre o volante e as rodas é interrompida	Substituir a rótula danificada	O condutor não é capaz de mudar a direção do veículo	Menor controlo do condutor sobre a viatura	3	4	3	36
Manter a direção estável	Direção não se mantém estável	Direção desalinhada	A direção e as rodas não estão alinhadas	Realinhar a direção		Menor controlo do condutor sobre a viatura	2	2	1	4
		Vibração excessiva na direção	A direção vibra quando o veículo está em movimento		O condutor tem de absorver a vibração da direção durante a condução	Menor controlo do condutor sobre a viatura	2	2	1	4
Medir nível do óleo de direção	Não medir o nível do óleo de direção	Sensor nível de óleo da direção inoperacional	Lubrificação da direção não está garantida	Substituir sensor	Lubrificação da direção deficiente	Sistema de direção comprometido	4	2	10	80

Bombear o óleo de direção	Não bombear o óleo de direção	Fuga de óleo na bomba de direção	Perda de pressão na direção	Reparar bomba de direção	Sistema de direção deficiente	Viatura com locomoção reduzida		4	10	

Sistema de Segurança

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)	Descrição do Efeito no Nível Local	Descrição do Efeito Final	Descrição do Efeito no Nível Posterior	Efeito do pior cenário	Si	Oi	Di	RPNi
Sistema de Segurança										
Sistema de Travagem										
Manter o veículo imobilizado	Incapacidade de manter o veículo imobilizado	Travão de parque danificado	Viatura não trava parqueada				4	4	1	16
Travar ou abrandar o veículo	Não travar o veículo	Desgaste anormal nas pastilhas	Consumo excessivo de pastilhas	Substituir pastilhas	Falha na travagem	Acidente	3	8	1	24
		Disco inoperacional	Travagem deficiente	Substituir disco	Controlo reduzido da viatura	Acidente	3	4	1	12
Evitar o bloqueio das rodas em situações de travagem de emergência	Não evitar o bloqueio das rodas em situações de travagem de emergência	Sistema ABS inoperacional	Travagem deficiente	Reparar sistema ABS	Controlo reduzido da viatura	Acidente	5	2	1	10
Medir o nível de óleo dos travões	Nível de óleo dos travões com erro na leitura.	Sensor da tampa de óleo dos travões com um dos fios solto.	Não controlar o nível de óleo dos travões	Substituir sensor	Lubrificação deficiente	Sistema de travagem comprometida	3	2	10	60
Sistema de Supressão e Extinção de Incêndios										
Extinguir incêndios	Não extinguir incêndios detetados	Mangueira do extintor em mau estado	Sistema de supressão de incendio deficiente	Substituir mangueira	Risco de propagação de incendio	Danificar a viatura e perdas humanas	5	4	10	200
		Garrafa de extinção de incêndios danificada								
Detetar focos de incêndio	Não detetar focos de incêndio	Caixa de comando de supressão/extinção de incêndios defeituosa	Sistema de supressão de incendio deficiente	Substituir caixa de comando	Risco de propagação de incendio	Danificar a viatura e perdas humanas	5	2	10	100
Sistema NBQ										
Fornecer pressão à cabine superior à pressão exterior	Não fornecer à cabine pressão superior à pressão exterior	Unidade NBQ inoperacional	Sistema NBQ deficiente	Substituir unidade NBQ	Vulnerabilidade a ataques NBQ	Perdas humanas	5	2	1	10
Filtrar ar exterior para a cabine	Não filtrar ar exterior para a cabine	Filtro NBQ danificado	Sistema NBQ deficiente	Substituir unidade NBQ	Vulnerabilidade a ataques NBQ	Perdas humanas	5	2	10	100

Sistema Hidráulico

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)	Descrição do Efeito no Nível Local	Descrição do Efeito no Nível Posterior	Descrição do Efeito Final	Efeito do pior cenário	Si	Oi	Di	RPNi
Sistema Hidráulico										
Abrir e fechar a rampa da retaguarda	Não abrir ou fechar a rampa da retaguarda	Fuga de óleo no cilindro hidráulico da rampa	Falta de pressão nos cilindros da rampa	Devido à falta de pressão os cilindros, estes não são capazes de mover a rampa para a abrir ou fechar e esta fica imóvel	Substituição do cilindro defeituoso	Rampa incapaz de ficar fixa provocando acidente	5	6	1	30
		Válvula de comando elétrica da rampa inoperacional	As válvulas inoperacionais não direcionam o óleo hidráulico para mover os cilindros	Não é possível comandar a abertura e fecho da rampa da retaguarda	Substituir válvulas inoperacionais	Rampa incapaz de ficar fixa provocando acidente	3	6	7	126
Bombear o óleo hidráulico	Não bombear o óleo hidráulico	Bomba hidráulica inoperacional	Perda de pressão no circuito hidráulico	Perda de força de todos os atuadores hidráulicos	Substituir bomba hidráulica	Todo o circuito hidráulico inoperacional	5	2	1	10
Controlar o sistema hidráulico	Não controlar o sistema hidráulico	Falha do bloco de válvulas de comando	Sistema hidráulico inoperacional		Substituir bloco de válvulas		3	4	7	84
		Fuga de óleo no bloco de válvulas do sistema hidráulico	Perda de pressão no circuito hidráulico	A perda de pressão no circuito hidráulico vai provocar a perda de força dos atuadores hidráulicos	Parar a fuga de óleo hidráulica	Todo o circuito hidráulico inoperacional	3	8	2	48
Armazenar Óleo	Não armazenar óleo	Fuga de óleo no depósito	Perda de óleo hidráulico	A falta de óleo hidráulico provoca o cessar de movimento provocado pelo sistema hidráulico (ventoinha, guincho, rampa)	Parar a fuga de óleo hidráulica	Todo o circuito hidráulico inoperacional	4	2	6	48

Transportar óleo hidráulico pelo sistema hidráulico	Não transportar óleo hidráulico pelo sistema hidráulico	Fuga de óleo hidráulico em local não identificado	Perda de pressão no circuito hidráulico	A perda de pressão no circuito hidráulico vai provocar a perda de força dos atuadores hidráulicos	Parar a fuga de óleo hidráulica	Todo o circuito hidráulico inoperacional	3	8	2	48
Comandar o alternador elétrico	Não comandar o alternador elétrico	Fuga de óleo hidráulico no comando do gerador	Perda de pressão do sistema hidráulico			Sistema hidráulico inoperacional	4	6	2	48
Sistema de Guincho										
Informar o comprimento de cabo por desenrolar	Não informar o comprimento de cabo por desenrolar	Cabo sem marcas vermelhas	Efeito 97				3	6	8	144
Tracionar a viatura	Não é capaz de tracionar a viatura	Motor hidráulico inoperacional	O motor hidráulico não produz o binário necessário para fazer funcionar o guincho	Guincho inoperacional	Substituir o motor hidráulico		4	2	1	8
		Cabo do guincho danificado	O cabo não é capaz de suportar carga	Caso o cabo danificado não seja substituído pode acabar por fraturar durante utilização e provocar um acidente	Substituir o cabo	Guincho inoperacional	3	6	10	180
		Circuito hidráulico do guincho com fuga	Perda de pressão no circuito hidráulico	A perda de pressão no circuito hidráulico vai provocar a perda de força dos atuadores hidráulicos	Parar a fuga de óleo hidráulica	Sistema hidráulico	3	8	6	144
Sistema de emergência de acionamento da Rampa										
Operar a rampa de retaguarda em caso de falha do sistema hidráulico	Não operar a rampa de retaguarda em caso de falha do sistema hidráulico	Bomba de emergência defeituosa	Não é fornecida pressão aos cilindros da rampa em caso de falha do sistema hidráulico	Não é possível usar operar a rampa manualmente em caso de falha do sistema hidráulico	Substituição da bomba de emergência	Rampa incapaz de abrir ou fechar	5	2	1	10

		Válvula solenoide de comando da bomba de emergência inoperacional	As válvulas inoperacionais não direcionam o óleo hidráulico para mover os cilindros	Não é possível comandar manualmente a abertura e fecho da rampa da retaguarda	Substituir válvulas inoperacionais	Rampa incapaz de abrir ou fechar	3	4	10	120

Sistema Pneumático

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)	Descrição do Efeito no Nível Local	Descrição do Efeito Final	Descrição do Efeito no Nível Posterior	Efeito do pior cenário	Si	Oi	Di	RPNi
Sistema Pneumático										
Sistema Pneumático Central										
Fornecer ar comprimido ao sistema de travagem	Não fornecer ar comprimido ao sistema de travagem	Fuga de ar comprimido no circuito de travagem	Sistema de travagem comprometido	Reparar circuito de travagem	Perda de controlo da viatura	Acidente	3	6	10	180
Comprimir ar	Não comprimir ar	Compressor inoperacional	Sistema pneumático inoperacional	Substituir compressor	Sistemas CTIS, ADM e travagem inoperacionais		4	2	1	8
Remover toda a humidade do ar comprimido	Humidade no ar	Secador de ar inoperacional	Ar húmido é mais difícil de comprimir	Substituir secador de ar	Menor eficácia do compressor	Sistema pneumático menos eficiente	4	2	10	80
Introduzir ar exterior no sistema pneumático	Não introduzir ar exterior no sistema pneumático	Tomada de ar comprimido de emergência inoperacional	Falta de ar comprimido em caso de avaria	Substituir tomada para ar externo (emergência)		Sistema pneumático inoperacional	3	2	10	60
CTIS										
Manter a pressão dos pneus constantes	Não manter a pressão nos pneus	Fuga de ar no pneu	Perda de pressão do pneu		Tração deficiente	Acidente	2	4	1	8
		Válvula de enchimento danificada	Perda de pressão no pneu				2	2	1	4
Ajustar a pressão dos pneus consoante o tipo de terreno	Não ajustar a pressão dos pneus consoante o tipo de terreno	Bloco de válvulas defeituoso	Pressão dos pneus desajustada	Substituir bloco de válvulas	Tração deficiente	Acidente	2	4	5	40
Armazenar ar comprimido	Não armazenar ar comprimido	Fuga no reservatório de ar do CTIS	Perda de ar comprimido	Reparar o reservatório	Perda de pressão do CTIS	Pneus não enchem	2	2	1	4
		Tubo flexível do ar com fuga	Perda de ar comprimido	Reparar o reservatório	Perda de pressão do CTIS	Pneus não enchem	2	2	1	4
Medir pressão nos pneus	Não medir corretamente a pressão nos pneus	Sensor de pressão inoperacional	Controlo da pressão dos pneus deficiente	Substituir sensor		Perda de pressão dos pneus	2	2	1	4

Sistema de Aquecimento e Arrefecimento

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)	Descrição do Efeito no Nível Local	Descrição do Efeito Final	Descrição do Efeito no Nível Posterior	Efeito do pior cenário	Si	Oi	Di	RPNi
Sistema de Aquecimento e Arrefecimento										
Aquecimento										
Aquecer o Interior da viatura	Não aquecer o interior da viatura	Unidade de aquecimento de água inoperacional	Cabine a baixa temperatura	Substituir unidade de aquecimento de água		Tripulação desconfortável	3	4	10	120
Pré aquecer o motor caso seja necessário	Não pré aquecer o motor	Unidade de aquecimento de água inoperacional	Motor inoperacional	Substituir unidade de aquecimento de água		Viatura inoperacional	3	4	10	120
Transportar água pelo sistema de aquecimento	Fugas de água	Tubo rompido	Sistema de aquecimento deficiente	Reparar fuga	Falta de água no sistema de aquecimento		2	8	1	16
		Adaptador de ligação de mangueira de água do sistema de aquecimento com fuga.	Sistema de aquecimento deficiente	Reparar fuga	Falta de água no sistema de aquecimento		2	8	1	16
Ventilação e Ar Condicionado										
Arrefecer o interior da cabine	Não produzir ar frio	Compressor AC inoperacional	AC inoperacional	Substituir compressor AC			3	2	4	24
Transportar ar	Fugas de ar	Corrosão nas condutas de ar condicionado	Ventilação da cabine deficiente				2	2	10	40
		Uniões de AC defeituosas	Ventilação da cabine deficiente				2	2	10	40

Sistema Elétrico

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)	Descrição do Efeito no Nível Local	Descrição do Efeito Final	Descrição do Efeito no Nível Posterior	Efeito do pior cenário	Si	Oi	Di	RPNi
Sistema Elétrico										
Controlar o display do condutor	Controlar o display do condutor de forma ineficiente	A marcação digital dos quilómetros no velocímetro não funciona.	Condutor não sabe a velocidade da viatura		Excesso de velocidade	Perda de controlo da viatura por excesso de velocidade	3	4	1	12
		Luz de aviso do seletor de velocidades não liga.	Velocidade engrenada desconhecida		Condução menos eficiente		4	4	1	16
		Falha de energia no display	Display do condutor inoperacional				2	4	1	8
Sistema de Geração e Armazenamento Elétrico										
Armazenar energia elétrica	Incapaz de armazenar energia elétrica	Bateria tem tensão baixa	Falta de energia elétrica	Substituir a bateria		Viatura imobilizada	2	6	1	12
		Kit de baterias de arranque e o kit de baterias da viatura não aguentam a carga.	Falta de energia elétrica	Substituir a bateria		Viatura imobilizada	2	2	1	4
		Baterias de arranque da viatura inoperacionais	Falta de energia para o arranque do motor	Substituir a bateria		Viatura imobilizada	2	6	1	12
Gerar energia elétrica	Não gerar energia elétrica	Correia do gerador danificada	Falta de energia elétrica	Substituir correia		Viatura imobilizada	2	8	4	64
		Gerador inoperacional	Falta de energia elétrica	Substituir gerador		Viatura imobilizada	4	2	1	8
		Carregador das baterias inoperacional	Baterias não se mantém carregadas	Substituir carregador		Viatura imobilizada	2	4	1	8
		Regulador de tensão inoperacional	Tensão produzida pelo gerador inconstante	Substituir o regulador de tensão	Danificar o sistema elétrico	Sistema elétrico inoperacional	4	2	1	8
Sistema de Iluminação										
Iluminar o perímetro	Não iluminar o perímetro	Piscas e faróis com condensação	Visibilidade reduzida		Farol ou pisca danificado	Farol inoperacional	2	6	1	12
Sistema de Aviso										

Emitir avisos sonoros	Não emitir avisos sonoros	Avisador sonoro inoperacional	Não existe som de aviso	Substituir o avisador sonoro	Ocorrência de acidente	Danificar a viatura	2	6	1	12
Sistema de Controlo										
Comandar os diversos componentes eletrónicos	Comandar de forma ineficiente os diversos componentes eletrónicos	Fusível defeituoso	Controlo do sistema elétrico inoperacional	Substituir fusível defeituoso			2	4	1	8

Casco

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)	Descrição do Efeito no Nível Local	Descrição do Efeito Final	Descrição do Efeito no Nível Posterior	Efeito do pior cenário	Si	Oi	Di	RPNi
Casco										
Proteger a viatura do exterior	O casco não é capaz de proteger a viatura	Placas ADD-ON danificadas	Proteção deficiente da viatura e tripulação				5	2	1	10
		Corrosão no casco	Proteção deficiente da viatura e tripulação				2	8	1	16
		Anilhas de fixação dos ADD-Ons com corrosão avançada	Placa add-on com folga	Substituir anilha	Sobrecarga das restantes anilhas	Perda de uma placa add-on	5	8	5	200
Drenar líquidos que estejam presos dentro do casco	Não drenar líquidos que estejam presos dentro do casco	Bujão do casco com rosca danificada.	Sujidade retida no casco		Corrosão	Proteção deficiente da viatura e tripulação	2	2	1	4
Garantir o conforto dos ocupantes do veículo	Conforto dos ocupantes não é garantido	FORRO DO TEJADILHO DESCOLADO	Danificar equipamentos interiores				1	8	1	8

Anexo V – Plano de Manutenção Proposto

Nome	Modo de Falha (causa)	Nome da Tarefa	Intervalo Designado
Sistema de Guincho	Cabo sem marcas vermelhas	Verificação do cabo	6 meses
Sistema de Admissão de Ar	Fuga de ar à saída do turbo	Verificar Turbo	6 meses
Casco	Anilhas de fixação dos ADD-Ons com corrosão avançada	Verificar pontos de fixação dos ADD-on	6 meses
Sistema de Guincho	Cabo do guincho danificado	Verificação do cabo	6 meses
Trem de Rodagem	Impossível acrescentar óleo ao trem de rodagem	Verificar Bujões	6 meses
Sistema de Alimentação de Combustível	Pré filtro entupido	Verificar pré filtro de combustível	6 meses
Sistema Hidráulico	Fuga de óleo no bloco de válvulas do sistema hidráulico	Verificar Existência de Fugas	1 ano
Sistema de Alimentação de Combustível	Separador de água inoperacional	Substituir o separador de água	1 ano
Sistema Hidráulico	Fuga de óleo no cilindro hidráulico da rampa	Verificar Existência de Fugas	1 ano
Sistema Hidráulico	Falha do bloco de válvulas de comando	Verificar Funcionamento das Válvulas	1 ano
Trem de Rodagem	Veio de transmissão lado roda com folga	Verificação da integridade	1 ano
Sistema de emergência de acionamento da Rampa	Válvula solenoide de comando da bomba de emergência inoperacional	Verificar Funcionamento das Válvulas	1 ano
Trem de Rodagem	Eixo motriz inoperacional	Verificação da integridade	1 ano

Sistema Hidráulico	Válvula de comando elétrica da rampa inoperacional	Verificar Funcionamento das Válvulas	1 ano
Sistema Hidráulico	Fuga de óleo hidráulico no comando do gerador	Verificar Existência de Fugas	1 ano
Sistema Hidráulico	Fuga de óleo hidráulico em local não identificado	Verificar Existência de Fugas	1 ano
Sistema de Alimentação de Combustível	Deposito de combustível sujo	Limpar depósito de combustível	1 ano
Sistema de emergência de acionamento da Rampa	Bomba de emergência defeituosa	Verificar o funcionamento da bomba	1 ano
Trem de Rodagem	O ring defeituoso	Substituir	1 ano
Sistema de Alimentação de Combustível	Fuga de combustível no filtro	Verificar Filtro de Combustível	1 ano
Transmissão Automática	Caixa de transmissão automática com nível do óleo baixo.	Verificar existência de fugas	2 anos
Trem de Rodagem	Fole danificado	Verificar Foles	2 anos
Sistema de Guincho	Circuito hidráulico do guincho com fuga	Verificar existência de fugas	2 anos
Sistema de Alimentação de Combustível	Aquecedor de combustível inoperacional	Verificar aquecedor de combustível	6 anos
Transmissão Automática	Caixa de velocidades inoperacional	Verificar caixa de velocidades	6 anos
Sistema de Geração e Armazenamento Elétrico	Regulador de tensão inoperacional	Verificar regulador de tensão	6 anos
Sistema de Aviso	Avisador sonoro inoperacional	Verificar avisador sonoro	6 anos
Sistema de Iluminação	Piscas e faróis com condensação	Verificar estanqueidade dos faróis	10 anos

Sistema de Escape	Corrosão junto à saída do escape de gases do motor.	Verificar sistema de escape	10 anos
Sistema Pneumático Central	Tomada de ar comprimido de emergência inoperacional	Verificar tomada de ar externo	10 anos
Sistema de Direção	Fuga de óleo na bomba de direção	Verificar bomba de direção	10 anos
Sistema de Escape	Silenciador inoperacional	Verificar silenciador de escape	10 anos

Anexo VI – Ficha RCM com RPN Revistos

Função	Falha Funcional	Modo de Falha (causa)	Descrição do Efeito no Nível Local	Descrição do Efeito Final	Descrição do Efeito no Nível Posterior	Efeito do pior cenário	Si	Oi	Di	RPNi	Sr	Or	Dr	RPNr	Racio de Redução de RPN (%)
Sistema de Potencia															
Sistema de Admissão de Ar															
Fornecer à câmara de combustão a quantidade ideal de ar	Não chega ar suficiente à câmara de combustão	Fuga de ar à saída do turbo	Esta fuga de ar faz com que chegue menos ar à câmara de combustão	Necessário apertar abracadeiras junto à fuga	Chegando menos ar à câmara de combustão o rendimento do motor será inferior	Viatura com capacidade de locomoção reduzida	3	2	2	12	3	2	1	6	50
Sistema de Alimentação de Combustível															
Garantir que o combustível não é contaminado	Combustível contaminado	Deposito de combustivel sujo	O combustível é contaminado pela sujidade do depósito	Limpar o depósito	Entope o pré filtro	Danos severos no motor	3	8	10	240	3	4	10	120	50
Impedir fugas de combustível	Não impedir fugas de combustível	Fuga de combustível no filtro	Desperdício de combustível	Substituir o filtro que apresenta a fuga	O combustível que escapou pode entrar em combustão no interior da viatura e colocar em perigo todos os ocupantes		2	6	1	12	2	4	1	8	33,33
Filtrar o combustível entre o depósito de alimentação de combustível e a bomba de alimentação	Combustível não é devidamente filtrado entre o depósito de alimentaão e a bomba de alimentação	Pré filtro entupido	O combustível chega à câmara de combustão sem ter sido devidamente filtrado	Limpar ou substituir o pré filtro	Danificar o motor, Rendimento do motor reduzido	Viatura com capacidade de locomoção reduzida	2	8	1	16	2	4	1	8	50
Retirar água que exista no combustível	Água no combustível	Separador de água inoperacional	Água na camara de combustão	Substituir separador de água	Motor danificado	Viatura com capacidade de locomoção reduzida	2	8	8	128	2	4	8	64	50
Sistema de Transferência de Potencia															
Transmissão Automática															
Multiplicar o binário ou velocidade do motor para as rodas e inverter o sentido do movimento do veículo	Não multiplicar o binário ou velocidade do motor	Caixa de velocidades inoperacional	Com a caixa de velocidades inoperacional não é possível alterar entre as diferentes velocidades	Substituir caixa de velocidades		Viatura com capacidade de locomoção reduzida	5	2	1	10	5	1	1	5	50
Garantir a lubrificação do sistema de transmissão	Lubrificação do sistema de transmissão deficiente	Caixa de transmissão automatica com nivel do oleo baixo.	Falta de lubrificão na transmissão	Reposição do óleo da transmissão	Falta de lubrificação provoca um desgaste mais rápido das peças da transmissão automática, aumenta o ruído provocado pela transmissão e pode levar ao sobreaquecimento da mesma	A transmissão é danificada ao ponto de ser necessário a sua substituição	3	4	10	120	3	4	5	60	50
Trem de Rodagem															

Transferir potencia do Power Pack para as rodas	Não transferir potencia do Power Pack para as rodas	Eixo motriz inoperacional	Não transferir potência da caixa de transferência para as rodas motrizes	Substituir eixo motriz	A potência do power pack não chega às rodas	Viatura imobilizada	3	6	1	18	3	4	1	12	33,33
Estabilizar o veículo	Veículo não se mantem estável	Veio de transmissão lado roda com folga	Perda de potencia a transmitir à roda	Substituir veio de transmissão	Partir a transmissão	Viatura imobilizada	3	8	8	192	3	8	4	96	50
Impedir fugas de óleo	Fuga de óleo no retentor do diferencial	O ring defeituoso	Falta de óleo no trem de rodagem	Substituição do O ring defeituoso	Falta de lubrificação provoca um desgaste mais rápido das peças do trem de rodagem, aumenta o ruído que este provoca e pode levar ao sobreaquecimento do mesmo	Viatura com capacidade de locomoção reduzida	2	8	1	16	2	4	1	8	50
Lubrificar as partes moveis do trem de rodagem	Não lubrificar as partes moveis do trem de rodagem	Impossível acrescentar óleo ao trem de rodagem	Bujão danificado				2	2	1	4	2	1	1	2	50
		Fole danificado	Sujidade acumulada na suspensão				2	8	5	80	2	4	5	40	50
Sistema Hidráulico															
Abrir e fechar a rampa da retaguarda	Não abrir ou fechar a rampa da retaguarda	Fuga de óleo no cilindro hidráulico da rampa	Falta de pressão nos cilindros da rampa	Devido à falta de pressão os cilindros, estes não são capazes de mover a rampa para a abrir ou fechar e esta fica imóvel	Substituição do cilindro defeituoso	Rampa incapaz de ficar fixa provocando acidente	5	6	1	30	5	4	1	20	33,33
		Válvula de comando elétrica da rampa inoperacional	As válvulas inoperacionais não direcionam o óleo hidraulico para mover os cilindros	Não é possível comandar a abertura e fecho da rampa da retaguarda	Substituir válvulas inoperacionais	Rampa incapaz de ficar fixa provocando acidente	3	6	7	126	3	6	4	72	42,86
Controlar o sistema hidráulico	Não controlar o sistema hidráulico	Falha do bloco de válvulas de comando	Sistema hidráulico inoperacional		Substituir bloco de válvulas		3	4	7	84	3	4	4	48	42,86
		Fuga de óleo no bloco de válvulas do sistema hidráulico	Perda de pressão no circuito hidráulico	A perda de pressão no circuito hidráulico vai provocar a perda de força dos atuadores hidraulicos	Parar a fuga de óleo hidráulica	Todo o circuito hidráulico inoperacional	3	8	2	48	3	4	2	24	50
Transportar óleo hidráulico pelo sistema hidráulico	Não transportar óleo hidráulico pelo sistema hidráulico	Fuga de óleo hidráulico em local não identificado	Perda de pressão no circuito hidráulico	A perda de pressão no circuito hidráulico vai provocar a perda de força dos atuadores hidraulicos	Parar a fuga de óleo hidráulica	Todo o circuito hidráulico inoperacional	3	8	2	48	3	4	2	24	50
Comandar o alternador eletrico	Não comandar o alternador eletrico	Fuga de óleo hidráulico no comnado do gerador	Perda de pressão do sistema hidráulico			Sistema hidráulico inoperacional	4	6	2	48	4	4	2	32	33,33
Sistema de Guincho															

Informar o comprimento de cabo por desenrolar	Não informar o comprimento de cabo por desenrolar	Cabo sem marcas vermelhas	Efeito 97				3	6	8	144	3	6	4	72	50
Tracionar a viatura	Não é capaz de tracionar a viatura	Cabo do guincho danificado	O cabo não é capaz de suportar carga	Caso o cabo danificado não seja substituido pode acabar por fraturar durante utilização e provocar um acidente	Substituir o cabo	Guincho inoperacional	3	6	10	180	3	6	4	72	60
		Circuito hidráulico do guincho com fuga	Perda de pressão no circuito hidráulico	A perda de pressão no circuito hidráulico vai provocar a perda de força dos atuadores hidraulicos	Parar a fuga de óleo hidráulica	Sistema hidráulico	3	8	6	144	3	4	6	72	50
Sistema de emergência de acionamento da Rampa															
Operar a rampa de retaguarda em caso de falha do sistema hidráulico	Não operar a rampa de retaguarda em caso de falha do sistema hidráulico	Bomba de emergência defeituosa	Não é fornecida pressão aos cilindros da rampa em caso de falha do sistema hidráulico	Não é possível usar operar a rampa manualmente em caso de falha do sistema hidráulico	Substituição da bomba de emergência	Rampa incapaz de abrir ou fechar	5	2	1	10	5	2	1	10	
		Válvula solenoide de comando da bomba de emergência inoperacional	As válvulas inoperacionais não direcionam o óleo hidraulico para mover os cilindros	Não é possível comandar manualmente a abertura e fecho da rampa da retaguarda	Substituir válvulas inoperacionais	Rampa incapaz de abrir ou fechar	3	4	10	120	3	4	5	60	50
Sistema Pneumático															
Sistema Pneumático Central															
Introduzir ar exterior no sistema pneumático	Não introduzir ar exterior no sistema pneumático	Tomada de ar comprimido de emergencia inoperacional	Falta de ar comprimido em caso de avaria	Substituir tomada para ar externo (emergência)		Sistema pneumático inoperacional	3	2	10	60	3	2	4	24	60
Gerar energia elétrica	Não gerar energia elétrica	Regulador de tensão inoperacional	Tensão produzida pelo gerador inconstante	Substituir o regulador de tensão	Danificar o sistema elétrico	Sistema elétrico inoperacional	4	2	1	8	4	2	1	8	
Sistema Elétrico															
Sistema de Iluminação															
Iluminar o perimetro	Não iluminar o perimetro	Piscas e farois com condensacao	Visibilidade reduzida		Farol ou pisca danificado	Farol inoperacional	2	6	1	12	2	4	1	8	33,33
Sistema de Aviso															
Emitir avisos sonoros	Não emitir avisos sonoros	Avisador sonoro inoperacional	Não existe som de aviso	Substituir o avisador sonoro	Ocorrência de acidente	Danificar a viatura	2	6	1	12	2	4	1	8	33,33
Casco															
Proteger a viatura do exterior	O casco não é capaz de proteger a viatura	Anilhas de fixação dos ADD-Ons com corrosão avançada	Placa add-on com folga	Substituir anilha	Sobrecarga das restantes anilhas	Perda de uma placa add-on	5	8	5	200	5	4	5	100	50