



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Filipe José Prazeres da Silva

**ESTUDO DA CONDIÇÃO DOS VEÍCULOS DE  
COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS**

**VOLUME 1**

**Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica na  
especialidade de Produção e Projeto orientada pelos Professores Doutores Jorge  
Rafael Nogueira Raposo e José Manuel Torres Farinha e apresentado ao  
Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra.**

Setembro de 2021



1 2



9 0

FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA

# **Estudo da Condição dos Veículos de Combate a Incêndios Florestais**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto

## **Study of the Condition of Forest Firefighting Vehicles**

**Autor**

**Filipe José Prazeres da Silva**

**Orientadores**

**Jorge Rafael Nogueira Raposo**

**José Manuel Torres Farinha**

**Júri**

<b>Presidente</b>	<b>Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor José Manuel Torres Farinha</b>
<b>Orientador</b>	<b>Professor Coordenador Principal do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra Professor Doutor José Carlos Miranda Góis Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra</b>
<b>Vogais</b>	<b>Professor Doutor Hugo David Nogueira Raposo Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra</b>

**Coimbra, setembro, 2021**



As circunstâncias do nascimento de alguém são irrelevantes. Aquilo que fazes  
com o dom da vida é que determina quem és.

Takeshi Shudo, 1998



## **Agradecimentos**

Chegando ao fim de mais uma etapa da minha vida é de extrema importância agradecer a todos os que nela estiveram presentes. A amizade, apoio e colaboração de pessoas sem as quais não seria possível apresentar este trabalho.

Agradeço em primeiro lugar aos meus orientadores Professor Doutor Jorge Rafael Nogueira Raposo e Professor Doutor José Manuel Torres Farinha que me transmitiram importantes conhecimentos sobre incêndios florestais e manutenção, respetivamente. De forma geral aproveito também para agradecer a todos os professores que estiveram presentes em toda a minha vida académica.

Agradeço também a importante colaboração dos diversos corpos de bombeiros, mais concretamente aos Bombeiros Voluntários de Fátima, aos Bombeiros Voluntários de Minde, aos Bombeiros Municipais de Alcanena, aos Bombeiros Sapadores de Coimbra e aos Bombeiros Voluntários de Miranda do Corvo, que tiveram disponibilidade para me instruir e esclarecer nas mais diversas questões.

Especial agradecimento aos meus pais, irmãos e toda a família que sempre me apoiaram e acompanharam ao longo desta jornada. Obrigado também à minha namorada por toda a ajuda e compreensão nos momentos mais difíceis. Sem vocês isto não teria sido possível.

Resta-me apenas agradecer a todos os meus amigos, de faculdade e de longa data, por todas as vivências e todas as histórias que para sempre ficarão gravadas na memória.

A todos vocês, um sincero agradecimento do fundo do coração.

Obrigado Coimbra.



## Resumo

A finalidade deste trabalho é apurar qual o estado mecânico geral das viaturas de combate a incêndios florestais, mais concretamente o Veículo Florestal de Combate a Incêndios (VFCI).

Para isso, foram aprofundados conhecimentos sobre o veículo em causa, sobre manutenção preventiva e corretiva e foram recolhidos dados junto de várias Corporações de Bombeiros (CB). Foram estudadas as leis em vigor aplicáveis a veículos de combate a incêndios e analisadas em maior detalhe as normas e sistemas que restringem a emissão de poluentes.

Posteriormente foi realizada uma análise de modos, efeitos e criticidade de falha (FMECA) para identificar quais seriam as falhas mais graves, as causas prováveis de cada falha e qual a respetiva ação de tratamento. Seguidamente, para minimizar imprecisões e incertezas criou-se um programa em MATLAB que permite fazer uma abordagem difusa do problema e assim poder classificar as falhas de uma forma mais significativa.

Através dos resultados obtidos é possível idealizar um programa de manutenção adequado para esta viatura o que irá manter o seu bom funcionamento e estender a sua vida útil. Também é apresentado um possível plano de inspeções que proporciona um maior nível de controlo de condição dos vários sistemas do veículo e propõe a execução de ensaios de conformidade o que aumenta a aptidão dos operadores para lidar com esses sistemas.

**Palavras-chave:** Veículo Florestal de Combate a Incêndios, Manutenção, FMECA, Lógica Difusa, Sistemas de Controlo de Poluentes.



## Abstract

The purpose of this work is to determine the general mechanical condition of forest firefighting vehicles, specifically the Forest Firefighting Truck (FFFT).

For this purpose, the knowledge about the vehicle and about preventive and corrective maintenance was deepened and data was collected from several Fire Departments (FD). The laws applicable to firefighting vehicles were studied and the regulations and systems that restrict the emission of pollutants were analyzed in greater detail.

Subsequently, a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) was created to identify which would be the most severe failures, the most probable cause of each failure and the respective corrective action. Afterwards, in order to minimize inaccuracies and uncertainties, a MATLAB program was developed to allow for a fuzzy approach to solve the problem and therefore to be able to categorize the failures in a more meaningful way.

Through the results obtained, it is possible to conceive a suitable maintenance program for this type of vehicle, which will preserve its proper performance and extend its life cycle. In addition, is presented a possible inspection plan that provides a greater level of monitoring to the various vehicle systems and proposes the execution of compliance tests that increase the ability of firefighters to operate with these systems.

**Keywords** Forest Firefighting Truck, Maintenance, FMECA, Fuzzy Logic, Emission Control Systems.



---

## Índice

Índice de Figuras .....	ix
Índice de Tabelas .....	xi
Acrónimos e Siglas .....	xiii
1. Introdução .....	1
1.1. Motivação .....	1
1.2. Objetivos .....	1
1.3. Limitações .....	2
1.4. Estrutura .....	3
2. Estado da Arte .....	5
2.1. Veículos de Combate a Incêndios Florestais .....	5
2.1.1. Ficha técnica .....	6
2.2. Manutenção .....	8
2.2.1. Planeamento da manutenção .....	10
2.3. Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falha (FMECA) .....	11
2.4. Lógica difusa .....	12
3. Impacto da Tecnologia e Controlo de Poluentes .....	13
3.1. Equipamentos de controlo de emissões .....	13
3.2. Impacto dos equipamentos de controlo de emissões em um VFCE .....	15
4. Metodologia .....	17
4.1. Manutenção .....	18
4.2. FMECA .....	21
4.3. Lógica difusa .....	24
5. Resultados .....	33
5.1. FMECA .....	33
5.1.1. Motor .....	33
5.1.2. Caixa de velocidades .....	33
5.1.3. Caixa de transferência .....	34
5.1.4. Diferenciais .....	34
5.1.5. Travões .....	35
5.1.6. Suspensão .....	36
5.1.7. Rodas .....	36
5.2. Lógica difusa .....	38
5.2.1. Motor .....	38
5.2.2. Caixa de velocidades .....	39
5.2.3. Caixa de transferência .....	39
5.2.4. Diferenciais .....	39
5.2.5. Travões .....	40
5.2.6. Suspensão .....	40
5.2.7. Rodas .....	41

5.3. Análise crítica .....	41
6. Conclusões .....	45
Referências Bibliográficas .....	47
Anexo A .....	49
Anexo B.....	61
Anexo C.....	63
Anexo D .....	67
Anexo E.....	71

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Veículo Florestal de Combate a Incêndios (fonte: BV de Fátima). .....	6
Figura 2.2. Ângulos de ataque, de saída e de rampa (Adaptado de: Luís Figueiredo). .....	7
Figura 2.3. Tipos de manutenção de acordo com a Norma NP EN 13306-2007. ....	9
Figura 3.1. Esquema do percurso dos gases de escape e sistemas de controlo de poluentes. .....	15
Figura 4.1. <i>Checklist</i> das verificações técnicas de um VFCI (fonte: BV de Fátima). .....	20
Figura 4.2. Conjuntos difusos para a severidade (S). .....	25
Figura 4.3. Conjuntos difusos para a ocorrência (O). .....	26
Figura 4.4. Conjuntos difusos para a detetabilidade (D). .....	27
Figura 4.5. Regras de inferência. ....	29
Figura 4.6. Conjuntos difusos para a criticidade (RPN). .....	30
Figura 4.7. Programa de Lógica Difusa executado em MATLAB. ....	30
Figura 4.8. Funcionamento do programa de Lógica Difusa. ....	31
Figura 5.1. FMECA do motor. ....	33
Figura 5.2. FMECA da caixa de velocidades. ....	34
Figura 5.3. FMECA da caixa de transferência. ....	34
Figura 5.4. Componentes de um diferencial (Adaptado de: MotorConsult). ....	35
Figura 5.5. FMECA dos diferenciais. ....	35
Figura 5.6. FMECA dos travões. ....	35
Figura 5.7. FMECA da suspensão. ....	36
Figura 5.8. FMECA das rodas. ....	36
Figura 5.9. Análise difusa do motor. ....	38
Figura 5.10. Análise difusa da caixa de velocidades. ....	39
Figura 5.11. Análise difusa da caixa de transferência. ....	39
Figura 5.12. Análise difusa dos diferenciais. ....	39
Figura 5.13. Análise difusa dos travões. ....	40
Figura 5.14. Análise difusa da suspensão. ....	40
Figura 5.15. Análise difusa das rodas. ....	41
Figura B.0.1. <i>Checklist</i> das verificações técnicas de um VFCI (frente) (fonte: BV de Fátima). .....	61

Figura B.0.2. <i>Checklist</i> das verificações técnicas de um VFCI (verso) (fonte: BV de Fátima). .....	62
Figura C.0.1. Regras de inferência (um a cinquenta). .....	63
Figura C.0.2. Regras de inferência (cinquenta e um a cem). .....	64
Figura C.0.3. Criticidade em função da severidade e ocorrência. ....	65
Figura C.0.4. Criticidade em função da detetabilidade e ocorrência. ....	65
Figura C.0.5. Criticidade em função da severidade e detetabilidade. ....	65
Figura D.0.1. FMECA completa. ....	67
Figura D.0.2. FMECA completa (lado esquerdo). ....	68
Figura D.0.3. FMECA completa (lado direito). ....	69
Figura E.0.1. Análise difusa completa. ....	71
Figura E.0.2. Análise difusa completa (lado esquerdo). ....	72
Figura E.0.3. Análise difusa completa (lado direito). ....	73

---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Classificação dos veículos (Ramalho & Carvalho, 2020). .....	5
Tabela 4.1. Classificação da severidade (S). .....	22
Tabela 4.2. Classificação da probabilidade de ocorrência (O). .....	23
Tabela 4.3. Classificação da detetabilidade (D). .....	23
Tabela 4.4. Relações para a severidade (S). .....	25
Tabela 4.5. Relações para a ocorrência (O). .....	25
Tabela 4.6. Relações para a detetabilidade (D). .....	26
Tabela 4.7. Resultados do RPN quando $D = MA$ . .....	27
Tabela 4.8. Resultados do RPN quando $D = A$ . .....	28
Tabela 4.9. Resultados do RPN quando $D = B$ . .....	28
Tabela 4.10. Resultados do RPN quando $D = MB$ . .....	29
Tabela 5.1. Comparação entre o R (FMECA) e o RPN (Lógica Difusa). .....	42



## ACRÓNIMOS E SIGLAS

ANEPC – Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil

BM – Bombeiros Municipais

BS – Bombeiros Sapadores

BV – Bombeiros Voluntários

CB – Corporações de Bombeiros

CO – Monóxido de Carbono

D – Detetabilidade

DOC – *Diesel Oxidation Catalyst*

DPF – *Diesel Particulate Filter*

EGR – *Exhaust Gas Recirculation*

FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*

FMECA – *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*

HC – Hidrocarbonetos

MP – Material Particulado

MTC – Massa Total em Carga

NO<sub>x</sub> – Óxido de Azoto

O – Ocorrência

PMP – Plano de Manutenção Preventiva

R – Risco

RPN – *Risk Priority Number*

S – Severidade

SAROCA – Sistema de Avaliação e Revisão da Operacionalidade da Cinemática

Auto

SCR – *Selective Catalytic Reduction*

TBF – *Time Between Failures*

TTR – *Time to Recovery*



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Motivação

Os incêndios florestais são considerados catástrofes naturais, não querendo isto dizer que sejam causados por fenómenos naturais. A intervenção humana nos incêndios desempenha um papel decisivo, não só na sua origem que é maioritariamente devido a acidentes ou incendiário, como também no seu combate, limitando o seu desenvolvimento.

Para transportar os meios humanos e materiais necessários, os bombeiros estão munidos de viaturas de combate a incêndios que devido à necessidade de rapidez na resposta às ocorrências são conduzidos de uma forma mais agressiva do que o que seria ideal.

Dados fornecidos pela Liga de Bombeiros Portugueses afirmam que entre 1980 e 2020 morreram 231 bombeiros, dos quais 94 faleceram enquanto se deslocavam nas viaturas de combate, contrastando com 24 que morreram no combate direto aos incêndios, podendo assim concluir que os acidentes rodoviários são a principal causa de morte de bombeiros em Portugal.

No caso específico do combate a incêndios florestais, os operacionais têm de movimentar os veículos por caminhos degradados, estrada de montanha, elevações e desníveis muito acentuados, tendo até por vezes de utilizar o veículo para criar o seu próprio caminho (Ramalho & Carvalho, 2020). Este tipo de solicitações leva a um maior desgaste dos componentes do veículo pelo que é necessário que estes tenham um programa de manutenção adequado para que se possam assegurar as melhores condições possíveis.

## 1.2. Objetivos

A finalidade desta dissertação é conhecer melhor qual o estado médio dos veículos de combate a incêndios florestais, saber o que é feito para os manter nas melhores condições, identificar quais as falhas mais graves que poderão originar acidentes e definir possíveis melhorias a aplicar no futuro.

Uma vez que existem vários veículos destinados ao combate de incêndios florestais e que estes têm diferentes equipamentos e sistemas, houve a necessidade de seleccionar apenas um veículo tendo sido escolhido o Veículo Florestal de Combate a Incêndios (VFCI) pela competência que tem no combate a fogos.

Estando definido o veículo que será alvo de estudo foram realizadas várias visitas a Corporações de Bombeiros (CB) para perceber quais as verificações feitas, qual o nível de manutenção efetuado e qual a periodicidade das revisões.

De seguida foi efetuada uma análise de modos, efeitos e criticidade de falha (FMECA - *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*) para identificar qual o risco associado a cada falha.

Devido ao tipo de dados analisados não serem totalmente fiáveis, isto é, serem dados subjetivos, imprecisos, incertos ou incompletos foi posteriormente utilizada lógica difusa para determinar quais os elementos críticos de cada sistema e assim poder implementar medidas corretivas para reduzir os riscos.

### **1.3. Limitações**

Sendo este um trabalho que está diretamente ligado à manutenção, uma das limitações advém da falta de dados que muitas vezes são imprecisos ou inexistentes. Numa primeira abordagem idealizou-se utilizar modelos de fiabilidade para determinar quais as taxas de avarias e assim estimar quais os intervalos de substituição para cada componente. Rapidamente verificou-se que isto não seria possível uma vez que não existe registo de diversos tipos de dados, como o tempo entre avarias (TBF - *Time Between Failures*) e o tempo técnico de reparação (TTR - *Time To Recovery*), assim sendo optou-se por fazer uma abordagem utilizando lógica difusa.

Outra limitação foi a complexidade e quantidade de sistemas/componentes que integram uma viatura de combate a incêndios florestais, tendo sido necessário abordar apenas uma tipologia de veículo, o VFCI, e apenas focar nos seus componentes principais enquanto viatura, pondo de lado sistemas como a bomba acoplada e os aspersores.

Outro ponto que pode ser considerado uma limitação é o facto de as CB usarem veículos de marcas e construtores diferentes, isto associado à necessidade de manterem as viaturas durante o máximo de anos possível faz com que se torne difícil chegar a resultados

que se verifiquem para todas, uma vez que existe uma constante evolução da tecnologia e viaturas com idades diferentes que têm equipamentos diferentes.

Por último, devido à pandemia que enfrentamos poderia ser complicado entrar em contacto com os bombeiros de forma a obter dados sobre os diferentes veículos, equipamentos e seus modos de falha, situação esta que não se verificou sendo necessário realçar a disponibilidade e colaboração de todos os elementos das diversas CB que participaram neste trabalho.

#### **1.4. Estrutura**

Esta dissertação divide-se em seis capítulos.

Inicia-se pela introdução, onde é apresentado o tema, são definidos os objetivos do trabalho, são discutidas as dificuldades com que o autor se deparou e é exposta a estrutura da dissertação.

Depois, no estado da arte, é demonstrado qual o estado atual de conhecimento sobre o tema em estudo, isto é, são apresentadas as normas que os VFCI têm de cumprir, é explicado o conceito de manutenção de acordo com o tema e, são introduzidas as definições de FMECA e lógica difusa.

De seguida, são exibidos os sistemas de controlo de poluentes que poderão estar presentes nos VFCI e é discutido o seu impacto neste tipo de veículos, sendo apresentados possíveis perigos que advenham destes sistemas.

No capítulo seguinte, é explicada a metodologia seguida para a execução do trabalho. São referidas várias tarefas de manutenção e é descrita a forma como foram elaboradas as abordagens FMECA e a abordagem utilizando lógica difusa.

Continuamente, são revelados os resultados obtidos, através da metodologia apresentada, para a FMECA e para a lógica difusa. Encerra-se o capítulo com uma discussão e análise crítica dos resultados finais.

No último capítulo é feita a conclusão, realizando uma síntese dos dados apresentados e resultados obtidos, terminando com sugestões a aplicar no futuro.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas e os anexos referidos ao longo do texto.



## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. Veículos de Combate a Incêndios Florestais

Uma das muitas missões de socorro confiadas aos Bombeiros é o combate a incêndios cuja intervenção implica a deslocação de meios humanos e materiais (Ramalho & Carvalho, 2020). Para isto as CB estão munidas de diferentes veículos que estão otimizados para diferentes tarefas e diferentes áreas de ação.

A Norma NP EN 1846:2012 classifica os veículos de combate a incêndios de acordo com a sua Massa Total de Carga (MTC) e também quanto à área de utilização preferencial, como se pode verificar na Tabela 2.1.

Ao entrar em contacto com diversas CB tornou-se claro que o veículo mais importante no combate a incêndios florestais é o VFCI devido ao seu equipamento e versatilidade. É um veículo que conjuga a mobilidade com a capacidade de transporte de água, sendo esta a viatura utilizada como primeira intervenção quando surge um alerta de fogo. Por estes motivos foi este o veículo eleito como alvo de estudo, podendo-se observar um exemplo de um VFCI na Figura 2.1.

**Tabela 2.1.** Classificação dos veículos (Ramalho & Carvalho, 2020).

	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>S</b>
<b>CLASSE</b>	Ligeiro	Médio	Super
	>3 t MTC ≤7.5 t	>7.5 t MTC <16 t	≥ 16 t
<b>CATEGORA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
	Urbano	Rural	Todo-o-Terreno

De acordo com o Despacho n.º 7316/2016 da Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC), os VFCI devem ser da classe M e categoria 3. São descritos como veículos a motor capazes de utilizar todos os tipos de vias públicas, bem

como terrenos acidentados, equipados com chassis todo-o-terreno, dotados de bomba de serviço e tanque com capacidade mínima de 3000 litros e destinados prioritariamente à intervenção em incêndios florestais ou rurais.



Figura 2.1. Veículo Florestal de Combate a Incêndios (fonte: BV de Fátima).

### 2.1.1. Ficha técnica

Existem várias empresas que se dedicam ao fabrico e transformação de viaturas para o combate a incêndios e que, de acordo com as preferências dos seus clientes, utilizam diferentes marcas e modelos de veículos; porém, todos têm de obedecer a um conjunto de características impostas pela ANEPC.

Segundo consta no Despacho nº 7316/2016 os VFCI devem estar de acordo com as seguintes imposições:

- **Autonomia**

O depósito de combustível deve permitir realizar um percurso mínimo de 300 quilómetros, com a carga normal e em estrada medianamente acidentada ou o funcionamento da bomba acoplada durante quatro horas consecutivas.

- **Desempenho**

O diâmetro exterior de viragem não pode superar os dezoito metros.

Os ângulos de ataque e de saída devem ser iguais ou superiores a  $35^\circ$  e o ângulo de rampa igual ou superior a  $30^\circ$ , como exemplificado na Figura 2.2.

A altura ao solo deve ser igual ou superior a 400 milímetros.



**Figura 2.2.** Ângulos de ataque, de saída e de rampa (Adaptado de: Luís Figueiredo).

- **Mecânica**

O motor deve ser a Diesel e respeitar a legislação relativa às emissões, deve ter um sistema de arrefecimento que permita o seu funcionamento normal por um período de tempo mínimo de quatro horas consecutivas, à temperatura ambiente e possibilitar um arranque e funcionamento normais às temperaturas de utilização.

O escape deve estar disposto de modo a não prejudicar os operacionais, não deve libertar fagulhas e os seus componentes quentes devem ser protegidos de modo a evitar o contacto com a vegetação.

A caixa de velocidades deve permitir o acionamento da bomba de serviço com o veículo em andamento e estar preparada para serviço contínuo.

O veículo necessita de possuir tração aos dois eixos e também dispositivos manuais ou automáticos de bloqueios a todos os diferenciais.

A suspensão deve ser preferencialmente de molas de lâminas e estar preparada para suportar constantemente a MTC do veículo.

O sistema de travagem é pneumático e deve possuir um sistema auxiliar de travagem (escape, alimentação, etc.) e equipamento de desumidificação do ar dos travões; deve também estar devidamente protegido contra terrenos acidentados e incidência das chamas.

O rodado deve ser simples à frente e na retaguarda. Os pneus devem ter boa aderência ao piso e a sua pressão deve estar indicada por cima dos guarda-lamas, existe também a necessidade de possuir uma roda suplente igual e completa.

- **Remanescente**

São também definidas várias características a nível de equipamento elétrico, da cabina, da superestrutura e também quais os equipamentos mínimos que devem ser transportados. Por último é restringida a pintura, os símbolos e inscrições que estarão no veículo.

A totalidade do regulamento de especificações técnicas do VFCI de acordo com o Despacho nº 7316/2016 da ANEPC encontra-se no Anexo A.

## **2.2. Manutenção**

Para assegurar que um veículo se encontra em boas condições devem ser efetuadas várias tarefas ao longo da sua vida, designadas como manutenção, que correspondem a um conjunto de ações de gestão, técnicas e económicas que quando aplicadas a um bem permitem otimizar o seu ciclo de vida. Essa otimização implica a necessidade de manter ou restabelecer um estado específico que garanta o cumprimento da função (Farinha, 1997).

De acordo com a Norma NP EN 13306:2007 e tal como exemplificado na Figura 2.3, existem vários tipos de manutenção sendo eles:

- **Manutenção preventiva**

Manutenção efetuada a intervalos de tempo pré-definidos com o objetivo de reduzir a probabilidade de avaria ou de degradação de um bem.

Esta divide-se em manutenção programada se for efetuada de acordo com um calendário pré-estabelecido ou de acordo com um certo número de utilizações, caso não exista controlo prévio do estado do bem esta designa-se por manutenção sistemática.

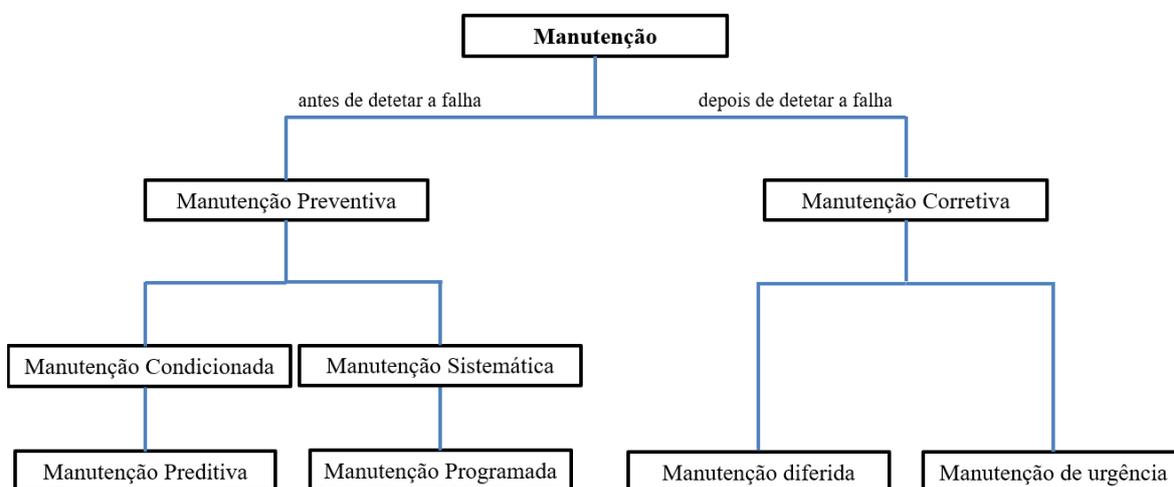
Pode ser manutenção condicionada se for baseada na vigilância do funcionamento do bem e/ou dos parâmetros significativos do seu funcionamento, caso se

efetuem previsões extrapoladas da análise e avaliação desses parâmetros passa a designar-se de manutenção preditiva.

- **Manutenção corretiva**

A manutenção corretiva é uma manutenção não planeada, ocorre depois da deteção de uma avaria de forma a repor o estado em que o bem consegue realizar a sua função.

Esta pode ser classificada como manutenção diferida caso a reparação não seja efetuada aquando da deteção da falha ou pode ser manutenção de urgência se for realizada imediatamente após o momento em que a falha foi encontrada e assim evitar consequências agravadas.



**Figura 2.3.** Tipos de manutenção de acordo com a Norma NP EN 13306-2007.

A manutenção pode ainda ser classificada quanto à estratégia de execução podendo, neste caso em particular, ser manutenção em funcionamento se for efetuada enquanto o VFCI está a ser operado, manutenção no local se não for necessária a deslocação a uma oficina ou manutenção pelo operador se for efetuada por um bombeiro.

A Norma refere também, entre outros, cinco conceitos importantes para este trabalho:

- **Fiabilidade:** aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo;
- **Disponibilidade:** aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, num dado instante;

- Durabilidade: aptidão de um bem para cumprir uma função requerida, até que seja atingido um estado limite, seja ele técnico ou económico;
- Controlo de condição: atividade executada manual ou automaticamente com o objetivo de observar o estado atual de um bem;
- Ensaio de conformidade: ensaio destinado a comprovar se uma característica ou propriedade de um bem está, ou não, de acordo com as especificações nominais.

### **2.2.1. Planeamento da manutenção**

Para que a manutenção seja bem efetuada deve estar documentado o conjunto de atividades a realizar. Nesse documento devem também constar os procedimentos, os meios e a duração necessária para realizar a manutenção, existindo assim uma melhoria na organização, o que se reflete num aumento da eficiência e redução dos custos.

Assim, um programa de manutenção preventiva (PMP) tem um papel vital no salvamento de vidas e proteção de propriedade. Todos os PMP dependem diretamente dos operadores dos veículos, pois são estes que mantêm contacto com o equipamento. As inspeções diárias dos níveis de óleo, combustível e líquido refrigerante aliadas ao acompanhamento do estado do veículo (desgaste, uso abusivo ou negligência) formam uma rotina de verificações que são absolutamente necessárias (Peters, 2004).

Além disso, por muito que a manutenção seja indispensável, Glatts realça a importância de esta ser combinada com o treino. Ao realizar manutenção preventiva aumenta também a aptidão dos operadores dos veículos e dos bombeiros em geral. Por exemplo, ao realizar o teste de funcionamento da bomba de água, não só é testado o equipamento e potenciais falhas como também treina os operadores a utilizar a bomba com mais eficiência e destreza. Desta forma é melhorada a competência do Corpo de Bombeiros (Glatts, 2000).

Quanto melhor forem mantidos os veículos mais longa será a sua vida útil e menores serão os custos ao mantê-lo. Segundo Craven pode afirmar-se que a vida útil de um veículo depende da quantidade da sua utilização, do ambiente local, das condições de uso e da carga de trabalho e pode ser dividida em três categorias, sendo elas: vida útil, vida tecnológica e vida económica. A vida útil é o período de tempo que se espera que o veículo funcione de forma normal e com a fiabilidade esperada, a vida tecnológica é a duração do

---

veículo antes de se tornar obsoleto e a vida económica é o período de tempo durante o qual a reparação é economicamente viável e a viatura pode ser mantida (Craven, 1995).

Entende-se assim a importância de estruturar um PMP, uma vez que não só se aumenta a fiabilidade e a durabilidade, como também a disponibilidade da viatura, o que é absolutamente necessário para a resposta a emergências. Quanto aos seus operadores, também existirá um aumento da destreza e aptidão a lidar com o veículo e seus sistemas, que se irá traduzir numa utilização mais cuidada e consciente e assim evitar falhas por negligência.

### **2.3. Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falha (FMECA)**

A Norma IEC 60812:2018 classifica a análise de modos e efeitos de falha (FMEA - *Failure Modes and Effects Analysis*) como um método sistemático de avaliação de um bem (ou processo) que tem como objetivo identificar quais os potenciais modos de falha e quais os potenciais efeitos dessa falha no funcionamento do bem, nos seus operadores e no ambiente circundante.

Quando os modos de falha são priorizados para apoiar decisões sobre o tratamento, o processo passa a designar-se como análise de modos, efeitos e criticidade de falha (FMECA - *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*); neste caso entra em consideração a gravidade da falha para classificar quais as avarias mais perigosas, sendo esta a análise desenvolvida neste trabalho.

Uma FMECA pode ser realizada várias vezes durante a vida útil do bem, isto é, à medida que mais informação vai estando disponível podem realizar-se análises posteriores, mais detalhadas, de maneira a descobrir e adotar decisões que reduzem ainda mais a probabilidade de falha e seus efeitos, contribuindo assim para manter o veículo em bom estado (IEC 60812:2018).

Assim, uma vez que a FMECA se baseia em encontrar, priorizar e minimizar as falhas, tem sido amplamente usada em numerosos projetos, em fase de desenvolvimento ou até mesmo durante a vida útil, de forma a aumentar a fiabilidade de um bem.

## **2.4. Lógica difusa**

A lógica difusa é baseada na teoria dos conjuntos difusos desenvolvida por Lofti A. Zadeh. O principal objetivo desta técnica é encontrar a melhor solução possível com informação imprecisa, vaga, incerta ou incompleta (Dernoncourt, 2013). Essas incertezas podem originar um aumento da dificuldade da implementação de melhorias; porém, não podem ser ignoradas pois resultaria numa tomada de decisões erradas (Kaur & Kumar, 2016).

A vantagem de utilizar lógica difusa na avaliação de risco reside no facto de se poder trabalhar com variáveis que não foram descritas numericamente, permitindo assim recorrer a dados linguísticos subjetivos (Zadeh, 1975).

Utilizando esta ferramenta podem determinar-se quais os elementos críticos de um sistema pois todos os fatores vão ser avaliados simultaneamente e com influências diferentes para inferir qual o risco operacional e assim implementar as devidas medidas corretivas (Gallab et al., 2019).

### 3. IMPACTO DA TECNOLOGIA E CONTROLO DE POLUENTES

Os veículos de motor a combustão têm um grande impacto ambiental pois emitem diversos poluentes nocivos para a atmosfera. Para diminuir o volume destas emissões têm vindo a surgir novas tecnologias uma vez que também as normas são cada vez mais rigorosas. Os veículos de combate a incêndios não são exceção.

#### 3.1. Equipamentos de controlo de emissões

As mais recentes viaturas devem cumprir a Norma Euro 6; esta norma está em vigor desde janeiro de 2014 e os veículos de combate a incêndios não são exceção, tendo de cumprir os limites de emissões de: monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não metânicos e hidrocarbonetos totais (HC), óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>) e material particulado (MP). De forma a cumprir os limites impostos, os construtores adotaram diferentes tecnologias, tais como as referidas no artigo de Antunes (2018):

- **Válvula EGR** (EGR - *Exhaust Gas Recirculation*)

Esta válvula, que está situada entre o coletor de escape e o coletor de admissão, é um dos mecanismos que permite controlar as emissões de NO<sub>x</sub> (óxidos de azoto), pois envia uma porção dos gases de escape de volta à câmara de combustão, o que permite baixar a temperatura no interior da câmara e assim reduzir a geração de NO<sub>x</sub> e, ao mesmo tempo, queima as partículas poluentes já presentes nesses gases de escape.

Dado que funciona com gases de escape, esta válvula fará acumular sujidade na admissão, o que pode levar a um aumento da temperatura do motor e aumento do consumo de combustível, necessitando de ser efetuada a devida limpeza.

- **Filtro de Partículas** (DPF - *Diesel Particulate Filter*)

Este filtro está concebido para eliminar as partículas de fuligem provenientes dos gases de escape, localiza-se no sistema de escape e é obrigatório nos veículos a Diesel a partir de 2010, de acordo com a Norma Euro 5. Este filtro irá armazenar as partículas e, após atingir um valor limite, incinera-as a altas temperaturas, eliminando-as.

Para se iniciar este processo é necessária uma elevada temperatura do motor e dos gases de escape durante um certo período de tempo, o que faz com que os pequenos percursos e o pouco uso da viatura levem a um acumular de partículas que não são queimadas, aumentando assim a contrapressão no escape que leva a um aumento do consumo de combustível. Caso a regeneração do filtro não aconteça, irão surgir problemas mais graves e o veículo poderá entrar em modo de segurança que exige a deslocação à oficina e respetivos custos avultados, caso seja necessária a sua substituição.

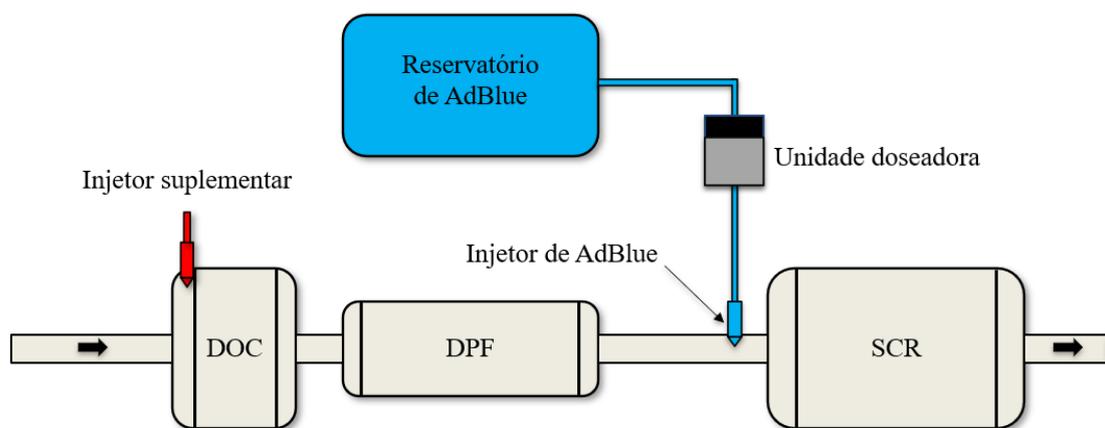
- **SCR e AdBlue** (SCR - *Selective Catalytic Reduction*)

A Redução Catalítica Seletiva (SCR) é um sistema que recorre à utilização de um aditivo, o AdBlue, injetado no sistema de escape antes do catalisador SCR. O AdBlue é uma solução aquosa de ureia que irá reagir quimicamente com os gases de escape dentro do catalisador, desagregando o  $\text{NO}_x$  dos restantes gases e convertendo as moléculas prejudiciais em vapor de água e azoto, tornando assim os gases inofensivos. O consumo de AdBlue equivale a cerca de 5% do consumo de combustível, pelo que os fabricantes desenvolvem o sistema de maneira a que a autonomia do depósito seja suficiente entre revisões, uma vez que o abastecimento é, normalmente, feito em oficina, pois é altamente corrosivo. Nem todos os veículos têm um indicador do nível de AdBlue; porém, todos alertam o operador quando o nível está baixo e neste momento deve ser repostado o aditivo pois, caso se esgote pode levar à inoperabilidade da viatura.

- **Injetor suplementar**

O Catalisador de Oxidação Diesel (DOC - *Diesel Oxidation Catalyst*) é responsável por converter os hidrocarbonetos (HC) e o monóxido de carbono (CO) em dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água; tem também a função de transformar o monóxido de nitrogénio (NO) em dióxido de nitrogénio ( $\text{NO}_2$ ), para que o DPF efetue a combustão eficiente do material particulado (MP). Para fazer a gestão térmica do DOC é utilizado um injetor Diesel especial, que vai garantir o funcionamento descrito acima. O injetor vai pulverizar combustível no sistema e, ao entrar em contacto com as estruturas sobreaquecidas, inflama-se e assim queima as partículas ali depositadas.

Na Figura 3.1 pode-se observar um esquema de um sistema de escape com os componentes aqui apresentados (exceto válvula EGR), de forma a entender melhor qual o percurso dos gases de escape.



**Figura 3.1.** Esquema do percurso dos gases de escape e sistemas de controlo de poluentes.

### 3.2. Impacto dos equipamentos de controlo de emissões em um VFCI

Apesar das provas dadas na redução da emissão de gases poluentes para a atmosfera nem tudo é positivo nestes sistemas, especialmente em viaturas de combate a incêndios.

No que toca ao filtro de partículas, normalmente, nos veículos pesados a regeneração, pode acontecer de dois modos: pode ser uma regeneração passiva, se for feita de forma automática, ou ser uma regeneração ativa se, for necessária a intervenção do operador.

A regeneração passiva dá-se quando o veículo está sujeito a maiores velocidades ou quando está em regimes de trabalho intenso por um longo período de tempo. Estas condições verificam-se, por exemplo, na condução em autoestrada e o perigo advém do motorista não se aperceber que a regeneração se iniciou. Devido às altas temperaturas que se desenvolvem durante a regeneração pode vir a acontecer um desastre, como um novo incêndio caso a viatura se encontre em zonas de mato seco ou até uma explosão durante o abastecimento numa bomba de combustível.

Para impedir este tipo de acontecimentos, algumas viaturas possuem um comando que impede a regeneração passiva; porém, este deve voltar a ser acionado quando já não estiver em situação de risco. Se a regeneração for interrompida demasiadas vezes ou se não se verificarem as condições necessárias ao processo durante um extenso período de tempo, o desempenho do veículo ficará comprometido e será necessária a sua reparação.

De forma a prevenir este tipo de situações, alguns fabricantes de viaturas para os bombeiros optaram por manter a regeneração automática desligada, assim sendo devem ser os operadores a possuir a sensibilidade de interpretar a necessidade de efetuar a regeneração de forma manual (ativa).

Para fazer a regeneração ativa, como foi mencionado anteriormente, o veículo tem de reunir as condições necessárias e o motorista deve assegurar que o veículo se encontra em segurança. Uma vez que as CB utilizam viaturas de diferentes marcas é importante referir que os procedimentos diferem entre si e deve ser consultado o manual do veículo para realizar o processo, de acordo com as especificações dos fabricantes. De uma forma geral, para executar a regeneração ativa em segurança é essencial garantir que:

- O veículo esteja ao ar livre;
- O motor esteja a funcionar no seu regime mais baixo (*ralenti*) e com uma temperatura superior a 70 °C;
- Existe uma distância de segurança de 2 metros ao redor do escape;
- A caixa de velocidades está em neutro e a tomada de força está desligada;
- O travão de estacionamento está acionado;
- Os pedais estão soltos.

Quando estas condições estiverem reunidas basta pressionar o botão que dá início à regeneração e manter a supervisão do veículo até o processo estar concluído que, dependentemente do nível de obstrução do DPF, demora, na maioria dos casos, entre trinta a sessenta minutos.

Não descredibilizando o impacto ambiental, muitos bombeiros responsáveis pelas viaturas de combate a incêndios questionam-se sobre a viabilidade destes sistemas de controlo de poluentes em veículos de emergência, uma vez que operam em teatros de operações de risco e constituem um perigo extra para os operacionais. Como já foi referido, um veículo que inicie a regeneração do filtro de partículas na deslocação para um incêndio florestal pode criar um novo foco de incêndio se o escape entrar em contacto com vegetação seca; por outro lado, a viatura pode também necessitar de realizar o processo de regeneração ou abastecer com AdBlue a meio de um combate, o que faz com que tenha de abandonar a ocorrência ou então ignorar o processo que irá levar a um agravamento do estado do componente ou até mesmo a uma falha total do veículo o que implica o seu abandono caso o fogo se aproxime.

## 4. METODOLOGIA

Para a realização desta dissertação foi necessário, numa primeira fase, fazer uma pesquisa sobre as diferentes viaturas de combate a incêndios e quais os seus equipamentos e especificações. Aquando da pesquisa verificou-se que existiam várias tipologias de veículos com sistemas diferentes e seria impossível abordar todas elas neste trabalho, sendo necessário escolher apenas uma viatura.

Prosseguiu-se então com as deslocações até aos quartéis de forma a conseguir um contacto direto com os bombeiros e também com as viaturas. Após uma apresentação da frota dos Bombeiros Voluntários (BV) de Fátima, tornou-se evidente que o veículo a abordar neste trabalho seria o VFCI devido à sua capacidade de progressão em ambiente florestal, ao mesmo tempo que transporta os bombeiros e uma quantidade razoável de água. Todas as CB visitadas elegeram este veículo como o mais relevante no combate a fogos fora de ambientes urbanos.

Estando definido o VFCI como objeto de estudo foi indispensável aprofundar conhecimentos sobre ele. Foram visitados também os Bombeiros Sapadores (BS) de Coimbra, os Bombeiros Municipais (BM) de Alcanena, os Bombeiros Voluntários de Minde e os Bombeiros Voluntários de Miranda do Corvo para que o autor pudesse entrar em contacto com VFCI de diferentes marcas e diferentes carroçadores. Juntamente destas corporações foram averiguados quais os cuidados que cada uma tinha na manutenção dos veículos, qual a periodicidade das inspeções e revisões, quais as falhas ou avarias que já experienciaram e se alguma dessas é recorrente.

Apesar de algumas corporações fazerem o registo da falha acompanhado da data e com o número de quilómetros que a viatura tinha no momento, estes dados não se revelaram muito importantes devido à imprecisão e extensão reduzida. Foi então criado um documento onde consta a informação sobre os sistemas mecânicos principais e quais os modos de falha de um VFCI, tendo-se atribuído um grau de severidade, de probabilidade de ocorrência e de detetabilidade a cada falha, de forma a multiplicá-los e obter o seu risco de falha, de forma a elaborar a abordagem FMECA.

Aproveitando a maior experiência dos operadores dos VFCI foi entregue uma FMECA em branco aos BV de Fátima, aos BV de Minde e aos BM de Alcanena e foi pedida a sua colaboração para a completar, atribuindo os graus que achassem corretos, de acordo com tabelas também fornecidas. Ao analisar os dados verificou-se que alguns deles não só estavam bastante longe dos pressupostos, como também diferiam entre corporações; então, optou-se por utilizar a média dos dados das corporações e descartar os valores pressupostos de modo a reduzir a imprecisão.

Por último, utilizaram-se os dados da FMECA para fazer uma abordagem através de lógica difusa com recurso ao MATLAB, pois, através desta estratégia é possível encontrar a melhor solução para o problema mesmo utilizando informação imprecisa, vaga, incerta ou incompleta, tal como a informação maioritariamente utilizada neste trabalho que foi adquirida através do contacto e conversa direta com os bombeiros.

#### **4.1. Manutenção**

Ao visitar várias CB foi possível verificar que existem grandes diferenças no que toca à manutenção efetuada, pois a inexistência de regras impostas faz com que o responsável de cada corporação adote diferentes medidas. Desta forma, existem corporações que negligenciam certas tarefas de manutenção ou que as fazem entre intervalos de tempo demasiado longos; estas práticas irão ter impacto na condição da viatura.

A verificação dos veículos de combate a incêndio deve ser feita diariamente. Ao fazer uma cuidada inspeção e manutenção dos veículos, não só prolongará a sua vida útil como também aumenta a segurança dos bombeiros e de toda a comunidade. Para executar uma boa manutenção é recomendada uma inspeção todas as manhãs, registar qual o estado do veículo, ter atenção aos detalhes, testar todos os recursos, verificar todas as funcionalidades após uma ocorrência, normalizar os procedimentos e realizar as intervenções necessárias, tornando-se assim num especialista do próprio veículo (Robertson, 2009).

Seguindo a ideologia de Robertson devem fazer-se inspeções diariamente, sendo elas:

- Verificar os níveis de fluídos:
  - Óleo do motor;
  - Óleo da direção;

- 
- Óleo dos travões;
  - Óleo do multiplicador da bomba acoplada;
  - Líquido de refrigeração;
  - Líquido do limpa para-brisas;
  - Combustível (e AdBlue caso aplicável);
  - Água do tanque.
  - Averiguar:
    - A presença de fugas ou derrames;
    - A pressão e estado dos pneus (arrancamentos, cortes, furos, etc.);
    - A condição das correias de distribuição;
    - O funcionamento dos componentes elétricos;
    - A existência e fixação de todo o equipamento do veículo;
    - O estado da cabina e carroçaria.
  - Executar:
    - A purga dos depósitos de ar;
    - A lavagem do veículo;
    - O teste da bomba acoplada;
    - Os testes dinâmicos SAROCA (Sistema de Avaliação e Revisão da Operacionalidade da Cinemática Auto).

Estes últimos testes têm como objetivo verificar a operacionalidade dos sistemas de tração do veículo, tais como: o bloqueio do diferencial traseiro, o bloqueio do diferencial dianteiro, a redução à caixa de transferência e o bloqueio do diferencial da caixa de transferência (caso o veículo seja um 4x4 permanente) ou do mecanismo de acoplamento à ponte dianteira (caso seja 4x4 não permanente). Devido à sua extensão, os testes SAROCA podem ser excluídos das inspeções diárias, devendo ser executados no mínimo uma vez por mês e após os combates a incêndio onde tenham sido utilizados estes sistemas.

O bom funcionamento dos sistemas de tração é crucial na deslocação fora de estrada sendo de extrema importância garantir que trabalham corretamente, pois podem ser a diferença entre progredir no terreno ou ficar atolado. Ao executar os testes também se desenvolve o conhecimento sobre os sistemas em questão e qual a maneira correta de os ativar e utilizar.

Quando uma anomalia é encontrada esta deve ser registada e tratada no momento, caso seja possível, evitando assim um agravamento da falha. Em situação contrária, a informação deve ser transmitida e acionados os devidos meios para que a reparação seja efetuada.

Depois de uma ocorrência (combate a um incêndio) todas estas tarefas devem ser repetidas, dando especial importância à limpeza do veículo, à limpeza dos filtros de ar e do habitáculo e enchimento dos tanques de combustível e de água.

De forma a realizar todos estes procedimentos, sem que haja esquecimento de algum, as CB utilizam diferentes métodos: por exemplo, os BV de Fátima utilizam uma lista de verificação (*checklist*), como exemplificado parcialmente na Figura 4.1; já os BV de Minde utilizam uma aplicação de telemóvel. A *checklist* completa pode ser encontrada no Anexo B.

Para assegurar que se mantém a atenção aos detalhes, as verificações são feitas por operacionais diferentes no dia seguinte, podendo os segundos descobrir algo que tenha escapado aos primeiros.

Operações Efetuadas Em: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_:\_\_\_\_

---

**1 DADOS DO VEÍCULO**

Marca:	Kms:	Matrícula:	-	-
Modelo:	Horas Bomba:	Val. Seguro:	-	-
		Val. IPO:	-	-

---

**2 NÍVEIS DE FLUIDOS**

Óleo do Motor	Comput	CAV	V	1/4	1/2	3/4	4/4	Combustível	Comput	CAV	V	1/4	1/2	3/4	4/4	
Óleo da Direção	Comput	NA	V	1/4	1/2	3/4	4/4	Ad Blue	Comput	CAV	NA	V	1/4	1/2	3/4	4/4
Óleo de Travões	Comput	NA	V	1/4	1/2	3/4	4/4	Combustível Motobomba		CAV	V	1/4	1/2	3/4	4/4	
Óleo Embraiagem	Comput	NA	V	1/4	1/2	3/4	4/4	Água / Líquido de Refrigeração		CAV	V	1/4	1/2	3/4	4/4	
Óleo Multiplicador Bomba		NA	V	1/4	1/2	3/4	4/4	Líquido Limpa Pára-Brisas		CAV	V	1/4	1/2	3/4	4/4	

---

**3 SISTEMA ELÉCTRICO - SINALIZAÇÃO**

Luzes Interiores Cabine	NA OP INOP			Luzes Interiores Cofres	NA OP INOP		
<b>Frente</b>	<b>Esquerdo</b>	<b>Direito</b>	<b>Traseira</b>	<b>Esquerdo</b>	<b>Direito</b>		
Luzes Mínimos	OP INOP	OP INOP	Luzes Presença	OP INOP	OP INOP		
Luzes Médios	OP INOP	OP INOP	Luzes Travagem (Stop)	OP INOP	OP INOP		
4 Piscas	OP INOP	OP INOP	4 Piscas	OP INOP	OP INOP		
Luzes Máximos	OP INOP	OP INOP	Luzes Nevoeiro	NA OP INOP	NA OP INOP		
Luzes Nevoeiro	NA OP INOP	NA OP INOP	Luzes Marcha Retaguarda	NA OP INOP	NA OP INOP		
Indicador Mudança Direção	OP INOP	OP INOP	Indicador Mudança Direção	OP INOP	OP INOP		
Rotativos/Ponte/Strob's	NA OP INOP	NA OP INOP	Rotativos/Ponte/Strob's	NA OP INOP	NA OP INOP		
Luzes Sinalizadoras Laterais	NA OP INOP	NA OP INOP	Luzes Matrícula	NA OP INOP	NA OP INOP		
Projetores	NA OP INOP	NA OP INOP	Projetores	NA OP INOP	NA OP INOP		

Figura 4.1. Checklist das verificações técnicas de um VFCl (fonte<sup>1</sup>: BV de Fátima).

<sup>1</sup> Facultado diretamente ao autor.

No caso das revisões devem seguir-se as especificações dos fabricantes que aconselham substituições de óleos e filtros consoante um número de quilómetros efetuados ou um intervalo de tempo decorrido. Estes valores variam dependendo da marca da viatura; porém, quase todas as CB efetuam a revisão aos veículos, a cada um ou dois anos (no primeiro ano apenas verificam e limpam os filtros e repõem os níveis corretos de óleo e, no ano seguinte, substituem-nos e, assim sucessivamente), pois estes nunca atingem a quilometragem mínima para as substituições. Também é importante referir que os veículos de combate a incêndio com bomba acoplada ficam em funcionamento durante o combate, logo, apesar dos quilómetros não aumentarem, existe degradação dos óleos, pelo que se deve ter em consideração também as horas de funcionamento da bomba, caso a viatura tenha sido bastante utilizada.

Os VFCl são veículos de resposta a emergências e é necessário que estejam na melhor condição possível sempre disponíveis para qualquer ocorrência, uma vez que, não só a segurança dos bombeiros, como também a da restante população, está dependente do seu bom funcionamento. Também o custo destas viaturas e reparação dos seus equipamentos é bastante elevado, logo, um bom plano de manutenção pode resultar numa redução de custos a longo prazo ao prevenir longos períodos de inoperabilidade devido a falhas catastróficas que advêm do desgaste contínuo e negligência por parte dos responsáveis. Se as viaturas não forem devidamente cuidadas aumenta a probabilidade de estas falharem, o que compromete a capacidade de atuação das CB, não só no combate direto aos incêndios como também no socorro à população, chegando até a pôr em risco a sua própria segurança.

## **4.2. FMECA**

Para aplicar uma FMECA a um VFCl, em primeiro lugar foi necessário decompor o veículo nos seus sistemas mecânicos mais importantes e, de seguida, dividir esses sistemas em seus principais componentes, descrevendo qual a função de que cada um. Tendo o veículo dividido em subsistemas e seus componentes é necessário identificar quais os modos de falha mais prováveis de cada um e quais serão os seus efeitos no veículo. De seguida propõe-se uma potencial causa para o dito efeito e qual será a ação de tratamento a executar para repor o funcionamento correto da viatura.

Para realizar a FMECA propriamente dita serão atribuídos graus de severidade (S), de probabilidades de ocorrência (O) e de detetabilidade (D), que estão relacionados com

o efeito, a potencial causa e a ação de tratamento, respetivamente. Estes fatores vão ser multiplicados para obter o risco de falha (R) (Shrehari & Srinivasan, 2016).

A severidade classifica a gravidade do efeito numa escala de um a dez sendo que  $S = 1$  é insignificante e  $S = 10$  é catastrófico, como pode ser observado na Tabela 4.1. A probabilidade de ocorrência estima qual a hipótese de a falha ocorrer naquele componente e é também medida de um a dez, onde  $O = 10$  é uma falha persistente e  $O = 1$  é uma falha improvável, de acordo com a Tabela 4.2. Cada falha tem também uma probabilidade de ser ou não detetada e serem aplicadas as devidas ações de tratamento, a escala varia também de uma a dez, e tal como indicado na Tabela 4.3, quando a detetabilidade é certa atribui-se  $D = 1$  e, quando a detetabilidade é praticamente impossível atribui-se  $D = 10$  (Kumar & Mondloi, 2018).

**Tabela 4.1.** Classificação da severidade (S).

<b>Severidade (S)</b>	
Descrição do efeito	Classificação
Efeito insignificante. Corrigido imediatamente pelo operador	1
Efeito praticamente insignificante. Corrigido pela manutenção	2
Efeito mínimo. Desgaste gradual. Reparação é necessária	3
Efeito reduzido. Componente não executa a sua função. Necessita de manutenção	4
Efeito leve. Existência de ruído e vibrações. Reparação necessária	5
Efeito moderado, veículo é operável. Conforto e desempenho comprometidos. Substituição necessária	6
Efeito grave. Desempenho muito comprometido. Necessário trabalho extensivo de reparação	7
Efeito muito grave. Veículo inoperável. Revisão e reparação do veículo é necessária	8
Perigoso. Veículo com manutenção mal efetuada. Necessita de revisão completa	9
Catastrófico. Põe em risco o operador	10

**Tabela 4.2.** Classificação da probabilidade de ocorrência (O).

<b>Probabilidade de Ocorrência (O)</b>		
Probabilidade de falha	Possível taxa de falha	Classificação
Muito alta: falhas persistentes	>100 em cada 1000 veículos/componentes	10
	±50 em cada 1000 veículos/componentes	9
Alta: falhas frequentes	±20 em cada 1000 veículos/componentes	8
	±10 em cada 1000 veículos/componentes	7
Moderada: falhas ocasionais	±5 em cada 1000 veículos/componentes	6
	±2 em cada 1000 veículos/componentes	5
	±1 em cada 1000 veículos/componentes	4
Baixa: falhas raras	±0.5 em cada 1000 veículos/componentes	3
	±0.1 em cada 1000 veículos/componentes	2
Remota: falhas improváveis	±0.01 em cada 1000 veículos/componentes	1

**Tabela 4.3.** Classificação da detetabilidade (D).

<b>Detetabilidade (D)</b>		
Deteção	Descrição	Classificação
Certa	A deteção é certa	1
Muito alta	A deteção é muito provável	2
Alta	A deteção é provável	3
Moderadamente alta	Boa probabilidade de deteção	4
Moderada	A probabilidade de deteção é moderada	5
Moderadamente baixa	A falha talvez seja detetada	6
Baixa	A deteção é difícil	7
Muito Baixa	A deteção é muito difícil	8
Remota	A deteção é improvável	9
Impossível	Probabilidade quase nula de deteção	10

Após serem atribuídos os graus S, O e D calcula-se o R, multiplicando os três fatores. O componente que apresentar um maior valor de R será aquele que representa um maior risco para o bom funcionamento da viatura, sendo este um componente a ter em atenção aquando da manutenção.

Para elaborar a FMECA foi feita uma primeira abordagem *a priori* que será identificada como “Pressuposto”; posteriormente pediu-se a colaboração dos BV de Fátima, dos BV de Minde e dos BM de Alcanena de forma a utilizar dados baseados na experiência dos bombeiros que integram estas corporações. Por fim, optou-se por utilizar a média resultante dos dados adquiridos nas três CB de forma a obter um R mais fiável e, também

comparar essa média com os valores pressupostos. Os resultados apresentados estão realçados com quatro cores diferentes, que classificam o risco de falha, da seguinte forma:

- i) Verde: valores inferiores a 50, componentes com baixa frequência de falha e pouca gravidade, pode ser executada manutenção corretiva;
- ii) Amarelo: valores de  $[50 ; 100[$ , componentes com algum risco de falha, mas pouca gravidade, necessitam de controlo de condição;
- iii) Laranja: valores de  $[100 ; 150]$ , componentes a ter em atenção aquando da inspeção e manutenção, devem ser revistos regularmente;
- iv) Vermelho: valores superiores a 150, componentes críticos que requerem maior atenção durante a inspeção e elevado nível de manutenção preventiva para evitar falhas.

### 4.3. Lógica difusa

Para utilizar esta técnica recorreu-se à aplicação *Fuzzy Logic Toolbox*, que é um *Add-on* para o programa MATLAB, e utilizaram-se os dados facultados pelas CB, tal como previamente na FMECA.

Assim, em primeiro lugar, definiram-se os parâmetros de entrada: severidade (S), ocorrência (O) e detetabilidade (D), e para cada um deles foram definidos valores numéricos e respetivos termos linguísticos, criando assim os seus conjuntos difusos.

Tal como na FMECA, a severidade foi classificada de zero a dez; porém, na lógica difusa é dividida em cinco conjuntos diferentes, sendo eles: Severidade Muito Baixa (MB), Severidade Baixa (B), Severidade Moderada (M), Severidade Alta (A) e Severidade Muito Alta (MA), que representam a gama da gravidade da falha onde uma falha insignificante é representada por MB e uma falha catastrófica corresponde a MA. As relações entre os valores numéricos e os termos linguísticos estão representadas na Tabela 4.4 e os conjuntos difusos da severidade na Figura 4.2.

Tabela 4.4. Relações para a severidade (S).

Severidade (S)					
Classificação	<1	3	5	7	>9
Termo Linguístico	Insignificante	Ligeira	Moderada	Grave	Catastrófica
Conjunto Difuso	MB	B	M	A	MA

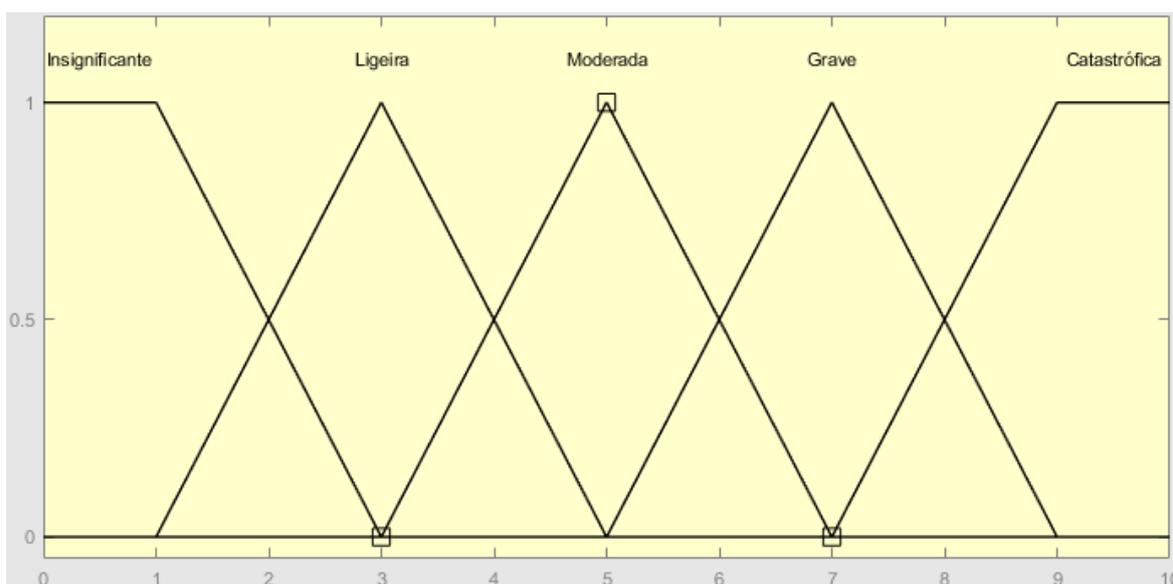


Figura 4.2. Conjuntos difusos para a severidade (S).

A ocorrência foi também dividida em cinco conjuntos: Ocorrência Muito Baixa (MB), Ocorrência Baixa (B), Ocorrência Moderada (M), Ocorrência Alta (A) e Ocorrência Muito Alta (MA), sendo uma falha improvável classificada como MB e uma falha persistente classificada como MA. As restantes relações podem ser consultadas na Tabela 4.5 e os respetivos conjuntos difusos na Figura 4.3.

Tabela 4.5. Relações para a ocorrência (O).

Ocorrência (O)					
Classificação	1	3	5	7	10
Termo Linguístico	Improvável	Rara	Ocasional	Frequente	Persistente
Conjunto Difuso	MB	B	M	A	MA

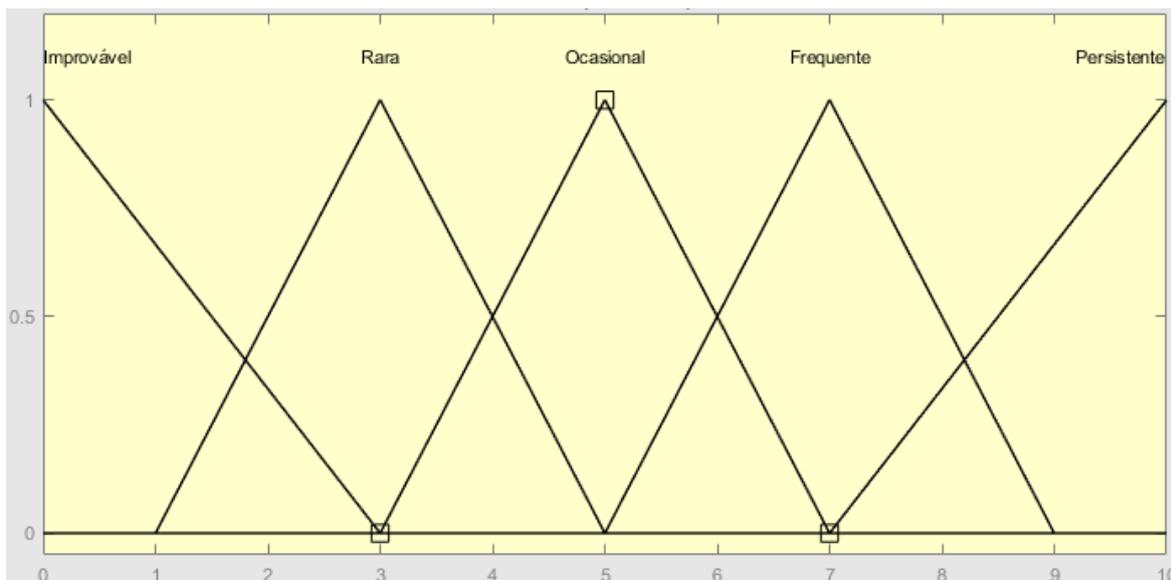


Figura 4.3. Conjuntos difusos para a ocorrência (O).

O último parâmetro de entrada é a detetabilidade; esta foi dividida em quatro grupos, sendo eles: Detetabilidade Muito Baixa (MB), Detetabilidade Baixa (B), Detetabilidade Alta (A) e Detetabilidade Muito Alta (MA). Quando uma falha pode ser facilmente detetada por qualquer bombeiro afirma-se que a detetabilidade é certa e classifica-se com MA; se por outro lado for necessário alguém especializado para detetar a falha, esta caracteriza-se como detetabilidade remota, MB. As relações para a detetabilidade encontram-se na Tabela 4.6 e os seus conjuntos difusos ilustrados na Figura 4.4.

Tabela 4.6. Relações para a detetabilidade (D).

Detetabilidade (D)				
Classificação	<1	3	5	>7
Termo Linguístico	Certa	Elevada	Reduzida	Remota
Conjunto Difuso	MA	A	B	MB

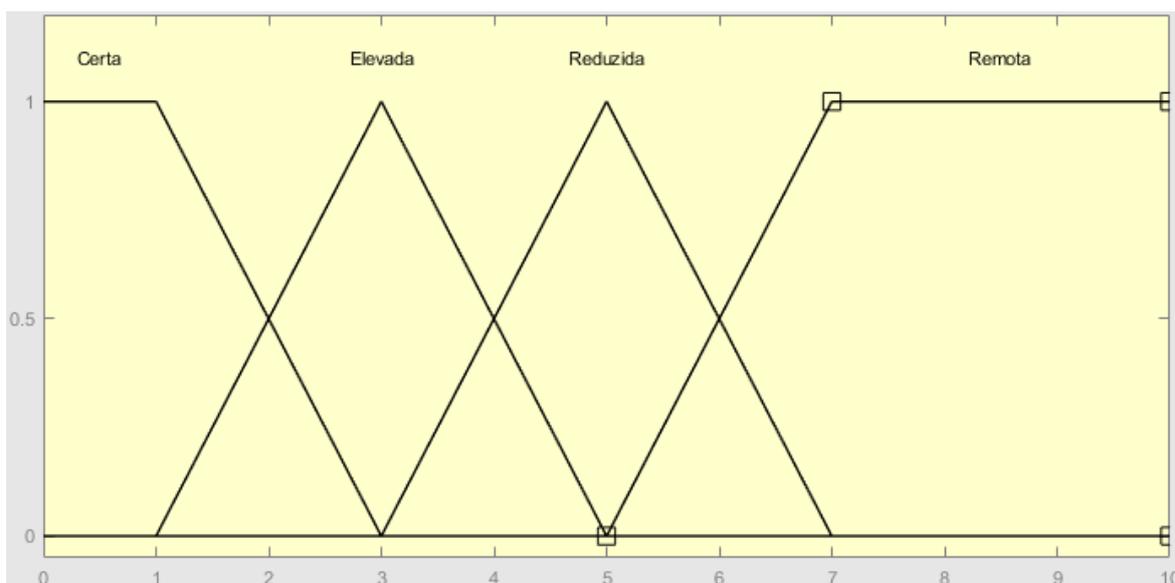


Figura 4.4. Conjuntos difusos para a detetabilidade (D).

De seguida é necessário definir as regras de inferência. Uma vez que a criticidade (RPN - *Risk Priority Number*) depende de S, O e D, vão existir cem regras que relacionam estes três parâmetros de entrada, de forma a atribuir a cada combinação o respetivo conjunto difuso do RPN.

Tabela 4.7. Resultados do RPN quando D = MA.

D = MA						
RPN		O				
		MB	B	M	A	MA
S	MB	MB	MB	MB	MB	MB
	B	MB	MB	MB	B	B
	M	MB	B	B	B	B
	A	B	B	B	M	M
	MA	B	B	M	M	A

**Tabela 4.8.** Resultados do RPN quando D = A.

<b>D = A</b>						
<b>RPN</b>		<b>O</b>				
		<b>MB</b>	<b>B</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>MA</b>
<b>S</b>	<b>MB</b>	MB	MB	B	B	B
	<b>B</b>	B	B	B	B	M
	<b>M</b>	B	B	B	M	M
	<b>A</b>	B	M	M	A	A
	<b>MA</b>	M	M	A	A	A

**Tabela 4.9.** Resultados do RPN quando D = B.

<b>D = B</b>						
<b>RPN</b>		<b>O</b>				
		<b>MB</b>	<b>B</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>MA</b>
<b>S</b>	<b>MB</b>	B	B	B	B	M
	<b>B</b>	B	B	M	M	M
	<b>M</b>	M	M	M	A	A
	<b>A</b>	M	M	A	A	MA
	<b>MA</b>	M	A	MA	MA	MA

Tabela 4.10. Resultados do RPN quando D = MB.

D = MB						
RPN		O				
		MB	B	M	A	MA
S	MB	B	B	M	M	M
	B	M	M	M	A	A
	M	M	M	A	A	MA
	A	M	A	MA	MA	MA
	MA	A	MA	MA	MA	MA

De acordo com as relações apresentadas nas Tabela 4.7 a Tabela 4.10, inserem-se as regras de inferência na aplicação de lógica difusa, tal como exemplificado parcialmente na Figura 4.5. Por exemplo, numa falha com Severidade Insignificante (S = MB), Ocorrência Improvável (O = MB) e Detetabilidade Certa (D = MB), a sua Criticidade será Muito Baixa (RPN = MB). As cem regras de inferência, juntamente com os gráficos tridimensionais que representam a criticidade em função dos dados de entrada, estão disponíveis no Anexo C.

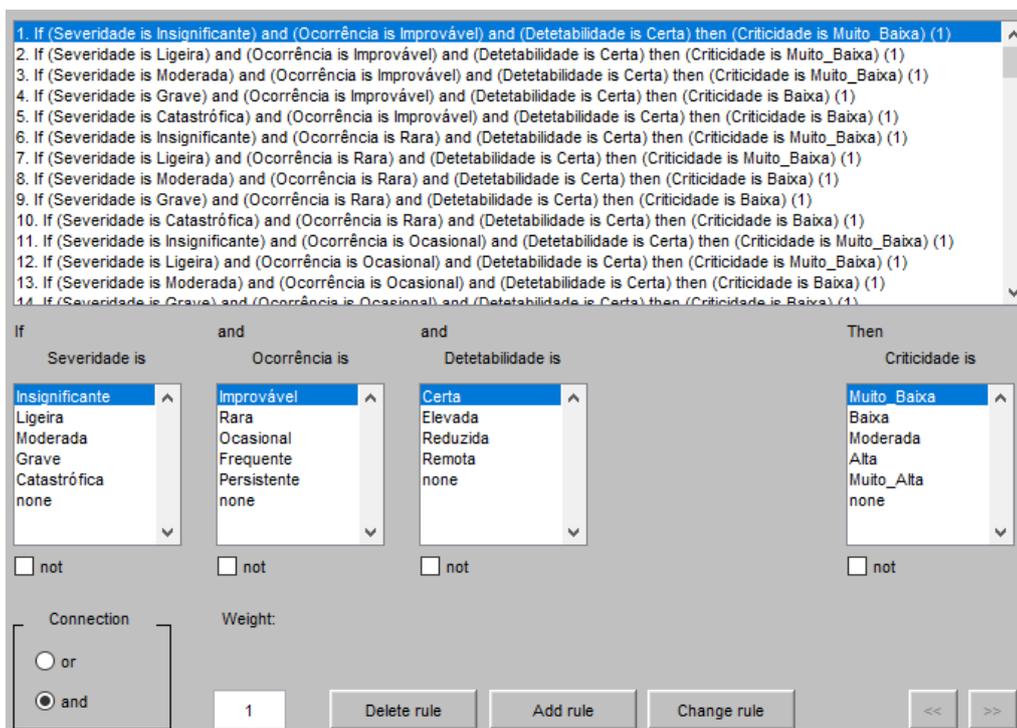


Figura 4.5. Regras de inferência.

Os RPN são os resultados de saída, que também têm o seu grupo de conjuntos difusos, tal como apresentado na Figura 4.6, dividindo-se a criticidade em: Criticidade Muito Baixa ( $RPN < 22.5$ ), Criticidade Baixa ( $22.5 < RPN < 37.5$ ), Criticidade Moderada ( $37.5 < RPN < 52.5$ ), Criticidade Alta ( $52.5 < RPN < 67.5$ ) e Criticidade Muito Alta ( $67.5 < RPN$ ).

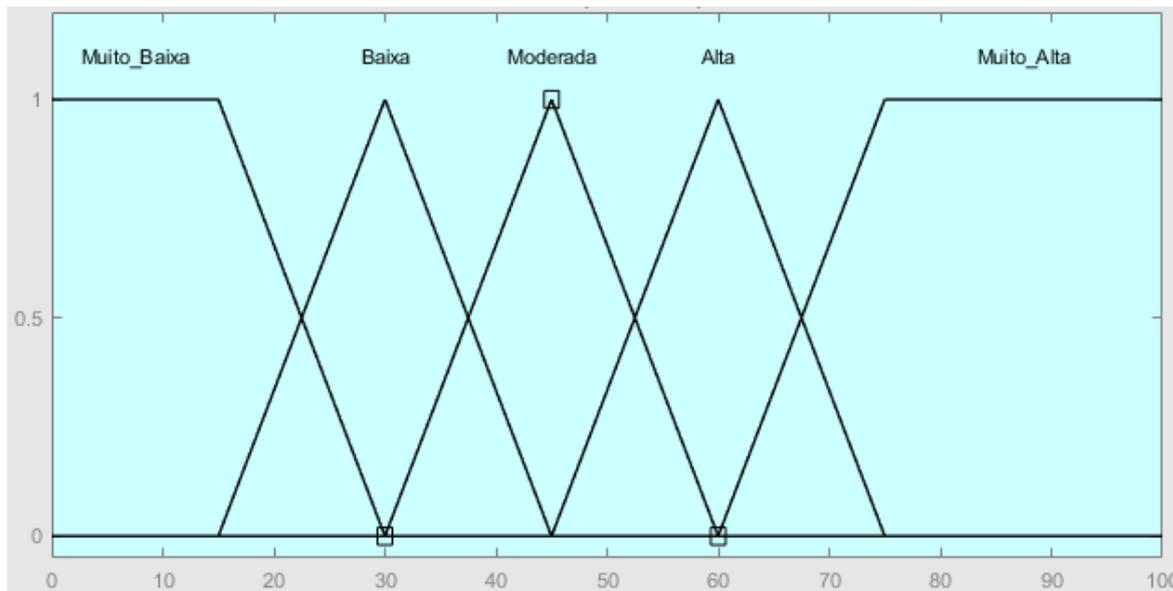


Figura 4.6. Conjuntos difusos para a criticidade (RPN).

Tendo todas as variáveis e regras inseridas no programa escolheu-se, como método de *desfuzificação*, o método do centróide para obter qual o valor numérico do RPN, ficando assim o programa pronto a ser utilizado para a obtenção de resultados, tal como mostra a Figura 4.7.

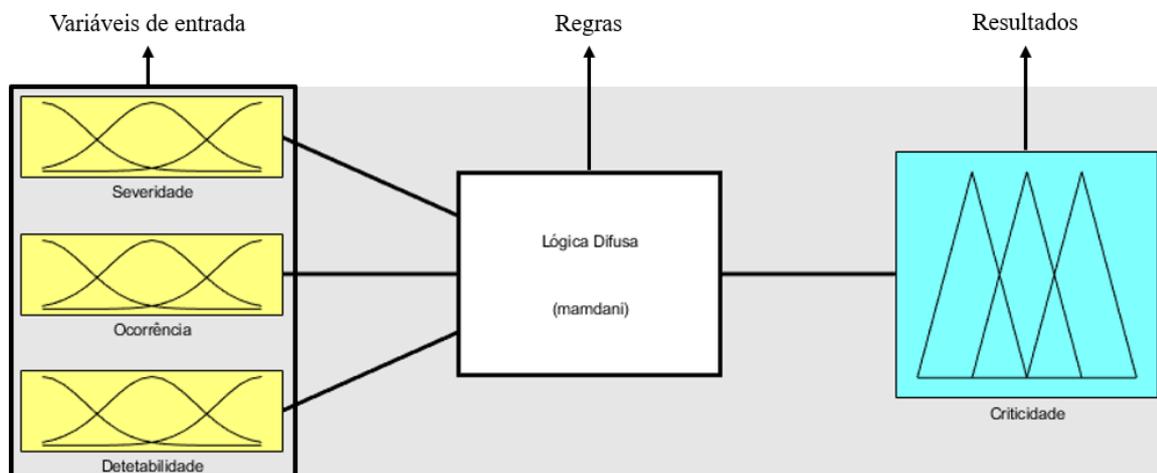
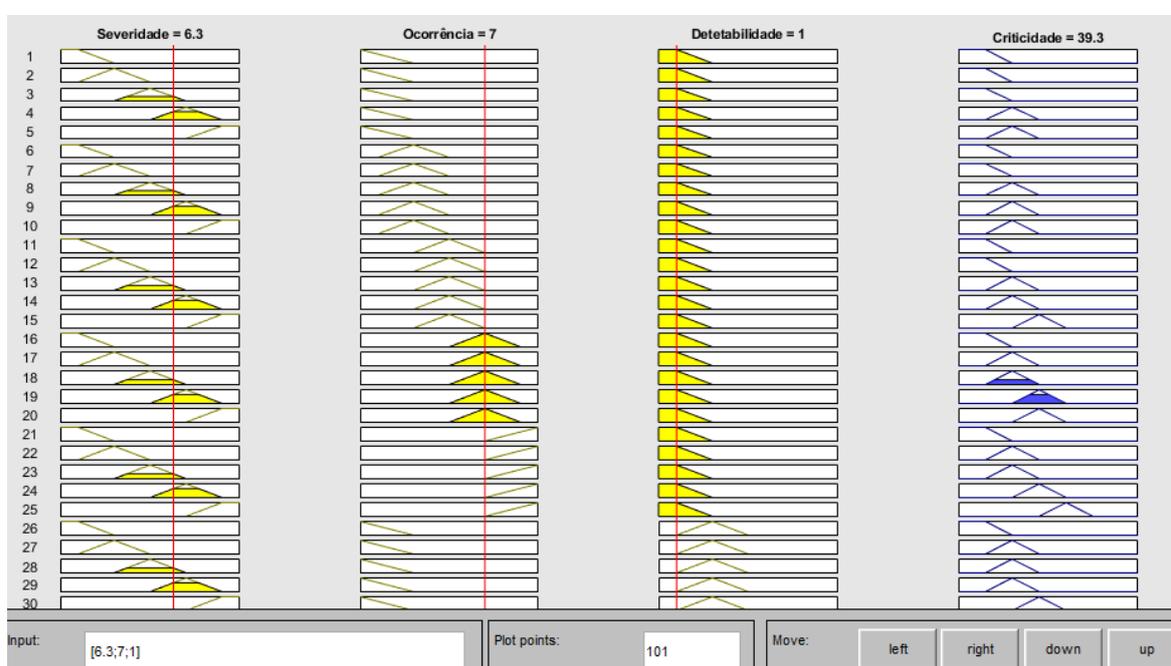


Figura 4.7. Programa de Lógica Difusa executado em MATLAB.

Utilizando os mesmos sistemas e componentes que foram utilizados para a FMECA, bem como a média dos graus de S, O e D de cada falha, vão ser calculados os respectivos RPN, de acordo com as regras de inferência definidas anteriormente.

Ao inserir como dados de entrada os graus de S, O e D, o programa responde com um valor para RPN. Por exemplo, um pneu furado tem os seguintes parâmetros:  $S = 6.3$ ,  $O = 7$  e  $D = 1$  e, ao colocá-los na caixa de texto *Input* a sua criticidade será calculada pelo programa de lógica difusa, neste caso  $RPN = 39.3$ , tal como exemplificado na Figura 4.8.



**Figura 4.8.** Funcionamento do programa de Lógica Difusa.

A utilização deste método permite atribuir diferentes relevâncias aos parâmetros de entrada e, tal como se pode verificar nas tabelas de resultados do RPN, foi imputada maior expressão à severidade e à detetabilidade, uma vez que um elevado grau de severidade é perigoso e uma baixa detetabilidade leva ao agravamento da falha por não ser identificada. Por outro lado, uma probabilidade de ocorrência elevada quer dizer que o problema já é recorrente, os seus efeitos já são conhecidos e já deverá existir uma solução para ele, daí este ser o parâmetro de entrada com menos relevo.

Na análise utilizando lógica difusa, os resultados apresentados estão realçados apenas em três cores, de acordo com a Figura 4.6, da seguinte forma:

- i) Verde: valores inferiores a 37.5, criticidade baixa ou muito baixa, componentes com baixa frequência de falha e pouca gravidade, pode ser executada manutenção corretiva;
- ii) Amarelo: valores de [37.5 ; 52.5[, criticidade moderada, componentes com algum risco de falha e moderada gravidade, necessitam de atenção aquando da inspeção e manutenção, devem ser revistos regularmente;
- iii) Vermelho: valores superiores a 52.5, criticidade alta ou muito alta, componentes críticos que requerem maior atenção durante a inspeção e elevado nível de manutenção preventiva para evitar falhas.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. FMECA

Neste capítulo serão apresentados os resultados médios obtidos através da colaboração dos bombeiros e também os resultados pressupostos numa primeira abordagem.

A FMECA completa que inclui todos os sistemas com a descrição da função e apresenta discriminadamente quais os graus atribuídos por cada CB, encontra-se em maior dimensão e detalhe no Anexo D, estando aqui apresentado apenas o necessário para análise.

#### 5.1.1. Motor

Órgão propulsor, converte a energia química em energia térmica pela combustão e, por sua vez, em energia mecânica responsável pelo movimento do veículo.

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	Severidade		Potencial Causa	Probabilidade de Ocorrência		Ação de Tratamento	Detetabilidade		Risco de Falha	
			Pressuposto	Média		Pressuposto	Média		Pressuposto	Média	Pressuposto	Média
Ignição	não inflama a mistura	motor não arranca	4	9,3	bateria descarregada/velas queimadas	6	3,7	substituir a bateria/velas	1	1,3	24	46
	inflama incorretamente	motor com desempenho inferior	6	7,7	danos nos cabos de vela	4	2,3	substituir os cabos	4	1,7	96	30
Injeção	fuga de combustível	deperdição de combustível	6	5,7	injetor avariado	2	3,7	substituir injetor	2	8,3	24	156
	baixo desempenho	afeta o desempenho do motor	6	5,7	centralina danificada	2	2,0	verificar a centralina	4	9,3	48	106
	não atinge a pressão máxima de combustão	afeta o desempenho do motor	6	5,7	centralina danificada	2	2,0	verificar a centralina	4	9,3	48	106
	combustão incompleta	poluição/dimenos eficiência	3	5,0	injetor avariado	3	2,3	substituir injetor	4	8,3	36	139
Lubrificação	nada	danos nas partes motoras	5	5,0	fugas de óleo	6	5,3	substituir vedantes/juntas	2	1,0	60	27
	pressão incorreta na câmara de combustão	diminui eficiência	6	6,0	deterioração da válvula	2	2,7	substituir válvulas	7	9,0	84	144
Câmara de Combustão	fuga de combustível	risco de acidente	10	10,0	fachadura interna devido ao desgaste	1	2,0	verificar estado da câmara de combustão	5	7,7	50	185
	Pinches/velas	danos no motor	8	8,0	fechadura interna devido ao desgaste	4	2,0	substituir pinches/velas	2	3,7	44	59
Seguros	fuga de combustível	perda de potência	6	6,3	desgaste do segmento	6	4,3	substituir segmentos	2	6,3	72	174
	Admissão	baixo desempenho	6	6,7	desgaste do filtro de ar	4	6,0	limpar/substituir o filtro	2	4,0	48	160
Refrigeração	fuga de água	sobreaquecimento do motor	4	7,3	tubo roto	7	4,7	substituir o tubo	2	2,3	56	80
	Combustão	nada	7	7,3	desgaste dos rolamentos	2	2,7	substituir os rolamentos	2	4,7	28	91

Figura 5.1. FMECA do motor.

Como se pode observar na Figura 5.1, as avarias que podem ser consideradas mais graves são fugas de combustível devido ao elevado perigo e baixa detetabilidade e, também, problemas quanto à admissão que podem resultar de filtros de ar entupidos ou degradados devido aos fumos e poeiras característicos do combate a incêndios florestais.

#### 5.1.2. Caixa de velocidades

A caixa de velocidades desmultiplica o movimento recebido pelo motor; em conjunto com a embraiagem permite que o veículo efetue mudanças de velocidade com suavidade, mantendo o mesmo regime de funcionamento do motor. Apesar da maior parte dos VFCI possuírem caixa manual, foram também incluídos componentes de caixas automáticas, devidamente identificados.

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	Severidade		Potencial Causa	Probabilidade de Ocorrência		Ação de Tratamento	Detectabilidade		Risco de Falha	
			Pressuposto	Média		Pressuposto	Média		Pressuposto	Média	Pressuposto	Média
conversor de binário (automática)	fuga de óleo (ATF)	sobreaquecimento	6	7,0	desgaste dos vedantes	6	4,7	substituir os vedantes	2	2,0	72	65
engrenagens planetárias (automática)	trepidação na mudança de velocidade	danos nas engrenagens	7	6,0	desgaste das engrenagens	2	4,3	verificar e substituir os elementos danificados	4	7,3	56	101
disco de embraiagem (manual)	irregularidade na superfície de contacto	dificuldade ao engrenar uma velocidade	7	6,7	utilizar o pedal de forma brusca	3	3,7	substituir o disco de embraiagem	2	4,3	42	106
	desgaste total da superfície de contacto	veículo não se move	8	9,3	desgaste contínuo	2	3,3	substituir o disco de embraiagem	1	1,7	16	53
engrenagens (manual)	trepidação na mudança de velocidade	danos nas engrenagens	7	6,0	desgaste das engrenagens	2	4,3	verificar e substituir os elementos danificados	4	7,3	56	101
rolamentos	ruido	retarda a aceleração	5	6,0	desgaste do rolamento	5	3,7	substituir os rolamentos	3	5,3	75	111

Figura 5.2. FMECA da caixa de velocidades.

Nas caixas de velocidades, o maior perigo advém do eventual desgaste das engrenagens que, apesar de terem uma baixa probabilidade de falha, têm uma alta severidade e baixa probabilidade de deteção, sendo que, muitas vezes, só é detetado o problema já numa fase avançada em que se torna impossível engrenar certas mudanças, conforme pode ser verificado na Figura 5.2.

### 5.1.3. Caixa de transferência

A caixa de transferência recebe o movimento da caixa de velocidades e transmite-o, através de engrenagens ou correntes, para os veios de transmissão do diferencial traseiro, do diferencial frontal e da bomba acoplada. É também esta caixa que permite alternar entre velocidade normal ou reduzida, caso seja necessária velocidade ou força de tração, respetivamente.

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	Severidade		Potencial Causa	Probabilidade de Ocorrência		Ação de Tratamento	Detectabilidade		Risco de Falha	
			Pressuposto	Média		Pressuposto	Média		Pressuposto	Média	Pressuposto	Média
engrenagens/corrente	ruido	falha no tração dianteira	7	7,7	desgaste das engrenagens/quebra da corrente	1	2,0	verificar e substituir os elementos danificados	1	2,0	7	31
vedantes	fuga de óleo	sobreaquecimento dos componentes móveis	6	7,3	desgaste dos vedantes	6	2,7	substituir os vedantes	2	1,3	71	26
rolamentos	ruido	retarda a aceleração	5	6,3	desgaste do rolamento	5	2,3	substituir os rolamentos	3	5,0	75	74

Figura 5.3. FMECA da caixa de transferência.

De acordo com a Figura 5.3, a caixa de transferência é um sistema que não necessita de muita atenção, pois apresenta baixa criticidade de falhas, ao realizar os ensaios de conformidade (testes SAROCA e teste da bomba acoplada) consegue-se facilmente identificar qualquer problema que esta possa apresentar.

### 5.1.4. Diferenciais

Os diferenciais (frontal e traseiro) são mecanismos que permitem que as rodas do mesmo eixo girem em velocidades diferentes em curva, ou em situações específicas, normalmente fora de estrada; podem ser bloqueados fazendo com que as rodas girem à mesma velocidade de forma a poder ultrapassar um obstáculo. Os seus componentes principais estão exemplificados na Figura 5.4.

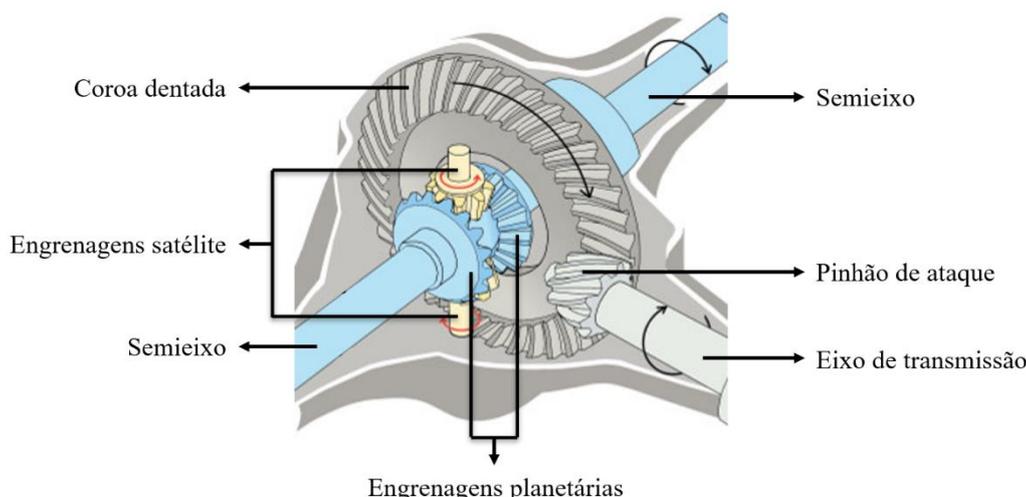


Figura 5.4. Componentes de um diferencial (Adaptado de: MotorConsult).

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	Severidade		Potencial Causa	Probabilidade de Ocorrência		Ação de Tratamento	Detetabilidade		Risco de Falha	
			Pressuposto	Média		Pressuposto	Média		Pressuposto	Média	Pressuposto	Média
pinhão de ataque	perda de transmissão	veículo não se move corretamente	7	8.3	desgaste/fratura das engrenagens	5	2.0	substituir as engrenagens danificadas	3	2.0	105	33
coroa dentada			7	8.3		5	2.0		3	2.0	105	33
engrenagens satélite			7	8.3		5	2.0		3	2.0	105	33
engrenagens planetárias			7	8.3		5	2.0		3	2.0	105	33
vedantes	fuga de lubrificante	sobreaquecimento dos componentes móveis	6	7.3	desgaste dos vedantes	6	3.0	substituir os vedantes	2	1.3	72	29
rolamentos	ruido	retarda a aceleração	5	6.0	desgaste do rolamento	5	2.7	substituir os rolamentos	3	4.3	75	69

Figura 5.5. FMECA dos diferenciais.

Também devido aos ensaios de conformidade, o estado dos diferenciais vai sendo acompanhado durante as inspeções, pelo que raramente apresentam falhas, como se conclui a partir da Figura 5.5.

### 5.1.5. Travões

A função dos travões é abrandar a velocidade do veículo, por vezes até à sua paragem por completo. Os sistemas de travagem convencionais podem ser hidráulicos ou pneumáticos, de tambores ou discos; neste caso apenas serão tratados os travões pneumáticos de disco.

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	Severidade		Potencial Causa	Probabilidade de Ocorrência		Ação de Tratamento	Detetabilidade		Risco de Falha	
			Pressuposto	Média		Pressuposto	Média		Pressuposto	Média	Pressuposto	Média
pedal	pedal fraco	aumento da distância de travagem	5	6.7	vapor de água no sistema de travagem	3	3.7	limpar/limpar o circuito	4	1.7	100	41
compressor	ruido	aumento do tempo para colocar a circuito na pressão adequada	5	5.3	danos no motor do compressor	3	3.0	verificar o estado do compressor	3	3.3	45	53
intertravos/circuito	funcionamento contínuo do compressor	sobreaquecimento do compressor	4	4.0	fuga de ar do sistema	6	4.0	substituir o elemento com a fuga	5	2.7	120	64
pastilhas de travão	ruido estridente	aumento da distância de travagem/desgaste dos discos	6	6.0	desgaste/rua qualidade das pastilhas	3	5.3	substituir as pastilhas de travão	1	3.3	24	107
discos	vibrações ao travar	falta de estabilidade na travagem	7	5.3	desgaste/distorção dos discos	3	6.0	substituir os discos	3	3.0	63	90
câmara de travagem	trechos (fuga de ar)	difícil na travagem de uma das rodas	5	4.0	furo do diafragma	3	3.7	verificar/substituir a câmara de travagem	4	2.3	100	68

Figura 5.6. FMECA dos travões.

Segundo a Figura 5.6, a falha mais grave indicada é o desgaste das pastilhas de travão que, sendo um problema comum, facilmente se identifica e resolve através da manutenção. Também é necessário ter em atenção o estado dos discos que, muitas vezes se encontram oxidados e degradados, representando assim um perigo para os ocupantes do veículo e também para os restantes utentes da via pública.

### 5.1.6. Suspensão

A suspensão tem a finalidade de absorver as vibrações e impactos provocados por irregularidades no terreno. Especialmente nos VFCI, este sistema é fundamental devido aos percursos acidentados que estes têm de transpor.

Normalmente, a suspensão pode ser pneumática, de molas de lâminas ou de molas helicoidais. O sistema mais utilizado em VFCI é a suspensão de molas de lâminas; porém, optou-se por analisar também a suspensão pneumática que, apesar de ter várias vantagens, é mais dispendiosa e, por isso, não costuma ser utilizada neste tipo de veículos de combate a incêndios.

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	Severidade		Probabilidade de Ocorrência		Ação de Tratamento	Detetabilidade		Risco de Falha		
			Pressuposto	Média	Pressuposto	Média		Pressuposto	Média	Pressuposto	Média	
compressor	ruído	aumento do tempo para obter a pressão adequada	5	4.0	falha no motor do compressor	1	2.7	verificar o estado do compressor	1	3.3	45	44
cilindro/cavidade de ar comprimido	funcionamento contínuo do compressor	sobreaquecimento do compressor	4	6.0	fuga de ar do sistema	6	3.3	substituir o elemento com a fuga (cilindros/manifecoras/válvulas)	5	3.0	120	48
bolígrafo pneumática	deflexão para o lado da suspensão danificada	descontrolo na condução	6	8.3	fuga de ar/degase do mola	5	2.7	substituir o fole danificado	5	5.7	90	126
lâminas	lâminas partidas	descontrolo na condução	5	4.3	substancia/degase	1	3.3	substituir as lâminas partidas	1	3.3	45	34
parafusos grampos II	suspensão "relaxada"	perigo de deslizarmento do veículo	9	8.3	degradação/controlo	4	2.3	substituição do parafusos II	3	2.0	108	39
parafusos central	população	travões cheques durante a condução	4	3.7	parafusos II desparafusado	1	3.3	verificar o aperto do parafusos II	1	6.0	100	71
			6	4.3	parafusos I solto	1	2.7	substituir o parafusos central	4	5.7	72	65

Figura 5.7. FMECA da suspensão.

Através da Figura 5.7 verifica-se que, no caso da suspensão pneumática, a falha que apresenta maior criticidade é o desgaste do fole da mola que leva a uma instabilidade e desequilíbrio na condução do veículo, uma vez que esta deixa de ser capaz de reter a quantidade necessária de ar. No que toca à suspensão por feixe de molas, as falhas mais relevantes estão relacionadas com os parafusos que mantêm as lâminas unidas; estes podem desapertar ou partir, o que compromete a aptidão da suspensão.

Pode também concluir-se que a suspensão pneumática apresenta maior risco que a suspensão por molas de lâminas e a sua manutenção seria mais dispendiosa, daí não ser utilizada.

### 5.1.7. Rodas

As rodas (jante e pneu) suportam o peso e são responsáveis pela movimentação do veículo. Muitas vezes menosprezados os pneus são um dos elementos mais importantes em qualquer veículo estando diretamente relacionados com a capacidade de travagem e estabilidade da viatura, particularmente na mudança de direção a velocidades elevadas.

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	Severidade		Probabilidade de Ocorrência		Ação de Tratamento	Detetabilidade		Risco de Falha		
			Pressuposto	Média	Pressuposto	Média		Pressuposto	Média	Pressuposto	Média	
pneus	desgaste normal	falta de aderência	6	9.3	velocidade e estilo de condução	4	3.0	formação adequada dos operadores	1	1.0	24	28
			6	9.3	temperaturas excessivas	5	2.0		1	1.0	30	19
			6	9.3	condições das estradas onde circula	6	8.3		1	1.0	36	78
	desgaste central	redução de tração	4	7.3	demasiada pressão dos pneus	7	3.0	corrigir a pressão dos pneus (a frio)	3	2.7	84	59
	desgaste lateral	rodado de tração	4	7.3	insuficiente pressão dos pneus	7	3.0	corrigir a pressão dos pneus (a frio)	3	2.7	84	59
	desgaste de um só lado	desgaste acentuado do pneu	5	7.3	desalinhamento das rodas	5	3.3	verificar direção/suspensão	3	2.7	75	65
arrancamentos localizados	risco agravado de explosão	corte/racha	6	9.3	condução fora de estrada/caminhos acidentados	4	7.3	substituir por pneus adequados	4	2.7	96	183
			6	9.3	más condições da estrada/terreno	5	7.3	verificar o estado do pneu	5	2.7	150	182
			7	6.2	objetos afiados no pavimento	5	7.0	substituir o pneu	1	1.0	35	44
jantes	jante empenada	vibrações acentuadas	5	6.7	más condições da estrada/terreno	5	6.0	verificar a jante	5	3.7	125	147
			5	7.3	erro de montagem	2	2.0	verificar o equilíbrio/montagem da jante	7	3.7	70	54

Figura 5.8. FMECA das rodas.

De acordo com os bombeiros e, tal como apresentado na Figura 5.8, os pneus são dos elementos mais importantes e mais críticos de um VFCI. Os arrancamentos localizados do rasto e os cortes ou rachas nos flancos e no piso são as falhas mais graves devido ao perigo de explosão, à frequência com que ocorrem e também devido à dificuldade em avaliar a falha, sendo difícil de graduar qual a gravidade do defeito e assim classificar o pneu como apto ou inapto.

Sendo o único órgão do veículo em contacto com a superfície, os pneus são dos elementos mais solicitados e, por vezes, sofrem impactos tão violentos que podem até empenar a jante, sendo também este um problema de elevada criticidade e que necessita da devida atenção.

## 5.2. Lógica difusa

Tal como na FMECA, também na análise utilizando lógica difusa, serão apenas apresentados os dados mais importantes e os respetivos resultados, estando a sua totalidade, em maior dimensão e detalhe, no Anexo E.

Para efeitos de comparação são também apresentados os resultados obtidos na FMECA. Relembrando que os parâmetros de entrada têm relevâncias diferentes (maior importância para a severidade e detetabilidade), também os resultados finais serão diferentes, logo, falhas que eram consideradas pouco graves podem revelar-se críticas e vice-versa.

Também as quatro cores que realçam os graus de criticidade da FMECA passam a ser só três na lógica difusa, fazendo com que as falhas anteriormente apresentadas a cor de laranja evoluam para vermelho ou para amarelo caso a sua criticidade seja mais ou menos relevante, respetivamente.

### 5.2.1. Motor

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	S	O	D	RPN	R	
			Média	Média	Média			Lógica Difusa
Ignição	não inflama a mistura	motor não arranca	9.3	bateria descarregada/velas queimadas	3.7	substituir a bateria/velas	39	46
	inflama incorretamente	motor com desempenho inferior	7.7	danos nos cabos de vela	2.3	substituir os cabos	36	30
Injeção	fuga de combustível	perdício de combustível	5.7	injetor avariado	3.7	substituir injetor	63	173
	baixo desempenho	afeta o desempenho do motor	5.7	centralina danificada	2.0	verificar a centralina	51	106
	não atinge a pressão máxima de combustão	afeta o desempenho do motor	5.7	centralina danificada	2.0	verificar a centralina	51	106
	combustão incompleta	poluição/diminui eficiência	5.0	injetor avariado	3.3	substituir injetor	48	139
Lubrificação	ruido	danos nas partes móveis	5.0	fugas de óleo	5.3	substituir vedantes/juntas	30	27
	pressão incorreta na câmara de combustão	diminui eficiência	6.0	deterioração da válvula	2.7	substituir válvulas	53	144
Câmara de Combustão	fuga de combustível	risco de acidente	10.0	rachadura interna devido ao desgaste	2.0	verificar estado da câmara de combustão	76	153
	ruido	danos no motor	8.0	rachadura interna devido ao desgaste	2.0	substituir pistões/bielas	45	59
Pistões/Bielas	fuga de combustível	perda de potência	6.3	desgaste do segmento	4.3	substituir segmentos	72	174
Segmentos	baixo desempenho	baixo desempenho/eficiência	6.7	desgaste do filtro de ar	6.0	limpar/substituir o filtro	49	160
Admissão	fuga de água	sobreaquecimento do motor	7.3	tubo roto	4.7	substituir o tubo	42	80
Refrigeração	ruido	danos no motor	7.3	desgaste dos rolamentos	2.7	substituir os rolamentos	46	91
Cambota								

Figura 5.9. Análise difusa do motor.

A partir da Figura 5.9 conclui-se que as avarias mais graves no motor continuam a ser as fugas de combustível. Os problemas provenientes da admissão deixaram de ser considerados graves, pois a probabilidade de ocorrência é bastante elevada, o que faz com que o filtro de ar seja verificado e limpo com regularidade, prevenindo a falha total. Por outro lado, aumentou a criticidade das falhas nas válvulas devido à baixa capacidade de deteção e, na ignição, devido à severidade elevada, caso o motor da viatura não arranque, o que diminui a capacidade de operação dos bombeiros.

## 5.2.2. Caixa de velocidades

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	S	Potencial Causa	O	Ação de Tratamento	D	RPN	R
			Média		Média		Média	Lógica Difusa	FMECA
conversor de binário (automática)	fuga de óleo (ATF)	sobreaquecimento	7,0	desgaste dos vedantes	4,7	substituir os vedantes	2,0	38	65
engrenagens planetárias (automática)	trépidação na mudança de velocidade	danos nas engrenagens	6,0	desgaste das engrenagens	4,3	verificar e substituir os elementos danificados	7,3	48	101
disco de embraiagem (manual)	irregularidades na superfície de contacto	dificuldade ao engrenar uma velocidade	6,7	utilizar o pedal de embraiagem de forma brusca	3,7	substituir o disco de embraiagem	4,3	48	106
engrenagens (manual)	desgaste total da superfície de contacto	veículo não se move	9,3	desgaste contínuo	3,3	substituir o disco de embraiagem	1,7	39	52
rolamentos	trépidação na mudança de velocidade	danos nas engrenagens	6,0	desgaste das engrenagens	4,3	verificar e substituir os elementos danificados	7,3	49	101
	ruido	retarda a aceleração	6,0	desgaste do rolamento	3,7	substituir os rolamentos	5,3	58	117

Figura 5.10. Análise difusa da caixa de velocidades.

De acordo com a Figura 5.10, a degradação das engrenagens continua a ser a falha mais grave, maioritariamente devido à baixa detetabilidade. Também os eventuais problemas nos rolamentos da caixa de velocidades se verificaram ser críticos pela mesma razão.

Devido ao tipo de condução, a caixa de velocidades é um elemento bastante solicitado, o que aumenta o desgaste dos seus componentes (sobretudo nas caixas manuais). Aliando a isso, a severidade e, principalmente baixa detetabilidade das anomalias, tornam-na num dos sistemas mais críticos de um VFCl, pois existe necessidade de mão de obra altamente qualificada para identificar e reparar eventuais avarias.

## 5.2.3. Caixa de transferência

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	S	Potencial Causa	O	Ação de Tratamento	D	RPN	R
			Média		Média		Média	Lógica Difusa	FMECA
engrenagens/corrente	ruido	falha na tração dianteira	7,7	desgaste das engrenagens/quebra da corrente	2,0	verificar e substituir os elementos danificados	2,0	38	31
vedantes	fuga de óleo	sobreaquecimento dos componentes móveis	7,3	desgaste dos vedantes	2,7	substituir os vedantes	1,3	33	26
rolamentos	ruido	retarda a aceleração	6,3	desgaste do rolamento	2,3	substituir os rolamentos	5,0	45	74

Figura 5.11. Análise difusa da caixa de transferência.

Como visto na FMECA, e comprovado agora pela lógica difusa, analisando a Figura 5.11 conclui-se que a caixa de transferência é um elemento pouco crítico. Graças às inspeções e ensaios de conformidade a que esta é submetida regularmente, as suas falhas, que são raras, são automaticamente detetadas pelos operadores do VFCl.

## 5.2.4. Diferenciais

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	S	Potencial Causa	O	Ação de Tratamento	D	RPN	R
			Média		Média		Média	Lógica Difusa	FMECA
pinhão de ataque	perda de transmissão	veículo não se move corretamente	8,3	desgaste/fratura das engrenagens	2,0	substituir as engrenagens danificadas	2,0	38	33
coroa dentada			8,3		2,0		2,0	38	33
engrenagens satélite			8,3		2,0		2,0	38	33
engrenagens planetárias			8,3		2,0		2,0	38	33
vedantes	fuga de lubrificante	sobreaquecimento dos componentes móveis	7,3	desgaste dos vedantes	3,0	substituir os vedantes	1,3	33	29
rolamentos	ruido	retarda a aceleração	6,0	desgaste do rolamento	2,7	substituir os rolamentos	4,3	39	69

Figura 5.12. Análise difusa dos diferenciais.

Tal como a caixa de transferência, os diferenciais apresentam criticidade de falha relativamente baixa devido à elevada detetabilidade, caso sejam efetuados os ensaios de conformidade com regularidade, como se verifica na Figura 5.12.

### 5.2.5. Travões

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	S		O		D	RPN	
			Média	Potencial Causa	Média	Ação de Tratamento		Lógica Difusa	R
pedal	pedal frouxo	aumento da distância de travagem	6,7	vapor de água no sistema de travagem	3,7	sangrar/limpar o circuito	1,7	36	41
compressor	nádo	aumento do tempo para cobrar o circuito na pressão adequada	5,3	danos no motor do compressor	3,0	verificar o estado do compressor	3,3	33	53
reservatório/circuito	funcionamento contínuo do compressor	sobrecarregamento do compressor	6,0	fuga de ar do sistema	4,0	substituir o elemento com a fuga	2,7	38	64
pastilhas de travão	nádo estridente	aumento da distância de travagem/desgaste dos discos	6,0	desgaste/má qualidade das pastilhas	5,3	substituir as pastilhas de travão	3,3	41	107
discos	vibrações ao travar	falta de estabilidade na travagem	5,3	desgaste/distorção dos discos	6,0	substituir os discos	3,0	41	96
câmara de travagem	assobio (fuga de ar)	falha na travagem de uma das rodas	8,0	furo do diafragma	3,7	verificar/substituir a câmara de travagem	2,3	45	68

Figura 5.13. Análise difusa dos travões.

Durante o processo FMECA a falha considerada mais grave era proveniente do desgaste das pastilhas de travão; porém, esta falha é bastante comum, de elevada detetabilidade e de fácil reparação, pelo que, na lógica difusa, a sua criticidade é apenas moderada.

Neste caso, segundo a Figura 5.13, a avaria que necessita de maior atenção é a falha na travagem de uma das rodas, que pode acontecer devido a uma fuga de ar. A sua criticidade advém de uma elevada severidade de falha, pois existirá um desequilíbrio caso seja realizada uma travagem a fundo, o que pode pôr em risco a segurança dos ocupantes do VFCI e de outras pessoas nas proximidades.

### 5.2.6. Suspensão

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	S		O		D	RPN	
			Média	Potencial Causa	Média	Ação de Tratamento		Lógica Difusa	R
compressor	nádo	aumento do tempo para obter a pressão adequada	5,0	danos no motor do compressor	2,7	verificar o estado do compressor	3,3	33	44
cilindro/circuito de ar comprimido	funcionamento contínuo do compressor	sobrecarregamento do compressor	6,0	fuga de ar do sistema	3,3	substituir o elemento com a fuga (cilindros/mangueiras/válvulas)	3,0	38	60
balão/mola pneumática	inclinação para o lado da suspensão danificada	desconforto na condução	8,3	fuga de ar/desgaste da mola	2,7	substituir o febre danificado	5,7	48	126
lâminas	lâminas partidas	desconforto na condução	4,3	sobrecarga/desgaste	3,3	substituir as lâminas partidas	2,3	23	34
parafuso/grampo U	suspensão "relaxada"	perigo de deslramento do veículo	8,3	desgaste/corrosão	2,3	substituição do parafuso U	2,0	38	39
parafuso central	trepidação	maiores choques durante a condução	3,7	parafuso U desapertado	3,3	verificar e apertar o parafuso U	6,0	41	73
			4,3	parafuso U solto	2,7	substituir o parafuso central	5,7	39	65

Figura 5.14. Análise difusa da suspensão.

Na análise difusa da suspensão ficou ainda mais claro o porquê de não se utilizar suspensão pneumática nos VFCI, uma vez que o único componente com criticidade elevada só está presente nesse tipo de suspensão. Assim, focando apenas na suspensão de lâminas e, de acordo com a Figura 5.14, as falhas mais graves provêm do parafuso U e do parafuso central que podem estar desapertados ou partidos e que, devido à sua baixa detetabilidade, representam uma criticidade moderada.

## 5.2.7. Rodas

Componentes Principais	Modo de Falha	Efeito	S	Potencial Causa	O	Ação de Tratamento	D	RPN	R
			Média	Média	Média	Média	Lógica Difusa	FMECA	
pneus	desgaste normal	falta de aderência	9.3	velocidade e estilo de condução	3.0		1.0	30	28
			9.3	temperaturas excessivas	2.0	formação adequada dos operadores	1.0	30	19
			9.3	condições das estradas onde circula	8.3		1.0	53	78
	desgaste central	redução de tração	7.3	demasiada pressão dos pneus	3.0	corrigir a pressão dos pneus (a frio)	2.7	41	59
	desgaste lateral	redução de tração	7.3	insuficiente pressão dos pneus	3.0	corrigir a pressão dos pneus (a frio)	2.7	42	59
	desgaste de um só lado	desgaste acentuado do pneu	7.3	desalinhamento das rodas	3.3	verificar direção/suspensão	2.7	45	65
	arrancamentos localizados	risco agravado de explosão	9.3	condução fora de estrada/caminhos acidentados	7.3	substituir por pneus adequados	2.7	57	183
	corte/racha	risco agravado de explosão	9.3	más condições da estrada/terreno	7.3	verificar o estado do pneu	2.7	57	183
	furo	pneu vazio	6.3	objetos afiados no pavimento	7.0	substituir o pneu	1.0	39	44
	jantes	jante empenada	vibrações acentuadas	6.7	más condições da estrada/terreno	6.0	retificar a jante	3.7	49
desequilíbrio		danos nos pneus/suspensão/direção	7.3	erro de montagem	2.0	verificar o equilíbrio/montagem da jante	3.7	42	54

Figura 5.15. Análise difusa das rodas.

Como se pode observar na Figura 5.15, os arrancamentos localizados e os cortes ou rachas continuam a ser os dois problemas mais graves ao nível dos pneus, sendo falhas de criticidade elevada. Em igual nível de criticidade está o desgaste normal dos pneus que se agrava devido às condições dos terrenos onde os VFCI circulam e, apesar do grau de formação dos operadores, por vezes, é impossível escolher um caminho que não contenha obstáculos.

Para evitar que o desgaste central e lateral se torne um problema grave, a pressão dos pneus deve ser verificada regularmente. Também o alinhamento da direção e a montagem das jantes (condições e aperto das porcas e parafusos) deve ser inspecionada para evitar acidentes graves.

## 5.3. Análise crítica

Para a obtenção de resultados, numa primeira fase, utilizaram-se dados pressupostos e, posteriormente, pediu-se a três CB que redigissem as suas próprias versões com os valores que considerassem mais corretos. De forma a uniformizar os dados realizou-se a média das corporações, pois os valores diferiam bastante entre elas em alguns dos parâmetros. A média dos dados redigidos pelos bombeiros foi então assumida como dados reais devido à sua maior experiência e contacto com os VFCI.

Ao constatar que os dados pressupostos estavam muito afastados dos dados reais, estes (pressupostos) foram apenas utilizados a título de comparação. Relacionando ambos verifica-se que, com os dados pressupostos, as falhas estariam a ser menosprezadas na maior parte dos casos, tendo sido descartados das análises realizadas.

Foram então utilizados os dados médios (reais) para obter os resultados do risco de falha (R) na FMECA. Estes foram realçados em quatro cores diferentes por terem uma gama de valores bastante extensa de [19 ; 191], neste caso.

Posteriormente, para realizar a análise utilizando lógica difusa, foram utilizados os mesmos dados que na FMECA. Apesar de os dados serem os mesmos, os resultados finais serão diferentes, pois foi atribuída maior expressão à severidade e detetabilidade, sendo reduzida a relevância da ocorrência.

Por exemplo, no caso da FMECA, falhas com os mesmos dados de entrada vão obter o mesmo resultado para R, enquanto que na lógica difusa, os dados quando associados a parâmetros diferentes irão ter RPN diferentes, tornando assim a análise mais significativa, como se pode comprovar pela Tabela 5.1.

**Tabela 5.1.** Comparação entre o R (FMECA) e o RPN (Lógica Difusa).

<b>Potencial Falha</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>D</b>	<b>R (FMECA)</b>	<b>RPN (Lógica Difusa)</b>
X	5	8	7	280	72
Y	8	7	5	280	74.6
Z	7	5	8	280	83.7

Apesar das falhas e seus dados S, O e D apresentados serem meramente hipotéticos, pode-se concluir que, através da lógica difusa, conseguimos ordená-los por ordem de criticidade, enquanto a FMECA devolve sempre o mesmo valor, fortalecendo assim a importância da análise difusa neste trabalho.

Os resultados obtidos a partir da lógica difusa variam de [23 ; 76], logo, optou-se por agrupar a criticidade baixa e muito baixa e a criticidade alta e muito alta, realçando os resultados com apenas três cores diferentes: verde para as criticidades reduzidas, amarelo para uma criticidade moderada e vermelho para as criticidades elevadas, tal como referido anteriormente.

Pode então afirmar-se que as falhas mais graves são as realçadas a vermelho na análise utilizando lógica difusa. Assim, organizadas por ordem crescente de criticidade, são elas:

- Falhas associadas às válvulas que, devido à sua deterioração, deixam de ser estanques e comprometem o desempenho do motor. Caso a válvula quebre completamente irá danificar outros componentes do motor;

- 
- Desgaste normal acentuado dos pneus devido às condições do terreno onde os VFCI circulam;
  - Arrancamentos localizados, rachas ou cortes que podem ser originados por circulação em caminhos acidentados, derrapagens em zonas de cascalho e pedras, ou pela realização de manobras com o veículo parado;
  - Fadiga ou desgaste dos rolamentos da caixa de velocidades, que pode resultar das elevadas solicitações que a caixa sofre ou de lubrificação inadequada;
  - Falha de um, ou mais injetores que leva a um aumento do consumo de combustível, se estes estiverem continuamente a pingar gasóleo. Se houver entrada excessiva de combustível na câmara de combustão verifica-se também fumo negro a sair do tubo de escape;
  - Fugas de ar na suspensão pneumática que, por ser um sistema bastante crítico, não é habitualmente utilizado em VFCI;
  - Danos nas engrenagens da caixa de velocidades que dificultam o engrenamento das diferentes relações e, numa situação limite, pode mesmo implicar a inoperabilidade do veículo;
  - Desgaste dos segmentos que leva a uma perda da estanquidade do motor, resultando numa passagem de óleo para a câmara de combustão e numa passagem de combustível para o óleo, resultando num aumento do consumo de óleo, emissão de fumo branco pelo tubo de escape e baixo desempenho;
  - Câmara de combustão ou bloco do motor rachado em consequência do desgaste contínuo e agravado pelo sobreaquecimento devido à proximidade aos incêndios.

Estando identificados os problemas reforça-se a necessidade de inspeções regulares para controlar o estado dos componentes e também um aumento da manutenção preventiva substituindo os elementos críticos antes da sua falha acontecer. Apesar da manutenção preventiva não aproveitar o potencial máximo do componente acaba por se revelar uma boa estratégia, uma vez que ao trocar prematuramente a peça evitam-se as avarias que surgiriam graças à falha da primeira, diminuindo assim os custos a longo prazo.

Para aumentar a eficácia desta estratégia é necessário que sejam feitos os registos de todas as intervenções realizadas na viatura formando assim um histórico de avarias. Realizando este registo, à medida que a vida do VFCI vai evoluindo, estarão disponíveis mais dados que permitirão estimar com maior exatidão qual o melhor momento para executar a substituição de um componente, encontrando assim o equilíbrio ótimo entre a durabilidade da peça e a prevenção da falha.

Dito isto, aconselha-se um plano de inspeções e um programa de manutenção obrigatórios e rigorosos, acompanhados pelos registos de avarias de forma a otimizar a manutenção preventiva.

Segundo os dados apurados neste estudo deve ser executada manutenção preventiva primariamente na substituição das válvulas, dos injetores e dos segmentos; deve ter-se grande nível de atenção a fugas de combustível no motor e a ruído proveniente da caixa de velocidades e os pneus devem ser constante e minuciosamente verificados, em ambos os flancos, tendo em atenção que alguns danos só se tornam visíveis quando estão próximos da zona de contacto com o solo.

## 6. CONCLUSÕES

Através do contacto direto com os bombeiros foi possível adquirir dados sobre qual seria a viatura mais relevante no combate aos incêndios florestais. A seleção foi unânime e o veículo alvo de estudo foi o Veículo Florestal de Combate a Incêndios (VFCI).

Para poder estudar qual o estado mecânico geral dos VFCI foi necessário começar por aprofundar os conhecimentos sobre eles, investigando quais os seus equipamentos principais e quais os cuidados empregues para manter o seu bom funcionamento. Percebeu-se rapidamente que, apesar de se estarem a analisar viaturas de fabricantes diferentes e com idades diferentes, a maior parte dos equipamentos principais mantinham-se e as inspeções e manutenções realizadas em cada viatura eram iguais, dentro da mesma Corporação de Bombeiros (CB).

Segundo vários bombeiros, as evoluções mais marcantes ligadas aos veículos são as tecnologias de controlo de poluentes, tendo sido abordados os equipamentos necessários para cumprir as normas em vigor sobre emissões. Apesar da obrigatoriedade, questiona-se a viabilidade deste tipo de tecnologia em veículos de resposta a emergências, especialmente os de combate a incêndios.

Também, ao entrar em contacto com diferentes CB, verificou-se que não existem programas de inspeções e manutenções uniformizados, ficando ao critério de cada responsável de frota executar o seu próprio plano. Desta forma, acaba-se por negligenciar algumas das tarefas que deveriam ser efetuadas para manter a competência do veículo (ou executá-las em intervalos de tempo demasiado longos).

Foi então feita uma pesquisa de quais as falhas que poderiam acontecer nos componentes dos diferentes sistemas destas viaturas, quais as suas potenciais causas e qual seria a ação de tratamento a realizar. Através da colaboração dos bombeiros das diferentes CB atribuiu-se um grau de severidade, de probabilidade de ocorrência e de detetabilidade a cada falha, formando assim uma Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falha (FMECA).

De seguida, foi essencial realizar uma nova análise com os mesmos dados, mas desta vez utilizando lógica difusa visto que os dados utilizados eram maioritariamente linguísticos, onde a informação poderia ser imprecisa, vaga, incerta ou incompleta.

Através das análises realizadas, verificou-se que muitas das potenciais falhas representam um risco, não só para o funcionamento do VFCl, como para a segurança dos seus operadores. Nestas falhas e nas que têm uma detetabilidade baixa, que significa que é necessária mão de obra especializada para as identificar, deve-se optar por realizar manutenção preventiva. Contrariamente, quando a gravidade da falha é reduzida e a detetabilidade é elevada pode-se executar manutenção corretiva.

Ao longo deste estudo ficou comprovada a importância da realização de inspeções, de programas de manutenção e de serem registadas as intervenções executadas.

Assim, caso sejam implementadas as técnicas aqui apresentadas:

- Controlo da condição dos componentes aquando das inspeções para avaliar a evolução do seu estado ao longo do tempo;
- Ensaios de conformidade, como por exemplo os testes SAROCA e o teste de funcionamento da bomba acoplada, para assegurar o bom funcionamento dos diversos sistemas;
- Caderno de manutenção, onde é feito um registo integral de todas as falhas juntamente com a data da avaria, os quilómetros que a viatura tinha no momento, qual a reparação efetuada, quais os materiais aplicados, quanto tempo demorou até o veículo estar novamente disponível e qual o custo da reparação.

Será possível reduzir as falhas graves e evitar longos períodos de inoperabilidade pois existe uma estratégia que, não só previne as avarias através da substituição antecipada dos componentes em fim de vida, como também permite detetar falhas durante as inspeções sistemáticas e apresenta a abordagem correta perante cada falha que efetivamente ocorra.

No futuro, graças ao registo de dados, poderá realizar-se uma análise mais sistematizada e exaustiva, com dados concretos e utilizando modelos estocásticos e outros, de forma a atingir a fiabilidade requerida.

Em trabalhos posteriores, seria interessante aprofundar o estudo e incluir sistemas que não façam parte da mecânica principal do veículo, como por exemplo a bomba acoplada e os sistemas de proteção dos veículos (*sprinklers*) e, além disso, seria uma mais valia realizar estudos semelhantes para outras tipologias de veículos de combate a incêndios, ou até mesmo para outras viaturas de resposta a emergências.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes, N. (2018). *Diesel. Como evitar problemas no filtro de partículas, EGR e AdBlue*.  
<https://www.razaoautomovel.com/2018/03/diesel-problemas-fap-egr-adblue>
- Craven, R. (1995). Apparatus specifications: a guide to saving time and money. *Firehouse*.
- Dernoncourt, F. (2013). Introduction to fuzzy logic. *Massachusetts Institute of Technology*.
- Despacho n.º 7316/2016 de 03 de junho de 2016. “Regulamento de Especificações Técnicas de Veículos e Equipamentos Operacionais dos Corpos de Bombeiros”.  
*Diário da República n.º 136 - II Série. Ministério da Administração Interna*. (2016).
- Farinha, J. T. (1997). *Manutenção das instalações e equipamentos hospitalares: uma abordagem terológica*.
- Gallab, M., Bouloiz, H., Alaoui, Y. L., & Tkiouat, M. (2019). Risk Assessment of Maintenance activities using Fuzzy Logic. *Procedia Computer Science*, 148, 226–235. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.065>
- Glatts, J. (2000). Combining apparatus safety, maintenance and training. *Fire Engineering*.
- IEC 60812:2018. *International Standard: “Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)”*. (2018).
- Kaur, J., & Kumar, A. (2016). *An Introduction to Fuzzy Linear Programming Problems*.
- Kumar, R., & Mondloi, R. K. (2018). Failure Mode and Effect Analysis of Petrol Engine of Car. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 7(6), 180–183.
- NP EN 13306. *Norma Portuguesa: “Terminologia da manutenção”*. (2007).
- NP EN 1846. *Norma Portuguesa: “Veículos de socorro e de combate a incêndio”*. (2012).
- Peters, W. C. (2004). Fire apparatus operator preventive maintenance. *Fire Engineering*.
- Ramalho, C., & Carvalho, A. (2020). *Manual de Condução Fora de Estrada*.
- Robertson, H. (2009). Hit the road safely. *Fire Rescue*.
- Shrehari, J., & Srinivasan, R. (2016). Failure Modes and Effective Analysis of All-Terrain Vehicle and Go-Kart: A Review. *International Journal of Science and Research*.
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information Sciences*, 8(3), 199–249. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)



# ANEXO A

## Ficha técnica n.º 1.2

### Veículo Florestal de Combate a Incêndios (VFCI)

#### 1 — Definição

Veículo da classe M, categoria 3, dotado de bomba de serviço de incêndios e tanque de agente extintor, destinado prioritariamente à intervenção em espaços naturais de acordo com a Norma Europeia 1846-1,2,3.

#### 2 — Características de Desempenho do Veículo

##### 2.1 — Carga Útil/Peso Bruto

O peso bruto do veículo deve respeitar a homologação do IMT. Entende -se por peso bruto, o somatório de:

- a) Peso do chassis;
- b) Peso da superestrutura;
- c) Peso do equipamento;
- d) Peso da guarnição (média 90kg/bombeiro);
- e) Peso dos agentes extintores.

##### 2.2 — Autonomia

A capacidade do depósito de combustível deve permitir realizar, com a carga normal, um percurso mínimo de 300 km em estrada de perfil medianamente acidentado ou o funcionamento da bomba de serviço de incêndios durante quatro horas consecutivas.

O orifício com rede de proteção de enchimento do depósito de combustível deve ser de fácil acesso nas operações de enchimento, tendo nas proximidades a indicação do tipo de combustível (Diesel) e o tampão em cor amarela, com chave.

#### 2.3 — Desempenho

O desempenho dinâmico do veículo deve obedecer aos requisitos definidos na Tabela 3 e 7, da EN 1846-2.

Devem ser respeitadas as tabelas 2 e 6 e 7 da norma EN184-2 e as características:

- a) Diâmetro exterior de viragem deve ser inferior ou igual a 18 metros;
- b) Velocidade: a velocidade de cruzeiro do veículo em patamar deve situar -se entre os 80 km/hora e a velocidade máxima admitida pela legislação em vigor;
- c) Ângulos: os ângulos de ataque e saída devem ser iguais ou superiores a 35° e um ângulo de rampa igual ou superior a 30°;
- d) Distância ao solo: o veículo deve apresentar uma altura ao solo igual ou superior a 400 mm.

#### 3 — Características Mecânicas do Veículo

##### 3.1 — Motor

O motor deve funcionar a Diesel e respeitar a legislação nacional e comunitária relativa às emissões, comumente designada por «EURO».

O sistema de arrefecimento do motor deve ser convenientemente dimensionado, de modo a permitir o seu funcionamento normal, para um período de tempo igual ou superior a 4 horas à temperatura ambiente. O motor deve permitir um arranque e funcionamento normais às temperaturas de utilização. O escape do motor deve estar colocado de modo a não prejudicar quer a guarnição, quer o operador da bomba de serviço de incêndios. Os sistemas de escape montados nos veículos devem ser concebidos para prevenir a

libertação de faúlhas. Os componentes quentes do sistema de escape localizados por baixo dos veículos devem ser protegidos para evitar o contacto com a vegetação.

### 3.2 — Caixa de Velocidades

A caixa de velocidades deve possibilitar o acionamento da bomba de serviço de incêndios com o veículo em andamento. A tomada de força deve ser acionada diretamente pela caixa de velocidades, estar preparada para serviço contínuo prolongado e, preferencialmente ser de marca igual à caixa de velocidades.

### 3.3 — Eixo e Diferencial

O veículo deve possuir tração aos dois eixos bem como redução aos cubos ou equivalente. O veículo deve possuir dispositivos automáticos ou manuais de bloqueios a todos os diferenciais com sinalização colorida visível de dia e noite e de fácil observação pelo motorista.

### 3.4 — Suspensão

A suspensão deve ser adequada ao serviço de incêndios e assegurar as características de desempenho dinâmico exigidas em 1.3, atendendo às velocidades, à carga transportada e ao volume de água armazenada, estar preparada para suportar constantemente a Massa Total em Carga (MTC) do veículo e ser, preferencialmente, do tipo de molas de lâminas, com amortecedores apropriados à carga.

### 3.5 — Travões

O veículo deve estar equipado com sistema de travagem que cumpra a legislação nacional e europeia aplicável.

O veículo deve dispor de uma válvula reguladora de pressão do controlo de enchimento dos depósitos de ar, equipada com tomada rápida para enchimento dos depósitos através de fonte externa e possuir uma saída para ligar um tubo *racord* para enchimento dos pneus.

Deve possuir um sistema auxiliar de travagem (escape, alimentação, etc.) e equipamento de desumidificação do ar dos travões.

Os acumuladores dos travões das rodas devem ser devidamente protegidos.

Deverá ter um sistema auxiliar de carregamento dos depósitos de ar dos travões, composto por compressor de ar, alimentado exteriormente com 220 V c.a., instalado no veículo e respetivo equipamento adicional. O sistema deverá estar associado à ficha/tomada elétrica do carregamento das baterias.

Os sistemas de travagem colocados sob o chassis devem ser protegidos contra terrenos acidentados e incidência de calor e chamas.

### 3.6 — Rodas e Pneus

O rodado deve ser simples à frente e à retaguarda. A pressão dos pneus deve estar indicada no veículo, por cima dos guarda-lamas, de modo indelével e com a indicação da unidade de pressão (bar).

Os pneus devem ter boa aderência ao piso, devendo possuir roda de reserva igual e completa, de fácil acesso e manuseamento e cumprir a legislação nacional e europeia aplicável, nomeadamente quanto aos índices de carga e velocidade.

### 3.7 — Direção

A direção do veículo deve ser assistida e com o volante do lado esquerdo.

### 3.8 — Pedais de Comando

O intervalo entre os bordos dos pedais do travão e do acelerador deve permitir a condução com botas.

### 3.9 — Componentes Eletrónicos

Os componentes eletrónicos de apoio à condução, nomeadamente, ABS, ASR, ESP entre outros, devem poder ser desligados quando em condução fora de estrada, salvo condição em contrário do fabricante do chassis.

### 3.10 — Lubrificação

O equipamento do chassis não deve impedir o acesso aos diferentes corpos lubrificadores, que devem estar devidamente referenciados pela cor amarela.

Deve existir um esquema de lubrificação inscrito numa placa indicadora, situada, de preferência, na face interna da porta do condutor à melhor altura possível para uma fácil leitura.

## 4 — Equipamento Elétrico do Veículo

### 4.1 — Generalidades

Todos os equipamentos elétricos a instalar no veículo, tem obrigatoriamente de obedecer às normas CEE. O Veículo deve estar equipado com o conjunto de luzes previsto no Código da Estrada e demais legislação aplicável e as utilizadas em veículos de emergência, como faróis do tipo STROB.

Os circuitos devem estar protegidos por fusíveis calibrados, referenciados num quadro e facilmente acessíveis, existindo uma coleção para substituição. Através de conveniente isolamento e filtragem, será garantida a não interferência com o equipamento rádio conforme a legislação nacional e europeia aplicável.

O chassis e a superestrutura não devem ser utilizados para distribuição e retorno de corrente elétrica (massa), pretendendo-se uma linha dedicada. Deve estar disponível tensão de 12 V para ligação de equipamento auxiliar. Em veículos equipados com tensão de 24 V não podem existir ligações autónomas a uma das baterias. Deverá ser respeitada a legislação nacional e europeia relativa à compatibilidade eletromagnética.

Os sistemas elétricos e componentes elétricos colocados sob o chassis devem ser protegidos contra terrenos acidentados e incidência de calor e chamas.

### 4.2 — Baterias

As baterias devem ter instalados dois bornes extra devidamente identificados, para efeitos de encosto. As baterias devem ser sobredimensionadas na sua capacidade. O compartimento de baterias deve facilitar o acesso para inspeção e manutenção e ser resistente aos ácidos.

O veículo deve estar equipado com um sistema de carregamento de baterias alimentado a 220 V a.c., que deverá desligar -se automaticamente sempre que o motor do veículo é acionado.

O sistema de carregamento de baterias deverá comportar ainda um sistema de aquecimento de água do circuito de refrigeração do motor do veículo.

### 4.3 — Alternador

O veículo deve estar equipado com um alternador, de capacidade sobredimensionada para o fim a que se destina.

### 4.4 — Avisadores e Projetores Especiais

O veículo deve estar equipado com:

- a) Uma sirene eletrónica, com o mínimo de 100 W, colocada sob tensão por um interruptor, com sinalizadores luminosos azuis na parte superior, visíveis num ângulo de 360° e altifalante exterior, a ativar pelo condutor e/ou pelo chefe da equipa, devidamente protegida contra impactos de ramos e troncos;
- b) Dois sinalizadores luminosos, da marcha de urgência, azuis, intermitentes (tipo STROB) colocados na parte da frente do veículo, preferencialmente junto aos faróis, de modo a serem visíveis pelo condutor do veículo da frente a, pelo menos, 100 metros, sendo eficientemente protegidos contra choques e instalados sem perfuração da cabina;
- c) Dois sinalizadores luminosos, intermitentes, (tipo STROB), de cor amarelo ou vermelha,

colocados na traseira do veículo, visíveis em condições normais a, pelo menos, 100 metros;

d) Iluminação lateral e à retaguarda, direcionada para o solo e com capacidade de iluminação num raio mínimo de 1,5 metro em relação ao limite exterior do veículo;

e) Um projetor orientável e amovível de, pelo menos, 100 W, ou outro sistema com capacidade de iluminação equivalente montado à frente do lado direito da cabina;

f) Um projetor orientável e amovível de, pelo menos, 100 W, ou outro sistema com capacidade de iluminação equivalente montado à retaguarda, do lado esquerdo;

g) Uma lanterna com lâmpadas de LED para leitura de mapas do lado direito no interior da cabina;

h) Dois faróis de nevoeiro protegidos com grelha metálica inox, colocados na parte frontal do veículo;

i) Farolins traseiros protegidos com grelha metálica inox.

## 5 — Características da Cabina

### 5.1 — Interior da Cabina

A cabina deverá ser dupla, de quatro a seis lugares. O piso deve ser antiderrapante e com possibilidade de escoar líquidos. A cabina deve possuir quatro portas com fechaduras iguais e janelas com vidros móveis, que no caso de terem elevadores devem ser iguais entre si, conforme a legislação nacional e europeia aplicável. Deve ser assegurada a comunicação direta entre todos os elementos da guarnição, e existir pegas para, em terreno acidentado, possibilitar apoio a todos os membros da equipa.

A iluminação do habitáculo será garantida, pelo menos, com dois pontos de luz, sendo um à frente e outro na parte de trás da cabina. A cabina deve

ter bom isolamento sonoro e satisfazer, na generalidade, os seguintes requisitos:

a) Espaço suficiente para a instalação de dois emissores -receptores;

b) Uma lanterna com lâmpadas de LED para leitura de mapas do lado direito no interior da cabina;

c) Lugar do condutor regulável, permitindo uma condução segura e cómoda;

d) Todos os lugares devem estar equipados com encostos de cabeça, cintos de segurança certificados de acordo com a legislação nacional e europeia, com pré-tensores;

e) Sob os bancos traseiros, que poderão ser de conceção diferente, deve existir um cofre para material;

f) Os assentos situados sobre o cofre devem ser articulados na parte posterior e rebatíveis a 90°, deixando uma abertura entre a face da frente do cofre e a vertical do banco levantado e possuir dispositivo simples que os mantenha na posição de abertura.

### 5.2 — Acessos à Cabina

Os acessos à cabina devem ser facilitados com degraus com inclinação suficiente, de molde a permitir a visibilidade do degrau imediatamente inferior conforme tabela 4 da EN 1846-1. Os degraus não devem prejudicar os ângulos de ataque do veículo, podendo ser retrácteis ou em material flexível.

### 5.3 — Segurança Passiva da Cabina

A segurança da cabina deve ser total e obedecer às seguintes condições:

a) Os materiais utilizados no revestimento devem ser preferencialmente ignífugos;

b) Os vidros devem respeitar a legislação nacional e europeia aplicável;

c) Não devem existir esquinhas vivas e outros fatores que possam provocar ferimentos;

d) Deve possuir duas garrafas com capacidade mínima de 6 litros de ar respirável, a 300 bar, instaladas em local de fácil manuseamento, com dispositivos de acionamento manobráveis no interior de modo a manter, em caso de necessidade, a pressão no interior da cabina superior à pressão atmosférica, bem como melhorar a alimentação de ar do motor do veículo através de ligação ao coletor de admissão. Dentro da cabina deverá ser montado dispositivo de distribuição de ar respirável com seis saídas para ligação rápida de seis mascarais individuais, (incluídas), que deverão permanecer dentro da mesma em local acessível e identificado;

e) A estrutura externa da cabina deve ser reforçada com arco de segurança exterior ou no interior da estrutura, que será construído em tubo de aço sem costura (*rollbar*), resistente às deformações produzidas por capotamento;

f) A parte frontal deve ser guarnecida com uma grelha de proteção aos embates em árvores, a mesma grelha também deverá proteger lateralmente os guarda-lamas frontais e o tubo da grelha deverá ter no mínimo diâmetro de 2 polegadas;

g) Deve dispor de uma estrutura tubular externa em aço inox AISI 304, com cortina de proteção contra campos térmicos que envolverá toda a cabina e as cavas das rodas/pneus, funcionando como rede de água para proteção do mesmo, a partir de um reservatório de emergência;

h) Deverão existir dois espelhos de bermas, colocados no lado direito da mesma.

#### 5.4 — Basculamento da Cabina

Se a cabina permitir o basculamento ele deve poder ser efetuado por, apenas, um bombeiro da guarnição, sem recurso a dispositivos exteriores. O sistema de basculamento original e as articulações devem ser reforçados em função do aumento do

peso da cabina, tomando como base a cabina original. A existência da cabina basculante não deve impedir que algumas operações de controlo e reposição de níveis (motor, caixa de velocidades, baterias, radiador, etc.) sejam executadas sem recurso à manobra de basculamento.

#### 5.5 — Painel de Comando e Controlo

A cabina deve possuir um painel de comando equipado com, pelo menos, os seguintes instrumentos de manobra e controlo, devidamente identificados:

a) Um corta -corrente geral a todas as fontes de alimentação provenientes da bateria, exceto as funções que necessitam de alimentação permanente;

b) Um sinalizador luminoso verde, que indica a colocação sob tensão da instalação elétrica pelo interruptor geral;

c) Três sinalizadores luminosos devidamente identificados, assinalando a colocação sob tensão através dos interruptores, sendo:

Verde, para os sinalizadores luminosos;

Laranja, para o projetor orientável à frente;

Vermelho, para o projetor orientável e amovível à retaguarda.

d) Um avisador acústico e um sinalizador luminoso do fecho da cabina basculante, se existir;

e) Um comando com sinalizador luminoso colorido, devidamente identificado, para o acionamento da tomada de força;

f) Dois sinalizadores luminosos indicadores:

Cofre aberto;

Bomba de serviço de incêndios acionada.

g) Uma tomada de corrente identificada para gambiarra de 12 V c.c.;

h) Outros sinalizadores ou avisadores considerados indispensáveis ao bom e eficiente funcionamento

do veículo e acessórios, desde que respeitem legislação nacional e europeia.

#### 5.6 — Placa de Identificação

Na cabina deve existir uma placa de identificação do veículo referindo pelo menos:

Nome do construtor (carroçador);

Modelo e número do chassis (quadro);

Massa total em carga;

Ano de fabrico do chassis e da superestrutura.

## 6 — Características da Superestrutura

### 6.1 — Dimensões

A transformação deve respeitar o manual de montagem de superestruturas do fabricante e representante do chassis, devendo a superestrutura com o equipamento ser suportada pelo falso chassis ou chassis auxiliar.

A largura da superestrutura não deve ser superior à largura do rodado traseiro, excluindo os pontos amovíveis.

As dimensões devem ser reduzidas ao mínimo tecnicamente possível.

O carroçador deve apresentar desenhos ou esquemas, em planta e vista lateral, identificando o comprimento, a largura e altura máximos, bem como a localização do centro de gravidade do veículo.

### 6.2 — Tanque

O tanque de água, que deve ser fixado e apoiado à superestrutura (falso chassis) através de sinoblocos, satisfará as seguintes condições:

a) Possuir uma capacidade de 3000 a 4000 litros ( $\pm 5\%$ );

b) Ser construído, preferencialmente, em chapa de aço inox AISI 316, ter as espessuras e anteparas definidas através de cálculo justificativo e respetivo termo de responsabilidade a emitir pelo carroçador;

c) Possuir anteparas verticais e perpendiculares aos eixos do veículo;

d) Quando fabricado com outros materiais, como o alumínio, conforme EN 573, ou materiais não metálicos, no que respeita às espessuras, composição química, deve ser acompanhado de certificado de conformidade de resistência ao fogo e aos impactos;

e) Apresentar resistência a águas cloradas e salinas;

f) Possuir entrada de visita por cada compartimento criado pela existência de anteparas;

g) As «bolachas» retiradas das anteparas devem tapar as entradas de visita através de um sistema de parafusos e porcas inox AISI 316, os primeiros com orelhas para fácil desmontagem e as segundas soldadas à estrutura;

h) A colocação das «bolachas» não deve impedir a saída rápida de água para a bomba do serviço de incêndios, mantendo, no entanto, a função de limitação das oscilações em movimento;

i) Possuir, ainda:

Entrada de visita superior tipo boca de homem, com tampa de abertura rápida;

Duas canalizações laterais (uma de cada lado) fixadas à superestrutura, com válvula de retenção, para o enchimento do tanque, montadas à retaguarda do eixo traseiro, com válvulas macho esférico e semi-uniões *Storz C* com tampões presos por correntes, com inclinação descendente de  $10^\circ$  a  $30^\circ$ ;

Dispositivo de evacuação de água «tubo ladrão» que descarrega sob o chassis atrás do eixo da retaguarda, de modo a limitar as perdas em andamento, dimensionado tendo como objetivo evitar que a pressão interior não ultrapasse  $0,20 \text{ kg/cm}^2$ , com todas as tampas fechadas durante o enchimento ou com idêntica pressão;

Canalização do tanque para a entrada da bomba de serviço de incêndios, munida de um filtro visitável e amovível e de válvula falangeada com comando manual e outro, com a dimensão adequada para redução de perdas de carga da bomba;

Sistema anti vórtice no tanque e na saída para a bomba de serviço de incêndios;

União flexível na canalização de saída para a bomba de serviço de incêndios, capaz de absorver vibrações e torções;

Dispositivo luminoso que permita verificar o nível de água no tanque, de dia e de noite;

Orifício para o esvaziamento total do tanque, facilmente acessível da periferia da superestrutura;

Argolas ou aros na parte superior para permitir a sua elevação e retirada;

Caixa retangular em alumínio na parte superior, para arrumação do material;

Reservatório de emergência, construído no interior do tanque, no mesmo material, com a capacidade de 300 litros ( $\pm 5\%$ ) e dotado de um sistema elétrico de bombagem adequado. O enchimento deste reservatório é autónomo, sendo efetuado em simultâneo com o tanque principal. A água do reservatório de emergência não pode ser utilizada para o serviço de incêndios.

### 6.3 — Bomba Serviço Incêndios

O veículo deve estar equipado com uma bomba de serviço de incêndios, acoplada ou independente, certificada pela EN 1028-1,2, e obedecer às seguintes condições:

- a) Ser do tipo centrífuga, fixa ao falso chassis e de fácil acesso;
- b) Atingir o débito mínimo de 1500 litros/minuto à pressão mínima de 15 bar;

- c) Ter sistema auto-ferrante e dispor de tempo de ferra inferior a 60 segundos para uma altura de aspiração de 3,0 metros;

- d) Possuir um filtro na admissão externa da bomba com malha inox adequada e facilmente acessível e amovível;

- e) Possuir saídas em baixa pressão com uma inclinação descendente, segundo um ângulo de  $10^\circ$  a  $30^\circ$  e dispor de válvulas abertura/fecho facilmente manobráveis, mesmo sob o efeito de pressão, destacando -se as seguintes:

DN45, *Storz C*, duas saídas, com tampa cega presa por corrente;

DN25, *Storz D*, duas saídas, com tampa cega presa por corrente;

DN25, *Storz D*, para enchimento/circulação do tanque pela bomba;

A bomba de serviços de incêndios quando seja independente deve possuir motor térmico Diesel com arranque elétrico.

O carroçador deve apresentar declaração emitida pelo fabricante que ateste a total compatibilidade da bomba acoplada com o veículo, de modo a que aquela consiga alcançar plenamente as performances indicadas pelo fabricante da mesma.

#### 6.3.1 — Painel controlo bomba

O painel de controlo ou quadro de manobra da bomba de serviço de incêndios deve dispor, devidamente identificados por meio de dísticos adequados e marcação indelével, colocados junto aos mesmos, pelo menos:

- a) Conta-rotações do motor;
- b) Acelerador;
- c) Manómetro indicador da temperatura do motor;
- d) Manómetro indicador de pressão de óleo do motor;
- e) Contador de horas total e parcial de funcionamento da bomba;
- f) Manómetro de baixa pressão ligado à bomba;

- g) Vacuómetro ligado à admissão da bomba;
- h) Comando de paragem de emergência do motor;
- i) Comando do sistema de ferra da bomba;
- j) Iluminação do painel de controlo, com interruptor.

#### 6.3.2 — Bomba auxiliar

O veículo deve estar equipado com motobomba de serviço de incêndios com as seguintes características:

- a) Ser fixa e de fácil acesso montada na traseira;
- b) Motor térmico, preferencialmente Diesel, com arranque elétrico e manual retráctil e com sistema de corte por falta de óleo;
- c) Atingir o débito mínimo de 500 litros/minuto à pressão mínima de 6 bar;
- d) Possuir saídas com uma inclinação descendente, segundo um ângulo de 10° a 30° e dispor de válvulas de fecho/abertura facilmente manobráveis, mesmo sob o efeito de pressão, destacando-se as seguintes:

Duas DN25, *Storz* D, com tampa cega presa por corrente;

Uma saída da bomba para circulação tanque/bomba.

Os depósitos de combustível devem ter a capacidade suficiente para permitir o funcionamento das motobombas de serviço de incêndios durante quatro horas consecutivas.

#### 6.4 — Carretel

O veículo deve estar equipado com carretel, que obedecerá às seguintes características:

- a) Carretel com capacidade de enrolar dez (10) lanços de mangueira flexível de baixa pressão DN25, de 20 metros cada;
- b) Sistema motorizado, elétrico ou pneumático, de enrolamento e desenrolamento da mangueira, bem como sistema manual alternativo através da manivela;

- c) Sistema de travagem e dispositivo de imobilização eficaz, de modo a que não se desenrole com a deslocação do veículo.

#### 6.5 — Tubagem Hidráulica

As uniões a utilizar nas tubagens devem ser do tipo *Storz*, estampado e maquinado de alumínio.

#### 6.6 — Cofres

Os cofres devem ter as seguintes características:

- a) Serem construídos preferencialmente em alumínio;
- b) Quando fabricado com materiais compósitos, no que respeita às espessuras, composição química, deve ser acompanhado de certificado de conformidade de resistência ao fogo e aos impactos;
- c) Com o piso em alumínio estriado e resistente, com 3,0 a 4,0 mm de espessura;
- d) Serem forrados e estanques às intempéries e terem acesso fácil de ambos os lados do veículo, permitindo a instalação funcional do material e equipamento;
- e) Possuírem iluminação que acenda automaticamente com a abertura da persiana;
- f) As persianas devem obedecer aos seguintes critérios:

Ser em alumínio anodizado com uma camada de, pelo menos, 15 microne(s);

Possuírem sistema de compensação na abertura e fecho

Possuir pegas de fecho com trinco e fechadura com chave;

- g) Permitirem a arrumação vertical dos lanços de mangueira, separados entre si por divisórias, com cintas de fixação individuais.

### 7 — Equipamentos Mínimos

#### 7.1 — Equipamento de Extinção

A carga mínima obrigatória de equipamento de extinção deve ser a seguinte:

a) Agulhetas para baixa pressão, com punho e válvula de abertura e fecho, para utilização com regulador de caudal em jato/chuveiro, com posição de autolimpeza, equipada com destorcedor e certificadas, conforme EN 15182 — 1,2,3 e 4:

Três agulhetas com ligação *Storz D* e caudal mínimo igual ou inferior a 50 l/minuto e máximo até 250 litros/ minuto;

Duas agulhetas com ligação *Storz C* e caudal até 500 litros/minuto.

b) Lanços de mangueira flexível, com uniões *Storz* em liga leve, quatro capas, proteção exterior, suportando uma pressão máxima de trabalho superior a 16 bar e uma pressão de rotura mínima de 50 bar:

25 lanços DN25, com 20 metros cada e uniões *Storz D*;

6 lanços DN38, com 20 metros cada e uniões *Storz C*;

c) Um disjuntor com válvulas e uniões *Storz* tipo CxDxD;

d) Dois corpos chupadores de 3 metros cada ou três corpos chupadores de 2 metros cada, destinados à bomba principal de serviço de incêndios, com uniões *Storz*, ralo com válvula, e cesto de aspiração, devidamente certificados, conforme EN ISO 14557;

e) Duas reduções *Storz CxD*;

f) Dois adaptadores rosca fêmea DN45 SI/*Storz C*;

g) Dois extintores dorsais (mochila) em lona, com capacidade entre 18 a 20 litros, arnês e cinturão acolchoados, boca de enchimento estanque de 100 mm com filtro de malha inox, mangueira e agulheta regulável;

h) Cinco malotes de transporte de mangueiras construídos em material flexível com capacidade para dois lanços DN25, transportados às costas por meio de precintas tipo mochila.

## 7.2 — Equipamento de Iluminação, Sinalização e Elétrico

Todos os equipamentos elétricos a instalar no veículo, tem obrigatoriamente de obedecer às normas CEE.

A carga mínima obrigatória de material de iluminação, sinalização e elétrico deve ser a seguinte:

- a) Três lanternas portáteis, recarregáveis no veículo em suporte próprio, antideflagrantes, anti estáticas, proteção IP 66 com carga de 12 V c.c ou 24 V c.c, duas intensidades luminosas com um mínimo de quatro horas de utilização na intensidade máxima ou oito horas na mínima e alternativa de carregamento externo com 220 V c.a., conforme normas nacionais e europeias;
- b) Uma gambiarra de 12 V c.c., com 20 metros, lâmpada fluorescente e proteção IP 66.

## 7.3 — Equipamento Sapador

A carga mínima obrigatória de material de sapador deve ser a seguinte:

- a) Uma enxada com cabo;
- b) Duas pás florestais com cabo;
- c) Uma enxada-ancinho tipo Macleod;
- d) Um foição;
- e) Um ancinho;
- f) Um enxadão tipo Pulaski;
- g) Dois abafadores;
- h) Duas ferramentas multiusos florestal;
- i) Uma alavanca média;
- j) Uma motosserra de corrente com 500 mm com motor térmico igual ou superior a 4 kW e respetivo equipamento de proteção (óculos, auriculares, avental e perneiras).

## 7.4 — Outros Equipamentos

A carga mínima obrigatória de material diverso deve ser a seguinte:

- a) Duas chaves de boca de incêndio;
- b) Quatro chaves para *Storz CxD*;

- c) Duas chaves de marco de água;
- d) Dois recipientes de 5 litros para combustível;
- e) Dois recipientes para lubrificantes;
- f) Uma bomba flutuante, motor térmico, caudal mínimo de 500 litros/minuto, auto-ferrante, sistema de corte por falta de óleo, saída *Storz C*;
- g) Um conjunto em caixa de peças e material de manutenção dos motores dos equipamentos;
- h) Dois extintores de 6 quilos de pó químico ABC;
- i) Uma escada extensível de alumínio, com dois lanços, comprimento máximo fechado inferior a 2,5 metros e comprimento mínimo estendido de 4,0 metros, de acordo com a EN 1147;
- j) Duas espias dinâmicas, de 8 mm, com um mínimo de 20 metros cada, com mosquetões conforme EN 892.

## 8 — Ferramentas Próprias do Veículo e do Equipamento

A carga mínima obrigatória de material e ferramenta apropriado ao veículo deve ser a seguinte:

- a) Conjunto de chaves acondicionadas em caixa de ferramenta:

Doze chaves de duas bocas fixas, em aço crómio-vanádio;

Um jogo de fendas, estrela e *torx* sextavado interior, em aço crómio-vanádio;

Uma chave de grifos;

Um alicate universal.

- b) Um macaco hidráulico adaptado ao peso bruto do veículo;
- c) Dois calços de rodas;
- d) Uma cinta de reboque com 6 metros, suficientemente robusta para resistir à tração do veículo completamente carregado;
- e) Um guincho frontal, com capacidade de tração do peso bruto do veículo carregado quando aplicada a roldana;

- f) Uma roldana desmultiplicadora com capacidade para a deslocação do veículo;
- g) Manilha e estropo em poliéster com 2 metros;
- h) Mangueira para enchimento/esvaziamento dos pneus com 5 metros, tubo *racord* e manómetro de pressão;
- i) Equipamentos de socorro e sinalização regulamentares.

## 9 — Equipamento de Comunicações

### 9.1 — Emissores-Recetores Móveis

O veículo deve possuir equipamentos móveis, homologados, montados na cabina, de fácil manejo por parte do chefe de equipa, com extensão do altifalante junto do painel de comando da bomba de serviço de incêndios, com interruptor *on/off*, e dois planos-terra em painel metálico, no tejadilho, destinados às antenas de rádio:

- a) Emissor-recetor móvel de banda alta VHF (faixa dos 152-173 MHz), com 150 canais;
- b) Emissor-recetor móvel para operação na rede Tetra SIRESP com antena com capacidade de receção de sinal GPS.

### 9.2 — Outros Equipamentos

No veículo devem existir, ainda, os seguintes equipamentos:

- a) Um emissor/recetor portátil de banda alta VHF (faixa dos 152-173 MHz), com 16 canais e carregador veicular;
- b) Um emissor/recetor portátil para operação na rede Tetra SIRESP com antena com capacidade de receção de sinal GPS e carregador veicular;
- c) Um GPS com antena exterior, 12 canais paralelos no mínimo, cartografia nacional detalhada e atualizada, armazenamento mínimo de 10 (dez) rotas, marcação de 100 (cem) pontos de interesse, função *zoom in/out*. Deve permitir operação portátil e operação em instalação solidária veicular.

### 9.3 — Alimentação dos Equipamentos

Todos os equipamentos devem ser alimentados pelas baterias do veículo.

## 10 — Equipamento de Socorro Sanitário

A carga mínima obrigatória de material de socorro sanitário deve ser a seguinte:

a) Uma caixa de primeiros socorros rígida ou semirrígida em material lavável, com bandoleira, ou alças que contenha:

Material de Contenção e Penso:

Dez embalagens com 3 compressas esterilizadas, tamanho 10x10;

Cinco pensos esterilizados de grande dimensão, 20x20;

Cinco ligaduras de gaze 10x10;

Cinco ligaduras elásticas 5x8;

Cinco compressas oculares esterilizadas, (emb. Individual);

Um rolo de adesivo comum 5x5.

Material de Imobilização:

Dois talas moldáveis, (tipo SAM);

Dois colares cervicais universais descartáveis.

Material de Limpeza e Desinfecção:

Iodopovidona, sol. Dérmica, 500 ml.

Soro fisiológico de limpeza, 30 ml x6

Soro fisiológico, 500 ml x1.

Material Diverso e de Conforto:

Uma Tesoura forte para roupa;

Cinco Pinças descartáveis;

Dois Sacos de frio “químico”, (Monouso);

Uma Caixa de luvas de látex, (100 unidades), não esterilizadas, ambidextras;

Dois Mantas, isotérmicas, dupla face;

Um Lençol para queimados;

Dois Máscaras para reanimação, (tipo *pocket mask*) c/ válvula unidirecional e c/ bolsa de transporte.

b) Uma maca de lona, ou material similar, desdobrável, lavável, com 8 pegas.

## 11 — Pinturas, Símbolos e Inscrições

### 11.1 — Generalidades

O chassis deve ser protegido com uma pintura anti corrosão, com uma garantia de seis anos e aplicada antes da montagem da superestrutura, de acordo com as indicações dos fornecedores da marca do chassis.

### 11.2 — Cores

O veículo deve ser pintado a vermelho acrílico, referência RAL 3000, com uma garantia de três anos, de base fosca e verniz para acabamento, devendo os para-choques ser pintados preferencialmente a branco acrílico, referência RAL 9010.

### 11.3 — Inscrições

a) No tejadilho ou capota do motor, os caracteres que compõem o número operacional devem ter as seguintes dimensões:

1 — Altura total — 200 mm;

2 — Largura total — 120 mm;

3 — Espessura de cada algarismo ou letra — 40 mm.

b) O polígono onde se inscrevem os caracteres no tejadilho ou capota do motor, deve ter as seguintes dimensões médias:

1 — Altura — 720 mm;

2 — Largura — 640 mm.

0	0	0	0
V	F	C	I
	0	1	

c) Nas ilhargas, os caracteres que compõem o número operacional devem ter as seguintes dimensões:

- 1 — Altura total — 100 mm;
- 2 — Largura total — 060 mm;
- 3 — Espessura de cada algarismo ou letra — 020 mm.

Sempre que possível esta inscrição deve constar à retaguarda do veículo.

d) O polígono onde se inscrevem os caracteres nas ilhargas e na retaguarda deve ter as seguintes dimensões médias:

- 1 — Altura — 360 mm;
- 2 — Largura — 320 mm.

e) Nas partes laterais, em letras de 100 mm, a cor branca refletora, deve ser inscrita a palavra BOMBEIROS.

Sempre que possível esta inscrição deve constar à retaguarda e à frente do veículo. Na inscrição frontal as letras serão inscritas em posição contrária de forma a serem legíveis a partir do retrovisor do veículo à sua frente.

f) O nome do corpo de bombeiros deve ser inscrito lateralmente sob a palavra BOMBEIROS.

## **12 — Formação**

O contrato de venda do veículo deve conter obrigatoriamente um programa de formação adequado sobre o veículo e os equipamentos, com duração mínima de 4 horas.

# ANEXO B



## BOMBEIROS VOLUNTÁRIOS DE FÁTIMA

### CHECKLIST - VFCI 01

Formulário de Verificações Técnicas

Operações Efetuadas Em: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_:\_\_\_\_

1 DADOS DO VEÍCULO																																									
Marca:			Kms:			Matrícula:			-																																
Modelo:			Horas Bomba:			Val. Seguro:			-																																
						Val. IPO:			-																																
2 NÍVEIS DE FLUÍDOS																																									
Óleo do Motor	Comput	CAV	V	1/4	1/2	3/4	4/4	Combustível	Comput	CAV	V	1/4	1/2	3/4	4/4																										
Óleo da Direção	Comput	NA	V	1/4	1/2	3/4	4/4	Ad Blue	Comput	CAV	NA	V	1/4	1/2	3/4	4/4																									
Óleo de Travões	Comput	NA	V	1/4	1/2	3/4	4/4	Combustível Motobomba		CAV	V	1/4	1/2	3/4	4/4																										
Óleo Embraiagem	Comput	NA	V	1/4	1/2	3/4	4/4	Água / Líquido de Refrigeração		CAV	V	1/4	1/2	3/4	4/4																										
Óleo Multiplicador Bomba		NA	V	1/4	1/2	3/4	4/4	Líquido Limpa Pára-Brisas		CAV	V	1/4	1/2	3/4	4/4																										
3 SISTEMA ELÉCTRICO - SINALIZAÇÃO																																									
Luzes Interiores Cabine			NA			OP			INOP			Luzes Interiores Cofres			NA			OP			INOP																				
Frente			Esquerdo			Direito			Traseira			Esquerdo			Direito																										
Luzes Mínimos			OP			INOP			Luzes Presença			OP			INOP			OP			INOP																				
Luzes Médios			OP			INOP			Luzes Travagem (Stop)			OP			INOP			OP			INOP																				
4 Piscas			OP			INOP			4 Piscas			OP			INOP			OP			INOP																				
Luzes Máximos			OP			INOP			Luzes Nevoeiro			NA			OP			INOP			NA			OP			INOP														
Luzes Nevoeiro			NA			OP			INOP			Luzes Marcha Retaguarda			NA			OP			INOP			NA			OP			INOP											
Indicador Mudança Direção			OP			INOP			Indicador Mudança Direção			OP			INOP			OP			INOP			OP			INOP														
Rotativos/Ponte/Strob's			NA			OP			INOP			Rotativos/Ponte/Strob's			NA			OP			INOP			NA			OP			INOP											
Luzes Sinalizadoras Laterais			NA			OP			INOP			Luzes Matrícula			NA			OP			INOP			NA			OP			INOP											
Projetores			NA			OP			INOP			Projetores			NA			OP			INOP			NA			OP			INOP											
4 DIVERSOS																																									
Cabine / Sinalização / Outros (Riscar Se Não Aplicável)						Diversos (Riscar Se Não Aplicável)																																			
Buzina/Claxon			NA			OP			INOP			Painel Instrumentos			OP			INOP			Escova Limpa Pára-Brisas			OP			INOP			CAV											
Sirene/Alarme			NA			OP			INOP			Cintos Segurança			NA			OP			INOP			Guincho Elétrico / Hidráulico / Mecânico			_____			Ton			NA			OP			INOP		
Sprinklers Cabine			CAV			OP			INOP			Sprinklers Rodas			CAV			OP			INOP			Embraiagem			OP			INOP			CAV								
												<b>PNEUMÁTICOS</b> Da Desgaste Acentuado D Desgaste Assimétrico Q Queimadura A Arrancadura C Corte ou Rasgo O Outro																													
												<b>BATERIA</b> Bateria 1 <input type="checkbox"/> OP <input type="checkbox"/> INOP Bateria 2 <input type="checkbox"/> NA <input type="checkbox"/> OP <input type="checkbox"/> INOP																													
												<b>DISTRIBUIÇÃO</b> Distribuição - Correias / Correntes <input type="checkbox"/> OP <input type="checkbox"/> INOP																													
												<b>ÁGUA DO TANQUE / CISTERNA</b> Água do Tanque / Cisterna <input type="checkbox"/> NA <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> 1/4 <input type="checkbox"/> 1/2 <input type="checkbox"/> 3/4 <input type="checkbox"/> 4/4																													
												<b>BOMBA ACOPLADA</b> Bomba Acoplada <input type="checkbox"/> NA <input type="checkbox"/> OP <input type="checkbox"/> INOP <input type="checkbox"/> CAV																													
												<b>MOTOBOMBA HONDA</b> Motobomba Honda <input type="checkbox"/> NA <input type="checkbox"/> OP <input type="checkbox"/> INOP <input type="checkbox"/> CAV																													
<b>BLOQUEIOS / MECANISMOS</b> Acoplamento à Ponte Dianteira <input type="checkbox"/> NA <input type="checkbox"/> OP <input type="checkbox"/> INOP <input type="checkbox"/> CAV Bloqueio Diferencial Caixa Transferência <input type="checkbox"/> NA <input type="checkbox"/> OP <input type="checkbox"/> INOP <input type="checkbox"/> CAV Redução à Caixa <input type="checkbox"/> NA <input type="checkbox"/> OP <input type="checkbox"/> INOP <input type="checkbox"/> CAV Bloqueio Diferencial Ponte Traseira <input type="checkbox"/> NA <input type="checkbox"/> OP <input type="checkbox"/> INOP <input type="checkbox"/> CAV Bloqueio Diferencial Ponte Dianteira <input type="checkbox"/> NA <input type="checkbox"/> OP <input type="checkbox"/> INOP <input type="checkbox"/> CAV																																									
												Motorista 1 - Assinatura Legível e N.º Mecanográfico _____ _____																													
												Motorista 2 - Assinatura Legível e N.º Mecanográfico _____ _____																													
												<b>LEGENDA</b> Níveis: 4/4 3/4 1/2 1/4 V <input type="checkbox"/> OP Operacional <input type="checkbox"/> INOP Não Operacional <input type="checkbox"/> NA Não Aplicável <input type="checkbox"/> CAV Com Avaria <input type="checkbox"/> Comput Computador																													

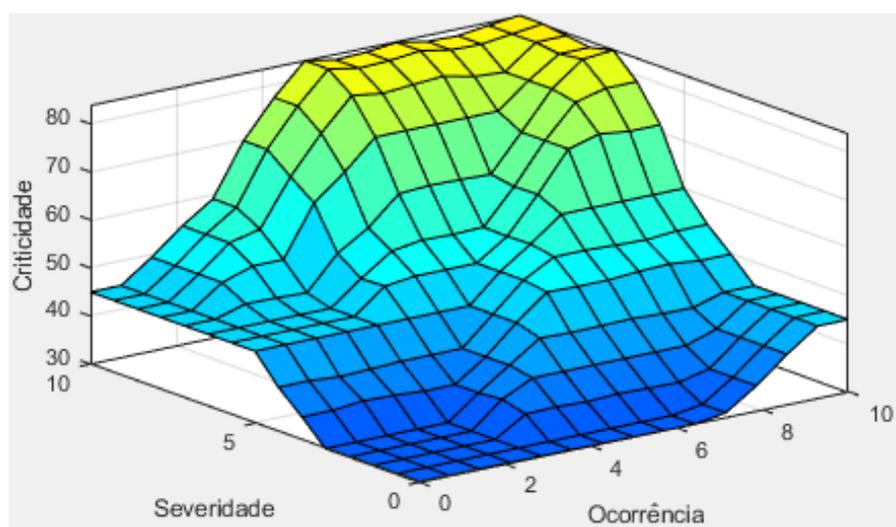
Figura B.0.1. Checklist das verificações técnicas de um VFCI (frente) (fonte: BV de Fátima).



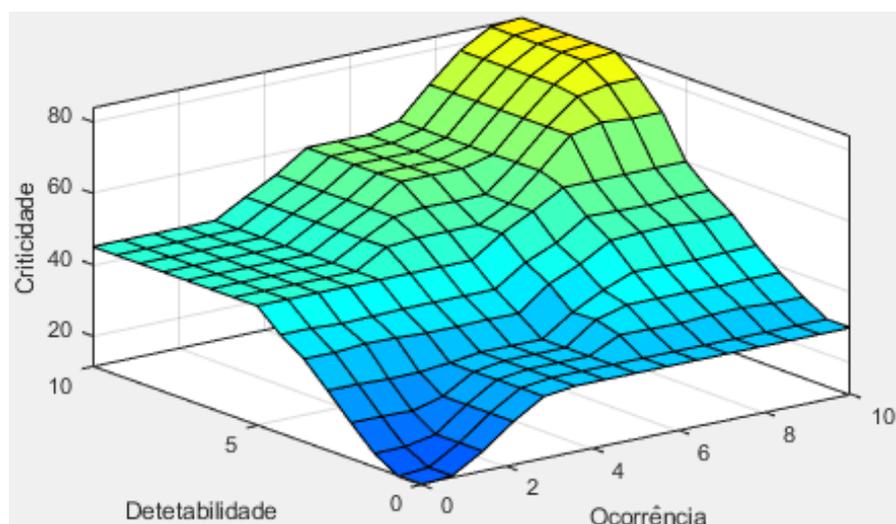


51. If (Severidade is Insignificante) and (Ocorrência is Improvável) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Baixa) (1)
52. If (Severidade is Ligeira) and (Ocorrência is Improvável) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Baixa) (1)
53. If (Severidade is Moderada) and (Ocorrência is Improvável) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Moderada) (1)
54. If (Severidade is Grave) and (Ocorrência is Improvável) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Moderada) (1)
55. If (Severidade is Catastrófica) and (Ocorrência is Improvável) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Moderada) (1)
56. If (Severidade is Insignificante) and (Ocorrência is Rara) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Baixa) (1)
57. If (Severidade is Ligeira) and (Ocorrência is Rara) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Baixa) (1)
58. If (Severidade is Moderada) and (Ocorrência is Ocasional) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Moderada) (1)
59. If (Severidade is Grave) and (Ocorrência is Rara) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Moderada) (1)
60. If (Severidade is Catastrófica) and (Ocorrência is Rara) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Alta) (1)
61. If (Severidade is Insignificante) and (Ocorrência is Ocasional) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Baixa) (1)
62. If (Severidade is Ligeira) and (Ocorrência is Ocasional) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Moderada) (1)
63. If (Severidade is Moderada) and (Ocorrência is Ocasional) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Moderada) (1)
64. If (Severidade is Grave) and (Ocorrência is Ocasional) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Alta) (1)
65. If (Severidade is Catastrófica) and (Ocorrência is Ocasional) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Muito\_Alta) (1)
66. If (Severidade is Insignificante) and (Ocorrência is Frequente) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Baixa) (1)
67. If (Severidade is Ligeira) and (Ocorrência is Frequente) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Moderada) (1)
68. If (Severidade is Moderada) and (Ocorrência is Frequente) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Alta) (1)
69. If (Severidade is Grave) and (Ocorrência is Frequente) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Alta) (1)
70. If (Severidade is Catastrófica) and (Ocorrência is Frequente) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Muito\_Alta) (1)
71. If (Severidade is Insignificante) and (Ocorrência is Persistente) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Moderada) (1)
72. If (Severidade is Ligeira) and (Ocorrência is Persistente) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Moderada) (1)
73. If (Severidade is Moderada) and (Ocorrência is Persistente) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Alta) (1)
74. If (Severidade is Grave) and (Ocorrência is Persistente) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Muito\_Alta) (1)
75. If (Severidade is Catastrófica) and (Ocorrência is Persistente) and (Detetabilidade is Reduzida) then (Criticidade is Muito\_Alta) (1)
76. If (Severidade is Insignificante) and (Ocorrência is Improvável) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Baixa) (1)
77. If (Severidade is Ligeira) and (Ocorrência is Improvável) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Moderada) (1)
78. If (Severidade is Moderada) and (Ocorrência is Improvável) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Moderada) (1)
79. If (Severidade is Grave) and (Ocorrência is Improvável) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Moderada) (1)
80. If (Severidade is Catastrófica) and (Ocorrência is Improvável) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Alta) (1)
81. If (Severidade is Insignificante) and (Ocorrência is Rara) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Baixa) (1)
82. If (Severidade is Ligeira) and (Ocorrência is Rara) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Moderada) (1)
83. If (Severidade is Moderada) and (Ocorrência is Rara) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Moderada) (1)
84. If (Severidade is Grave) and (Ocorrência is Rara) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Alta) (1)
85. If (Severidade is Catastrófica) and (Ocorrência is Rara) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Muito\_Alta) (1)
86. If (Severidade is Insignificante) and (Ocorrência is Ocasional) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Moderada) (1)
87. If (Severidade is Ligeira) and (Ocorrência is Ocasional) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Moderada) (1)
88. If (Severidade is Moderada) and (Ocorrência is Ocasional) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Alta) (1)
89. If (Severidade is Grave) and (Ocorrência is Ocasional) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Muito\_Alta) (1)
90. If (Severidade is Catastrófica) and (Ocorrência is Ocasional) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Muito\_Alta) (1)
91. If (Severidade is Insignificante) and (Ocorrência is Frequente) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Moderada) (1)
92. If (Severidade is Ligeira) and (Ocorrência is Frequente) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Alta) (1)
93. If (Severidade is Moderada) and (Ocorrência is Frequente) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Alta) (1)
94. If (Severidade is Grave) and (Ocorrência is Frequente) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Muito\_Alta) (1)
95. If (Severidade is Catastrófica) and (Ocorrência is Frequente) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Muito\_Alta) (1)
96. If (Severidade is Insignificante) and (Ocorrência is Persistente) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Moderada) (1)
97. If (Severidade is Ligeira) and (Ocorrência is Persistente) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Alta) (1)
98. If (Severidade is Moderada) and (Ocorrência is Persistente) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Muito\_Alta) (1)
99. If (Severidade is Grave) and (Ocorrência is Persistente) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Muito\_Alta) (1)
100. If (Severidade is Catastrófica) and (Ocorrência is Persistente) and (Detetabilidade is Remota) then (Criticidade is Muito\_Alta) (1)

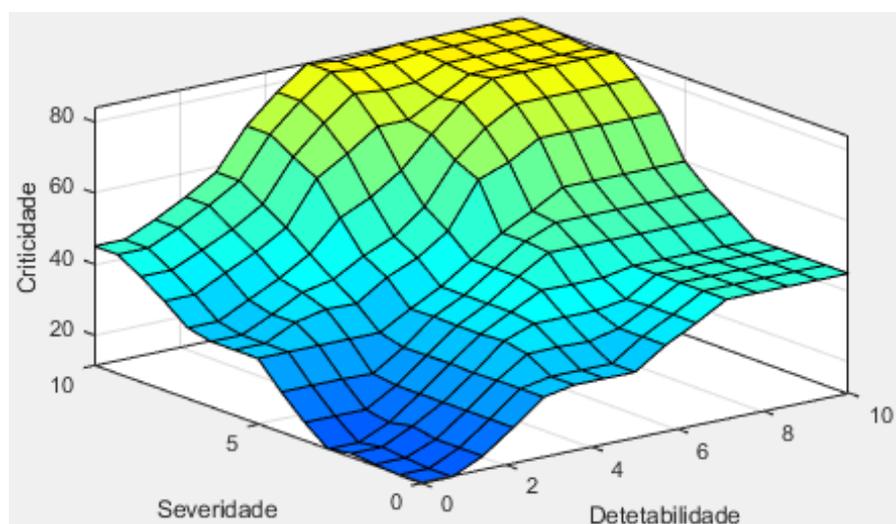
Figura C.0.2. Regras de inferência (cinquenta e um a cem).



**Figura C.0.3.** Criticidade em função da severidade e ocorrência.



**Figura C.0.4.** Criticidade em função da detetabilidade e ocorrência.



**Figura C.0.5.** Criticidade em função da severidade e detetabilidade.





Estudo da condição de veículos de combate a incêndios florestais

Sistema	Função	Componentes Principais	Função	Modo de Falha	Efeito
Motor	converter o combustível em energia mecânica para que o veículo se movimente	Ignição	inflamar a mistura ar/combustível	não inflama a mistura	motor não arranca
		Injeção	injetar combustível na câmara de combustão	inflama incorretamente	motor com desempenho inferior
			ajustar a quantidade de combustível injetado	fuga de combustível	desperdício de combustível
			ajustar o momento da injeção	baixo desempenho	afeta o desempenho do motor
		Lubrificação	pulverizar o combustível	não atinge a pressão máxima de combustão	afeta o desempenho do motor
			lubrificar as partes móveis do motor	combustão incompleta	danos nas partes móveis
		Válvulas	permitem a entrada e saída dos gases	pressão incorreta na câmara de combustão	diminui eficiência
		Câmara de Combustão	onde se dá a combustão da mistura ar/combustível	fuga de combustível	risco de acidente
		Pistões/Bielas	transformar a energia de explosão do combustível em movimento da cambota	ruído	danos no motor
		Segmentos	vedam o cilindro de forma ao combustível não se misturar com o óleo	fuga de combustível	perda de potência
		Admissão	fornece "ar novo" para uma melhor combustão do combustível	baixo desempenho	baixo desempenho/eficiência
		Refrigeração	arrefecer o motor	fuga de água	sobreaquecimento do motor
		Cambota	converte o movimento linear do pistão em movimento rotativo	ruído	danos no motor
Caixa de Velocidades	transforma a potência do motor em força/velocidade	conversor de binário (automática)	funciona como embraiagem automática entre o motor e a caixa de velocidades	fuga de óleo (ATF)	sobreaquecimento
		engrenagens planetárias (automática)	engrenagens utilizadas para transferir o binário do motor atuando como caixa de redução	trepidação na mudança de velocidade	danos nas engrenagens
		disco de embraiagem (manual)	mecanismo de ligação entre o motor e a caixa de velocidades	irregularidades na superfície de contacto	dificuldade ao engranar uma velocidade
		engrenagens (manual)	fazem a ligação entre o veio principal e secundário criando diferentes relações de velocidade	desgaste total da superfície de contacto	veículo não se move
		rolamentos	suportam e guiam os elementos rotativos (eixos)	trepidação na mudança de velocidade	danos nas engrenagens
Caixa de Transferência	distribui a potência do motor para os eixos dianteiro e traseiro	engrenagens corrente	transmite potência para o eixo frontal	ruído	retarda a aceleração
		rolamentos	unem componentes prevenindo vazamentos	fuga de óleo	sobreaquecimento dos componentes móveis
Diferenciais Frontal/Traseiro	transferem o binário aos semieixos frontais/traseiros permitindo que as rodas rodem a velocidades diferentes	rolamentos	suportam e guiam os elementos rotativos (eixos)	ruído	retarda a aceleração
		engrenagens satélite	podem rodar sobre si próprias fazendo com que os semieixos rodem a velocidades diferentes	fuga de óleo	sobreaquecimento dos componentes móveis
		engrenagens planetárias	engrenagem que transfere o movimento para os semieixos	ruído	retarda a aceleração
		vedantes	unem componentes prevenindo vazamentos	fuga de lubrificante	sobreaquecimento dos componentes móveis
		rolamentos	suportam e guiam os elementos rotativos (eixos)	ruído	retarda a aceleração
Travões	imobilizam o veículo o veículo	pedal	aciona o sistema de travagem	pedal frouxo	aumento da distância de travagem
		compressor	fornece ar ao sistema	ruído	aumento do tempo para cobrir o circuito na pressão adequada
		reservatório/circuito	armazena o ar comprimido	funcionamento contínuo do compressor	sobreaquecimento do compressor
		pastilhas de travão	friccionam o disco fazendo com que o veículo abrande ou pare	ruído estridente	aumento da distância de travagem/desgaste dos discos
		discos	ao serem pressionados pelas pastilhas abrandam ou param a rotação	vibrações ao travar	falta de estabilidade na travagem
Suspensão Pneumática	absorver as irregularidades do terreno	câmara de travagem	transforma a pressão pneumática em força mecânica	assobio (fuga de ar)	falha na travagem de uma das rodas
		compressor	fornece ar ao sistema	ruído	aumento do tempo para obter a pressão adequada
		cilindro/circuito de ar comprimido	armazena o ar comprimido	funcionamento contínuo do compressor	sobreaquecimento do compressor
Suspensão de Lâminas	absorver as irregularidades do terreno	bulão/mola pneumática	amortece os choques/vibrações e nivela as cargas	inclinação para o lado da suspensão danificada	sobreaquecimento do compressor
		lâminas	amortece os choques/vibrações	lâminas partidas	desconforto na condução
		parafuso/grampo U	mantem as lâminas juntas e elimina a flexão na zona do parafuso central	suspensão "relaxada"	perigo de deslizamento do veículo
Rodas	suportam, direcionam e aplicam a potência na estrada para o veículo se movimentar	pneus	responsáveis pela aderência do veículo à estrada	desgaste normal	falta de aderência
			jantes	suportam o pneu	desgaste central
			desgaste lateral	redução de tração	
			desgaste de um só lado	desgaste acentuado do pneu	
			arrancamentos localizados	risco agravado de explosão	
	corde/racha	risco agravado de explosão			
	furo	pneu vazio			
	jante empenada	vibrações acentuadas			
	desequilíbrio	danos nos pneus/suspensão/direção			

Figura D.0.2. FMECA completa (lado esquerdo).

Severidade					Probabilidade de Ocorrência					Ação de Tratamento					Detectabilidade					Risco de Falha				
Fátima	Minde	Alcanena	Pressuposto	Média	Fátima	Minde	Alcanena	Pressuposto	Média	Fátima	Minde	Alcanena	Pressuposto	Média	Fátima	Minde	Alcanena	Pressuposto	Média	Fátima	Minde	Alcanena	Pressuposto	Média
9	10	9	4	9.3	bateria descarregada/velas queimadas	6	3	2	6	3.7	substituir a bateria/velas	1	2	1	1	1.3	54	60	18	24	46			
6	8	9	6	7.7	danos nos cabos de vela	2	3	2	4	2.3	substituir os cabos	2	2	1	4	1.7	24	48	18	96	30			
4	8	5	6	5.7	injetor avariado	3	4	4	2	3.7	substituir injetor	9	9	7	2	8.3	108	288	140	24	173			
4	8	5	6	5.7	centralina danificada	2	2	2	2	2.0	verificar a centralina	9	10	9	4	9.3	72	160	90	48	106			
4	8	5	6	5.7	centralina danificada	2	2	2	2	2.0	verificar a centralina	9	10	9	4	9.3	72	160	90	48	106			
4	6	5	3	5.0	injetor avariado	2	4	4	3	3.3	substituir injetor	9	9	7	4	8.3	72	216	140	36	139			
2	8	5	5	5.0	fugas de óleo	6	4	6	6	5.3	substituir vedantes/juntas	1	1	1	2	1.0	12	32	30	60	27			
4	7	7	6	6.0	deterioração da válvula	3	2	3	2	2.7	substituir válvulas	8	10	9	7	9.0	96	140	189	84	144			
10	10	10	10	10.0	rachadura interna devido ao desgaste	2	2	2	1	2.0	verificar estado da câmara de combustão	4	10	9	5	7.7	80	200	180	50	153			
8	8	8	8	8.0	rachadura interna devido ao desgaste	2	2	2	4	2.0	substituir pistões/bielas	4	4	3	2	3.7	64	64	48	64	59			
4	7	8	6	6.3	desgaste do segmento	3	5	5	6	4.3	substituir segmentos	7	7	5	2	6.3	84	245	200	72	174			
4	8	8	6	6.7	desgaste do filtro de ar	8	5	5	4	6.0	limpar/substituir o filtro	2	5	5	2	4.0	64	200	200	48	160			
8	8	6	4	7.3	tubo roto	7	2	5	7	4.7	substituir o tubo	2	2	3	2	2.3	112	32	90	56	80			
8	8	6	7	7.3	desgaste dos rolamentos	2	3	3	2	2.7	substituir os rolamentos	8	3	3	2	4.7	128	72	54	28	91			
6	8	7	6	7.0	desgaste dos vedantes	5	5	4	6	4.7	substituir os vedantes	2	2	2	2	2.0	60	80	56	72	65			
5	7	6	7	6.0	desgaste das engrenagens	4	5	4	2	4.3	verificar e substituir os elementos danificados	7	7	8	4	7.3	140	245	192	56	191			
7	7	6	7	6.7	utilizar o pedal de embraiagem de forma brusca	4	4	3	3	3.7	substituir o disco de embraiagem	5	4	4	2	4.3	140	112	72	42	106			
9	10	9	8	9.3	desgaste contínuo	3	4	3	2	3.3	substituir o disco de embraiagem	2	1	2	1	1.7	54	40	54	16	52			
5	7	6	7	6.0	desgaste das engrenagens	4	5	4	2	4.3	verificar e substituir os elementos danificados	7	7	8	4	7.3	140	245	192	56	191			
6	6	6	5	6.0	desgaste do rolamento	4	4	3	5	3.7	substituir os rolamentos	5	6	5	3	5.3	120	144	90	75	117			
7	10	6	7	7.7	desgaste das engrenagens/quebra da corrente	2	2	2	1	2.0	verificar e substituir os elementos danificados	3	1	2	1	2.0	42	20	24	7	31			
7	8	7	6	7.3	desgaste dos vedantes	3	3	2	6	2.7	substituir os vedantes	1	1	2	2	1.3	21	24	28	72	26			
5	7	7	5	6.3	desgaste do rolamento	3	2	2	5	2.3	substituir os rolamentos	6	5	4	3	5.0	90	70	56	75	74			
7	10	8	7	8.3	desgaste/fratura das engrenagens	2	2	2	5	2.0	substituir as engrenagens danificadas	3	1	2	3	2.0	42	20	32	105	33			
7	10	8	7	8.3	desgaste/fratura das engrenagens	2	2	2	5	2.0	substituir as engrenagens danificadas	3	1	2	3	2.0	42	20	32	105	33			
7	10	8	7	8.3	desgaste/fratura das engrenagens	2	2	2	5	2.0	substituir as engrenagens danificadas	3	1	2	3	2.0	42	20	32	105	33			
7	10	8	7	8.3	desgaste/fratura das engrenagens	2	2	2	5	2.0	substituir as engrenagens danificadas	3	1	2	3	2.0	42	20	32	105	33			
8	8	6	6	7.3	desgaste dos vedantes	3	3	3	6	3.0	substituir os vedantes	1	1	2	2	1.3	24	24	36	72	29			
5	7	6	5	6.0	desgaste do rolamento	3	2	3	5	2.7	substituir os rolamentos	5	4	4	3	4.3	75	56	72	75	69			
7	6	7	5	6.7	vapor de água no sistema de travagem	2	4	5	5	3.7	sangrar/limpar o circuito	2	1	2	4	1.7	28	24	70	100	41			
3	6	7	5	5.3	danos no motor do compressor	2	2	5	3	3.0	verificar o estado do compressor	3	4	3	3	3.3	18	48	105	45	53			
2	9	7	4	6.0	fuga de ar do sistema	4	3	5	6	4.0	substituir o elemento com a fuga	2	3	3	5	2.7	16	81	105	120	64			
7	6	5	6	6.0	desgaste/má qualidade das pastilhas	4	6	6	4	5.3	substituir as pastilhas de travão	5	2	3	1	3.3	140	72	90	24	107			
4	7	5	7	5.3	desgaste/distorção dos discos	8	5	5	3	6.0	substituir os discos	4	2	3	3	3.0	128	70	75	63	96			
7	10	7	5	8.0	furo do diafragma	6	2	3	5	3.7	verificar/substituir a câmara de travagem	4	1	2	4	2.3	168	20	42	100	68			
5	6	4	5	5.0	danos no motor do compressor	3	2	3	3	2.7	verificar o estado do compressor	3	4	3	3	3.3	48	48	36	45	44			
5	9	4	4	6.0	fuga de ar do sistema	4	2	4	6	3.3	substituir o elemento com a fuga (cilindros/mangueiras/válvulas)	3	4	2	5	3.0	60	72	32	120	60			
7	10	8	6	8.3	fuga de ar/desgaste da mola	3	2	3	5	2.7	substituir o fole danificado	7	7	3	3	5.7	147	140	72	90	126			
3	5	5	5	4.3	sobrecarga/desgaste	4	2	4	3	3.3	substituir as lâminas partidas	2	2	3	3	2.3	24	20	60	45	34			
9	9	7	9	8.3	desgaste/corrosão	3	2	2	4	2.3	substituição do parafuso U	2	2	2	3	2.0	54	36	28	108	39			
2	4	5	4	3.7	parafuso U despertado	3	4	3	5	3.3	verificar o aperto do parafuso U	8	5	5	5	6.0	48	80	75	100	73			
2	5	6	6	4.3	parafuso U solto	2	3	3	3	2.7	substituir o parafuso central	6	5	6	4	5.7	24	75	108	72	65			
9	10	9	6	9.3	velocidade e estilo de condução	5	2	2	4	3.0	formação adequada dos operadores	1	1	1	1	1.0	45	20	18	24	28			
9	10	9	6	9.3	temperaturas excessivas	2	2	2	5	2.0	formação adequada dos operadores	1	1	1	1	1.0	18	20	18	30	19			
9	10	9	6	9.3	condições das estradas onde circula	10	7	8	6	8.3	formação adequada dos operadores	1	1	1	1	1.0	90	70	72	36	78			
3	10	9	4	7.3	demasiada pressão dos pneus	2	4	3	7	3.0	corrigir a pressão dos pneus (a frio)	2	3	3	3	2.7	12	120	81	84	59			
3	10	9	4	7.3	insuficiente pressão dos pneus	2	4	3	7	3.0	corrigir a pressão dos pneus (a frio)	2	3	3	3	2.7	12	90	108	84	59			
3	10	9	5	7.3	desalinhamento das rodas	4	3	3	5	3.3	verificar direção/suspensão	3	2	3	3	2.7	36	60	81	75	65			
8	10	10	6	9.3	condução fora de estrada/caminhos acidentados	8	7	7	4	7.3	substituir por pneus adequados	2	2	4	4	2.7	128	140	280	96	183			
8	10	10	6	9.3	más condições da estrada/terreno	8	7	7	5	7.3	verificar o estado do pneu	2	2	4	5	2.7	128	140	280	150	183			
8	6	5	7	6.3	objetos afiados no pavimento	7	8	6	5	7.0	substituir o pneu	1	1	1	1	1.0	56	48	30	35	44			
6	7	7	5	6.7	más condições da estrada/terreno	5	7	6	5	6.0	retificar a jante	3	4	4	5	3.7	90	196	168	125	147			
8	8	6	5	7.3	erro de montagem	3	1	2	2	2.0	verificar o equilíbrio/montagem da jante	3	4	4	7	3.7	72	32	48	70	54			

Figura D.0.3. FMECA completa (lado direito).



# ANEXO E

Sistema	Função	Componentes Principais	Falhas	Modo de Falha	Efeitos	S		D		D		RPN	R
						Média	Intervalo	Média	Intervalo	Média	Intervalo		
Motor	converter o combustível em energia mecânica para que o veículo se movimente	Injeção	injetar combustível na câmara de combustão	injetar a quantidade de combustível injetado	motor não arranca	9,3	falha de decarregada/válvula desregulada	2,7	substituir a bateria velha	25	65	29	45
				motor com desempenho inferior	2,3	substituir os cabos	36	30	181	30			
				falha de combustível	5,7	ajustar o arado	2,7	substituir a ignição	51	106	106		
		Injeção	ajustar o momento da injeção	bater o desempenho do motor	falha de decarregada/válvula desregulada	2,0	verificar a centralina	9,3	51	106			
				falha de decarregada/válvula desregulada	5,7	centralina danificada	2,0	verificar a centralina	9,3	51	106		
				falha de decarregada/válvula desregulada	5,7	centralina danificada	2,0	verificar a centralina	9,3	51	106		
		Lubrificação	lubrificar as partes móveis do motor	combustão incompleta	poluição atmosférica excessiva	3,3	substituir a ignição	8,3	48	139			
				falha de óleo	falha nos partes móveis	5,3	substituir vedantes/juntas	1,0	39	27			
				falha de óleo	falha nos partes móveis	5,3	substituir vedantes/juntas	1,0	39	27			
		Válvulas	permitem a entrada e saída dos gases	perda incorreta na câmara de combustão	diminui a eficiência	6,0	detonação da válvula	9,0	53	144			
				perda incorreta na câmara de combustão	diminui a eficiência	6,0	detonação da válvula	9,0	53	144			
				perda incorreta na câmara de combustão	diminui a eficiência	6,0	detonação da válvula	9,0	53	144			
		Câmara de Combustão	onde se dá a combustão da mistura de combustível	falha de combustível	risco de acidente	10,0	na habua interna devido ao desgaste	2,0	verificar estado da câmara de combustão	7,7	36	103	
				falha de combustível	risco de acidente	10,0	na habua interna devido ao desgaste	2,0	verificar estado da câmara de combustão	7,7	36	103	
				falha de combustível	risco de acidente	10,0	na habua interna devido ao desgaste	2,0	verificar estado da câmara de combustão	7,7	36	103	
Pistões/Válvulas	transformam a energia de expansão do combustível em movimento do combas	perda de potência	desgaste do segmento	6,3	desgaste do segmento	4,3	substituir segmentos	6,3	72	174			
		perda de potência	desgaste do segmento	6,3	desgaste do segmento	4,3	substituir segmentos	6,3	72	174			
		perda de potência	desgaste do segmento	6,3	desgaste do segmento	4,3	substituir segmentos	6,3	72	174			
Admissão	fornece "ar novo" para uma melhor combustão do combustível	bater o desempenho	bater o desempenho/eficiência	6,7	desgaste do filtro de ar	6,0	limpar substituir o filtro	4,0	49	100			
		bater o desempenho	bater o desempenho/eficiência	6,7	desgaste do filtro de ar	6,0	limpar substituir o filtro	4,0	49	100			
		bater o desempenho	bater o desempenho/eficiência	6,7	desgaste do filtro de ar	6,0	limpar substituir o filtro	4,0	49	100			
Reduzido	amplifica o motor	falha de ignição	sobrecapacimento do motor	7,3	substituir o bobino	2,3	substituir o bobino	2,3	42	80			
		falha de ignição	sobrecapacimento do motor	7,3	substituir o bobino	2,3	substituir o bobino	2,3	42	80			
		falha de ignição	sobrecapacimento do motor	7,3	substituir o bobino	2,3	substituir o bobino	2,3	42	80			
Câmbia	converte o movimento linear do pistão em movimento rotativo	desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
Caixa de Velocidades	transforma a potência do motor em força/velocidade	desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
Caixa de Transferência	distribui a potência do motor para os eixos dianteiro e traseiro	desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
Diferenciais/Frenos/Traseiro	transformam o binário aos semieixos frontais/traseiros permitindo que os rodas rodem a velocidades diferentes	desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
Travões	imobilizam o veículo o veículo	desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
Suspensão/Pneumática	absorver as irregularidades do terreno	desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
Suspensão de Láminas	absorver as irregularidades do terreno	desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
Rodas	suportam, deslizam e aplicam a potência na estrada para o veículo se movimentar	desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			
		desgaste do eixo	desgaste do eixo	7,3	desgaste do eixo	2,7	substituir os rolamentos	4,7	46	91			

Figura E.0.1. Análise difusa completa.

Estudo da condição de veículos de combate a incêndios florestais

Sistema	Função	Componentes Principais	Função	Modo de Falha	
Motor	converter o combustível em energia mecânica para que o veículo se movimente	Ignição	inflamar a mistura ar/combustível	não inflama a mistura inflama incorretamente	
		Injeção	injetar combustível na câmara de combustão	fuga de combustível	
			ajustar a quantidade de combustível injetado	baixo desempenho	
			ajustar o momento da injeção	não atinge a pressão máxima de combustão	
		Lubrificação	pulverizar o combustível	combustão incompleta	
		Válvulas	lubrificar as partes móveis do motor	ruído	
		Câmara de Combustão	permitem a entrada e saída dos gases	pressão incorreta na câmara de combustão	
			onde se dá a combustão da mistura ar/combustível	fuga de combustível	
		Pistões/Bielas	transformar a energia de explosão do combustível em movimento da cambota	ruído	
		Segmentos	vedam o cilindro de forma ao combustível não se misturar com o óleo	fuga de combustível	
Admissão	fornece "ar novo" para uma melhor combustão do combustível	baixo desempenho			
Refrigeração	arrefecer o motor	fuga de água			
Caixa de Velocidades	transforma a potência do motor em força/velocidade	Cambota	converte o movimento linear do pistão em movimento rotativo	ruído	
		conversor de binário (automática)	funciona como embraiagem automática entre o motor e a caixa de velocidades	fuga de óleo (ATF)	
		engrenagens planetárias (automática)	engrenagens utilizadas para transferir o binário do motor atuando como caixa de redução	trepidação na mudança de velocidade	
		disco de embraiagem (manual)	mecanismo de ligação entre o motor e a caixa de velocidades	irregularidades na superfície de contacto desgaste total da superfície de contacto	
Caixa de Transferência	distribui a potência do motor para os eixos dianteiro e traseiro	engrenagens (manual)	fazem a ligação entre o veio principal e secundário criando diferentes relações de velocidade	trepidação na mudança de velocidade	
		rolamentos	suportam e guiam os elementos rotativos (eixos)	ruído	
Diferenciais Frontal/Traseiro	transferem o binário aos semieixos frontais/traseiros permitindo que as rodas rodem a velocidades diferentes	engrenagens/corrente	transmite potência para o eixo frontal	ruído	
		vedantes	unem componentes prevenindo vazamentos	fuga de óleo	
		rolamentos	suportam e guiam os elementos rotativos (eixos)	ruído	
		pinhão de ataque	engrenagem que transfere o movimento do eixo de transmissão para a coroa	perda de transmissão	
coroa dentada	engrenagem que recebe o movimento transmitido pelo pinhão				
Travões	imobilizam o veículo o veículo	engrenagens planetárias	podem rodar sobre si próprias fazendo com que os semieixos rodem a velocidades diferentes	fuga de lubrificante	
		engrenagens planetárias	engrenagem que transfere o movimento para os semieixos		
		vedantes	unem componentes prevenindo vazamentos	ruído	
		rolamentos	suportam e guiam os elementos rotativos (eixos)	pedal frouxo	
Suspensão Pneumática	absorver as irregularidades do terreno	pedal	aciona o sistema de travagem	ruído	
		compressor	fornece ar ao sistema	funcionamento contínuo do compressor	
		reservatório/circuito	armazena o ar comprimido	ruído estridente	
		pastilhas de travão	friccionam o disco fazendo com que o veículo abrande ou pare	vibrações ao travar	
Suspensão de Lâminas	absorver as irregularidades do terreno	discos	ao serem pressionados pelas pastilhas abrandam ou param a rotação	assobio (fuga de ar)	
		câmara de travagem	transforma a pressão pneumática em força mecânica	ruído	
		compressor	fornece ar ao sistema	funcionamento contínuo do compressor	
		cilindro/circuito de ar comprimido	armazena o ar comprimido	inclinação para o lado da suspensão danificada	
Rodas	suportam, direcionam e aplicam a potência na estrada para o veículo se movimentar	balão/mola pneumática	amortece os choques/vibrações e nivela as cargas	lâminas partidas	
		lâminas	amortece os choques/vibrações	suspensão "relaxada"	
		parafuso/grampo U	mantem as lâminas juntas e elimina a flexão na zona do parafuso central	trepidação	
Rodas	suportam, direcionam e aplicam a potência na estrada para o veículo se movimentar	parafuso central	mantem as lâminas juntas e coloca-as em contacto com o eixo	desgaste normal	
		pneus	responsáveis pela aderência do veículo à estrada		desgaste central
			desgaste lateral		
Rodas	suportam, direcionam e aplicam a potência na estrada para o veículo se movimentar	jantes	suportam o pneu	desgaste de um só lado	
			desgastes localizados		
Rodas	suportam, direcionam e aplicam a potência na estrada para o veículo se movimentar	jantes	suportam o pneu	corte/racha	
			desgastes localizados		
Rodas	suportam, direcionam e aplicam a potência na estrada para o veículo se movimentar	jantes	suportam o pneu	furo	
			desgastes localizados		
Rodas	suportam, direcionam e aplicam a potência na estrada para o veículo se movimentar	jantes	suportam o pneu	jante empenada	
			desgastes localizados		
Rodas	suportam, direcionam e aplicam a potência na estrada para o veículo se movimentar	jantes	suportam o pneu	desequilíbrio	
			desgastes localizados		

Figura E.0.2. Análise difusa completa (lado esquerdo).

Efeito	S	Potencial Causa	O	Ação de Tratamento	D	RPN	R
	Média		Média		Média	Lógica Difusa	FMECA
motor não arranca	9.3	bateria descarregada/velas queimadas	3.7	substituir a bateria/velas	1.3	39	46
motor com desempenho inferior	7.7	danos nos cabos de vela	2.3	substituir os cabos	1.7	36	30
desperdício de combustível	5.7	injetor avariado	3.7	substituir injetor	8.3	63	173
afeta o desempenho do motor	5.7	centralina danificada	2.0	verificar a centralina	9.3	51	106
afeta o desempenho do motor	5.7	centralina danificada	2.0	verificar a centralina	9.3	51	106
poluição/diminui eficiência	5.0	injetor avariado	3.3	substituir injetor	8.3	48	139
danos nas partes móveis	5.0	fugas de óleo	5.3	substituir vedantes/juntas	1.0	30	27
diminui eficiência	6.0	deterioração da válvula	2.7	substituir válvulas	9.0	53	144
risco de acidente	10.0	rachadura interna devido ao desgaste	2.0	verificar estado da câmara de combustão	7.7	76	153
danos no motor	8.0	rachadura interna devido ao desgaste	2.0	substituir pistões/bielas	3.7	45	59
perda de potência	6.3	desgaste do segmento	4.3	substituir segmentos	6.3	72	174
baixo desempenho/eficiência	6.7	desgaste do filtro de ar	6.0	limpar/substituir o filtro	4.0	49	160
sobreaquecimento do motor	7.3	tubo roto	4.7	substituir o tubo	2.3	42	80
danos no motor	7.3	desgaste dos rolamentos	2.7	substituir os rolamentos	4.7	46	91
sobreaquecimento	7.0	desgaste dos vedantes	4.7	substituir os vedantes	2.0	38	65
danos nas engrenagens	6.0	desgaste das engrenagens	4.3	verificar e substituir os elementos danificados	7.3	69	191
dificuldade ao engranar uma velocidade	6.7	utilizar o pedal de embraiagem de forma brusca	3.7	substituir o disco de embraiagem	4.3	48	106
veículo não se move	9.3	desgaste contínuo	3.3	substituir o disco de embraiagem	1.7	39	52
danos nas engrenagens	6.0	desgaste das engrenagens	4.3	verificar e substituir os elementos danificados	7.3	69	191
retarda a aceleração	6.0	desgaste do rolamento	3.7	substituir os rolamentos	5.3	58	117
falha na tração dianteira	7.7	desgaste das engrenagens/quebra da corrente	2.0	verificar e substituir os elementos danificados	2.0	38	31
sobreaquecimento dos componentes móveis	7.3	desgaste dos vedantes	2.7	substituir os vedantes	1.3	33	26
retarda a aceleração	6.3	desgaste do rolamento	2.3	substituir os rolamentos	5.0	45	74
veículo não se move corretamente	8.3	desgaste/fratura das engrenagens	2.0	substituir as engrenagens danificadas	2.0	38	33
	8.3		2.0		2.0	38	33
	8.3		2.0		2.0	38	33
	8.3		2.0		2.0	38	33
	8.3		2.0		2.0	38	33
sobreaquecimento dos componentes móveis	7.3	desgaste dos vedantes	3.0	substituir os vedantes	1.3	33	29
retarda a aceleração	6.0	desgaste do rolamento	2.7	substituir os rolamentos	4.3	39	69
aumento da distância de travagem	6.7	vapor de água no sistema de travagem	3.7	sangrar/limpar o circuito	1.7	36	41
aumento do tempo para colocar o circuito na pressão adequada	5.3	danos no motor do compressor	3.0	verificar o estado do compressor	3.3	33	53
sobreaquecimento do compressor	6.0	fuga de ar do sistema	4.0	substituir o elemento com a fuga	2.7	38	64
aumento da distância de travagem/desgaste dos discos	6.0	desgaste/má qualidade das pastilhas	5.3	substituir as pastilhas de travão	3.3	41	107
falha de estabilidade na travagem	5.3	desgaste/distorção dos discos	6.0	substituir os discos	3.0	41	96
falha na travagem de uma das rodas	8.0	furo do diafragma	3.7	verificar/substituir a câmara de travagem	2.3	45	68
aumento do tempo para obter a pressão adequada	5.0	danos no motor do compressor	2.7	verificar o estado do compressor	3.3	33	44
sobreaquecimento do compressor	6.0	fuga de ar do sistema	3.3	substituir o elemento com a fuga (cilindros/mangueiras/válvulas)	3.0	38	60
desconforto na condução	8.3	fuga de ar/desgaste da mola	2.7	substituir o fole danificado	5.7	66	126
desconforto na condução	4.3	sobrecarga/desgaste	3.3	substituir as lâminas partidas	2.3	23	34
perigo de deslizamento do veículo	8.3	desgaste/corrosão	2.3	substituição do parafuso U	2.0	38	39
maiores choques durante a condução	3.7	parafuso U desapertado	3.3	verificar o aperto do parafuso U	6.0	41	73
	4.3	parafuso U solto	2.7	substituir o parafuso central	5.7	39	65
falta de aderência	9.3	velocidade e estilo de condução	3.0		1.0	30	28
	9.3	temperaturas excessivas	2.0	formação adequada dos operadores	1.0	30	19
	9.3	condições das estradas onde circula	8.3		1.0	53	78
redução de tração	7.3	demasiada pressão dos pneus	3.0	corrigir a pressão dos pneus (a frio)	2.7	42	59
redução de tração	7.3	insuficiente pressão dos pneus	3.0	corrigir a pressão dos pneus (a frio)	2.7	42	59
desgaste acentuado do pneu	7.3	desalinhamento das rodas	3.3	verificar direção/suspensão	2.7	45	65
risco agravado de explosão	9.3	condução fora de estrada/caminhos acidentados	7.3	substituir por pneus adequados	2.7	57	183
risco agravado de explosão	9.3	más condições da estrada/terreno	7.3	verificar o estado do pneu	2.7	57	183
pneu vazio	6.3	objetos afiados no pavimento	7.0	substituir o pneu	1.0	39	44
vibrações acentuadas	6.7	más condições da estrada/terreno	6.0	retificar a jante	3.7	49	147
danos nos pneus/suspensão/direção	7.3	erro de montagem	2.0	verificar o equilíbrio/montagem da jante	3.7	42	54

Figura E.0.3. Análise difusa completa (lado direito).

