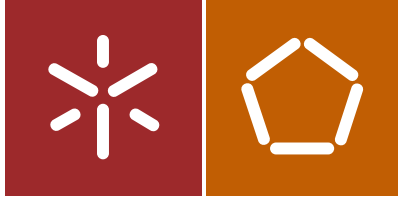


Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Lúcio Manuel Alves Machado

Análise de danos em (motores) automóveis





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Lúcio Manuel Alves Machado

Análise de danos em (motores) automóveis

Dissertação de Mestrado  
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor Jorge José Gomes Martins

junho de 2021

## DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



**Atribuição-NãoComercial-SemDerivações**  
**CC BY-NC-ND**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus filhos, à minha esposa, aos meus Pais e aos meus Avós.

Ao Jorge Martins por toda a aprendizagem nesta área, de todas e tantas conversas, acesas ou não, sobre o tema e sobre a vida, na medida da enorme diferença de personalidades que temos, mas que nos junta de forma sólida e rija!

Ao Professor Amaral Nunes pela ajuda sistemática sem cobrança, ao Nuno Pacheco pelo apoio, ao Professor José Carlos pela confiança desde sempre e pela inspiração para o sucessivo desenvolvimento pessoal de que este trabalho é apenas mais um passo.

A felicidade é um estado e não uma meta e para se ser feliz basta decidir ser!



## RESUMO

Este trabalho baseia-se em danos comuns em automóveis, nomeadamente relacionados com motores e incêndios. São apresentados vários casos estudados que derivaram de pareceres e ações judiciais em que o Autor participou, utilizando uma lógica na base das consequências e danos evidentes, procurar as causas possíveis e apontando de entre elas a causa mais provável. As gripagens são um dos danos mais comuns em motores, com várias incidências em alguns modelos do mercado conhecidos como mais frágeis. Nestas, a gripagem dos bronzes (cambota) é a mais comum e vários motivos podem estar por detrás destes danos. A não utilização do óleo recomendado, uma substituição tardia do óleo, o nível baixo do mesmo, problemas na bomba de óleo e fugas, são algumas das causas. Das gripagens motivadas por problemas no sistema de lubrificação, passou-se para as relativas ao circuito de arrefecimento que, normalmente implica danos em pistões e camisas. Outros problemas como o *knock*, danos em turbocompressores, o *runway* e o *hydrolock* são também danos estudados.

A fadiga existente em cambotas, em pistões e a perda de sincronismo entre a árvore de cames e a cambota, são também apresentados, assim como os danos daí derivados. Apresentam-se ainda alguns problemas relativos ao sistema de injeção nos motores Diesel e como isso pode levar a danos em pistões.

A recente introdução dos filtros de partículas (FAP ou DPF) veio aumentar os danos e avarias em automóveis, nomeadamente incêndios de veículos o que também por vezes já acontecia com os tradicionais catalisadores. São ainda analisados outros problemas de incêndios por outros motivos, tais como derrames de óleo, fugas de combustível, aos quais se juntam os curto-circuitos. Os problemas elétricos e eletrónicos atualmente têm aumentado o seu número. Finaliza-se com algumas estatísticas de danos nos automóveis e nos motores, ao que se acrescenta, em particular, os incêndios.

**Palavras-chave:** Motores, danos, gripagem, filtro de partículas, incêndios





## ABSTRACT

This work is based on common damages in automobiles, namely those related with engines and vehicle fires. Several case studies that derived from studies and lawsuits in which the Author participated are presented, using a logic of searching for possible causes and pointing out among them the most probable one, based on the consequences and evident damages. Seizures are one of the most common damages in engines, with some incidences in some models on the market, known as more fragile. In these cases, seizing of the crankshaft bearings is the most common thing, and several reasons can be behind these damages, such as not using the recommended oil, late oil replacement, low oil level, problems in the oil pump and leaks. From the engine seizures caused by problems in the lubrication system, we move on to those related to the cooling circuit, which usually involve damage to the head gasket and/or pistons and cylinder liners. Other problems such as engine knock, turbocharger damage, runaway, and hydrolock are also present and discussed. Other problems such as crankshaft and piston fatigue, and the loss of camshaft to crankshaft synchronisation are also presented, as well as the damage caused by them. Some problems regarding the injection system in Diesel engines, and how this can lead to piston damage, are also presented.

The recent introduction of particle filters (FAP or DPF) has increased the number of damages and malfunctions in cars, namely vehicle fires, which also sometimes happened with the traditional catalytic converters. Other fire related problems caused by other reasons are also analyzed, such as oil spills and fuel leaks, added to short circuits. Electrical and electronic problems are currently increasing in number. This work ends with car and engine damage statistics, to which, in particular, fire statistics are added.

**Keywords:** Engines, damage, seizure, particle filter, fire

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	i
Resumo .....	iii
Abstract.....	v
Índice.....	vi
Lista de Figuras.....	x
Lista de tabelas .....	xix
Glossário de Termos .....	xx
1. Introdução.....	1
1.1 Objetivos do trabalho.....	3
1.2 Organização.....	3
2. Análise da literatura existente.....	5
2.1 Gripagem.....	6
2.1.1 Bronzes e gripagem.....	7
2.1.2 Gripagem dos bronzes por <i>Fretting</i> .....	8
2.1.3 Gripagem em pistões e outros danos.....	11
2.1.4 Pistões danificados por deficiência de outros sistemas .....	14
2.1.4.1. Hydrolock.....	14
2.1.4.2. <i>Knock</i> e danos em pistões .....	16
2.1.4.3. Turbocompressor .....	16
2.1.4.4. Danos em pistões por dessincronização e válvulas .....	17
2.1.4.5. Outros danos em válvulas .....	21
2.1.4.6. Troca de combustível e dano em pistões.....	22
2.1.4.7. Sistema de injeção e danos em pistões.....	23
2.2 Cambotas e danos .....	26
2.3 Cilindros e danos .....	37
2.4 Emissões e danos .....	38
2.4.1 Filtros de Partículas (FAPs ou DPF) .....	39
2.4.2 Catalisador .....	45
2.5 Estatística dos danos .....	47

3.	Análise de danos em motores e em automóveis .....	55
3.1	Danos em motores de automóveis.....	55
3.1.1	Gripagem de pistões e camisas.....	55
3.1.1.1.	BMW 525 TDS.....	56
3.1.1.2.	Smart .....	58
3.1.2	Gripagem dos bronzes .....	59
3.1.2.1.	Mercedes SLK com danos por <i>hydrolock</i> , Gripagem.....	60
3.1.2.2.	BMW 520d.....	61
3.1.2.3.	Iveco Daily.....	63
3.1.2.4.	Motores DCI Renault 1ª década de 2000 .....	66
3.1.2.5.	BMW M6.....	68
3.1.3	Gripagem por <i>fretting</i> .....	71
3.1.3.1.	Motores DCI Renault .....	71
3.1.3.2.	Fiat Brava .....	73
3.1.4	Fenómeno de <i>runaway</i> – <i>Volkswagen Golf IV</i> .....	76
3.1.5	Distribuição partida.....	78
3.1.5.1.	BMW M6, dessincronização das válvulas devido a touche estragada. 79	
3.1.5.2.	BMW série 5 .....	85
3.1.5.3.	Fiat 500 .....	87
3.1.5.4.	Mitsubishi Canter Fuso.....	88
3.1.5.5.	Volkswagen Golf V.....	91
3.1.5.6.	Hyundai Matrix.....	93
3.1.5.7.	Alfa Romeo 156 JTD.....	95
3.1.5.8.	Peugeot 5008.....	97
3.1.6	Danos com FAP's.....	99
3.1.6.1.	Mercedes CLS 250 de 2014 .....	99
3.1.6.2.	Honda Civic 1.6.....	100

3.1.6.3. Opel Astra .....	103
3.1.7 Incêndios .....	108
3.1.7.1. Mercedes C200.....	108
3.1.7.2. Mercedes SLK .....	110
3.1.7.3. Renault Mégane .....	112
3.1.7.4. Seat Ibiza.....	114
3.1.7.5. Alfa Romeo clássico de corridas .....	116
3.1.7.6. Alfa Romeo 159 .....	117
3.1.7.7. Incêndio em autocaravana .....	119
3.1.7.8. Incêndio em Mini.....	121
3.1.8 Outros danos.....	122
3.1.8.1. Mitsubishi com camisa partida. ....	123
3.1.8.2. Opel Combo com camisa partida .....	124
3.1.8.3. Citroen C2 com válvulas de incandescência partidas. ....	126
3.1.8.4. BMW 750i com danos por knock. ....	128
3.1.8.5. BMW 750d com danos por troca de combustível.....	129
3.1.8.6. Suzuki Swift com problemas no sistema de injeção .....	131
3.1.8.7. Ford Transit Conect com pistão furado.....	133
3.2 Danos em grandes motores de cogeração ou motores estacionários .....	135
3.2.1 Cummins Wartsila .....	135
3.2.2 Jenbacher .....	139
3.3 Ferramentas para análise de danos .....	144
3.3.1 Avaliações gerais.....	144
3.3.2 Análises laboratoriais ao óleo e ao combustível .....	145
3.3.2.1. Diluição do Óleo .....	146
3.3.2.2. Óleos de diferentes especificações .....	147
3.3.2.3. Análise a óleo de motor com gripagem de bronzes.....	148

3.3.2.4. Análise ao combustível.....	149
3.3.2.5. Análise <i>on line</i> do óleo .....	149
3.3.2.6. Análises aos injetores .....	150
3.3.3 Leitura de erros do controlador por OBD e deteção de reprogramação eletrónica. 150	
3.3.3.1. Série 3 da BMW 320d .....	151
3.3.3.2. Seat Ibiza reprogramado .....	153
4. Conclusões .....	155
Bibliografia .....	158
Apêndices.....	170

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 - Carros novos vendidos na EU por tipo de combustível em 2020, (ACEA, 2020)....	1
Figura 2-1 - Regime de lubrificação função do coeficiente de atrito e de carga. ....	5
Figura 2-2 - Diagrama de Stribeck. ....	7
Figura 2-3 - Fração de tempo de contacto, $\alpha$ , função da espessura mínima do óleo, $\lambda$ . ....	7
Figura 2-4 - Chanfro no bronze e ranhura na biela. ....	8
Figura 2-5 - Superfícies com zonas onde está presente o fenómeno de <i>fretting</i> .....	8
Figura 2-6 – Desgaste por <i>fretting</i> , setas indicam a zona crítica .....	10
Figura 2-7 - Abrasão localizada (à esquerda), <i>hot points</i> (à direita). ....	10
Figura 2-8 – Fraturas num pistão de um motor a Diesel. ....	13
Figura 2-9 - Aparecimento de fraturas.....	13
Figura 2-10 - Fraturas por fadiga.....	13
Figura 2-11 - Existência de líquido (incompressível) na câmara de combustão .....	15
Figura 2-12 – Motor de <i>Dragster</i> a explodir. ....	15
Figura 2-13 - Pistões danificados por <i>Knock</i> .....	16
Figura 2-14 – Sistema de abertura e fecho das válvulas.....	19
Figura 2-15 - Diferentes geometrias de sistemas de abertura de válvulas: tipo I, II e III – OHC, árvore de cames à cabeça; tipo IV – OHV, árvore de cames lateral. ....	19
Figura 2-16 - Pistão a bater numa válvula por haver desfasamento (falta de sincronismo) entre a cambota e a árvore de cames (à esquerda). Estado em que pode ficar um motor com este problema (à direita). ....	20
Figura 2-17 - Injetor com bico partido .....	23
Figura 2-18 - Hastes dos injetores pretas.....	24
Figura 2-19 – Agulha do injetor descolorada (setas) pelas elevadas temperaturas.....	24
Figura 2-20 - Gotejamento ou pulverização deficiente do injetor.....	25
Figura 2-21 - Destruição da cabeça do pistão. ....	25
Figura 2-22 – Força tangencial e radial na cambota. ....	26
Figura 2-23 – Cambota com moentes de apoio e de biela, e canais de lubrificação.....	27
Figura 2-24 – Força resultante flexão e torção na cambota. ....	28
Figura 2-25 – Cambota partida, após a reconstrução, setas na zona soldada. ....	29
Figura 2-26 – Fendas por fadiga térmica.....	29

Figura 2-27 – Composição química da cambota analisada versus especificações .....	30
Figura 2-28 – Análise macrográfica do moente de biela: a) início da fenda, b) crescimento da fenda.....	31
Figura 2-29 – Zona da fratura na cambota, marcas de propagação e origem da fenda.....	31
Figura 2-30 – Prato e moente de apoio da cambota fraturados .....	32
Figura 2-31 – Superfície de fratura: a) vista geral, b) detalhe zona A, c) detalhe zona B.....	33
Figura 2-32 – Superfícies de fratura .....	34
Figura 2-33 – Superfícies de fratura das duas cambotas. ....	35
Figura 2-34 – Fratura na zona do furo de lubrificação, setas mostram as superfícies de fratura. ....	35
Figura 2-35 – Superfície de fratura, a vermelho as zonas de fratura.....	36
Figura 2-36 – Superfície de fratura no moente de apoio.....	36
Figura 2-37 – Camisa de um cilindro com <i>Honing</i> . ....	37
Figura 2-38 - Limites de emissão de poluentes na EU em g/km, (Martins, 2016).....	38
Figura 2-39 - DPF cerâmico (à esquerda). Fluxo dos gases de escape num DPF (à direita).....	40
Figura 2-40 – Cordierite, imagem microscópica. ....	41
Figura 2-41 - Carboneto de silício, imagem microscópica. ....	41
Figura 2-42 - Exemplo da estratégia de regeneração de um FAP num motor 1.9TDI, (Schomers, 2004).....	43
Figura 2-43 – à esquerda injeção normal e à direita pós injeção. ....	44
Figura 2-44 – Luz de aviso de necessidade de regeneração do FAP.....	44
Figura 2-45 - Aspeto do interior de um catalisador. ....	46
Figura 2-46 - Distribuição gráfica das falhas nos automóveis e as suas associações. (Heyes, 1998).....	48
Figura 2-47 - Causas das avarias, (Heyes, 1998) .....	48
Figura 2-48 - Hora do dia e incêndios. ....	51
Figura 2-49 - Mês do ano e incêndios. ....	51
Figura 2-50 - Causas dos incêndios. ....	52
Figura 2-51 - Origem dos incêndios. ....	52
Figura 2-52 – Primeiros componentes que ardem. ....	53
Figura 2-53 - Fatores para ignição de incêndios. ....	54
Figura 3-1 - Sensor de temperatura NTC na culassa do motor .....	56



Figura 3-2 - Indicador da temperatura do motor.....	57
Figura 3-3 - Bloco do motor com os pistões gripados e marca de água nos cilindros.....	58
Figura 3-4 – Smart. ....	58
Figura 3-5 - Mercedes SLK .....	60
Figura 3-6 – <i>Hydrolock</i> .....	60
Figura 3-7 - Biela e o moente da cambota do cilindro #2 .....	61
Figura 3-8 – BMW 520d.....	62
Figura 3-9 - Bronzes da biela .....	62
Figura 3-10 - Iveco Daily .....	63
Figura 3-11 - Desmontagem do motor.....	63
Figura 3-12 - Cambota (esquerda), apoios (centro) e biela com coloração (direita).....	64
Figura 3-13 – Bomba de óleo sem danos .....	64
Figura 3-14 - Esquema da lubrificação dos moentes e apoios da cambota.....	65
Figura 3-15 - Danos na turbina, parte de cima da imagem.....	65
Figura 3-16 - Cáster do óleo com sinais de soldadura. ....	66
Figura 3-17 - Imagens de duas válvulas limitadoras de pressão de bombas de óleo.....	67
Figura 3-18 - Bronze inferior (à esquerda) e superior (à direita) .....	67
Figura 3-19 - Fotografia das ranhuras nas bielãs. ....	68
Figura 3-20 - BMW M6 .....	68
Figura 3-21 - Carter com pedaços de silicone. ....	69
Figura 3-22 - Sinais de cavitação na bomba de óleo.....	69
Figura 3-23 - Filtro de aspiração da bomba colmatado. ....	69
Figura 3-24 - Bronzes gripados.....	70
Figura 3-25 - Filtro de óleo contaminado.....	70
Figura 3-26 - Superfícies com zonas onde está presente o fenómeno de <i>fretting</i> .....	71
Figura 3-27 - Renault Mégane.....	71
Figura 3-28 - Bronzes gastos (à esquerda), e gripados por <i>fretting</i> (à direita).....	72
Figura 3-29 - Biela com sinais de os bronzes terem rodado e saído do seu alojamento.....	72
Figura 3-30 - Cambota com danos. ....	73
Figura 3-31 - Culassa com sinais de o pistão ter batido.....	73
Figura 3-32 - Pistão com marcas impressas de ter batido na cabeça do motor.....	74
Figura 3-33 - Biela e pistão.....	74

Figura 3-34 - Desgaste das bielas por <i>fretting</i> . .....	74
Figura 3-35 - Cambota.....	75
Figura 3-36 - Bronzes de biela com <i>fretting</i> nas costas e desgaste na superfície interior. ....	75
Figura 3-37 - Volkswagen Golf IV. ....	76
Figura 3-38 - Acumulação excessiva de óleo no <i>intercooler</i> . .....	77
Figura 3-39 - O óleo depositou-se na zona da circunferência a vermelho e aumentando de volume foi sendo escoado até à câmara de combustão (seta a verde). .....	77
Figura 3-40 – Sistema de distribuição por corrente (à esquerda) e por correia (à direita). ....	78
Figura 3-41 - Pistão a bater numa válvula por haver desfasamento entre cambota e árvores de cames e estado em que pode ficar um motor com este problema.....	79
Figura 3-42 - Motor V10 a gasolina de BMW M6.....	79
Figura 3-43 - Bielas e capas ou bronzes gripados. ....	80
Figura 3-44 - Padrão de desgaste, cor acastanhada, demonstrativo de ter sido atingida a última camada de cobre e chumbo que protege a capa de aço. ....	80
Figura 3-45 - Biela do 2º cilindro com empeno e com o “cavilhão” no seu pé (esquerda), e representação esquemática de uma biela (direita). .....	80
Figura 3-46 - Bomba de óleo em bom estado.....	81
Figura 3-47 - Tubos de óleo situados no cárter amassados e com diversos danos resultantes de impactos. ....	81
Figura 3-48 - Filtro de sucção ou aspiração deformado. ....	81
Figura 3-49 - Corrente da bomba do óleo partida. ....	82
Figura 3-50 - Touche das válvulas do 2º cilindro com marcas profundas de desgaste. ....	82
Figura 3-51 - Danos nas Válvulas do 2º cilindro que se encontram empenadas.....	83
Figura 3-52 - Cabeça do motor com marcas de ter sido batida.....	83
Figura 3-53 - Cárter partido apresentando dois rombos. ....	84
Figura 3-54 - BMW Série 5. ....	85
Figura 3-55 - Kit completo de distribuição do BMW série 5, à direita os tensores (espaçadores). .....	85
Figura 3-56 - Tensores da correia.....	86
Figura 3-57 - Bocados do tensor depositados no cárter (à esquerda) e tensor estragado (à direita). .....	86
Figura 3-58 - Filtro de aspiração da bomba de óleo. ....	86

Figura 3-59 - Fiat 500.....	87
Figura 3-60 - Bronze de biela gripado (à esquerda) e moente da cambota (à direita) gripado. .....	87
Figura 3-61 - Corrente de distribuição e tensor.....	87
Figura 3-62 - Resíduos do tensor que se partiu e colmataram o filtro de aspiração.....	88
Figura 3-63 - Came do cilindro #1 batido (à esquerda). Balanceiros do cilindro #1 partidos (à direita). .....	89
Figura 3-64 - Culassa com danos no cilindro #1.....	89
Figura 3-65 - Pistão do cilindro#1 com danos.....	90
Figura 3-66 - Aspeto da fratura de uma válvula por fadiga (à esquerda).....	90
Figura 3-67 - Aspeto da fratura das 4 válvulas.....	91
Figura 3-68 - kit de distribuição (à esquerda) e válvulas empenadas à direita). .....	91
Figura 3-69 - Ferramenta para fixar a árvore de cames e a cambota.....	92
Figura 3-70 - Pinhão da distribuição. ....	92
Figura 3-71 - Ranhura da cambota e marcas do aperto fora da ranhura. ....	92
Figura 3-72 - Posição de montagem do pinhão com a cambota. ....	93
Figura 3-73 - Pistão a bater nas válvulas empenando-as.....	93
Figura 3-74 - Hyundai Matrix. ....	93
Figura 3-75 - Balanceiros partidos (à esquerda) e marcas no pistão de ter batido nas válvulas (à direita). .....	94
Figura 3-76 - Correia e roletes da distribuição.....	94
Figura 3-77 - Alfa Romeo 156 JTD. ....	96
Figura 3-78 - Correia de distribuição.....	96
Figura 3-79 - Martelos das válvulas.....	96
Figura 3-80 - Peugeot 5008. ....	97
Figura 3-81 – Correia do alternador e respetivo tensor. ....	98
Figura 3-82 - Sensor de posição. ....	99
Figura 3-83 - Mercedes CLS 250.....	99
Figura 3-84 - Painel de instrumentos do veículo com avaria sinalizada. ....	101
Figura 3-85 - Leitura de erros com equipamento oficial.....	101
Figura 3-86 - Teor de combustível (à esquerda) na análise ao óleo e vareta de nível de óleo (à direita). .....	101

Figura 3-87 - Opel Astra. ....	103
Figura 3-88 – Culassa do motor onde se notam as válvulas empenadas. ....	103
Figura 3-89 - Cabeçote do motor aquando da quebra da árvore de cames.....	104
Figura 3-90 - Cabeçote do motor aquando do primeiro problema do motor (os círculos indicam os apoios gripados). ....	104
Figura 3-91 - As 16 <i>touches</i> das 16 válvulas, sendo que metade estão batidas. ....	105
Figura 3-92 - Os vários componentes da bomba de óleo, em perfeito estado. ....	105
Figura 3-93 - Cabeçote (lado inferior) onde se vê o ponto de fornecimento do óleo (círculo vermelho) e as linhas de distribuição do óleo (a azul).....	106
Figura 3-94 - Análise à eventual blocagem das passagens de óleo com um fio metálico. ....	107
Figura 3-95 - Árvore de cames de admissão com apoio gripado. ....	107
Figura 3-96 - Avaliação da viscosidade do novo óleo. ....	107
Figura 3-97 - Mercedes Benz C200.....	108
Figura 3-98 - Interior branco do escape.....	109
Figura 3-99 - Fenda na saída (jusante) do FAP.....	109
Figura 3-100 – Mercedes-Benz SLK totalmente queimado.....	111
Figura 3-101 - Interior ardido (à esquerda) e jante esquerda fundida (à direita). ....	111
Figura 3-102 - Tubos de gasolina para o motor. ....	112
Figura 3-103 - Estado do Renault Mégane.....	112
Figura 3-104 - À esquerda o estado de fusão que o incêndio provocou, e à direita os rombos. ....	113
Figura 3-105 - Biela do cilindro#3 com fratura. ....	113
Figura 3-106 - Seat Ibiza. ....	114
Figura 3-107 - Tubo de óleo com furo e mostras de ter sofrido elevado aquecimento.....	114
Figura 3-108 - Os dois motores elétricos dos ventiladores dos radiadores.....	115
Figura 3-109 - Alfa Romeo, modelo GT Júnior. ....	116
Figura 3-110 - Aspeto da zona do motor. ....	116
Figura 3-111 - Zona do motor, sem sinais de incêndio, apenas com alguns componentes plásticos escurecidos.....	117
Figura 3-112 - Plástico escurecidos. ....	117
Figura 3-113 - Parte interior direita do veículo junto ao banco do passageiro. ....	118

Figura 3-114 - A linha a negro representa a firewall ou corta-fogo e a circunferência a negro, mostra zona de início de incêndio. ....	118
Figura 3-115 - Estado de degradação dos componentes do veículo. ....	119
Figura 3-116 – Fio de ligação ao painel solar .....	120
Figura 3-117 - Fios por detrás do frigorífico.....	121
Figura 3-118 - Veículo ardido. ....	121
Figura 3-119 - Lado esquerdo da frente junto à bomba da gasolina.....	122
Figura 3-120 - Cilindro nº3 com a camisa partida pela gola. ....	123
Figura 3-121 - Segmento de fogo partido (esquerda) e a gola do cilindro partido (direita) do cilindro #3.....	123
Figura 3-122 - Camisa do cilindro #4, onde se nota a camisa a partir pela gola. ....	123
Figura 3-123 - Opel Combo com 363949 km. ....	124
Figura 3-124 - Presença de água no cárter e vareta com nível acima do máximo. ....	124
Figura 3-125 - Equipamento de teste e introdução de ar comprimido no circuito de água. ....	125
Figura 3-126 - Fuga pela camisa do cilindro #1 e pressão de ensaio da ordem dos 2 bar. ...	125
Figura 3-127 - Camisa com fissura. ....	126
Figura 3-128 - Citroen C2 com 296650 km.....	126
Figura 3-129 - Motor do Citroen C2 (à esquerda) e resultado do teste de compressão (à direita). ....	127
Figura 3-130 - Velas de incandescência partidas. ....	127
Figura 3-131 – Pormenores da culassa danificada.....	128
Figura 3-132 - BMW 750i. ....	128
Figura 3-133 - Sistema Valvetronic da BMW. ....	129
Figura 3-134 - BMW 750d. ....	129
Figura 3-135 – Danos observados nos pistões.....	130
Figura 3-136 – Análise efetuada ao gasóleo. ....	130
Figura 3-137 – Danos verificados na culassa e válvulas.....	131
Figura 3-138 - Suzuki Swift 1.3 DDIS de 2008. ....	132
Figura 3-139 – Resultado de teste de compressão.....	132
Figura 3-140 – Danos no injetor do cilindro #2.....	132
Figura 3-141 - Veículo Ford avariado. ....	133
Figura 3-142 - Figura 3-135 – Bloco com pistão do cil#2 furado e óleo no cilindros #1 e #4.	133

Figura 3-143 - Fissura no cilindro #2. ....	134
Figura 3-144 – Marcas nas cabeças dos pistões das válvulas de escape .....	134
Figura 3-145 - Foto do motor (à esquerda) e da secção transversal de dois cilindros do motor Cummins Warsila (à direita).....	135
Figura 3-146 - Arquitetura de um motor em "V". .....	136
Figura 3-147 - Capas ou bronzes de biela retirados aquando da manutenção. ....	137
Figura 3-148 - Sinais de fretting nas cabeças das bielas, setas a branco .....	137
Figura 3-149 – Sinais de partículas duras, foto à esquerda e aquecimento localizado, foto à direita, setas a vermelho .....	138
Figura 3-150 - Medição com micrómetro (precisão: 0,01 mm) de diâmetros interiores de uma cabeça de tirante, e de acordo com a Tabela fornecida pelo Fabricante.....	138
Figura 3-151 - Foto do motor (à esquerda) e da secção transversal de dois cilindros do motor Jenbacher (à direita).....	139
Figura 3-152 - Bronzes e biela gripados. ....	140
Figura 3-153 - Biela gripada (à esquerda) e pistão partido (à direita). ....	141
Figura 3-154 - Danos nas válvulas e culassa.....	141
Figura 3-155 - Pormenor da válvula de admissão partida. ....	141
Figura 3-156 - Fissuras na camisa do cilindro. ....	142
Figura 3-157 - Gripagem da cambota (moentes da biela 15). ....	142
Figura 3-158 - Bronzes da biela nº3 gripados. ....	142
Figura 3-159 - Biela nº 3 gripada.....	143
Figura 3-160 - Moente da cambota gripado, seta a vermelho .....	143
Figura 3-161 - Monotorização eletrónica do motor, Velocidade, Potência, Temperatura, Pressão da água.....	143
Figura 3-163 - Viscosidade a 100 °C medida á esquerda (4,138) e valor referência á direita (14,65). ....	146
Figura 3-164 - Resultado de análise ao óleo. ....	147
Figura 3-165 - Análise ao óleo de gripagem.....	148
Figura 3-166 - Óleo 10W60 Castrol EDGE, amostra nova. ....	149
Figura 3-167 - Ficha OBD (DLC) e respetivo pinout.....	151
Figura 3-168 - BMW 320d. ....	151
Figura 3-169 - Simulador de carga no sensor do banco do ocupante. ....	152

Figura 3-170 - Escape do veículo com sinais de fumo. ....	152
Figura 3-171 - Seat Ibiza. ....	153

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 - Causas dos danos nos bronzes. ....	11
Tabela 2-2 - Exemplos de DPF's cerâmicos e as suas propriedades. ....	40
Tabela 2-3 - Tabela R.A.Collacott, falhas de motores Diesel e a sua origem.....	49
Tabela 2-4 - Tabela de falhas segundo (Jones e Li, 2000). ....	49
Tabela 2-5 - Incidência de incêndios e suas causas. ....	50
Tabela 3-1 – Viscosidade do combustível analisado/ outros valores de referência.....	110



## GLOSSÁRIO DE TERMOS

Letras Romanas		Unidade
$a$	Velocidade do som ( $= \sqrt{\gamma R T}$ )	m/s
$A$	Área	m <sup>2</sup>
$A/F$	Relação ar-combustível	-
$b$	Fração de CO nos gases de escape	-
$B$	Binário	N.m
$C$	Curso	m
$C_D$	Coeficiente de descarga	-
$C'_D$	Coeficiente de descarga referido à área da válvula ( $\frac{\pi D_v^2}{4}$ )	m <sup>2</sup>
$c_p$	Capacidade calorífica específica a pressão constante	J/(kg.K)
$C_s$	Consumo específico	g/kWh
$c_v$	Capacidade calorífica específica a volume constante	J/kg.K
$d$	Diâmetro da haste da válvula	mm
$D$	Diâmetro do cilindro	m
$e$	Eficiência	-
$f$	Coeficiente de atrito	-
$F$	Força	N
$h$	Coeficiente de transferência de calor	W/m <sup>2</sup> K
$H$	Entalpia	J
$I$	Inércia	kgm <sup>2</sup>
$k$	Condutibilidade térmica	W/m.K
$l$	Comprimento da biela	m
$L$	Distância	m
$m$	Massa	kg
$\dot{m}$	Caudal mássico	kg/s

$M$	Massa molar	kg/kmol
$\bar{M}$	Número de Mach	-
$n$	Número de cilindros	-
$N$	Velocidade de rotação	rot/s
$N_u$	Número de Nusselt $\left(Nu = \frac{hL}{k}\right)$	-
$O/F$	Relação mássica oxigénio-combustível	-
$p$	Pressão	Pa
$p_{ma}$	Pressão média de atrito	Pa
$p_{me}$	Pressão média efetiva	Pa
$p_{mi}$	Pressão média indicada	Pa
$Q$	Calor	J
$R$	Constante específica de um gás	J/(kg.K)
$Re$	Número de Reynolds $\left(Re = \frac{\rho v L}{\mu}\right)$	-
$s$	Distância entre pistão e cambota	m
$S$	Entropia	J/K
$t$	Tempo	s
$T$	Temperatura	K ou °C
$U$	Energia interna	J
$v$	Velocidade	m/s
$V$	Volume	m <sup>3</sup>
$\bar{v}$	Velocidade média	m/s
$W$	Trabalho	J
$\dot{W}$	Potência	W
$z$	Concentração de CO nos gases de escape	-
$Z$	Índice de Mach	-
<b>Letras Gregas</b>	<b>Unidades</b>	
$\Delta$	Diferença	-
$\Omega$	Velocidade de rotação	rad/s

$\Psi$	Relação <sup>[2]</sup> de combustão a volume constante do ciclo misto $\left( = \frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2} \right)$	-
$\alpha$	Fração de tempo de contacto	
$\beta$	Ângulo de corte da válvula	º
$\delta$	Relação de combustão a pressão constante	-
$\varepsilon$	Taxa de compressão	-
$\phi$	Riqueza da mistura $\left( = \frac{(A/F)_{est}}{A/F} \right)$	-
$\gamma$	Quociente entre capacidades caloríficas	-
$\eta$	Rendimento	-
$\mu$	Viscosidade	Pa.s
$\lambda$	Espessura específica do filme de óleo	mm
$m_0$	Viscosidade de um óleo 10W50 a 90ºC	Pa.s
$\theta$	Ângulo de cambota	º ou rad
$\rho$	Massa volúmica	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma$	Rugosidade composta ou combinada	
$\omega$	Aceleração angular	rad/s <sup>2</sup>

### Índices

0	Início
<i>ac</i>	Árvore de cames
<i>ad</i>	Admissão
<i>ap</i>	Apoio
<i>ar</i>	ar
<i>arr</i>	Arrefecimento
<i>B</i>	Bombagem
<i>C</i>	Combustão
<i>c</i>	Combustão, compressão, cilindro, relativo à cilindrada
<i>cc</i>	Câmara de combustão
<i>comb</i>	Combustível

<i>D</i>	Diesel (motor)
<i>e</i>	Escape, efetivo
<i>E</i>	Entrada
<i>esc</i>	Escape
<i>est</i>	Estequiométrico
<i>esteq</i>	Estequiométrico
<i>f</i>	Combustível
<i>F</i>	Frio
<i>g</i>	Geométrica
<i>ge</i>	Gases de escape
<i>i</i>	Indicado, inferior
<i>I</i>	Inerente
<i>IC</i>	Ignição comandada (motor de)
<i>ig</i>	Momento de ignição
<i>j</i>	Jusante
<i>m</i>	Montante, médio
<i>M</i>	Mecânico, do motor, relativo a massa
<i>max</i>	Máximo
<i>med</i>	Média
<i>mist</i>	Mistura
<i>mo</i>	Moente
<i>MT</i>	Máquina térmica
<i>oh</i>	Oscilante hidrodinâmico
<i>om</i>	Oscilante misto
<i>opt</i>	Ótimo
<i>p</i>	A pressão constante
<i>p</i>	Perdas, pistão, produtos de combustão
<i>P</i>	Referente às propriedades do fluido
<i>pi</i>	pi – inferior a pressão constante (referente a poder calorífico)

<i>PMI</i>	Ponto morto inferior
<i>PMS</i>	Ponto morto superior
<i>Q</i>	Quente
<i>R</i>	Resistente
<i>real</i>	Da reação que acontece realmente
<i>rest</i>	Restante
<i>ret</i>	Retida
<i>s</i>	<i>Swirl</i>
<i>s</i>	Sede (da válvula), seco, superior
<i>S</i>	Saída
<i>sp</i>	Seguidor plano
<i>sr</i>	Seguidor de rolamento
<i>t</i>	Teórico
<i>T</i>	Total
<i>tot</i>	Total
<i>turb</i>	Turbulência
<i>v</i>	A volume constante, válvula
<i>v</i>	Varrido (volume varrido)
<i>V</i>	Relativo ao volume
<i>vol</i>	Volumétrica

#### **Siglas e palavras inglesas, francesas e portuguesas**

A/F	Relação ar-combustível (em massa)
biodiesel	Éster de óleo vegetal
biogás	Gás proveniente de decomposição de matéria orgânica rico em metano
<i>blower</i>	Ventilador
<i>boost</i>	Sobreprensão originada por sobrealimentação do motor

borboleta	Válvula (circular que se move angularmente) restritora da entrada de ar para o coletor de admissão
<i>by-pass</i>	Passagem alternativa
C	Átomo de carbono
C/H	Relação entre o número de átomos de carbono e de hidrogénio
<i>choke</i>	Válvula restritora da entrada de ar para o carburador, enriquecendo assim a mistura
CII	Índice de cetano calculado
<i>closed-loop</i>	Controlo em "malha fechada"
CNG	<i>Compressed natural gas</i> - Gás natural comprimido
<i>common-rail</i>	Sistema de injeção (motores diesel) no qual uma conduta fornece o combustível a pressão constante a vários injetores.
CPU	<i>Central processing unit</i> - Controlador eletrónico
<i>cracking</i>	Processo químico de "divisão" de cadeias de hidrocarbonetos
<i>cross-flow</i>	Culassa com a entrada da admissão e saída do escape em lados opostos
cruzeta	Peça com movimento de translação interposta entre pistão e biela
culassa	Cabeça do motor
<i>cutoff ratio</i>	Duração da injeção no ciclo diesel
Cv	Cavalo vapor (equivalente ao francês <i>ch</i> ou ao alemão <i>PS</i> )
DeNOx	Catalisadores que reduzem o teor dos $NO_x$
detonação	Denominação incorreta de <i>knock</i> (combustão anormal)
DI	Injeção direta (motores diesel)
DLC	<i>Diagnostic link connector</i> - Ligação para diagnóstico (sistemas OBD)
DME	Éter dimetílico

DMC	Carbonato de dimetilo
DMM	Dimetoximetano
DOHC	<i>Double overhead camshaft – Dupla árvore de cames á cabeça</i>
<i>downsizing</i>	Redução das dimensões (cilindrada) dum motor
<i>dwell</i> (ângulo em)	Tempo em que o platinado se encontra fechado
EGR	<i>Exhaust gas recirculation</i> )- Recirculação dos gases de escape
<i>energy carrier</i>	Combustíveis que transportam a energia de uma fonte para ser usada
estequiométrica (mistura)	Mistura que, aquando da sua combustão, usa todo o ar para queimar todo o combustível
Euro II, III, IV e V	Limites europeus de emissões de poluentes
<i>fischer-tropsch</i>	Processo de produção de combustíveis líquidos sintéticos
<i>flash point</i>	Temperatura para a qual se produz naturalmente uma mistura estequiométrica do seu vapor com o ar
<i>fly-by-wire</i>	Sistema eletrónico de comando do motor (sem cabos)
<i>gas-guzzlers</i>	De elevado consumo
<i>gicleur</i>	Calibre (orifício calibrado) de controlo do caudal da gasolina
GPL	Gases de petróleo liquefeitos
H	Átomo de hidrogénio
H/C	Relação entre o número de átomos de hidrogénio e de carbono
HC	Hidrocarbonetos não queimados
HCCI	<i>Homogeneous charge compression ignition</i> - Motores de ignição por compressão de misturas homogéneas
IC	Índice de cetano
IC	(Motor de) ignição comandada
índice de Mach	Relação entre a velocidade e a do som
<i>intercooler</i>	Permutador de calor para arrefecimento do ar de admissão comprimido
IO	Índice de octano
IPC	(Motor de) ignição por compressão
<i>knock</i>	Combustão anormal que produz um ruído característico ("grilar")

LIF	Limite inferior de flamabilidade
LNG	<i>Liquid natural gas</i> - gás natural líquido
LPG	<i>Liquid petroleum gases</i> - gases de petróleo liquefeito
LSF	Limite superior de flamabilidade
MAP	<i>Manifold absolute pressure</i> - pressão absoluta do coletor de admissão
MIL	<i>Malfunction indication lamp</i> - Lâmpada indicadora de mau funcionamento
<i>mild hybrid</i>	Veículo com apoio elétrico ao motor de combustão interna
MON	<i>Motor octane number</i> - Índice de octano "motor"
MPI	<i>Multi-point injection system</i> - Injeção multiponto
MTBE	Éter metil, terc-butílico
NG	<i>Natural gas</i> – gás natural
NMHC	<i>Non-methane hydrocarbons</i> - hidrocarbonetos não queimados (sem metano)
NO <sub>x</sub>	Óxidos de azoto
OBD	<i>On board diagnostics</i> - Diagnóstico do motor
OHC	<i>Overhead camshaft</i> - Árvore de cames à cabeça
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
PMI	Ponto morto inferior
PMS	Ponto morto superior
<i>pop-off valve</i>	Válvula limitadora da pressão de admissão num turbo-compressor
<i>pour point</i>	Temperatura a partir da qual uma substância começa a "escorrer"
<i>ralenti</i>	Motor funcionando sem carga resistente
<i>ram-pipe</i>	Conduatas de admissão estudadas para originarem efeitos de ressonância e/ou de inércia no ar de entrada
<i>ratere</i>	(Em inglês " <i>backfire</i> ") combustão na conduta de escape ou de admissão
RGE	Recirculação de gases de escape
RON	<i>Research octane number</i> – Índice de octano " <i>research</i> "
SCR	<i>Selective catalytic reduction</i> - Redução catalítica seletiva dos NO <sub>x</sub>



<i>scuffing</i>	Desgaste por fricção entre came e impulsor
sensitividade	Diferença RON-MON
<i>slurry</i>	Mistura água-carvão (ou óleo-carvão) em forma de lama
<i>smog</i>	Mistura de gases poluentes e nevoeiro
SMD	<i>Sauter mean diameter</i> (volume/área do líquido dum <i>spray</i> )
SPI	<i>Single-point injection system</i> - Injeção monoponto
<i>spray</i>	Conjunto de gotas
<i>squish</i>	Turbulência criada por esmagamento do ar num dado volume
<i>swirl</i>	Turbulência rotativa de eixo vertical
TBA	Álcool terc-butílico
TTW	<i>Tank to wheel</i> - Rendimento de funcionamento do veículo
<i>turbo-compound</i>	Turbina no escape que fornece potência ao veio motor
Trombetas	Conduas de admissão individuais com forma de sino
<i>tumble</i>	Turbulência rotativa de eixo horizontal
UN/ECE	Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa
<i>vapour-lock</i>	Obstrução dos sistemas de fornecimento de combustível por vapor
<i>venturi</i>	Conduca convergente-divergente na qual o fluido aumenta a sua velocidade e baixa a sua pressão
VOC	<i>Volatile organic compounds</i> - Designação de hidrocarbonetos
<i>wastegate</i>	Válvula num turbo-compressor que permite a descarga de gases de escape
WTW	<i>Well to wheel</i> - Rendimento global de um veículo desde a extração e produção do combustível
WTT	Well to tank - Rendimento da extração, produção e transporte do combustível





# 1. INTRODUÇÃO

O número de automóveis continua a crescer no mundo e os motores de combustão interna continuam a ser a principal solução encontrada pelos construtores. Em 2020 distribuíram-se as vendas dos veículos por tipo de combustível de carros novos, elétricos 10,5%, híbridos 11,9%, a gasolina 47,5% do mercado em todo o ano de 2020. Segundo um relatório de Fevereiro de 2021 da ACEA, (ACEA, 2020) para o quarto de 2020, quase um em cada seis automóveis de passageiros matriculados na União Europeia era movido a eletricidade (16,5%). Os vários estímulos introduzidos pelos governos para impulsionar a procura impulsionaram ainda mais a procura por carros de baixa e zero emissões.

No geral em 2020 os veículos elétricos e híbridos representaram 11,9% do total das vendas de automóveis de passageiros na EU em comparação a 5,7% em 2019. Embora as vendas tivessem baixado no total cerca de 3 milhões de unidades nos registos de automóveis como resultado do COVID-19 e tivessem atingido os veículos Diesel e gasolina de forma mais aguda, no entanto ainda dominam as vendas de carros da UE em termos de participação de mercado (75,5%) em 2020, Figura 1-1.

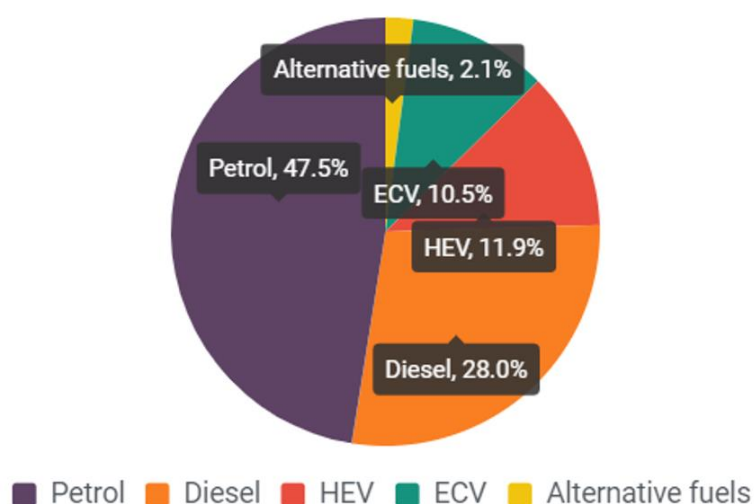


Figura 1-1 - Carros novos vendidos na EU por tipo de combustível em 2020, (ACEA, 2020).

Estas estatísticas revelam a situação atual, mas também nos dão uma ideia da tendência do setor. Independentemente do motor que tenham associado, os automóveis hoje em dia são um concentrado de tecnologia e inovação e são a concretização de milhares de horas de

estudo por parte de engenheiros, designers, de toda uma massa critica que desenvolve o produto, para que este seja mais eficiente, menos poluente e mais adequado aos seus utilizadores.

Esta enorme dose de tecnologia não é acompanhada por um crescimento e conhecimento por parte dos utilizadores relativamente ao produto que estão a utilizar. Não estamos muito longe do utilizador do século passado em que simplesmente sabemos, como utilizadores, colocar o motor em marcha e pouco mais, sem qualquer noção de manutenção, cuidados a ter, enfim um conhecimento mais técnico do produto que utiliza.

Para os fabricantes é cómodo remeter essas informações técnicas para um manual que normalmente se deposita no porta luvas da viatura, nalguns casos com mais de 500 páginas, que ninguém lê, mas que compromete no seu conteúdo o utilizador. Ora isso leva em muitos casos a que existam problemas, avarias e que leve a um litígio inicialmente comercial e que algumas vezes culmina em judicial, sobre a razão da causa das avarias e divide o consumidor do fabricante, ou revendedor ou até das seguradoras, quando existe uma apólice que cobre danos por avaria. É nesta altura que Juízes e Advogados se socorrem de ferramentas judiciais, perícias técnicas, como forma de auxílio para a decisão do Juiz, ou para uma melhor perceção dos Mandatários das partes, os seus advogados.

Há já um histórico das maiores incidências destas perícias para danos em motores das viaturas, que se podem tipificar em 3 vertentes:

i. Danos nos sistemas que controlam as emissões.

Apesar das emissões de hoje em dia serem cerca de 100 vezes (1%) menos que os motores de há 4 décadas, (Martins, J 2005), os construtores de motores a gasolina, e principalmente dos motores diesel, têm feito um investimento significativo para se ajustarem às exigentes legislações de antipoluição, nomeadamente pelo facto destes últimos produzirem partículas (fumo) e NOx. De acordo com dados da Agência Ambiental Europeia as emissões de NOx com origem no tráfego rodoviário caíram 59% entre 1900 e 2015. O principal motivo para se ter atingido este resultado são as inovações técnicas aplicadas aos veículos comerciais e de passageiros e, nos anos mais recentes, no desenvolvimento apurado que se verificou nos motores diesel.

ii. Danos por desgaste dos materiais

Normalmente estes casos ocorrem porque são negligenciadas ações e prazos de manutenção e com isso os materiais são utilizados para além dos limites de fadiga causando avarias e danos subsequentes.

iii. Danos por deterioração dos componentes prematuramente.

Estes são os casos onde existem utilizações indevidas por parte dos utilizadores, ou nalguns casos avarias por falha dos materiais e/ou sistemas associados.

## **1.1 Objetivos do trabalho**

Os objetivos deste trabalho são por um lado consciencializar os utilizadores do nível tecnológico por detrás da sua viatura que utilizam no seu dia a dia, mas por outro lado ajudar os técnicos a encontrarem as causas das avarias. De notar que por vezes estes problemas terão de ser resolvidos judicialmente. Assim, os riscos associados e os procedimentos adequados na utilização das viaturas deverão ser os mais objetivos possíveis, para que se a questão tiver de ser resolvida em tribunal, permita aos Advogados e aos Juízes serem cirúrgicos nas questões, e também consciencializar os fabricantes e revendedores de que uma viatura deve ter no seu manual uma importância fulcral para a boa utilização, que no final é do interesse de todos. A entrega do manual deve ser antes da própria entrega da chave da viatura, e deve ter para ambas as partes uma importância maior.

## **1.2 Organização**

O trabalho será organizado em 4 capítulos com uma introdução ao tema (capítulo 1), uma análise á literatura existente (capítulo 2) versando apenas o estudo aos casos investigados e alvo de estudo que se apresentam no capítulo 3. Neste em que serão descritos os casos estudados teremos desde as gripagens diversas, aos danos em sistemas e componentes de redução das emissões que podem ser ao nível do filtro de partículas e catalisadores, mas também de incêndios, passando por danos mais avulsos como sejam dessincronização da árvore de cames, danos em pistões, cilindros e injeção. Termina o trabalho com o capítulo 4 nas conclusões obtidas no desenvolvimento do mesmo.



## 2. ANÁLISE DA LITERATURA EXISTENTE

As falhas nos automóveis são ainda bastante frequentes sendo mesmo assim difícil encontrar na literatura técnica descrições e discussões a este respeito. No entanto é fácil encontrar em fóruns variadíssimas discussões que pese embora se considerem técnicas não são científicas.

Far-se-á uma análise à diversa literatura, publicações, livros e catálogos, tomando como base os danos nos componentes do motor, e não nos sistemas dos quais eles fazem parte integrante.

Conforme veremos à frente, a gripagem é uma das incidências mais presentes nos danos e avarias em automóveis, e começaremos por ela, que é desde logo uma causa, mas simultaneamente poderá uma consequência de outras.

Antes mesmo de entrarmos na gripagem vejamos os vários regimes de lubrificação (Camada limite, misto e hidrodinâmico) num motor que são importantes conhecerem-se para perceber este fenómeno de gripagem melhor. Num motor automóvel os componentes em movimento relativo devem utilizar um regime de lubrificação que separe as superfícies metálicas em movimento. Normalmente o regime utilizado denomina-se de hidrodinâmico, Figura 2-1. Nesta vimos a relação entre o coeficiente de atrito e o coeficiente de carga em cada regime de lubrificação, desde *limite a hidrodinâmico* passando pelo *misto*. Nas cambotas, bielas, pistões e cilindros e componentes do sistema de distribuição (válvulas) deve utilizar-se o regime hidrodinâmico (Martins, 2016).

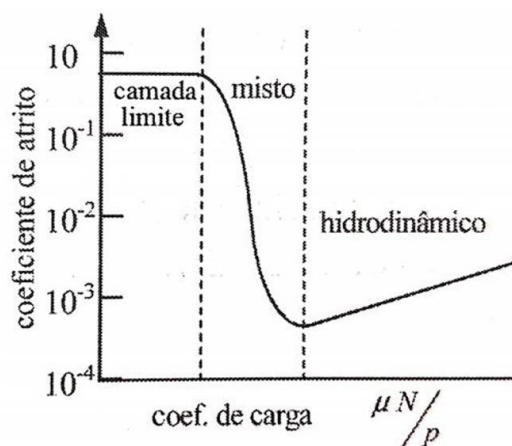


Figura 2-1 - Regime de lubrificação função do coeficiente de atrito e de carga.(Martins,2016)



Qualquer abaixamento da velocidade ou da viscosidade, ou ainda um aumento da força normal (N) implica uma redução da espessura lubrificante que influenciará o coeficiente de atrito. Assim haverá um “regime misto” para espessuras de película da ordem das irregularidades das superfícies havendo contato metal-metal, e uma redução levará ao contato entre as superfícies metálicas embora existindo lubrificante entre as superfícies, sendo o regime denominado de “camada limite”. Este regime acontece para pressões elevadas de contato ou baixas velocidades, e ocorre nos pontos mortos do pistão, nalguns pontos do sistema de distribuição (menor velocidade) e nos início e final do funcionamento do motor. Entremos agora na gripagem.

## 2.1 Gripagem

A gripagem pode acontecer por várias causas, mas as mais habituais são a falta de óleo incluindo o abaixamento do nível deste no cárter, problemas na bomba de óleo, problemas no filtro de óleo e ainda do entupimento dos canais de lubrificação ou das folgas excessivas em determinados componentes. Quando isto acontece a gripagem dá-se quase sempre na zona baixa do motor e em concreto nos bronzes de biela e dos apoios da cambota. Os bronzes de biela e dos apoios da cambota funcionam formando uma chumaceira hidrodinâmica, Figura 2-2, e são sujeitos a elevadas cargas cíclicas.

Para que o regime de lubrificação hidrodinâmico funcione é necessário existir uma espessura de película lubrificante mínima para evitar o contato metal/metal entre as peças em movimento relativo. É ainda necessário ter em linha de conta um fator designado por lambda ( $\lambda$ ) (diferenciar este da sonda lambda) (Figura 2-2) que representa a espessura específica do filme de óleo. Esta por sua vez depende de  $h_0$  (espessura mínima do filme de óleo)  $\lambda = h_0/\sigma$  e de  $\sigma = \sqrt{R_{q1}^2 + R_{q2}^2}$  que é a rugosidade combinada ou composta das superfícies em movimento relativo com rugosidades  $R_{q1}$ .e  $R_{q2}$ .

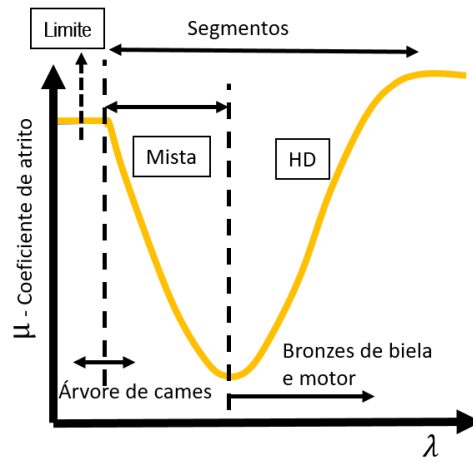


Figura 2-2 - Diagrama de Stribeck. (Taylor,1998)

Num regime hidrodinâmico  $\lambda$  (Taylor, 1998) deve ser superior a 4, ou seja, a espessura mínima de óleo deve ser 4 vezes superior à rugosidade composta das superfícies em movimento relativo. Para valores de lambda superiores a 4 a fração de tempo de contato,  $\alpha$  (Figura 2-3) entre duas superfícies em movimento relativo com regime hidrodinâmico é praticamente nula (Norton, 1996).

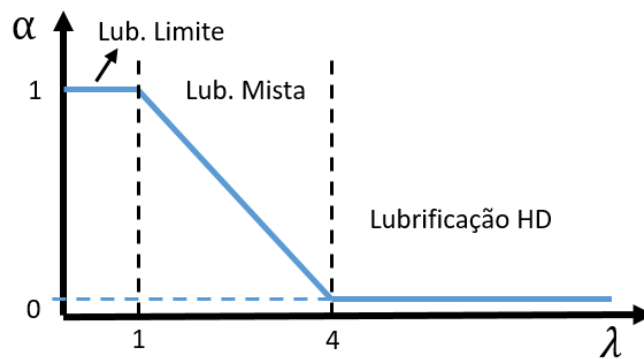


Figura 2-3 - Fração de tempo de contacto,  $\alpha$ , função da espessura mínima do óleo,  $\lambda$ . (Taylor,1998)

### 2.1.1 Bronzes e gripagem

A gripagem mais frequente nos motores automóveis é a existente na parte de baixo do motor, em concreto na cambota e nos bronzes de biela ou nos bronzes dos apoios do motor.

Cite-se que nenhum fabricante de automóveis tem a recomendação da substituição dos bronzes em ações de manutenção preventiva, mas é do conhecimento geral técnico que alguns motores e modelos começam a ter problemas por volta dos 100 000 a 120 000 km, e

alguns modelos têm uma concepção que potenciam a gripagem por não terem uma ranhura de fixação na biela para que o bronze com um chanfro se fixe nela (Figura 2-4).

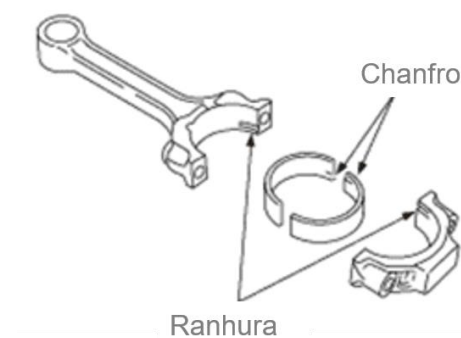


Figura 2-4 - Chanfro no bronze e ranhura na biela.

Assim em caso de iniciação da gripagem os bronzes rodam e saem do alojamento causando danos avultados no motor maioritariamente com a destruição da cambota e das bielas. Os bronzes podem também gripar por *fretting* que é um mecanismo de desgaste progressivo que veremos a seguir.

### 2.1.2 Gripagem dos bronzes por *Fretting*

Os bronzes também podem gripar por *fretting*. Nos bronzes de biela o *fretting* é um tipo de desgaste que acontece na superfície exterior dos bronzes (nas costas), Figura 2-5.

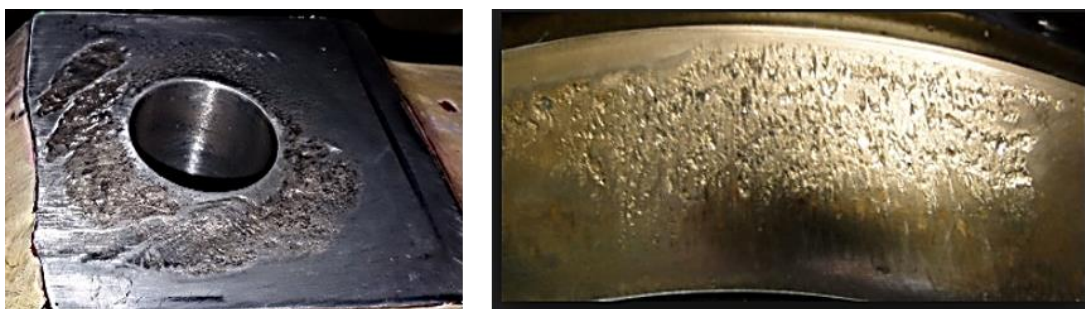


Figura 2-5 - Superfícies com zonas onde está presente o fenómeno de *fretting*.

O *fretting* é, como se disse, um fenómeno de desgaste progressivo e acontece entre superfícies que estão em contato sob o efeito de elevadas cargas cíclicas e de baixa amplitude de deslocamento (microdeslocações, da ordem de 5 a 50  $\mu\text{m}$ ). O *fretting* pode ser do tipo desgaste progressivo (*fretting wear*) ou do tipo nucleação e propagação de fenda por fadiga

(*fretting fatigue*). Existem vários catálogos e manuais de fabricantes de bronzes que mostram as avarias e danos mais comuns, mas tratam-se de documentos pouco científicos e nalguns casos pouco técnicos e confusos que levam a conclusões desfasadas da realidade. São casos disso os manuais que se apresentam a seguir:

- Mahle Manual Técnico – Curso Mahle metal leve – Motores de Combustão Interna, 2012

- Mahle, Manual de falhas prematuras em pistões, anéis, bronzes, 2019/2020.

- Motorservice Technical Market Support, Danos em bronzes (2017).

Este tipo de desgaste embora exista nos motores de automóveis com baixa incidência como se verá na estatística de danos no final deste capítulo, tem uma incidência significativa em motores estacionários que veremos a seguir. Far-se-á uma breve descrição do que são estes motores e que se definem como imóveis (motores ligados a geradores, bombas) mas também motores de comboios e barcos. A palavra “estacionário” tem aplicação mais no seu regime de funcionamento do que no tipo de instalação. Normalmente são motores de grande a muito grande tamanho e que produzem centenas de kW ou centenas de MW. O ciclo Diesel é o mais utilizado embora haja motores a gás e outros que utilizam uma mistura de gasóleo e gás (motores dual-fuel). Têm elevado rendimento que pode chegar a 55% e um exemplo desses motores é o *Wartsila 96*, de 1800 L/cilindro (5.7 MW/cilindro) com 6 a 14 cilindros, (Wartsila, 2006; Martins, 2016).

Nestes motores existem elevadíssimas cargas cíclicas da ordem dos 64 000 kgf, à carga nominal, e de baixa amplitude de deslocamento (microdeslocações, da ordem de 5 a 50 milésimos de milímetro). O *fretting* ocorre normalmente no alojamento da capa ou bronze dentro de zonas críticas (setas a branco na figura 2-35) de 35º para a esquerda e 35º para a direita do eixo da biela, Figura 2-6.

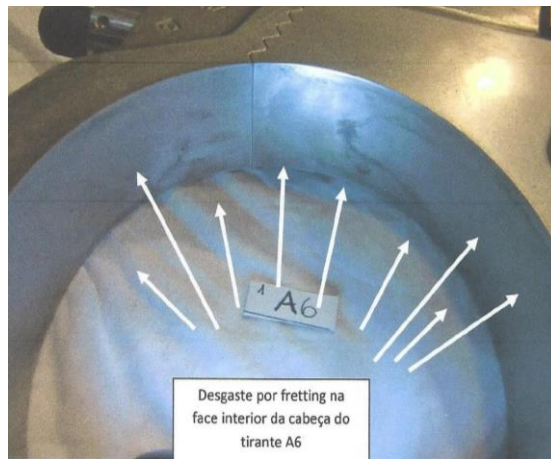


Figura 2-6 – Desgaste por *fretting* , setas indicam a zona crítica

Podem também aparecer marcas de abrasão localizada que resultam de roçamento no alojamento com acumulação de partículas duras (*build ups*) causadas pelo *fretting*, Figura 2-7 à esquerda, ou ainda pontos de aquecimento localizado (*hot points*), Figura 2-7 à direita.

Aconselha-se que sempre que existam áreas com *fretting* nas bielas superiores a 20%, que estas sejam substituídas (Man Diesel&Turbo servisse letter SL2016-635/JNN, 2016). Em algumas situações o roçamento acontece por deficiente ajustamento do bronze na biela. No caso dos motores estacionários há a recomendação de alguns Fabricantes da necessidade de substituição das bielas dos motores a cada 12 000 h. Isto revela uma forte preocupação do fabricante com este fenómeno apostando em prevenção e proteção da segurança da máquina.

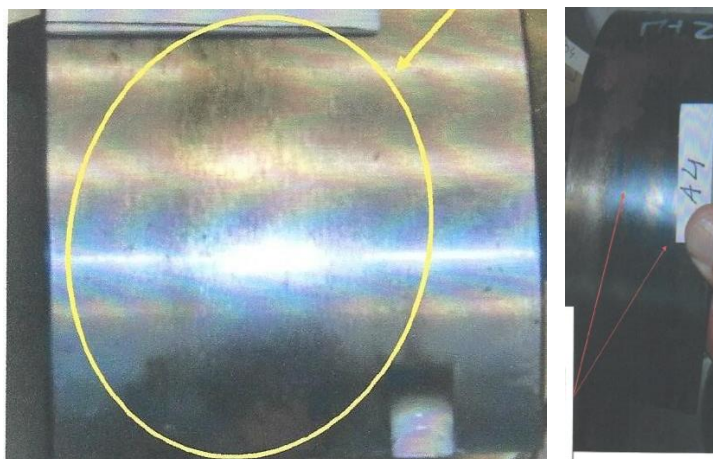


Figura 2-7 - Abrasão localizada (à esquerda), *hot points* (à direita).

Como curiosidade na Tabela 2-1 são apresentadas as causas mais prováveis para falha de bronzes ou gripagens retirado do manual de um fabricante de bronzes de biela, (MAHLE Manual de falhas prematuras, 2016).

Tabela 2-1 - Causas dos danos nos bronzes.

<b>Principais causas de falha prematura dos Bronzes</b>	
Sujidade	45,4%
Desmontagem	12,8%
Desalinhamento	12,6%
Lubrificação insuficiente	11,4%
Sobrecarga	8,1%
Corrosão	3,7%
Acabamento impróprio	3,2%
Outro	2,8%

### 2.1.3 Gripagem em pistões e outros danos

A gripagem pode ocorrer também entre as camisas e os pistões sendo neste caso a causa mais comum o deficiente funcionamento do sistema de arrefecimento do motor. Este tipo de gripagem acontece por excesso de carga térmica no motor que ao incidir sobre os pistões que são peças maioritariamente fabricadas em alumínio que dilatam com o excesso de temperatura mais fortemente que os cilindros em aço e diminuindo à folga entre estas duas peças, destruindo a película de óleo de lubrificação, aumentando o atrito e levando ao “agarrar” (bloquear) ou gripar do motor (Martins, 2020).

Mas existem outros danos frequentes em pistões que se mencionarão de seguida. O sistema biela-manivela utilizado nos motores térmicos é constituído por pistões, bielas e cambota e serve para transformar a energia química do combustível através da combustão em energia mecânica útil. O pistão é dos componentes mais solicitados num motor devido à sua elevada velocidade (até 25 m/s) (Martins, 2016), e que tem de resistir a elevadas pressões (da ordem dos 180 a 200 bar (Silva, 2004), e temperaturas (cerca de 400 °C) resultantes da combustão de forma a transmitir a força resultante (de várias toneladas) à biela. A cabeça do pistão chega a ser sujeita a temperaturas de 400 °C. Esta exigência aos materiais estava

presente, no passado, em motores de alguns camiões pesados, mas atualmente está presente na generalidade dos motores em concreto os HDSI (*Heavy Duty Spark Ignition*, motores pesados a gasolina) (Silva, 2004).

Um dos casos de danos em pistões mais frequente é a fratura do cavilhão em motores Diesel com fendas longitudinais radiais que ocorrem de forma superficial na zona interna do cavilhão. O cavilhão sofre um tratamento de endurecimento superficial designado por cementação que lhe aumenta a microdureza, no entanto algumas vezes ocorre a sua descarbonização (Yu et Al, 2007). A perda ou ausência parcial do carbono na zona interna implica uma menor resistência à fadiga e propicia o início de uma fenda na parte interna do mesmo.

O pistão pode ser considerado “o coração” de um automóvel e apesar de todos os estudos, ainda há um grande número de pistões que se danificam. As causas dos danos em pistões estão principalmente relacionadas com a lubrificação, com a sua velocidade elevada e com a carga térmica extrema imposta ao motor (Silva, 2004).

Os danos têm normalmente início na cabeça do pistão, nas ranhuras dos segmentos, nos furos do cavilhão e nas saias dos pistões. Existem várias causas possíveis para a iniciação de falhas em pistões. Como podemos ver na imagem da Figura 2-8 .

Uma outra falha num pistão de um motor Diesel é evidente através das marcas de propagação que estão assinaladas, na Figura 2-9 em que a mesma se iniciou junto ao bordo da cabeça e se propagou em direção ao suporte da cavilha.

É importante referir que a maioria das falhas ocorre segundo o eixo do cavilhão. Isto deve-se ao facto de o pistão fletir em torno do apoio e da fadiga acabar por atingir as zonas onde os esforços são maiores e repetidos durante mais ciclos. Os rasgos dos segmentos representam também um ponto crítico pois são superfícies que estão sujeitas aos esforços criados pelo atrito nos segmentos. A falha neste local pode acontecer como podemos ver na Figura 2-10 (Silva, 2004).

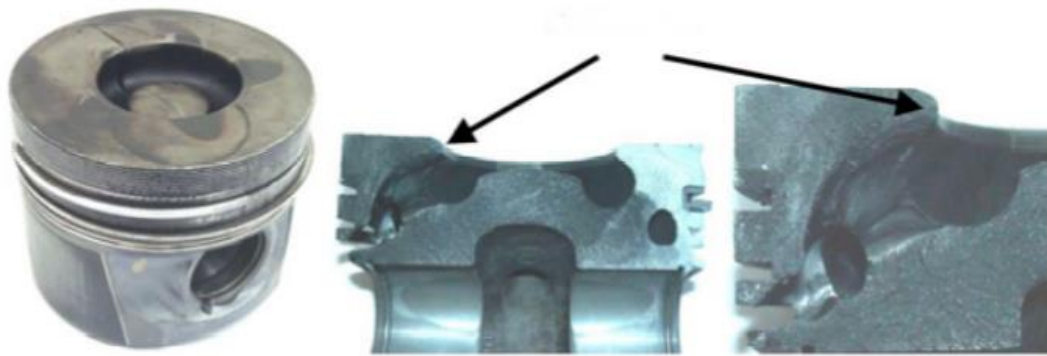


Figura 2-8 – Fraturas num pistão de um motor a Diesel. (Silva,2004)

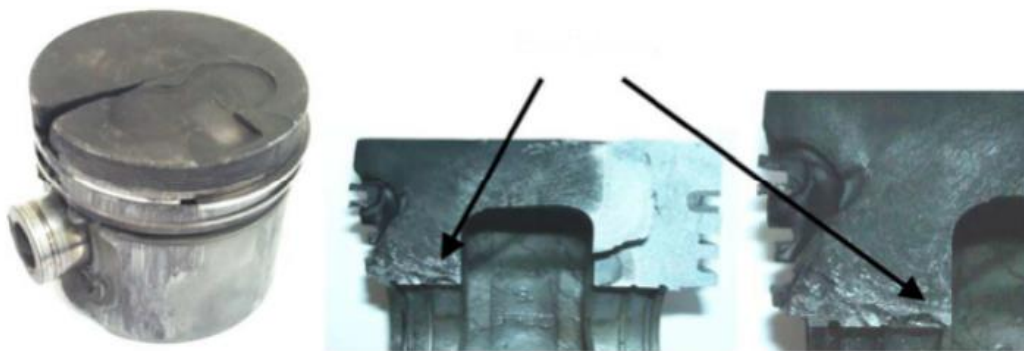


Figura 2-9 - Aparecimento de fraturas (Silva, 2004)

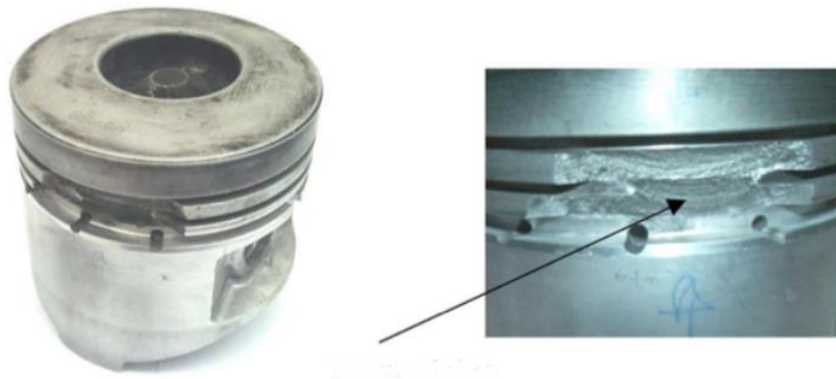


Figura 2-10 - Fraturas por fadiga. (Silva,2004)

Pese embora a fadiga não seja a causa responsável pela maior fatia de pistões danificados é ainda um problema e a sua resolução continua a ser um dos objetivos para os fabricantes de pistões. Os esforços na redução do consumo de combustível aliados ao aumento da potência levam ao limite a redução de peso, o que implica paredes mais finas e maiores tensões. Para satisfazer todos os requisitos que os pistões e as suas condições de



trabalho exigem, em particular a resistência à fadiga mecânica, à fadiga de alta temperatura e à fadiga termo mecânica, existem várias áreas a melhorar que implicam melhorar a sua utilização. O projeto dos pistões como uma das melhorias importantes no futuro nomeadamente em duas áreas específicas que estão sujeitas a altas tensões que são a área da borda da cabeça e a área do furo do cavilhão. Um bom arrefecimento do pistão é uma necessidade e uma melhoria futura significativa. As temperaturas na área da ranhura do primeiro segmento podem ser reduzidas entre 30 a 50 °C e noutras áreas podem ser obtidas temperaturas mais baixas, o que permite que a resistência à fadiga aumente e os danos causados por esta sejam reduzidos.

#### **2.1.4 Pistões danificados por deficiência de outros sistemas**

Os danos em pistões não se confinam a problemas nos mesmos, mas muitas das vezes são consequência de avarias de outros componentes e/ou sistemas. Esses podem ser consequência da gripagem como vimos atrás, mas também do fenómeno de *hydrolock*, de *knock*, da dessincronização do motor e de falhas no turbo-compressor.

##### **2.1.4.1. Hydrolock**

Este fenómeno pode provocar danos nos pistões (Martins, 2020) pese embora ocorra muito raramente. Pode ser designado também por outros autores como bloqueio hidrostático ou bloqueio hidráulico. Nestas situações o motor pára e parte porque existe um líquido incompressível (pode ser água) dentro do cilindro, limitando o curso do pistão. Na Figura 2-11 pode ver-se que a cambota do motor tenta rodar, mas o pistão não consegue subir mais pois existe líquido em cima dele.

No *hydrolock* a biela empena e pode até partir tal como o pistão. Esta ocorrência dá-se, por exemplo, quando água entra no sistema de admissão do motor. Mas se o pistão não partir, este líquido não entrará para o cárter (zona da cambota), pois o pistão veda esta zona. A água somente entrará no cárter se o pistão se partir durante o *hydrolock*.

Este fenómeno acontece com baixa probabilidade tendo como possibilidade a válvula de admissão estar aberta o que é sempre pouco provável. Como curiosidade dá-se o exemplo dos *Dragsters* quando o motor de Top Fuel explode, Figura 2-12. Trata-se também de *hydrolock* e acontece, não por água, mas porque o combustível líquido do ciclo anterior não queima e como a quantidade de combustível é elevada (relações da ordem dos  $A/F=1.9$ ) o combustível referente a 2 ciclos não cabe na câmara de combustão e leva ao bloqueio ou *hydrolok*.

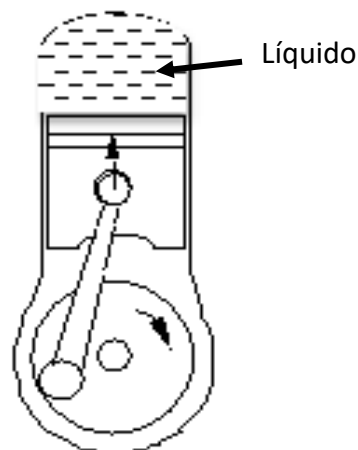


Figura 2-11 - Existência de líquido (incompressível) na câmara de combustão (Martins, 2020)



Figura 2-12 – Motor de *Dragster* a explodir.

([https://www.google.com/search?q=dragster+a+explodir&rlz=1C1GCEA\\_enPT871PT871&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewjP3be8iMrzAhVtxoUKHWBABC MQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1920&bih=969#imgrc=LlvE5ZmQpbjXIM](https://www.google.com/search?q=dragster+a+explodir&rlz=1C1GCEA_enPT871PT871&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewjP3be8iMrzAhVtxoUKHWBABC MQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1920&bih=969#imgrc=LlvE5ZmQpbjXIM))

#### 2.1.4.2. *Knock* e danos em pistões

Um outro fenómeno para danos em pistões é o *knock*. Nos motores a gasolina um dos problemas que sempre existiram é uma combustão semelhante à detonação, também conhecida por "grilar" que na língua inglesa se designa por *knock*. Este é um tipo de combustão destrutivo e acontece quando a ignição (faísca da vela) não se dá na altura certa ou quando há zonas da câmara de combustão muito quentes. Quando a faísca se dá antes do momento "ideal", a pressão dentro do cilindro sobe de tal maneira que se atinge o chamado ponto de "auto-ignição" da mistura ar-gasolina, o que origina uma combustão do tipo detonante de elevada intensidade. As elevadíssimas pressões e temperaturas que se geram ultrapassam os limites metalúrgicos para os pistões e câmara de combustão (que são em alumínio, pelo que têm uma temperatura de fusão pouco superior aos 600°C), fazendo com que estes componentes fundam e o motor se estrague. O *Knock* pode também ocorrer num motor diesel se o avanço da inflamação for grande. Ao contrário dos motores a gasolina em que o *knock* aparece no final da combustão, nos motores a gasóleo aparece no seu início quando a taxa de aumento de pressão é muito elevada. Na Figura 2-13 mostram-se pistões danificados por *Knock*.



Figura 2-13 - Pistões danificados por *Knock*

#### 2.1.4.3. Turbocompressor

O turbo-compressor é dos componentes mais solicitados num motor automóvel, e cuja evolução tem sido nas últimas décadas impressionante. Este utiliza a energia dos gases de escape para comprimir os gases de admissão e aumentar assim significativamente o binário e

a potência dos motores, para mais do dobro (Martins, 2020). O veio do turbo-compressor, que une a turbina (zona quente que pode chegar ao rubro) ao compressor onde existe ar fresco, é montado numa chumaceira hidrodinâmica onde passa uma enorme quantidade de óleo para o lubrificar e ainda para o arrefecer. Quando em paragens repentinas, sem deixar arrefecer o turbo, o óleo nesta zona quentíssima pode carbonizar (fritar) e os vedantes poderão romper. Assim o óleo de lubrificação passa pelos vedantes estragados para a admissão e para a câmara de combustão, queimando (tipo gasóleo) sem controlo, pelo que o motor acelera para velocidades muito elevadas pois não há controlo de entrada de combustível. Mesmo desligando a ignição o motor não para até que todo o óleo queime totalmente ou o motor parta, produzindo imenso fumo pelo escape, num fenómeno que se designa “runway” (Martins, 2016). A avaria no turbo-compressor pode causar também danos em pistões com gripagem ou fratura, devido ao fenómeno a este fenómeno de “runaway” ou “ou autocombustão. O motor e os pistões gripam ou partem por uma de duas razões, ou porque fica sem óleo ou pela elevada aceleração que excede o valor limite, partindo o motor.

O turbo-compressor e a sobrealimentação automóvel são uma enorme vantagem pois, por exemplo, um motor 2L turbo-alimentado com 1,5 bar de pressão (absoluta) iguala um motor de 3L aspirado (sem turbo-compressor). O tamanho e o peso do motor podem ser reduzidos obtendo-se melhores acelerações, condução e travagem.

Sobre os danos e falhas mais frequentes nos turbocompressores apontam-se as seguintes:

- Corpos estranhos na turbina e/ou compressor;
- Óleo contaminado;
- Utilização do óleo desadequada;
- Altas temperaturas nos gases de escape por exemplo devido a deficiências no sistema de ignição e alimentação (Pinto A., 2017).

#### **2.1.4.4. Danos em pistões por dessincronização e válvulas**

As válvulas têm a função de permitir que os gases entrem e saiam do cilindro fechando ou abrindo a ligação com os coletores de admissão (entrar) e de escape (sair). São constituídas por duas partes, a cabeça em forma de tulipa cuja forma facilita o escoamento dos gases,

sendo a sua periferia uma zona troncocônica para permitir a vedação com a sede. Tem ainda uma haste que tem como funções o guiamento, a impulsão e a transferência de calor.

As válvulas são fabricadas em materiais com elevada resistência ao choque e suportam elevadas temperaturas (em especial a de escape), sem se deformarem ou oxidarem. São utilizados no seu fabrico aços de liga com cromo, níquel, molibdênio e vanádio, e normalmente são obtidas por forjamento. A extremidade da haste é endurecida para melhorar a resistência às vibrações. As válvulas são abertas ou fechadas através de um sistema de came que move um impulsor Figura 2-14 que atua sobre esta.

A existência de folga entre o came e o impulsor garante não haver contato nem atrito e assim minimiza o desgaste, obtendo-se a certeza de que a válvula fechará sempre sobre a sua sede com uma dada pressão. Esta folga é muito importante dentro de limites apertados pelo que se utilizam e interpõem pastilhas calibradas (espaçadores) entre o impulsor e a válvula. Este ajuste é bastante difícil e já desde alguns anos a esta parte que os Fabricantes utilizam sistemas de ajuste da folga com acionamento hidráulico. A válvula tem uma ou duas molas que a fixam e a encaixam num prato que se prende à válvula por freios em forma de “meias-luas” troncocônicas, Figura 2-14. Por outro lado, as sedes são extremamente importantes no funcionamento conjunto com as válvulas e efetuam com a cabeça da válvula a vedação na culassa, sendo muitas vezes postiços e colocados na culassa. Isto permite uma mais fácil substituição em caso de avaria evitando a substituição integral da culassa que é um componente caro. São fabricados em aço de alta resistência ao choque para resistirem em situações mais críticas, nomeadamente quando as válvulas fecham pelas condições de altas temperaturas e de gases reativos (gases de escape). Com a retirada do chumbo do combustível perderam-se as propriedades lubrificantes deste e as sedes das válvulas tiveram de se tornar mais resistentes.

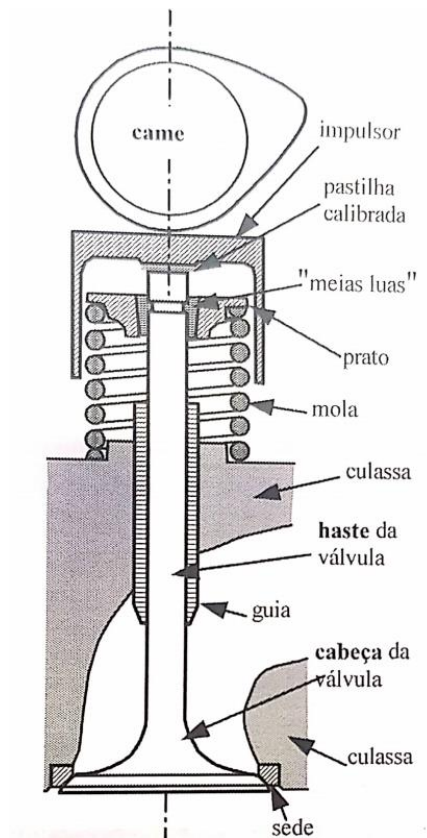


Figura 2-14 – Sistema de abertura e fecho das válvulas, (Martins, 2016)

Existem vários sistemas de abertura das válvulas, Figura 2-15, que aqui não se verão em detalhe, mas os danos naquelas são um dos problemas com grande incidência no setor e que derivam normalmente de falhas no sistema de distribuição.

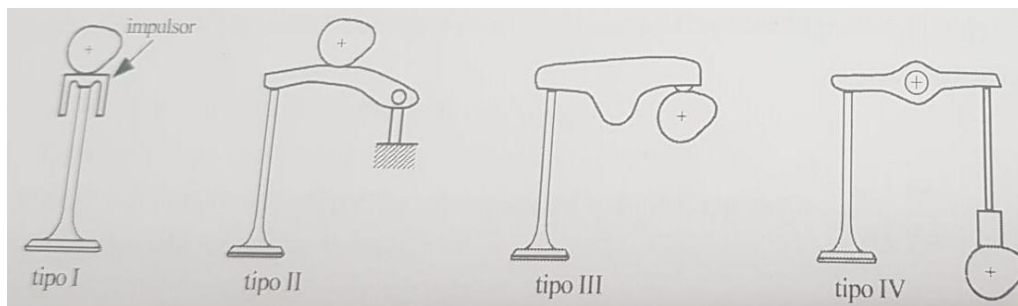


Figura 2-15 - Diferentes geometrias de sistemas de abertura de válvulas: tipo I, II e III – OHC, árvore de cames à cabeça; tipo IV – OHV, árvore de cames lateral.(Martins, 2016)

Hoje em dia é usada a solução de corrente na distribuição quase transversal a todas as marcas embora a solução da correia ainda seja a solução mais utilizada.

Quando uma corrente (ou uma correia) de distribuição se danifica, deixa de haver coordenação (sincronismo) entre o movimento da cambota (eixo inferior do motor) e o da(s) árvore(s) de cames (um veio na parte superior do motor, ligado à cambota por essa corrente

ou correia), levando a que os pistões batam nas válvulas (Figura 2-16 esquerda), as empenem e/ou danifiquem parcial ou totalmente a culassa (ou cabeça) e pistões (Figura 2-16 direita).



Figura 2-16 - Pistão a bater numa válvula por haver desfasamento (falta de sincronismo) entre a cambota e a árvore de cames (à esquerda). Estado em que pode ficar um motor com este problema (à direita).

Os problemas na distribuição aparecem com a dessincronização do motor do veículo, segundo (Martins, 2020), e derivam de problemas na corrente distribuição ou sistema de afinação da folga da correia de distribuição ou na própria correia. Quando um destes componentes da distribuição se estraga ou parte, o pistão ao subir até ao topo do cilindro bate na válvula que esteja aberta, partindo-se e partindo-a ou empenando válvulas. Repare-se que num motor de 4 cilindros há sempre uma ou mais válvulas abertas em qualquer posição do ciclo. Uma outra causa de danos em válvulas é a sobre rotação do motor que leva a que as molas das válvulas não as consigam fechar e estas são colhidas pela subida dos pistões. Os casos em que o motor é sujeito a sobre regime podem ser em desaceleração (em aceleração o motor tem sistema de corte que nunca permitiria chegar a esse ponto) e pode ocorrer em virtude de duas possibilidades:

- i. Ao descer uma estrada com elevada inclinação, usando uma velocidade baixa (por exemplo em 2ª) o veículo aceleraria assim como o motor a que estava ligado;
- ii. Ao mudar de velocidade (por exemplo, de 3ª para 4ª) inadvertidamente o condutor meteria a 2ª e o motor entraria em sobre regime.

#### 2.1.4.5. Outros danos em válvulas

A dessincronização das válvulas leva a danos em pistões, mas podem existir outras causas de avarias nas válvulas que sucintamente descreveremos. Quando uma válvula se fecha a sua cabeça é sujeita a pressão elevada (pelos gases em combustão) que faz com que exista um micro deslizamento na superfície de vedação e contacto. Este movimento deslizante é uma das principais causas de desgaste e danos nas válvulas, pois existe em zonas de elevadas temperaturas especialmente as válvulas de escape (Elo, R. e Jacobson, S., 2015). O desgaste nas válvulas pode ser do tipo adesivo e abrasivo, criado por tensões de corte e ainda o desgaste por oxidação, como os mais predominantes no fecho das válvulas junto à sua sede. O desgaste aumenta com o aumento da carga e do número de ciclos de forma diretamente proporcional, mas diminui com o aumento da temperatura. Isto acontece pelo facto de existir uma formação acelerada de filmes de óxido que impedem o contato direto entre metais (Wang et al, 1996). O desgaste das válvulas dá-se por contato metal/metal e é diminuído por uma camada tribológica consequência de reações entre os metais, o ar e os produtos da combustão (Chun et al, 2007). A durabilidade das válvulas é imprescindível ao bom funcionamento do motor, pois um desgaste mesmo que lento e uniforme leva a aumentos de consumo de combustível e leva ao abaixamento da capacidade de vedação o que pode implicar diminuições de potência disponível pelo motor da ordem dos 3 a 10%. (Kente, W. e Finnigan, F., 1971)

Atualmente as válvulas conseguem manter taxas de desgaste muito baixas pelo facto de pelo menos em parte existir a formação de filmes de proteção (à base de resíduos de óleo de motor e combustível) nas superfícies de contacto. Por serem formados a partir de resíduos a sua estrutura e composição é sensível à quantidade de aditivos presentes no óleo. Hoje em dia para cumprir com legislações exigentes quer o óleo quer os combustíveis devem conter cada vez mais menos aditivos pois estes não são queimados e formam partículas (resíduos). Isto reduz a capacidade da formação da película protetora o que leva a maior desgaste nas válvulas e até a falhas prematuras.

Foram feitos alguns testes e ensaios (Elo, R. e Jacobson, S., 2015) de válvulas simulando o seu funcionamento no motor chegando a algumas conclusões interessantes que aqui se descrevem:



- Confirma-se a existência de um filme formado à base de carbono e um outro à base de cálcio e fósforo. O de carbono mais espesso (espessuras da ordem das dezenas de micron) e o outro com espessuras inferiores a 2 micron;
- O filme de carbono apresentava propriedades protetoras muito fracas e de menor durabilidade que o de cálcio e fósforo;
- É comum os fabricantes de motores investirem em determinar a folga mínima ideal entre a haste e a guia para garantirem o acesso controlado do lubrificante a essa zona;
- Foi possível mostrar que o filme oferece proteção durante largos ciclos mesmo quando não o é possível renovar.

Um aspeto que muitas vezes acarreta danos nos motores e em concreto nas válvulas tem que ver com a necessidade do endurecimento das suas sedes, quando se altera um motor a gasolina para a utilização de combustíveis gasosos, nomeadamente em motores que tenham sido desenhados para consumir gasolina com chumbo. Os combustíveis gasosos não criam depósitos entre a superfície das válvulas e as sedes que promovam a lubrificação garantindo um baixo desgaste. Estes combustíveis são por isto designados vulgarmente por combustíveis “secos”. Nestes motores há uma tendência de haver um elevado desgaste das válvulas e as elevadas pressões durante a combustão levam a que a cabeça das válvulas encurve originando movimento no contato válvula-sede (Martins, 2016).

É habitual usar-se como solução para evitar este dano o aumento da área de contato válvula-sede que é possível pela inexistência de depósitos carbonosos. Alguns dos novos sistemas de fornecimento de combustível nos motores a gás dispõem de um injetor de óleo para reforçar esta necessidade de lubrificação (Martins, 2016).

#### **2.1.4.6. Troca de combustível e dano em pistões**

A troca de combustível, por exemplo meter gasolina num motor Diesel, pode levar a danos nos pistões se o motor estiver quente (a gasolina tem um índice de cetano muito inferior ao gasóleo). Neste caso o combustível que é injetado para dentro da camara de combustão demora muito tempo a entrar em combustão e quando esta finalmente se dá, existe uma rápida e elevada libertação de calor, tipo explosão. Sendo a combustão tardia, os

gases sairão ainda a arder pelo escape com temperaturas muito elevadas (acima dos 1000 °C). Esta combustão anormal aquece em demasia a câmara de combustão danificando os pistões, e outros componentes como as válvulas, pelo facto de os gases de escape terem temperaturas elevadíssimas. Podem ainda surgir outros problemas decorrentes da elevada temperatura dos gases de escape, como incêndios, o que será apresentado mais tarde (Martins, 2020).

#### 2.1.4.7. Sistema de injeção e danos em pistões

Dentro dos sistemas periféricos do motor Diesel o de injeção é um dos que mais pode causar danos significativos aos pistões em caso de falha. Há casos em que os pistões ficam com a cabeça danificada e até com furos, típicos de falhas relacionadas com a combustão/injeção do combustível. Os sistemas Diesel *common rail* permitem separar os sistemas de geração de pressão dos de injeção, estando a bomba de alta pressão disponível para todos os injetores através de um tubo distribuidor comum (*rail*), sendo a pressão controlada independentemente da rotação do motor. A injeção dá-se em finíssimos orifícios (dos injetores) que quando por avaria partem, Figura 2-17, a elevada pressão de funcionamento produz um jato de gasóleo que desfaz a superfície onde bata, em concreto a cabeça dos pistões. Nestes sistemas de injeção as pressões são muito elevadas o que faz com que as cabeças dos pistões sejam nalguns casos literalmente cortadas pelo jato de gasóleo (Martins, 2020).

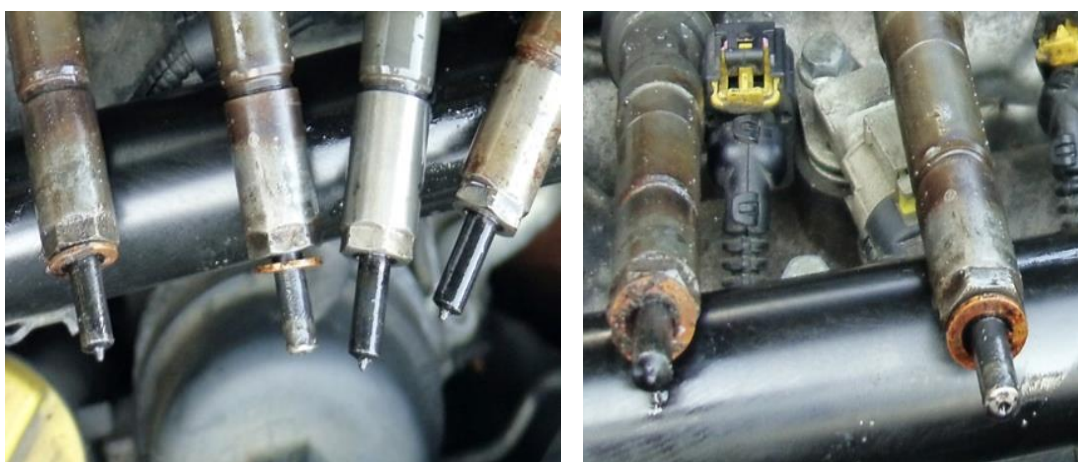


Figura 2-17 - Injetor com bico partido

Os danos no sistema de injeção podem ser ainda de outro tipo e ocorrer quando há problemas de lubrificação dos injetores. As agulhas destes quando fecham fazem com que

uma parte do combustível percorra o seu interior e lubrifique a agulha e o próprio injetor arrefecendo-o, saindo depois esse gásóleo por um tubo de retorno de regresso ao depósito de combustível. É frequente as agulhas dos injetores ficarem presa e as extremidades (bicos) ficarem pretos, descolorados e com danos na haste da agulha, Figura 2-18. Quando a agulha não veda convenientemente na sua sede, os gases de escape entram para a câmara da agulha causando a sua descoloração, devido às elevadas temperaturas, Figura 2-19.

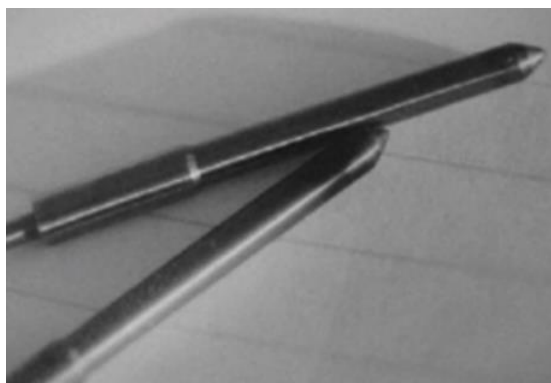


Figura 2-18 - Hastes dos injetores pretas. (Wielligh, Burger. e Wilcocks, 2003)

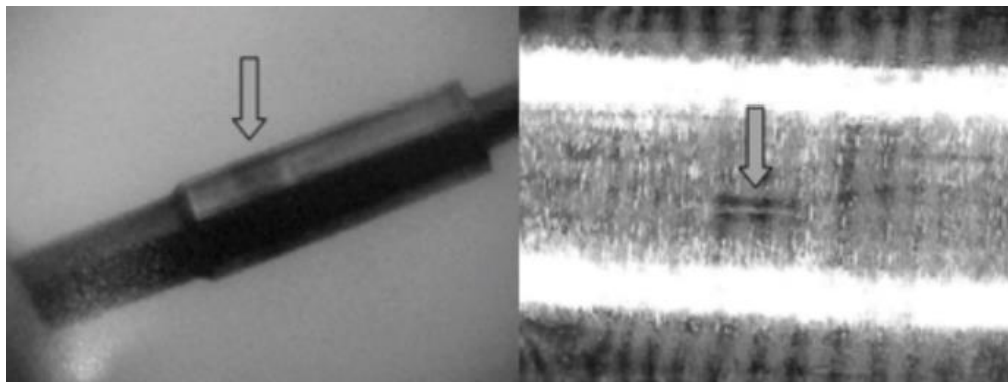


Figura 2-19 – Agulha do injetor descolorada (setas) pelas elevadas temperaturas (Wielligh, Burger. e Wilcocks, 2003)

Também acontece que a haste da agulha algumas vezes gripa pela inexistência de lubrificação adequada pelo combustível, porque existem sujidades e impurezas no combustível. (Wielligh, Burger. e Wilcocks, 2003)

Há sistemas de injeção com deficiente pulverização do combustível levando isto também a danos no motor. A pulverização deficiente pode acontecer por dois motivos, por fugas na agulha ou prisão (gripagem) da mesma. No primeiro caso a agulha não fecha

convenientemente na sede do injetor e pelas elevadas pressões o combustível escorre para fora provocando gotículas bastante maiores com gotejamento na ponta do injetor, enquanto no segundo caso a prisão da agulha provoca gotejamento ou pulverização deficiente, Figura 2-20.

Estas situações de deficiente pulverização levam a que outros problemas e danos possam acontecer com o “lavar” das paredes dos cilindros propiciando problemas de desgaste prematuro e pior ainda a gripagem entre pistões e camisas ou até a destruição da cabeça do pistão, Figura 2-21.



Figura 2-20 - Gotejamento ou pulverização deficiente do injetor. (Wielligh, Burger. e Wilcocks, 2003)



Figura 2-21 - Destruição da cabeça do pistão. (Wielligh, Burger. e Wilcocks, 2003)

A destruição da cabeça do pistão deriva do facto de o jato ser efetuado de forma deficiente ou com partículas (gotículas) demasiado grandes. Em funcionamento normal as gotas devem ser finíssimas, de modo que o combustível (ou a sua nuvem) fique em suspensão

na câmara de combustão e não atinja a coroa do pistão e queime rapidamente. Se o jato de combustível impactar fortemente no pistão, tal pode levar a sobreaquecimento deste e pode atingir-se a temperatura de fusão dos pistões pois são de alumínio. (Wielligh, Burger e Wilcocks, 2003).

## 2.2 Cambotas e danos

A cambota, em conjunto com as bielas, é responsável por converter o movimento linear dos pistões em movimento rotativo do eixo do motor, sendo a potência transmitida por uma das suas extremidades, onde se encontra o volante do motor. Pode ser feita numa só peça, por forjamento ou fundição, ou ser formada por várias peças para permitir desmontagem e uso de rolamentos entre ela e as bielas. (Martins, 2016). A força gerada pela combustão em cada cilindro é dividida em tangencial (Simões, 2013) gerando assim um binário na cambota, e radial que provoca naquela um esforço de flexão (Figura 2-22).

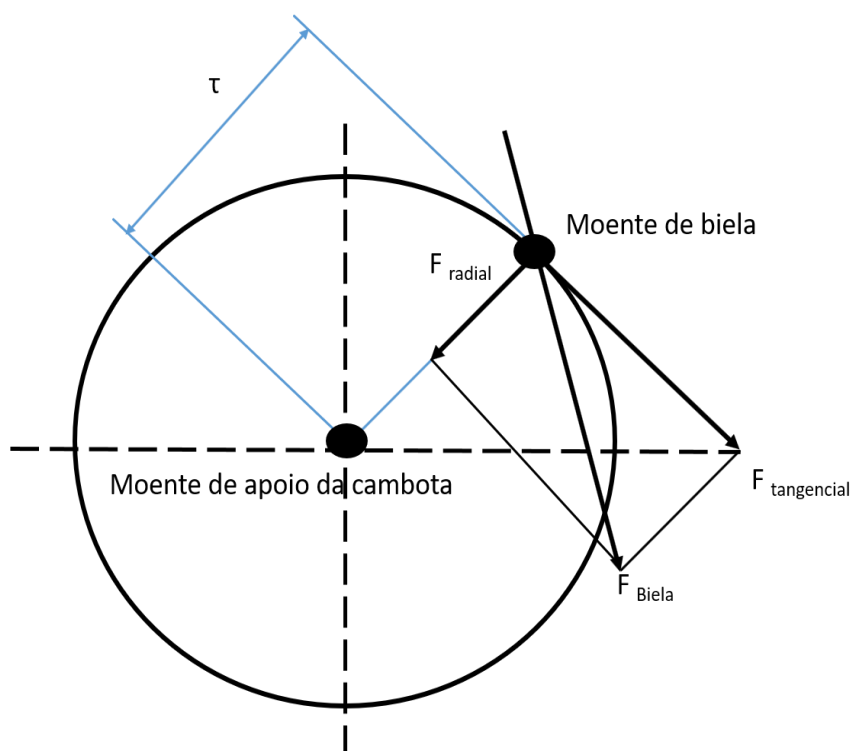


Figura 2-22 – Força tangencial e radial na cambota.(Simões, 2013)

A cambota (Figura 2-23) suporta ainda esforços de torção ao longo do seu comprimento (Mollenhauer e Tschoke, 2010). Para além da função retratada atrás a cambota tem ainda como função o acionamento da árvore de cames, da bomba do óleo do circuito de lubrificação, da bomba de água, do alternador, da bomba de direção assistida e do compressor do sistema de climatização. Em termos de materiais a cambota deve possuir elevada resistência para resistir aos esforços de flexão, torção e corte, mencionados atrás. Normalmente são fabricadas por forjamento de um aço semiduro por dobragem e estampagem, ou por fundição em aço, que que é o processo mais comum. As regiões críticas numa cambota são as zonas de transição entre os moentes, os furos de lubrificação e os pratos próximos aos moentes da biela. Existe uma concentração inevitável de tensões nos moentes das bielas e nos moentes de apoio. Qualquer zona da cambota com uma variação de geometria súbita leva a regiões de concentração de tensões no material potenciando assim a falha por fadiga (Chien, 2005).

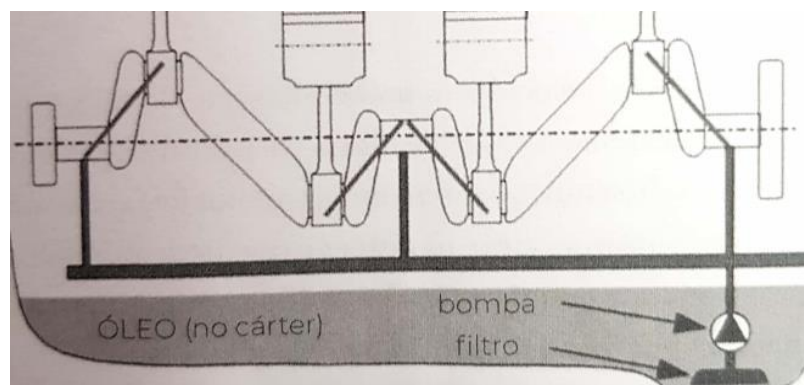


Figura 2-23 – Cambota com moentes de apoio e de biela, e canais de lubrificação (Martins,2016)

O momento de maior esforço de flexão na cambota ocorre junto ao PMS (Binder, Mollenhauer e Tschoke, 2010) havendo um máximo de compressão possível no cilindro, Figura 2-24.

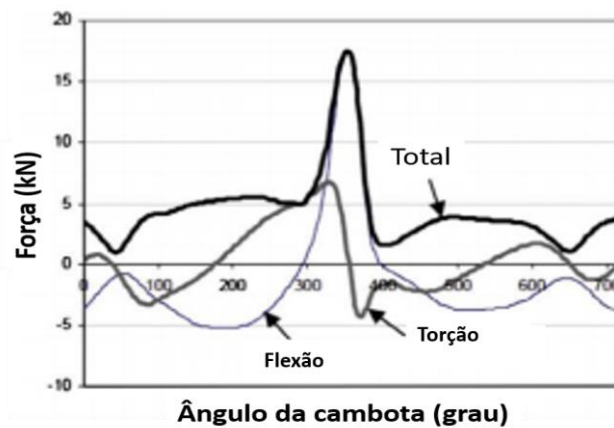


Figura 2-24 – Força resultante flexão e torção na cambota. (Binder, Mollenhauer e Tschoke,. 2010)

As cambotas têm a maior taxa de falhas por fadiga, que é o principal modo de falha num motor de combustão interna. Durante a sua vida útil (Fonte et al, 2017) a cambota pode executar milhões de ciclos de carregamento repetitivo que se estima que contribuam para 90% de todas as falhas no que diz respeito ao serviço mecânico. Podemos ter fadiga provocada por atrito, *fretting*, normalmente na área de contato dos componentes (Binder, Mollenhauer e Tschoke, 2010), mas também podemos ter cavitação da película de óleo lubrificante e assim a provocar a fadiga. A qualidade da fundição do material nas cambotas, a sua microestrutura, poros, inclusões de óxido, a qualidade do forjamento através do fluxo de fibras e linhas de escória, as tensões internas indesejadas e os tratamentos térmicos de má qualidade de rugosidade superficial, são as causas com maior probabilidade de induzir falhas e danos. Existem vários exemplos de danos em cambotas e estudados por vários autores, dos quais se apresentam alguns deles e as causas detetadas.

Muitos dos danos em cambotas derivam de reparações mal executadas e indevidas. Por exemplo, (Heyes, 1998), uma soldadura e uma posterior retificação para obter a dimensão original, propiciou que a soldadura efetuada sobre o moente de apoio da cambota, tivesse originado fadiga e o conseqüente crescimento de fenda progressivo e lento. Houve defeitos óbvios de homogeneidade de material e revestimento insuficiente na parte soldada, Figura 2-25.

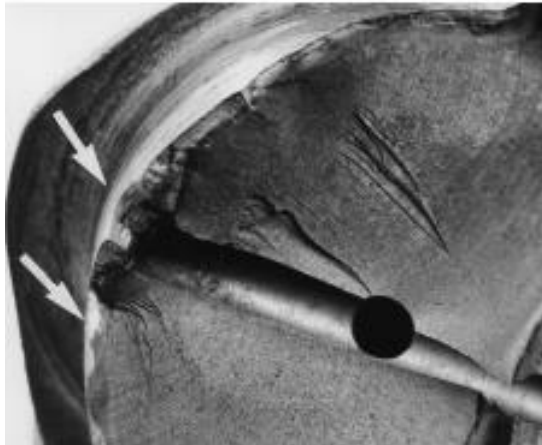


Figura 2-25 – Cambota partida, após a reconstrução, setas na zona soldada. (Heyes, 1998)

As soldaduras deficientes e de má qualidade (Heyes, 1998) são um dos fatores de redução da resistência mecânica, levando a que a fenda se inicie a partir do furo de lubrificação com obstrução do lubrificante.

Outros danos aparecem quando as cambotas sofrem uma reconstrução após desgaste na superfície dos moentes de biela. No acabamento de retificação fez-se uma retificação para repor o diâmetro original. Normalmente a falha está associada a uma incorreta instalação dos bronzes e/ou a uma lubrificação anormal da cambota. A Figura 2-26 mostra as fendas desenvolvidas por fadiga térmica (Silva, 2003) e mostra ainda que a operação de desbaste foi feita com indevida lubrificação de corte ou com um disco inadequado provocando danos no material. É possível verificar as orientações das fendas de pequena profundidade que se desenvolveram paralelamente ao gradiente térmico. Este caso ocorreu num motor de uma autocaravana.

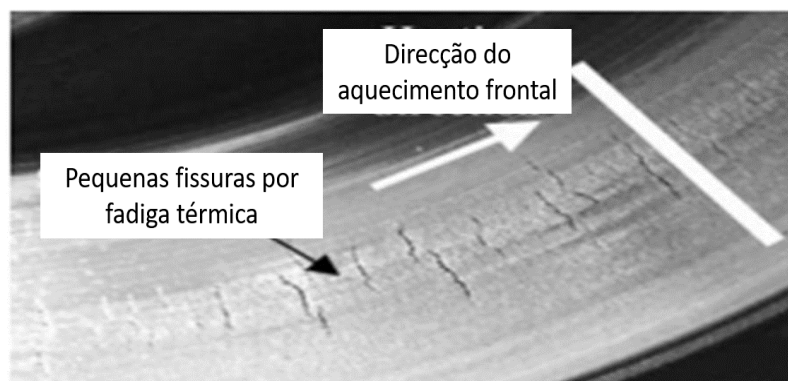


Figura 2-26 – Fendas por fadiga térmica. (Silva, 2003)



Num motor de um camião de 4 cilindros a cambota fraturou (Yu e Xu, 2005) por fadiga na zona de um dos pratos junto à extremidade oposta ao contrapeso perto dos moentes das bielas. Esta fratura resultou de uma completa ausência de nitruração o que levou a que o material falhasse por fraca resistência à fadiga. Deve-se referir que normalmente após a nitruração faz-se uma retificação em toda a cambota polindo-a para que fique menos rugosa reduzindo o atrito. A não qualidade deste polimento compromete a resistência à fadiga de todo o componente. Na Figura 2-27 mostra-se a cambota analisada por Yu and Xu aonde se faz a comparação ao nível da composição química, propriedades de tensão e dureza do material para a cambota analisada em relação a valores técnicos normativos assumidos no componente. Concluiu-se que na região da fratura o teor de azoto obtido pela nitruração era menor em relação ao valor esperado.

Composição química do material da cambota (wt%)							
Elemento	C	Si	Mo	Cr	Mn	P	S
Analizado	0,41	0,33	0,19	0,99	0,62	0,021	0,019
Especificações	0,38 - 0,45	0,20-0,40	0,15-0	0,90-1,20	0,50-0,80	≤0,04	≤0,04

Propriedades de tracção				
	Força de rendimento $\sigma_{0,2}$ (MPa)	Resistência à tracção $\sigma_b$ (MPa)	Alongamento $\delta_s$ (%)	Redução em área $\psi$ (%)
Propriedades de tracção (medidas)	735	885	17,0	60,5
Propriedades de tracção (requerimentos técnicos)	≥680	≥880	≥15	≥48

Dureza		
	Valor (medido)	Valor (especificado)
Dureza superficial (HV <sub>1</sub> )	593	≥550
Macro dureza (HB)	278	217-300

Figura 2-27 – Composição química da cambota analisada versus especificações (Yu e Xu, 2005)

Situação análoga ocorreu num motor de um camião de 6 cilindros (Asi, 2006), ainda em período de garantia. A cambota era de ferro fundido dúctil com grafite esferoidal na sua estrutura, que é uma boa solução para as propriedades mecânicas de resistência e tenacidade a baixo custo de produção. A cambota entrou em falha num dos seus moentes tendo-se iniciado a fratura na região da garganta do moente propagando-se depois transversalmente. O que acontece quando a fratura se inicia na garganta do moente é que como esta zona é mecanicamente mais resistente a fenda vai-se propagar até à rotura total do moente (Figura 2-28).

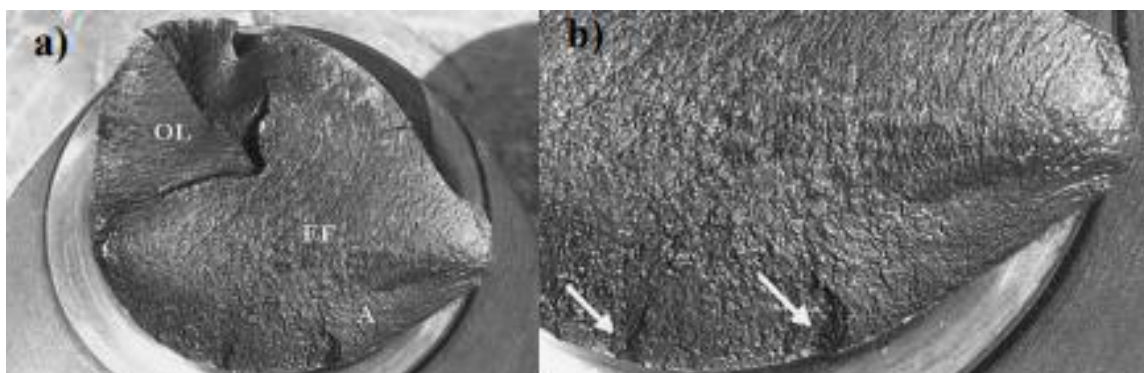


Figura 2-28 – Análise macrográfica do moente de biela: a) início da fenda, b) crescimento da fenda. (Asi, 2006)

Um motor acoplado a um gerador elétrico fraturou a cambota por fadiga (Espadafor, Villanueva e García, 2009) em funcionamento a 1500 rpm, falha esta que implicou avultados danos nas bielas, pistões e apoios. A cambota em aço de baixa liga temperada fraturou na zona dos pratos junto à extremidade de transmissão de potência, junto ao volante do motor. Na Figura 2-29 veem-se os ciclos de paragem na fratura existente e que se propagaram em 70% da seção transversal total do prato. É ainda claro que houve fadiga de alto ciclo por sollicitação de baixa amplitude.



Figura 2-29 – Zona da fratura na cambota, marcas de propagação e origem da fenda. (Espadafor, Villanueva e García, 2009)

As fraturas das cambotas são normalmente originadas por processos de fadiga onde as tensões de flexão ocorridas na garganta dos moentes de biela e/ou tensões de torção ocorridas nos moentes de apoio são as causas mais habituais. Um motor de um navio fraturou a cambota também por fadiga, (Fonte e Freitas, 2009) e evidenciou-se que as várias fendas de fadiga tinham características semelhantes e com fraturas planas, lisas e fraturas finais dúcteis.

As fraturas de fadiga por flexão cresceram na garganta do moente e apresentavam uma fratura final nessa zona. Já as fraturas de torção (fadiga) tinham origem nos moentes dos apoios com um angulo de propagação da fenda de 45º em relação ao eixo da cambota. Já a flexão rotativa evidenciava uma fratura com propagação perpendicular ao eixo. Na Figura 2-30 evidencia-se um fenómeno típico de fadiga por flexão combinada com torção constante.

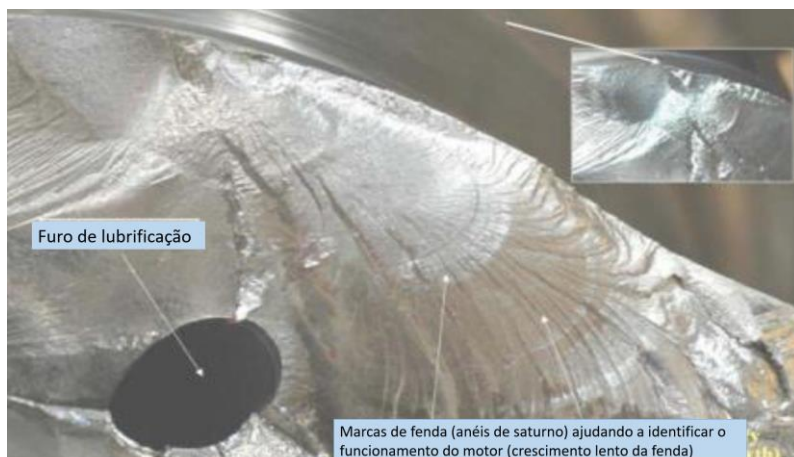


Figura 2-30 – Prato e moente de apoio da cambota fraturados (Fonte e Freitas, 2009)

Neste caso apresentado a dureza do material estava dentro dos valores da especificação, o que levou a concluir que a causa provável da falha do moente do apoio da cambota foi o desgaste elevado do volante de inércia do motor que comprometeu a sua função de absorver as vibrações existentes. Este facto potenciou elevadas tensões de torção na cambota.

A cambota de um de um motor Diesel de 12 cilindros em V, equipando um comboio (Ktari et al, 2011) após diversas manutenções periódicas e após verificações para deteção de possíveis fendas superficiais partiu. Houve um erro na tomada de decisão quanto à correção de reparação a efetuar implicando um abaixamento da qualidade do componente e assim potenciou-se a falha. A cambota partiu num dos pratos entre o apoio de biela e o apoio de motor com uma fratura de propagação oblíqua de 45º em relação ao eixo da cambota. Na Figura 2-31 observam-se várias microfissuras em fase inicial provocadas por concentração de altas tensões. Na fase final existem marcas de *river marks* (marcas de fragmentação) com uma propagação mais rápida. Verifica-se ainda que a fratura teve origem em solicitações mecânicas com cargas de flexão e torção. Nesta intervenção uma segunda cambota foi reparada com soldadura e retificação para dimensão original e após a montagem houve uma fratura nos moentes de apoio. A superfície dos moentes apresentava-se muito rugosa num sinal claro de deficiente lubrificação.

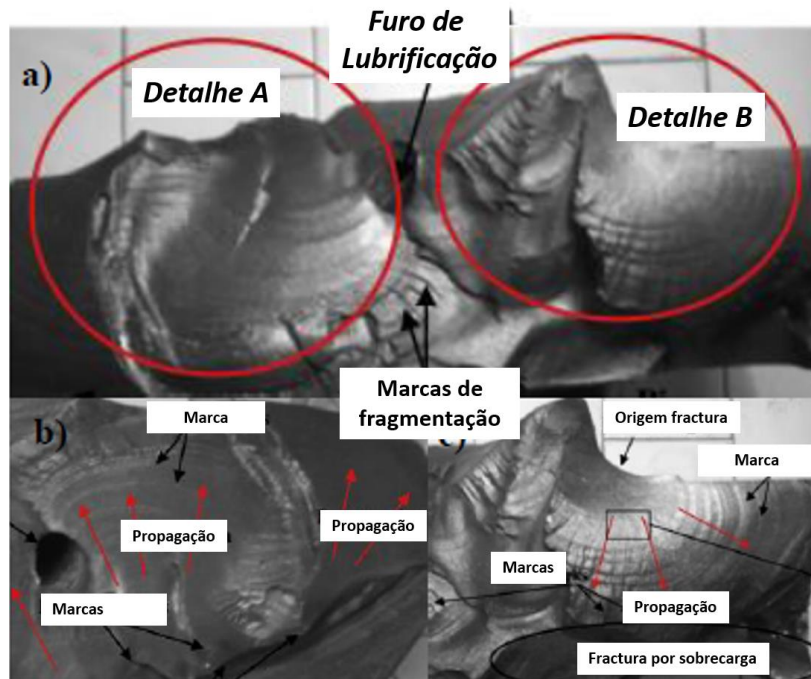


Figura 2-31 – Superfície de fratura: a) vista geral, b) detalhe zona A, c) detalhe zona B. (Ktari et al, 2011)

Neste caso houve criação de partículas duras que induziram desgaste abrasivo e originaram tensões de corte o que implicou um desalinhamento do veio da cambota com início do desgaste entre moente e bronze. Forças de atrito adicionais aumentaram os gradientes térmicos e as tensões térmicas compressivas nomeadamente na fase de maior solicitação mecânica (expansão) com consequente abaixamento da temperatura no restante ciclo, o que após vários ciclos desenvolveu fadiga térmica com microfissuras perpendiculares ao gradiente térmico gerado e à direção do contato.

Um motor Diesel com 3 anos de operação (Fonte et al, 2013) e após reparação de um moente de apoio da cambota numa oficina não especialista, partiu do lado radialmente oposto a este após pouco tempo de serviço a seguir à reparação.

A reparação consistiu em retificar o moente possivelmente com defeito superficial reconstruindo o seu diâmetro através da soldadura. Esta adicionou uma camada com baixa dureza e com uma estrutura bem diferente da restante cambota. Num exame macrográfico verificou-se uma fratura com superfície lisa e plana. A soldadura do moente foi efetuada de forma inadequada provocando desde logo defeitos superficiais e muito provavelmente um empeno da cambota. Assim foram induzidos momentos de flexão adicionais e uma concentração de tensões anormais. Vibrações anormais na região crítica contribuíram também para a falha prematura.



Figura 2-32 – Superfícies de fratura (Fonte et al, 2013)

Verificou-se ainda uma elevada sensibilidade do material da cambota a defeitos metalúrgicos com a adição da camada de liga da reparação através da soldadura. A liga adicionada não foi sujeita a um tratamento térmico necessário tal como o restante material da cambota.

Um motor agrícola monocilíndrico fraturou em dois momentos diferentes duas cambotas aparentemente idênticas (Fonte et al, 2015). A comparação geométrica das mesmas evidenciou que eram diferentes o que demonstrava um controle de qualidade deficiente. Do ponto de vista de uma análise metalográfica com base na microestrutura e por teste de dureza realizado, apenas uma das cambotas tinha o tratamento térmico.

A análise *SEM* detetou alguns sulcos no material pela ausência de tratamento térmico na cambota que não foi tratada termicamente. Através da análise fractográfica verificou-se que na primeira cambota (a que tinha o tratamento térmico) a fratura ocorreu na garganta do moente com a presença de marcas de fragmentação e riscos, fruto de concentrações de tensões devido a uma deficiente maquinagem e que contribuíram para a fratura, setas da Figura 2-33 à esquerda.

No segundo caso de fratura ela deu-se na zona do furo de lubrificação na zona central do moente pois este provocou uma mudança geométrica acentuada que levou a concentrações de tensões induzidas no material. Na Figura 2-34 é possível observar ambas as superfícies de fratura.



Figura 2-33 – Superfícies de fratura das duas cambotas. (Fonte et al, 2015)



Figura 2-34 – Fratura na zona do furo de lubrificação, setas mostram as superfícies de fratura. (Fonte et al, 2015)

Pode-se concluir que ambas as cambotas tiveram um deficiente controlo de qualidade do fabrico em que as diferenças de dimensões encontradas provocaram desequilíbrios elevados, com cargas dinâmicas elevadas potenciando o aumento significativo das vibrações. Isto reduziu a via útil dos bronzes ou capas de biela e de apoio induzindo desalinhamentos no veio. A falta de tratamento térmico numa das cambotas não induziu diretamente a falha, mas o aumento da dureza contribuiu para uma diminuição efetiva da resistência às vibrações excessivas.

Um motor acoplado num compressor de ar fraturou a cambota no moente de apoio na zona do furo de lubrificação (Fonte et al, 2015). Esta cambota forjada em aço com tratamento térmico, nitruração, cujos parâmetros químicos e propriedades mecânicas estavam dentro das especificações do fabricante fraturou, evidenciando-se isso mesmo numa análise macrográfica, Figura 2-35, 3 zonas de fratura.

Uma análise SEM (*Scanning Electron Microscope*) permitiu comprovar que a falha começou na região da garganta no furo de lubrificação onde o desalinhamento dos moentes dos apoios da cambota contribuíram fortemente para a falha prematura.

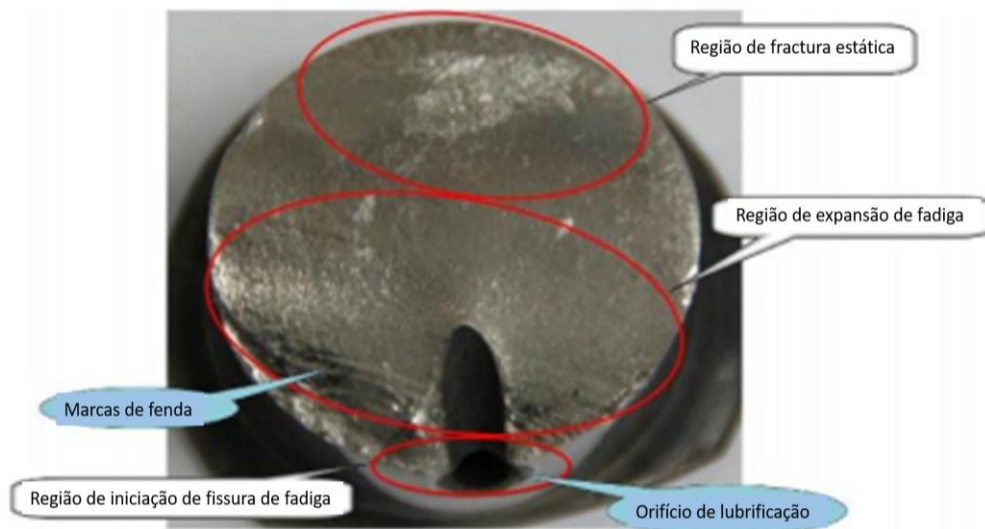


Figura 2-35 – Superfície de fratura, a vermelho as zonas de fratura (Fonte et al, 2015)

Num motor Diesel uma cambota apresentava uma vibração anormal (Fonte et al, 2017) que foi aumentando com o tempo e que após a desmontagem suscitou a dúvida e a possibilidade de a cambota estar fraturada. Aplicou-se um *spray* corante para localizar uma possível fenda o que se veio a verificar na zona da garganta do moente de apoio, Figura 2-36.



Figura 2-36 – Superfície de fratura no moente de apoio (Fonte et al, 2017)

O crescimento da fenda da periferia do moente para o centro com uma fase inicial suave e brilhante demonstra que foi um processo de fadiga que esteve por detrás da falha. A cambota não sofreu nenhum processo de tratamento térmico. Os resultados obtidos permitiram afirmar que o desalinhamento entre os moentes, a insuficiente resistência superficial do material terão sido a causa raiz ou primeira da falha. No entanto um eventual defeito de fabrico ou até uma montagem incorreta podem também estar associados ao problema verificado.

## 2.3 Cilindros e danos

O bloco de cilindros é um dos elementos estruturais do motor sobre o qual se deslocam peças em movimento, as bielas e os pistões. Antigamente eram em ferro fundido por este ser um material resistente, barato e fácil de trabalhar. Hoje em dia pela constante redução de peso e melhoria da transferência de calor usam-se ligas leves e o bloco contém cavidades cilíndricas aonde se colocam as camisas, geralmente de ferro fundido (Martins, 2016).

A configuração exterior do bloco depende do tipo de arrefecimento, sendo o mais comum por líquido e assim apresenta-se liso. Podem sofrer por vezes uma deposição eletrolítica de ligas à base de crómio e níquel resistente ao desgaste que oferece menor atrito ao movimento do pistão, que se designa por *honing* e que se descreve a seguir (Martins, 2016). Após a retificação do cilindro usa-se uma ferramenta especial que produz uns sulcos de profundidade entre 3 a 5 microns dispostos em hélice (cruzada) com cerca de 60° de ângulo de inclinação, Figura 2-37. A distância entre sulcos é inferior a 1 mm o que dá uma rugosidade média de mais ou menos 0,3 microns. Outros motores têm as camisas em ferro fundido ou alumínio fundido com um revestimento anti desgaste, duro, em ligas de níquel e/ou crómio com silício. A deposição eletrolítica mencionada é extremamente dura, com aproximadamente 0,1 mm de espessura reduzindo o desgaste, mas sem reduzir significativamente o atrito.

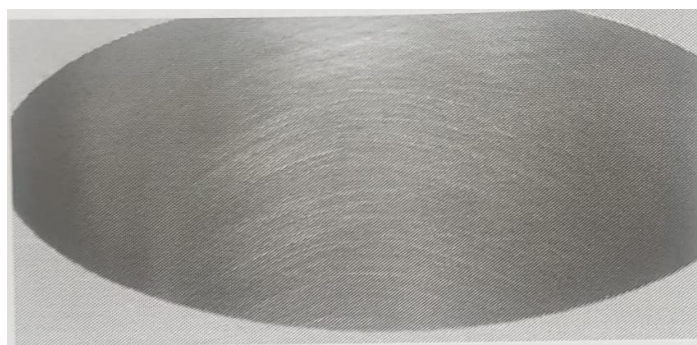


Figura 2-37 – Camisa de um cilindro com *Honing*. (Martins, 2016).

Quando um cilindro do motor falha acarreta desde logo danos em outros componentes do motor, como sejam os pistões, segmentos, bielas entre outros. O mesmo se aplica que qualquer falha nestes componentes implica danos nos cilindros ou camisas. A deficiente retificação das camisas com falta de uniformidade do revestimento das suas paredes ou até a ausência deste pode levar por fadiga à falha daquele. O processo de fabrico induz



concentração de tensões e assim contribui para a diminuição da resistência criando pontos de nucleação de fendas. Outros danos nas camisas podem surgir por problemas na combustão (Espadafor et al, 2010), o que algumas vezes ocorre por aumentos de potência num cilindro comparativamente a outros. Isto indicia e justifica simultaneamente uma maior temperatura da combustão que danifica a película de óleo lubrificante entre pistão e a camisa com um aumento da temperatura local. Adicionalmente a maior pressão de combustão provoca um aumento das forças laterais entre o pistão e o revestimento da camisa diminuindo a vida útil nesta zona.

## 2.4 Emissões e danos

Os sistemas de controlo e eliminação dos poluentes são um foco com bastante incidência de danos nos automóveis. As emissões por parte dos motores de combustão interna são os principais responsáveis pela poluição do ar nos centros urbanos. Não iremos entrar em detalhe nos modos e elementos considerados poluentes, mas faremos um enquadramento dos danos em sistemas e componentes que no automóvel funcionam para evitar que se ultrapassem as emissões regulamentadas. De todos os elementos constituintes dos gases de escape consideram-se como poluentes os CO, HC, os NOx e as partículas (PM). Na Figura 2-38 são apresentados os limites de emissão de poluentes na EU em g/km.

(g/km)	Diretiva	Data	Tipo	CO	HC	NOx	HC+NOx	PM		CO <sub>2</sub>
Euro 1	91/441/CEE	1992		2.72			0.97	0.19		
Euro 2	94/12/CE	1997	Gasolina	2.2			0.5			
			Diesel	1.0			0.7	0.08		
Euro 3	98/69/CE	2000	Gasolina	2.3	0.2	0.15	-	-		
			Diesel	0.64	-	0.5	0.56	0.05		
Euro 4	98/69/CE	2005	Gasolina	1.0	0.1	0.08	-	-		
			Diesel	0.5	-	0.25	0.3	0.025		
Euro 5	715/07/EC	2008	Gasolina	1.0	0.068	0.06	-	0.005	6×10 <sup>11</sup>	140
			Diesel	0.5	-	0.18	0.23	0.005	6×10 <sup>11</sup>	
Euro 6	715/07/EC	2014	Gasolina	1.0	0.068	0.06	-	0.0045	6×10 <sup>11</sup>	120
			Diesel	0.5		0.08	0.17	0.0045	6×10 <sup>11</sup>	

Figura 2-38 - Limites de emissão de poluentes na EU em g/km, (Martins, 2016)

Adicionalmente com o aquecimento global do planeta resultante de gases de efeito de estufa como o CO<sub>2</sub> que é um inerte e faz parte dos gases de escape, pese embora não seja um poluente, mas é visto como indesejável. A análise de danos em automóveis leva-nos vezes

sem conta a problemas num dos componentes para diminuir essas emissões nos motores Diesel, concretamente nos filtros de partículas, FAP (*Filtre à Particule*) ou DPF (*Diesel Particle Filter*). A falha dos FAP pode ocasionar graves prejuízos e danos nos motores e automóveis, tais como incêndios entre outros.

Por exemplo veja-se que para passarem as normas Euro 4 os motores tiveram de ser dotados de turbo-compressor, *EGR (recirculação dos gases de escape)* arrefecido, catalisador de oxidação. De Euro 4 para Euro 5, filtro de partículas com regeneração e de Euro 5 para Euro 6 de catalisador seletivo (ou de absorção) dos NOx. A isto acresce ainda a utilização de líquidos catalíticos para a regeneração dos FAP (nos casos anteriores a Euro 5) e de ureia para a redução seletiva dos NOx. Isto também limitou a utilização de combustíveis (gasóleo) com teores máximos de enxofre de 10 ppm (Martins, 2016).

Esta redução teve um impacto enorme no abaixamento das emissões de partículas. Uma redução de 87% no teor de enxofre do combustível, para 0,05%, implicou um abaixamento das emissões de partículas da mesma ordem de grandeza. Isto acontece porque a maioria de partículas produzida pelo motor aglutinam-se à volta dos átomos de enxofre, embora o interesse da redução do enxofre nos combustíveis tenha também que ver com o facto de os catalisadores de NOx serem envenenados quimicamente pelos teores de enxofre mesmo que sejam baixos.

#### **2.4.1 Filtros de Partículas (FAPs ou DPF)**

Há vários tipos de FAP quer ao nível dos materiais quer das configurações, e não se entrará em detalhe. No entanto aqueles que aqui estudaremos são os aplicados em motores Diesel, em concreto os cerâmicos que fazem parte da tecnologia dominante para carros e camiões novos, Figura 2-39.

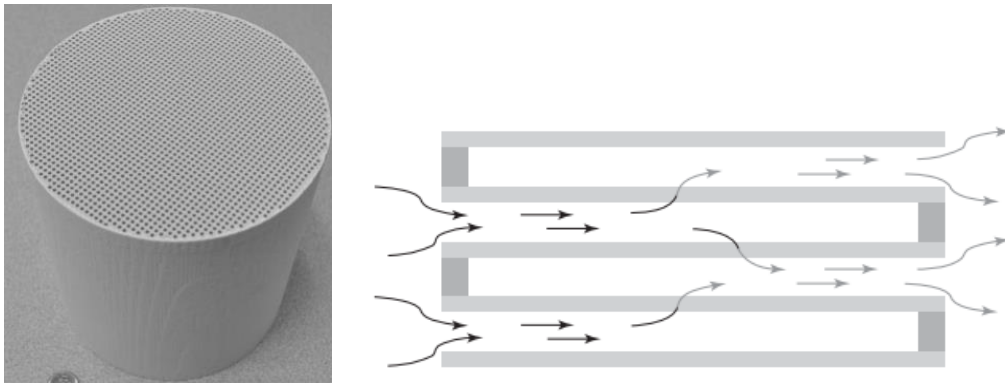


Figura 2-39 - DPF cerâmico (à esquerda). Fluxo dos gases de escape num DPF (à direita).

As propriedades típicas dos substratos filtrantes normalmente utilizados nos DPF são as seguintes:

- Porosidade da parede de cerca de 50%;
- Tamanho médio dos poros de cerca de 10-20  $\mu\text{m}$ ;
- Espessuras das paredes filtrantes dentro do intervalo de (0,30 a 0,48 mm);
- Filtros disponíveis em tamanhos que variam entre 143 mm de diâmetro por 153 mm de comprimento para aplicações em automóveis ligeiros, até 508 mm de diâmetro por 381 mm de comprimento, para aplicações em veículos pesados.
- Densidade dos canais de 31 células por  $\text{cm}^2$ , existindo outras configurações possíveis. (Corning, 2010a).

Tabela 2-2 - Exemplos de DPF's cerâmicos e as suas propriedades.

Exemplo Produto	Composição	Fórmula química	Porosidade (%)	CTE ( $1/^\circ\text{C}$ )	Temperatura de fusão ( $^\circ\text{C}$ )	Poros médio Tamanho ( $\mu\text{m}$ )
Corning DuraTrap <sup>®</sup> AC	Cordierite	$2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$	50 <sup>a</sup>	$5\text{E}-7^a$	1450 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>
Ibidin	Carboneto de silício	$\text{SiC}$	42 <sup>b</sup>	$4\text{E}-6^b$	2200 <sup>b</sup> (sublimação)	8,7 <sup>b</sup>
Corning DuraTrap <sup>®</sup> AT	Titanato de alumínio	$\text{Al}_2\text{TiO}_5$	50 <sup>c</sup>	$1\text{E}-6^c$	1600 <sup>c</sup>	15 <sup>c</sup>
Dow Aerify <sup>™</sup>	Mulita Acicular	$3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$		$5\text{E}-6(600^\circ\text{C})^d$	>1600 <sup>d</sup>	

Na Tabela 2-2 apresentam-se vários exemplos de DPF's em que a Cordierite (Figura 2-40) é o mais importante substrato cerâmico para os DPF atuais e é o mais utilizado pelos OEM's, especialmente nos Estados Unidos, devido ao seu relativamente baixo custo. É também menos suscetível ao choque térmico do que alguns materiais concorrentes, mas apresenta um

ponto de fusão inferior e isso pode ser uma das limitações. Utiliza distribuições de tamanho dos poros um pouco maiores do que em substratos granulares sintetizados, tais como o SiC (Carboneto de silício), e a ligação entre poros não é tão uniforme.

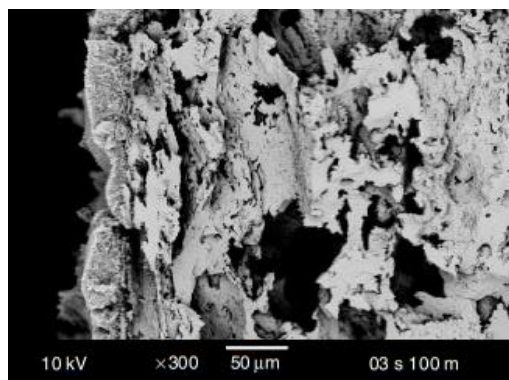


Figura 2-40 – Cordierite, imagem microscópica.

Os DPF de SiC (Carboneto de silício), Figura 2-41, têm sido implantadas principalmente na Europa e no Japão. Os filtros SiC têm um ponto de fusão (2200 °C) mais elevado do que a cordierite (1450 °C), mas são muito mais sensíveis ao diferencial de temperatura e ao choque térmico.

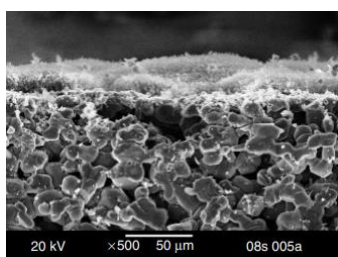


Figura 2-41 - Carboneto de silício, imagem microscópica.

As falhas dos DPF acontecem com frequência embora estes normalmente devam sobreviver à vida útil do veículo e por conseguinte assegurar a sua durabilidade é um desafio difícil para os utilizadores. A durabilidade do filtro e as avaliações de desempenho resumem os modos de falha mais comuns em DPF que corresponde à sua desactivação térmica, ao envenenamento químico e à fusão do material que implica fendas e fraturas. (Zhan, 2008; Wilcox et al., 2004; Watkins et al., 2009).

Os combustíveis alternativos como por exemplo o biodiesel têm impacto no desempenho dos FAPs. O biodiesel é um combustível atrativo pelas suas propriedades renováveis e redução da dependência do petróleo. Com o Biodiesel as emissões de PM são reduzidas até 12% utilizando uma mistura B20 e em 47% utilizando uma mistura B100 (US

EPA, 2002). O uso e consequente envelhecimento dos DPF devido a efeitos térmicos e químicos levam à degradação e são um dos mais sérios problemas no abaixamento do desempenho do DPF e que se deve maioritariamente à produção de cinzas . (DaCosta, Shannon, e Silver, 2006)

Os problemas com os FAP derivam na maioria das vezes de não se respeitarem as regenerações (limpeza) do filtro. Isto deriva de algum desconhecimento por parte dos condutores das regras de utilização de veículos com FAP mas também de alguns problemas de funcionamento de alguns sistemas como veremos à frente nos casos a apresentar no capítulo 3. Genericamente a limpeza do filtro de partículas dá-se por aumento da temperatura do escape do veículo para valores acima dos 600 °C, algo que acontece facilmente em trajetos de auto estrada, aonde normalmente temos velocidades superiores ou iguais a 120 km/h permitindo ao motor rodar acima das 2 000 rpm em 10 a 15 minutos de trajeto. Esta utilização permite na grande maioria dos carros efetuar a limpeza (regeneração) sem intervenção do controlador do motor. Esta regeneração chama-se passiva, em que o condutor geralmente não dá conta de que ela acontece.

Por outro lado existe um outro tipo de limpeza designada por regeneração ativa em que o controlador do motor através de um aumento da injeção de gasóleo faz com que temperatura de escape também aumente. Estas injeções extras designam-se por “pós injeções” e efetuam-se com o pistão no PMI (ponto morto inferior) e já com a válvula de escape aberta. Assim o gasóleo extra injetado sai pela válvula de escape a arder aumentando de forma brusca a temperatura do escape, e assim fazendo a limpeza do FAP. É necessário no entanto que a temperatura do motor seja da ordem dos 80 a 85°C. Após cerca de 10 minutos e quando o controlador do motor mede diferenciais de pressão que evidenciam que o filtro está limpo a regeneração termina. Esta limpeza ou regeneração ativa designa-se por normal e é perceptível ao condutor pois nota-se um aumento do consumo, ouve-se o ruído dos ventiladores dos radiadores ligados e no máximo da sua potência observando-se ainda um odor acre vindo do motor. Esta mesma regeneração (ativa) pode acontecer ao ralenti em que o controlador do motor eleva a rotação à volta de 1500 rpm de modo a aumentar o seu nível térmico. Ora isto pode decorrer durante 10 minutos e se o veículo for desligado antes de concluída a regeneração terá de ser iniciada outra vez.

A situação que implica maior risco e que leva a uma maior incidência de falhas dos filtros de partículas é quando os veículos são usados em percursos curtos, o motor não aquece o

suficiente por falta de tempo, ou ainda quando tenham havido diversas regenerações interrompidas. Quando o filtro fica entupido o controlador tem de fazer uma limpeza designada por regeneração anormal, que é ativa (feita pelo controlador) mas arriscada. Arriscada porque o motor está frio, o filtro muito sujo, e o controlador faz a regeneração nestas condições adversas. Esta poderá resolver o problema mas poderá simultaneamente agravá-lo ainda mais pela deposição de gotas de gasóleo semi-queimado sobre o FAP entupindo-o ainda mais (Martins, 2020).

Apresenta-se na Figura 2-42 um exemplo da estratégia utilizada na regeneração do FAP de um motor 1.9 TDI.

Nas regenerações ativas, as injeções dão-se contra as paredes dos cilindros porque o pistão está no PMI, e os injetores estão projetados para que o gasóleo seja lançado sobre a cavidade do pistão, Figura 2-43 e quando este está perto do PMS (Martins, 2020).

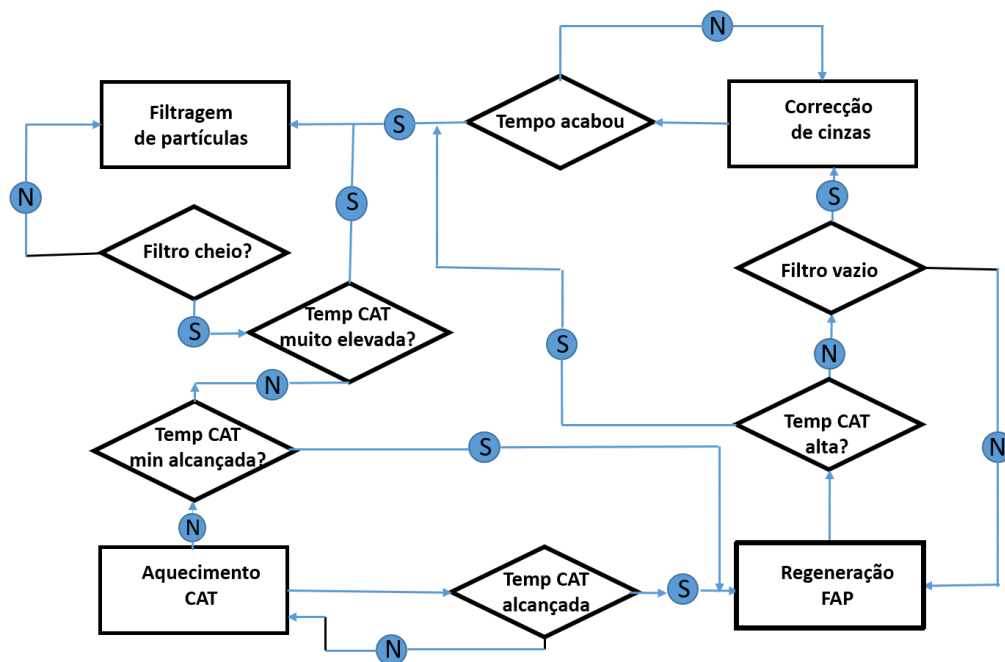


Figura 2-42 - Exemplo da estratégia de regeneração de um FAP num motor 1.9TDI, (Schomers, 2004).

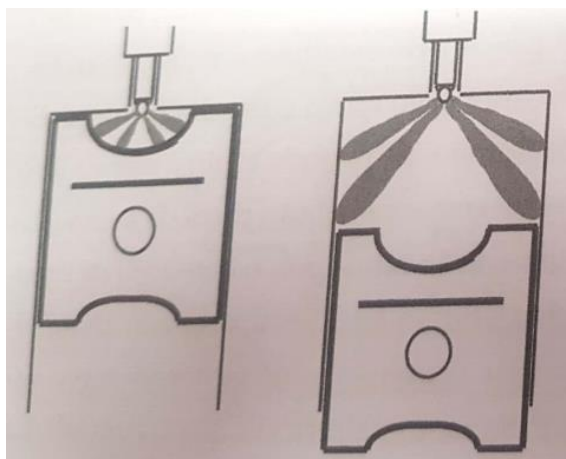


Figura 2-43 – à esquerda injeção normal e à direita pós injeção.(Martins, 2020)

Assim o gasóleo projetado contra as paredes dos cilindros vai misturar-se com a camada de óleo que estava sobre a parede, piorando a lubrificação nesta zona e escorrendo para o cárter, passando através dos segmentos. Esta diluição do óleo vai diminuir-lhe as suas propriedades de lubrificação, aumentar o seu nível (volume no cárter) levando a situações de *safe mode* ou até que o motor se desligue por nível alto de mais. Paralelamente poderá levar a que se acenda a luz do FAP, Figura 2-44, o que implica que deverá ser feita uma outra limpeza designada por forçada, num concessionário e através da ficha OBD (Martins, 2016).

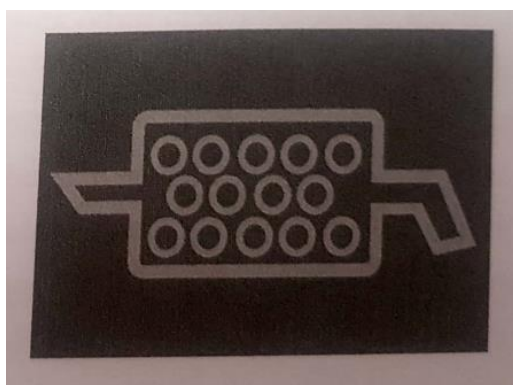


Figura 2-44 – Luz de aviso de necessidade de regeneração do FAP.(Martins, 2016)

Cite-se que esta luz acende para que se faça uma regeneração deste tipo (forçada), mas pode em alguns modelos acender para prevenir a necessidade de limpeza do filtro, alertando o condutor/utilizador da necessidade de fazer uma viagem longa. Esta regeneração forçada é feita em último caso, é cara e no máximo os filtros só suportam 2 a 3 regenerações deste tipo. Os manuais dos veículos têm genericamente as condições ideais para que as regenerações do FAP se façam sem problemas, o que pode variar de marca para marca, mas

percursos com tempos da ordem dos 20 minutos, motor num regime acima das 2000 rpm (cerca de 120 km/h) com alguma carga, ou ainda com tempos de utilização mais longos (acima dos 20 minutos) para que o motor esteja quente e a regeneração ativa se faça, são as condições transversais a todas as marcas. Como se disse atrás um dos problemas que levam a danos nos FAP é os condutores não conhecerem estes processos e nalguns casos até se assustam ou pelo cheiro gerado durante as regenerações ou pela elevação do consumo ou ainda pelo aumento da rotação do motor e desligam-no. Isto nalguns casos leva a consequências extremas, por exemplo, um incêndio, como se verá nalguns casos no capítulo 3 (Martins, 2016).

As reações no FAP são exotérmicas e esta é uma das razões também para que o FAP possa fundir normalmente e partir na sua saída e não na sua entrada, porque os gases de escape aumentam a sua temperatura ao longo dele.

#### **2.4.2 Catalisador**

O catalisador faz parte dos sistemas de redução das emissões dos automóveis que nos motores a gasolina se designa por triplo efeito por eliminarem 99% dos poluentes HC, CO e NOx simultaneamente. Nestes motores a temperatura de um catalisador pode chegar a 1 000 °C e assim propiciar a auto-ignição de por exemplo ervas secas ou outros que toquem externamente no catalisador que está colocado por de baixo do motor. Alguns incêndios têm esta causa como origem (Martins, 2020).

Os catalisadores são fabricados de forma que as reações de oxidação e redução ocorridas na sua superfície e promovidas pelos metais do grupo da platina (PGM's) permitam aos gases de escape que contêm CO, NOx serem convertidos em dióxido de carbono, água e azoto. Qualquer um dos PGM's pode promover aquelas reações, mas a sua escolha ou das combinações a usar deve levar em linha de conta a eficiência dos motores, a resistência química/térmica e o custo como sendo importantes na conceção de um catalisador (Paiva, 2014). Basicamente são constituídos por um ou mais monólitos de material cerâmico ou metálico de forma cilíndrica (secção oval ou circular) revestido por um invólucro metálico.

Os monólitos têm estrutura tipo favo de abelha, Figura 2-45, e os 3 principais componentes são a matriz ou suporte a camada superficial de revestimento e as PGM's. As PGM's (Metais do grupo da Platina) são os elementos catalíticos, Pt-platina, Pd-paládio, Rh-ródio, que têm excelentes propriedades catalíticas e estabilidade eletroquímica e térmica,



mas também são metais preciosos, caros e raros cuja recuperação é necessária assegurar para o fornecimento aos mercados.

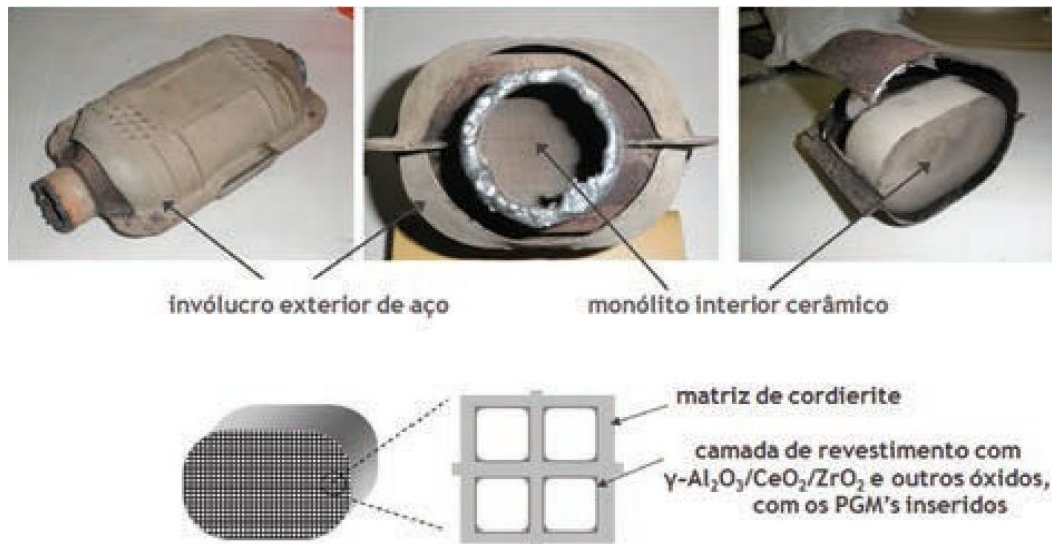


Figura 2-45 - Aspeto do interior de um catalisador. (Paiva A., 2014)

Os suportes são constituídos por cordierite que é um ciclossilicato de magnésio, ferro e alumínio, enquanto os metálicos são de aço inox (Paiva A., 2014). Estes embora menos comuns são mais eficientes pois promovem a transferência de calor e as reações catalíticas em tempos menores. A camada superficial é de alumina-J e vários óxidos metálicos nomeadamente cério e zircónio. Após um determinado período de tempo de utilização os catalisadores tornam-se inoperacionais deixando de cumprir a sua função e isto pode acontecer por um de três motivos principais (Silva, R., Viana, M., Mohallem. N., 2009)

- Envenenamento por processos químicos;
- Formação de fuligem por processos mecânicos;
- Desativação térmica que ocorre em função da temperatura por sinterização ou transformação dos metais ativos.

A influência que a temperatura e o tipo de gasolina utilizada nos motores têm na vida útil dos catalisadores foram alvo de estudo (Silva, R., Viana, M., Mohallem. N., 2009) e concluiu-se que uma grande contaminação química do catalisador por enxofre e carbono leva a um entupimento elevado dos poros do catalisador por fuligem. Estes dois danos nos

catalisadores levam à desativação química e mecânica do catalisador que se explica pela exposição às elevadas temperaturas que promovem a sinterização pelo facto do filme de alumina não ter estabilidade térmica em temperaturas elevadas. Os metais nobres devem ter dimensões menores e serem mais homogêneos e mais dispersos no filme de alumina o que por sua vez deveria ser mais estável a altas temperaturas (Silva, R., Viana, M., Mohallem. N., 2009).

## 2.5 Estatística dos danos

Os danos em motores têm diversas causas e iremos apresentar uma distribuição dos modos de falha nos automóveis bem como as suas causas apresentam-se na Figura 2-46. Evidencia-se que as falhas de motor são 41% das ocorrências em danos em veículos automóveis, dividindo-se os restantes 59% em falhas nos sistemas de travagem, suspensão, direção, chassis, entre outros (Heyes, 1998). Esta análise é de 1998 pelo que ainda não apresentava danos e avarias mais atuais, tais como os derivados de problemas elétricos e de eletrónica, além de outros relacionados com FAP's e que também se abordarão.

Assim os danos do motor com 41% de incidência mostram a importância duma análise mais profunda e da necessidade de efetuar sistematicamente investigação que permita perceber as causas “mãe” dessas mesmas ocorrências.

As causas de avaria nos automóveis, Figura 2-47, acontecem nos casos de má utilização (abuso - 29%), defeitos de projeto e fabrico (21%), decorrentes de reparações (18%) e da idade do veículo (10%), de defeitos dos materiais (9%) e somente a seguir vêm os acidentes (7%) (Heyes, 1998).

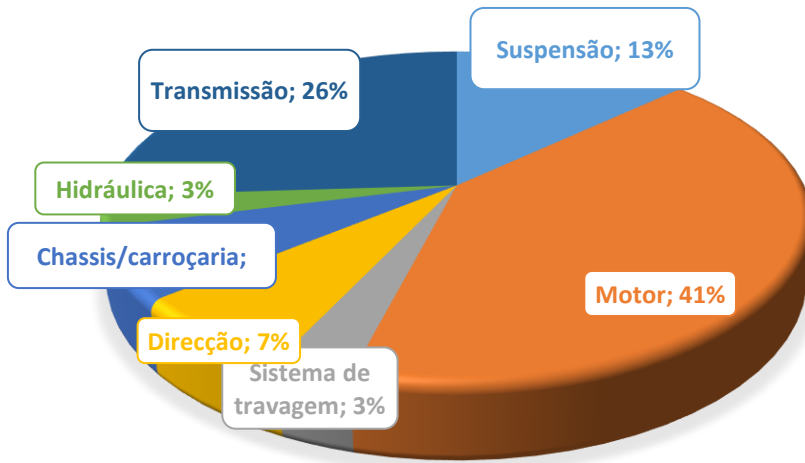


Figura 2-46 - Distribuição gráfica das falhas nos automóveis e as suas associações. (Heyes, 1998)

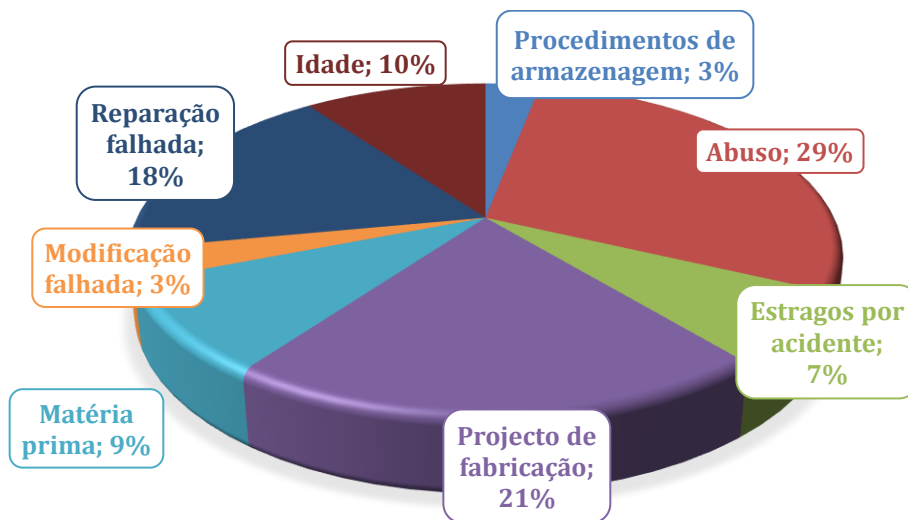


Figura 2-47 - Causas das avarias, (Heyes, 1998)

As falhas mais habituais em motores Diesel de grande e médio porte são evidenciadas na Tabela 2-3 (R.A.Collacott, 1982). As principais falhas e os parâmetros que devem ser monitorizados num motor Diesel mostram-se na Tabela 2-4 (Jones e Li, 2000).

Tabela 2-3 - Tabela R.A.Collacott, falhas de motores Diesel e a sua origem. (R.A.Collacott, 1982)

<b>Tipo de defeito</b>	<b>Ocorrência (%)</b>
Equipamentos de injeção e de abastecimento de combustível	27,0
Fugas de água	17,3
Válvulas e sedes de válvulas	11,9
Rolamentos e apoios	7,0
Conjunto dos pistões	6,6
Fugas de óleo e sistema de lubrificação	5,2
Turbocompressores	4,4
Engrenagens e acionamentos	3,9
Componentes do regulador de velocidade	3,9
Fugas de combustível	3,5
Fugas de ar	3,2
Ruturas e fraturas, além das mencionadas	2,5
Diversos	2,5
Apoios do motor	0,9
Cambota	0,2
	100,0

Tabela 2-4 - Tabela de falhas segundo (Jones e Li, 2000).

<b>Componentes</b>	<b>Falhas</b>	<b>Sinais medidos</b>
Equipamento de injeção de combustível	<i>Timing</i> incorreto	
	Pressão incorreta	
	Fugas	
	Injetor desgastado ou entupido	
Pistão, cilindro e segmentos	Falha na ignição	Velocidade de rotação
	Blow-by <sup>9</sup>	
	Bater	Pressão cilindro, óleo e combustível
	Arranhão	
Sistema de lubrificação	Segmentos defeituosos	Temperatura dos pistões
	Perda de potência	Óleo
	Pressão de óleo incorreta	
	Temperatura elevada do lubrificante	
Sistema de lubrificação	Contaminação do óleo	Líquido de refrigeração
	Degradação do óleo	
Sistema de admissão e escape		<i>Timing</i>
		Análise de partículas
	Obstrução do filtro de ar	Viscosidade do lubrificante
	Fuga	
Sistema de admissão e escape	Emissões elevadas	Acidez do lubrificante
		Fumo
Permutador de calor		Vibração
	Temperatura do líquido de refrigeração elevada	Medição da temperatura do líquido de refrigeração
Sistema mecânico	Desgaste de rolamentos	Análise de partículas metálicas no lubrificante

Apresentam-se também alguns dados sobre a incidência de incêndios e as suas causas, pois é uma das avarias cujos danos são na maioria das vezes bastante avultados. Na Tabela

2-5 mostram-se os dados relativos ao tipo de veículos em que ocorreram os incêndios, de onde se destacam os veículos de passageiros, com 83%.

A tabela anterior complementa-se com os dois outros gráficos seguintes em que se expõe as horas e os meses com mais incidência, Figura 2-48 e Figura 2-49.

Tabela 2-5 - Incidência de incêndios e suas causas.

Tipo de veículo	Percentagem de incêndios em veículos rodoviários	
Veículo rodoviário de passageiros	83.3	
Veículo de passageiros		65.8
Veículos de passageiros ou rodoviários, outro		16.9
Autocarros		0.6
Veículos de transporte	8.9	
Veículo de transporte rodoviário de carga		8.8
Veículo de transporte ferroviário		0.1
Transporte de água		<0.1
Veículo de transporte aéreo		<0.1
Outros veículos	0.8	
Propriedade móvel, outro		0.4
Veículos industriais, de construção e agrícolas		0.3
Veículos para fins especiais		0.1
Sem entrada / indeterminado	7.0	
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	

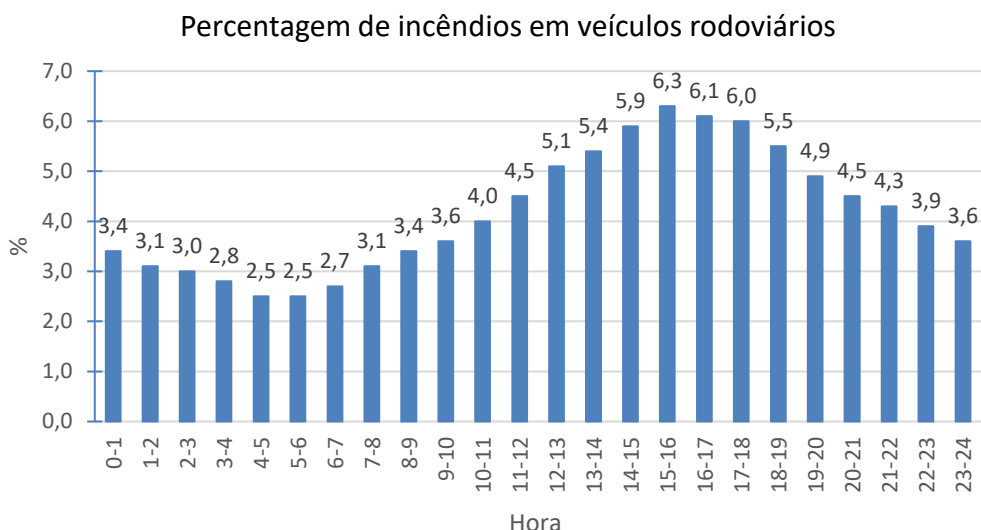


Figura 2-48 - Hora do dia e incêndios.

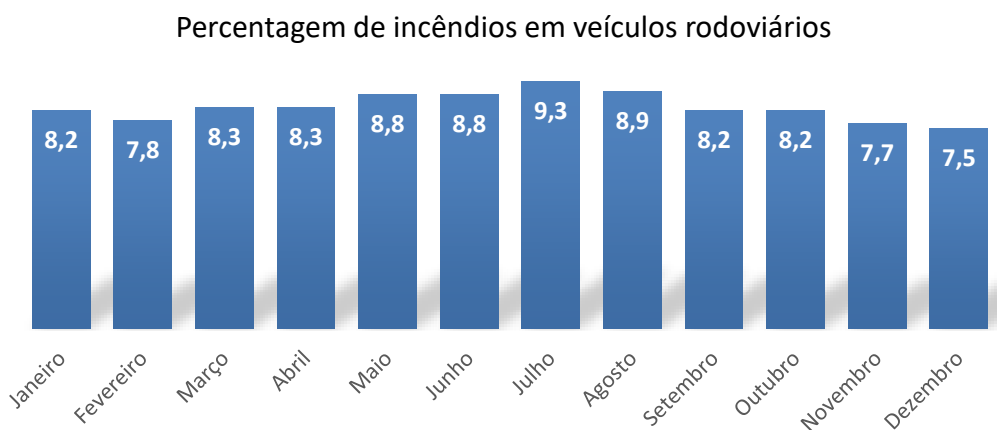


Figura 2-49 - Mês do ano e incêndios.

As causas dos incêndios, Figura 2-50, são diversas podendo constatar que os não intencionais têm uma incidência de 38% dos incêndios em veículos e poderão ser resultado de comportamentos indevidos ou até de ações acidentais. Cerca de 23% dos incêndios têm causa indeterminada, 21% por falha de equipamento ou por intermedio de uma fonte de calor e 10,2% dada a complexidade dos mesmos, ainda estão a ser investigados. É importante mencionar que 2,8% dos incêndios em automóveis é causada por incêndios no meio onde o automóvel se encontra. Na Figura 2-51 podemos observar estes dados.

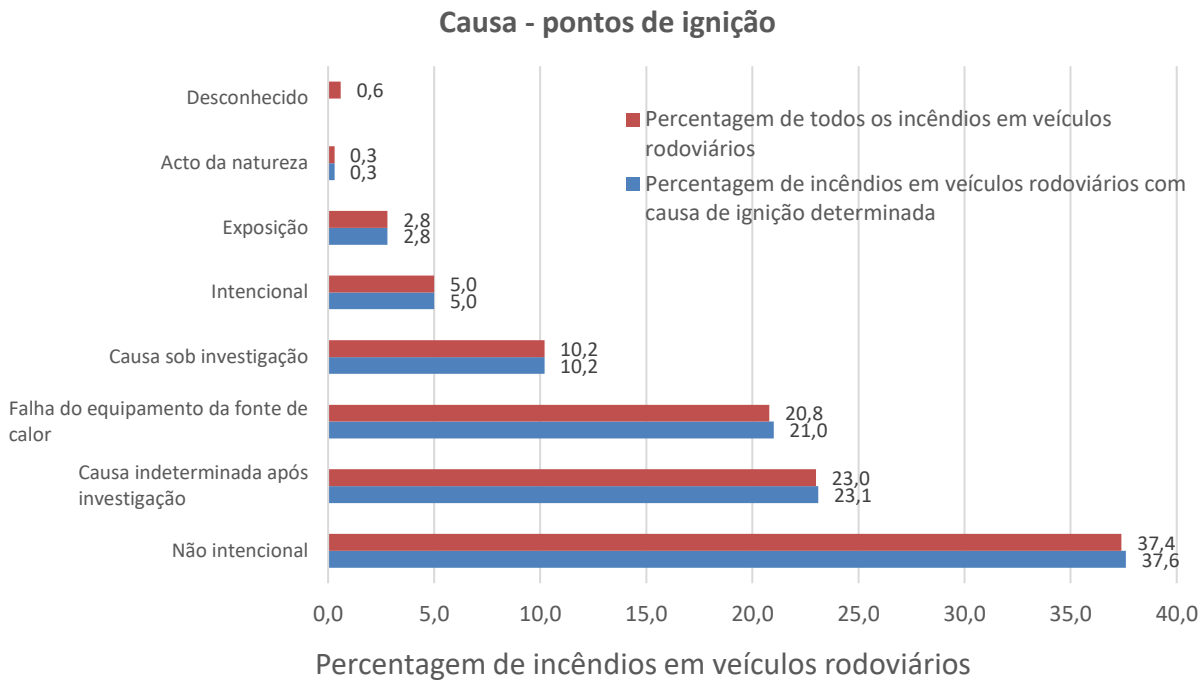


Figura 2-50 - Causas dos incêndios.

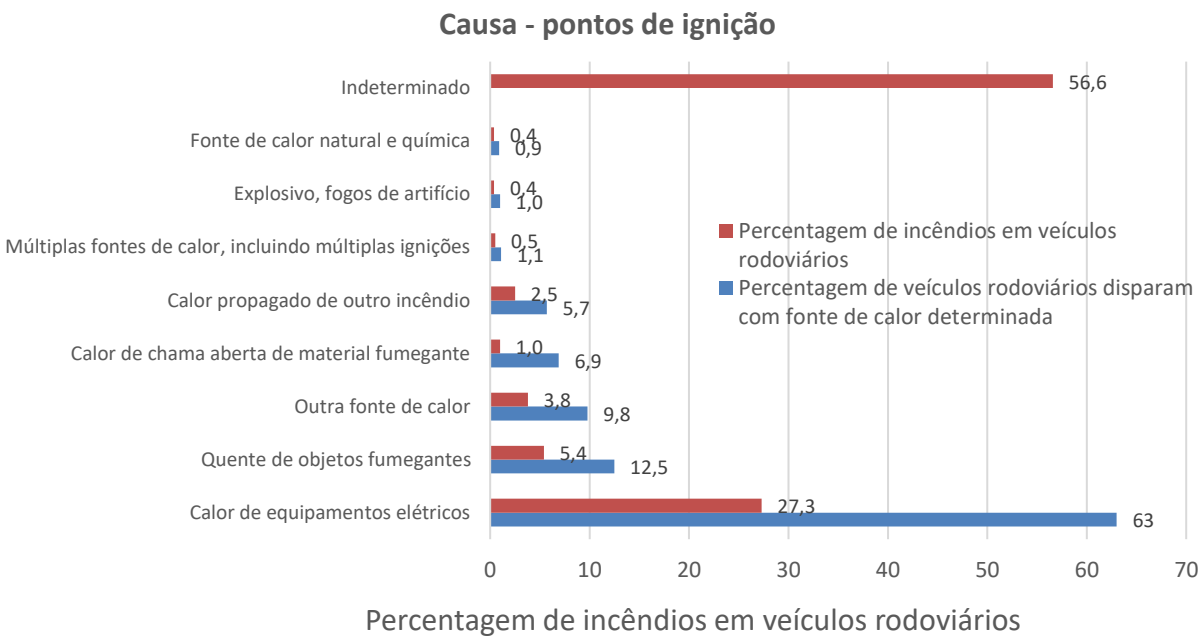


Figura 2-51 - Origem dos incêndios.

Verifica-se que a maioria (56,6%) dos incêndios não tem causa conhecida e dos que se conhecem as causas, em 63% dos casos a causa provém de energia térmica radiante de componentes do motor (*Heat from powered equipment*). É sempre necessário perceber num incêndio a sua génese ou por onde começou. A Figura 2-52 mostra que 46% dos incêndios

começam pelo grupo de materiais gerais, tais como os pneus, o isolamento em torno de fios elétricos e cabos, tecido, etc.

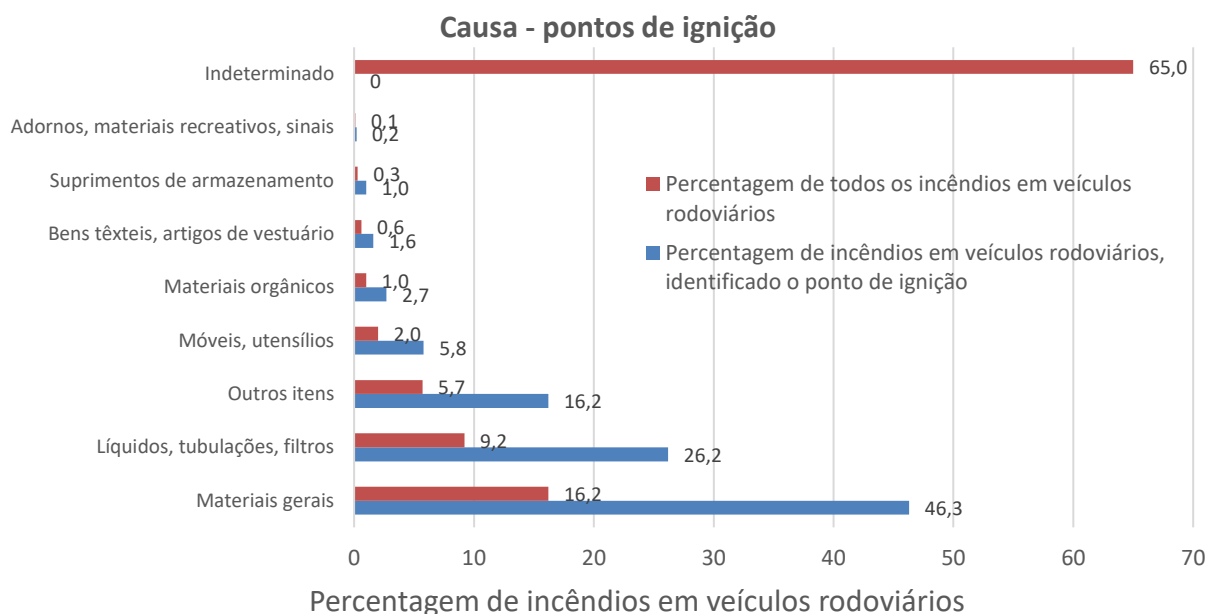


Figura 2-52 – Primeiros componentes que ardem.

No segundo grande grupo por onde começa o incêndio estão os líquidos, tubos e os filtros, com cerca de 26%, categoria que inclui os combustíveis presentes no automóvel.

Na Figura 2-53 observa-se que a falha mecânica ou mau funcionamento é o principal fator que contribuiu para os incêndios de veículos (44,8%). As falhas mecânicas incluem fugas ou ruturas num componente do veículo, falhas da transmissão automática ou manual, ou a utilização de um tipo de combustível impróprio. Uma falha elétrica ou avaria (*Electrical failure, malfunction*), como um curto-circuito, é um fator que contribuiu para 21% dos incêndios em veículos.



### Percentagem de incêndios em veículos rodoviários - Causas

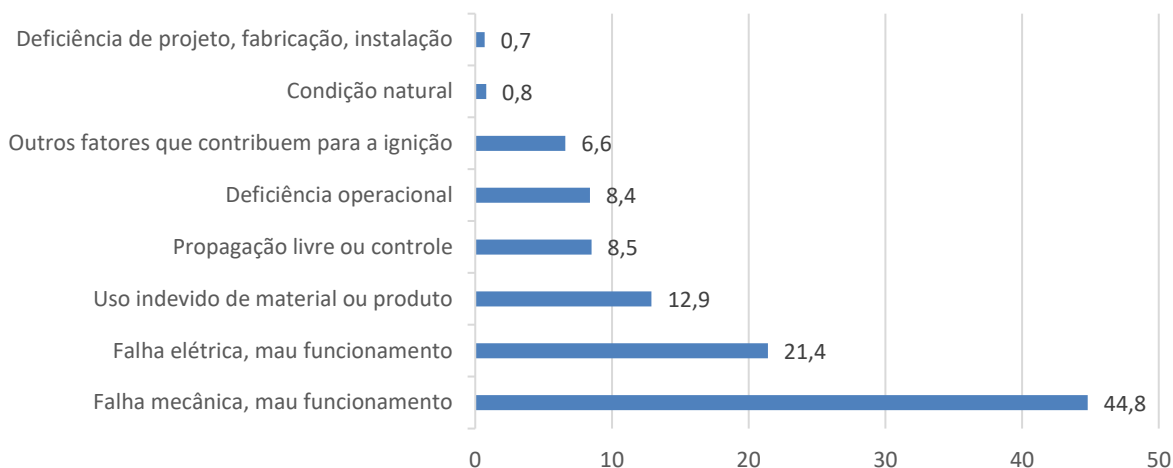


Figura 2-53 - Fatores para ignição de incêndios.

Como conclusão relativa à incidência dos incêndios em automóveis e para que se tenha uma noção quantitativa, em 2017 nos EUA existiram 173 000 (280 óbitos) o que apesar de dramático mostra uma diminuição significativa relativamente ao paradigma do setor de há 20 anos, com 395 000 incêndios e 550 óbitos. Mesmo ocorrendo com regularidade, em 65% das ocorrências, a causa dos incêndios não é apurada, já que na maior parte das vezes os carros ficam de tal forma danificados que não há forma de perceber o que causou o incêndio sendo consumidas as causas do mesmo pelo fogo. Em muitos casos as conclusões levam às causas mais comuns para os incêndios e que assentam nas fugas de fluidos, falhas elétricas/eletrônicas, sobreaquecimento do motor, substituição de peças por outras de baixa qualidade, cargas excessivas/perigosas, fumar na condução e atear fogo propositadamente.

### **3. ANÁLISE DE DANOS EM MOTORES E EM AUTOMÓVEIS**

Neste capítulo far-se-á uma abordagem aos vários casos estudados, no âmbito de processos judiciais, assim como com base em consultadoria técnica de Concessionários e/ou oficinas de mecânica Multimarca. Os dados obtidos, as evidências ou factos, o seu tratamento e as conclusões em cada caso, permitem pegar nas consequências e danos para se obterem as suas causas, que são normalmente o objeto de cada perícia ou análise judicial. Sobre estas incidem normalmente as questões (quesitos judiciais) e as dúvidas das partes em litigância, sendo o parecer do Perito ou do Colégio de Peritos a ferramenta técnica imprescindível a uma isenta sentença jurídica.

#### **3.1 Danos em motores de automóveis.**

De entre os vários danos possíveis, apresentam-se aqueles que foram alvo de estudo e que foram tratados, não em função da sua importância ou profundidade, mas somente em função da sua ordem chegada, na maioria dos casos, dos tribunais e de investigações de garantia para marcas automóveis. Porém, tentar-se-á fazer uma divisão o mais lógica possível, de modo a englobar os vários assuntos.

##### **3.1.1 Gripagem de pistões e camisas.**

A Gripagem pode ocorrer por problemas no sistema de lubrificação, mas também pode ocorrer por deficiência do sistema de arrefecimento, o que leva a danos e as evidências diferentes, conforme vimos no cap.2.

As peças mais sensíveis e esforçadas do motor são os pistões, pois são normalmente fabricados em alumínio e assim dilatam mais fortemente que os cilindros. Quando a folga entre um pistão e o cilindro se reduz ou desaparece, a película de óleo é reduzida ou eliminada, o atrito aumenta levando a que peças “agarrem” ou gripem.

A falha mais frequente do sistema de arrefecimento é a falta de fluido devido a fugas. No entanto existem outras falhas, como por exemplo, o termostato ficar “encravado” na posição de fechado, o radiador ficar sujo ou tapado no seu exterior, ou também quando a correia da bomba de água se parte ou simplesmente se estraga. Pode também surgir uma

situação em que o ventilador do radiador não funcione. O subsequente sobreaquecimento do motor leva a que se acenda uma luz no quadrante do painel dos instrumentos, mas que em diversos casos esta acende tarde demais e nesse caso o motor pode já ter problemas de gripagem.

#### 3.1.1.1. BMW 525 TDS

Os problemas apresentados neste BMW 525 TDS ocorreram devido a um problema no sistema de arrefecimento o que implicou danos na culassa pelo sobreaquecimento deformando-a (“empenou”). Esta situação levou a que junta da culassa, que é o componente entre a culassa e o bloco do motor, deixasse de efetuar a vedação para o qual é concebida, e assim os gases da combustão escapavam por essa junta diluindo-se no óleo e no fluido de arrefecimento gerando pressão neste fluido e no cárter do óleo de motor.

Este é um dos casos em que é vulgar dizer-se que o motor tem a “junta de culassa queimada”, referindo-se à situação em que há ligação entre 2 (ou 3) dos circuitos de arrefecimento, circuito de lubrificação ou sistema pistão-cilindro. Por vezes os gases da combustão geram pressão no circuito de arrefecimento e noutros casos o circuito de arrefecimento e o de lubrificação permutam os seus fluidos (água e óleo), o que pode resultar também em problemas de lubrificação do motor. Neste modelo 525TDS da BMW existe uma válvula termostática na culassa ou cabeça do motor com um sensor de temperatura NTC (*Negative Temperature Coefficient*), conforme mostra a Figura 3-1.



Figura 3-1 - Sensor de temperatura NTC na culassa do motor

Esta válvula envia um valor de temperatura para o quadrante ou painel de instrumentos no habitáculo (Figura 3-2) e para a gestão do motor. Esta informação é imprescindível para o bom funcionamento do motor e, neste caso, não chegou ao controlador do motor por ter a sua cablagem elétrica deficiente (cortada) e levou à gripagem do motor. Assim o sobreaquecimento deste veículo de 1997 com 350 000 km levou à gripagem dos pistões e camisas dos cilindros do motor.



Figura 3-2 - Indicador da temperatura do motor

Em condições normais a informação enviada pela válvula termostática para o quadrante do veículo permite ao condutor saber a temperatura do motor. Normalmente esta temperatura anda por volta dos 90°C, ou seja, o ponteiro da Figura 3-2, deve estar sensivelmente a meio das setas verde e vermelha. Quando por qualquer razão há uma subida da temperatura do motor este ponteiro “desloca-se” para valores próximos da zona marcada na Figura 3-2 com a seta a vermelho. Continuando a subir e atingindo a posição assinalada a vermelho, é enviada uma informação ao controlador eletrónico do motor (ECU) que acende a luz vermelha indicadora de problemas e faz com que o motor entre em “modo de segurança”, funcionando com muito menos potência. Ora esta perda de potência serve também como um segundo alerta para o condutor do veículo (além do alerta visual do ponteiro da temperatura a subir), revelando que algo de errado está a acontecer. Após isto, em poucos minutos, o sobreaquecimento do motor é rápido e leva a uma inevitável gripagem, com as consequências verificadas nesta viatura, com os pistões a agarrarem às camisas do motor, bloqueando o seu movimento, Figura 3-3.



Figura 3-3 - Bloco do motor com os pistões gripados e marca de água nos cilindros

### 3.1.1.2. Smart

Um Smart com um motor a gasolina, Figura 3-4 apresentava um consumo de óleo do motor significativo devido a uma utilização intensiva pelo facto de o condutor fazer 90% dos percursos a fundo. Esta utilização intensa levou o motor à sua gripagem. Este modelo utilizado “a fundo” pode ser problemático pelas particularidades do motor que veremos a seguir.



Figura 3-4 – Smart.

A grande parte dos automóveis não são passíveis de uma utilização a fundo porque isso implica na generalidade dos casos o desrespeito dos limites de velocidade. Mas com um veículo como um Smart é possível andar sempre a fundo comparativamente à generalidade dos motores de automóveis de série, pois tem uma potência baixa. Este motor de apenas 698 cc tem uma elevada potência específica (em função da cilindrada) de 65 kW/L, mas a potência máxima é reduzida, um pouco mais de 60 cv, o que lhe permite essa utilização intensa (a fundo) e que levou, neste caso, aos danos que se descrevem. Esta é uma fragilidade deste modelo, pois permite com facilidade a utilização no limite (“sempre a fundo”) sem se ultrapassarem os limites e as regras de trânsito e causar danos não pelos materiais serem

frágeis, mas por ser muito intensa a sua utilização. Isto, associado a um elevado consumo de óleo e ao facto de o motor estar colocado numa posição traseira, sem grande arrefecimento direto, levou à gripagem do motor. O elevado consumo de óleo pode-se explicar por ele ser utilizado em condições de muita carga (vulgo “acelerador a fundo”), o que aquece o óleo e lhe aumenta a fluidez, reduzindo a sua capacidade de lubrificação e que faz com que passem pelos segmentos e guias das válvulas e desgastando os pistões/camisas. Este óleo consumido é queimado juntamente com a gasolina na câmara de combustão, saindo como fumo pelo escape, normalmente de cor azulada.

A gripagem finalmente ocorreu por falta de óleo, devido ao uso muito intenso do motor por períodos longos. Como atrás foi referido, neste caso (havendo pouco óleo no motor) o óleo aquece em demasia e não consegue manter a lubrificação das superfícies e a elevada carga térmica gerou uma forte dilatação dos pistões cuja película de óleo lubrificante foi incapaz de separar das paredes dos cilindros, levando ao contato metal-metal entre pistão e camisa e assim à gripagem. Esta é uma gripagem pouco típica dos pistões nas camisas pois, como se disse anteriormente, a gripagem é normalmente associada a problemas de arrefecimento como no caso anterior.

### **3.1.2 Gripagem dos bronzes**

A gripagem é sempre o resultado visível de uma avaria que danifica o motor, mas normalmente tem por detrás uma ou várias causas, e assim ela própria é uma consequência daquela que se designa por causa mãe da avaria ou a causa primeira.

A gripagem foi perfeitamente definida no capítulo anterior, sendo resultante do contacto entre duas superfícies metálicas em movimento relativo, que leva a que se atinja o ponto de fusão dos materiais em contato e resulta em soldaduras, travando o movimento entre os componentes. O sistema de lubrificação garante a estas superfícies em movimento relativo uma película de óleo que evita esse contacto. A gripagem normalmente acontece por falta ou deficiência de lubrificação, mas pode ter outras causas, tais como sobreaquecimentos, montagem negligente, peças deficientes ou ainda inadequadas.

Nenhum fabricante de automóveis tem a recomendação da substituição dos bronzes em ações de manutenção preventiva, mas é do conhecimento técnico que alguns motores e modelos começam a ter problemas por volta dos 100 a 120 000 km. Neste caso encontram-

se alguns modelos que têm uma concepção dos bronzes sem o chanfro para os fixar na ranhura da biela, tal como alguns motores DCI da Renault e Fiat. Neste caso os bronzes podem rodar e sair do alojamento, causando danos avultados no motor, com a destruição de cambota e bielas.

### 3.1.2.1. Mercedes SLK com danos por *hydrolock*, Gripagem

O Mercedes SLK da Figura 3-5 foi relatado como tendo passado por uma poça de água em auto estrada e o motor terá deixado de funcionar. Isto poderia indicar que água teria entrado para a conduta da admissão do motor e desta para o motor, resultando em *hydrolock*.

O *hydrolock* é uma situação em que o motor pára e parte porque existe um líquido (incompressível) dentro do cilindro (Figura 3-6). Nesta figura pode-se ver a cambota do motor que tenta rodar, mas o pistão não consegue subir mais, pois existe líquido em cima dele. Assim a biela torce e eventualmente parte assim como o pistão.



Figura 3-5 - Mercedes SLK

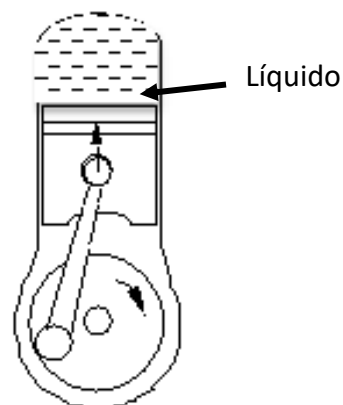


Figura 3-6 – *Hydrolock*. (Martins, 2020)

Porém, este caso não tinha qualquer uma destas evidências apresentadas e comuns neste fenómeno. A desmontagem do motor mostrou realmente uma biela e um pistão partidos, mas a razão não terá sido o “hydrolock”. Na Figura 3-7 nota-se que a biela e o moente da cambota do cilindro #2 estão com cor azul, indicando que foram sujeitas a temperaturas elevadíssimas (300°C), mostrando que houve gripagem, resultando na quebra da biela e do pistão.

Daí que como conclusão a causa mais provável da avaria foi a gripagem e o “hydrolock” por água na admissão foi apenas uma manobra de diversão.



Figura 3-7 - Biela e o moente da cambota do cilindro #2

### 3.1.2.2. BMW 520d

O motor de um BMW 520d, de 2011, a gasóleo com motor N47, Figura 3-8, gripou os bronzes de biela (Figura 3-9), e a cambota aos 120 000 km.

Da investigação feita apurou-se que existiu um atraso na substituição do óleo que ultrapassou em mais de 25% o intervalo recomendado pelo Construtor. Esta e outras situações



em que os intervalos são ultrapassados em mais 25% ou em mais de 5000 km acima do recomendado (neste caso acima dos 20 000 km) podem ser considerados excessivos e são passíveis de gerar avarias como a gripagem do motor.

Uma análise ao óleo deste motor mostrou uma forte (acima dos 30%) diluição do óleo com gasóleo, sendo este habitualmente um motivo para a sua deterioração prematura, pelo abaixamento crítico da sua viscosidade. Esta situação é típica em algumas falhas com motores com filtro de partículas com regenerações falhadas e que se verá também à frente. A elevada diluição do óleo com gasóleo leva à diminuição da sua viscosidade a valores que limitam a lubrificação, impedindo o desenvolvimento do regime hidrodinâmico necessário, culminando na gripagem dos bronzes das bielas e dos apoios da cambota.



Figura 3-8 – BMW 520d



Figura 3-9 - Bronzes da biela

### 3.1.2.3. Iveco Daily

O motor de uma Iveco Daily (Figura 3-10) 35C18 3.0 TD de 2010, de 3,0L de cilindrada de 4 cilindros, Diesel, com sistema de injeção *common-rail*, turbo-compressor, gripou os bronzes e a cambota.



Figura 3-10 - Iveco Daily

A desmontagem do motor avariado, Figura 3-11, revelou que não existiam sinais de gripagem na parte de cima do motor (culassa e válvulas), o que demonstra a eficiente lubrificação na culassa, assim como o arrefecimento das camisas, aonde não havia nenhum sinal de gripagem de contato com os pistões.



Figura 3-11 - Desmontagem do motor.

Já na parte baixa do motor após desmontagem do cárter do óleo de forma a ver os bronzes de biela e os moentes da cambota, evidenciaram-se várias gripagens, quer dos bronzes de apoio, quer da própria cambota, Figura 3-12.



Figura 3-12 - Cambota (esquerda), apoios (centro) e biela com coloração (direita)

Verificou-se a bomba de óleo, mas esta estava em perfeito estado, Figura 3-13. Esta é uma verificação que se deve fazer sempre, pois a sua falha propicia a falha de todo o sistema de lubrificação. Neste caso tínhamos a evidência que a lubrificação funcionou bem na parte de cima do motor, o que é um bom indício de que a bomba estaria funcional.

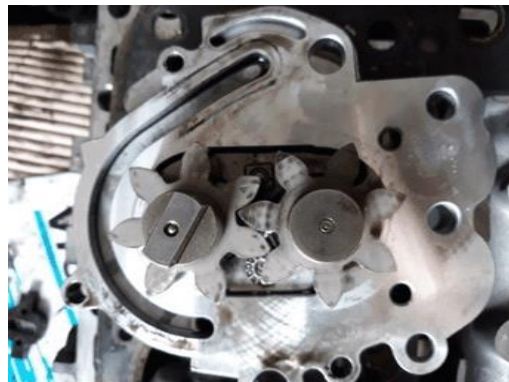


Figura 3-13 – Bomba de óleo sem danos

Uma outra evidência importante era o facto de os moentes de apoio da cambota estarem em bom estado e os moentes das bielas estarem gripados. Isto mostra claramente o início de um processo generalizado de gripagem por falha de lubrificação, pois conforme se vê no esquema da Figura 3-14, o óleo flui sob pressão para os apoios da cambota e destes por furos interiores para os moentes da mesma, onde estão os bronzes das bielas. Ou seja, os bronzes das bielas deverão ser o primeiro local a falhar, pois encontram-se no final do circuito de lubrificação.

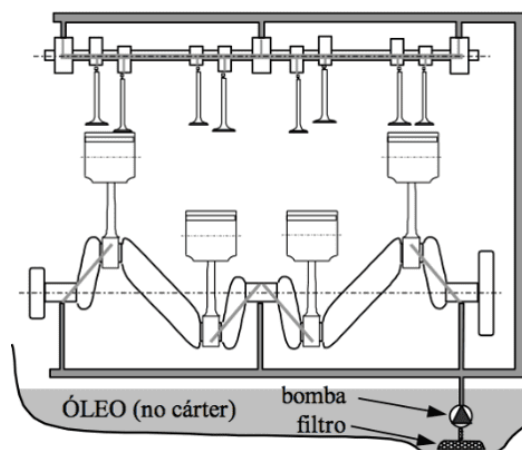


Figura 3-14 - Esquema da lubrificação dos moentes e apoios da cambota.(Martins,2016)

Por sua vez o turbo-compressor apresentava também gripagem do veio na zona da turbina dos gases de escape, Figura 3-15, o que mostra também um deficiente ou ausência de lubrificação num componente onde a lubrificação e o óleo da mesma servem para lubrificar o veio do turbo, mas também promover o seu arrefecimento.



Figura 3-15 - Danos na turbina, parte de cima da imagem.

O cárter do óleo tinha, Figura 3-16, junto ao boião de descarga, uma soldadura que indicava uma anterior perda de óleo que terá levado a que parcial ou totalmente o óleo tenha sido perdido e o motor tenha trabalhado com nível baixo e levado assim aos problemas de falha da lubrificação.

As evidências observadas levaram à conclusão de que o abaixamento parcial do nível do óleo foi claramente a causa da gripagem dos bronzes, cambota, bielas e turbo-compressor.

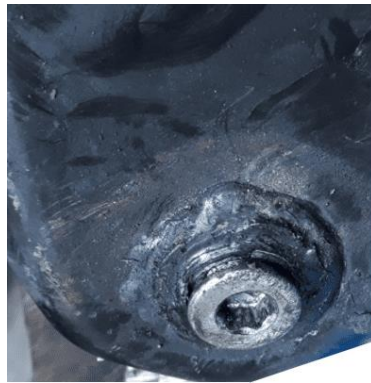


Figura 3-16 - Cárter do óleo com sinais de soldadura.

#### 3.1.2.4. Motores DCI Renault 1ª década de 2000

Os motores Renault, nomeadamente o 1.6 (mas também o 1.9) Diesel são conhecidos por serem bastante "frágeis", nomeadamente ao nível das capas dos moentes das bielas e também dos apoios da cambota, sendo recomendado mudar estes componentes a cada 100 000 km. Este procedimento de mudança das capas ou bronzes de biela é relativamente comum nestes motores, sendo uma intervenção relativamente rápida (2 ou 3 horas) e também relativamente barata ( $\pm 100$  €), sendo geralmente efetuada aquando de uma mudança de óleo. É tão frequente esta avaria que estas capas ou bronzes podem ser consideradas "peças de desgaste", a par dos pneus, das pastilhas de travões, dos discos de travões e da embraiagem. De notar que a sua substituição é geralmente mais frequente que a dos discos de travões e que a da embraiagem.

Um exemplo disto é o caso de um Renault Mégane 1.5 CDI que ao circular em autoestrada subitamente a luz de avaria do motor acendeu no quadrante do veículo. Mas, entretanto, o motor já tinha gripado por falta de óleo, havendo mesmo sinais exteriores de o óleo ter sido derramado no piso da estrada. Verificou-se que o filtro do óleo tinha rebentado, sendo essa a causa de o óleo ter "desaparecido" do cárter de forma súbita (rápida), causando a gripagem, e não pela fragilidade acima descrita.

Para avaliação de possíveis origens de avaria, testou-se a válvula limitadora de pressão, Figura 3-17, (que controla a pressão, em caso de aumento exagerado) e verificou-se que ela estava com problemas, pois o seu pistão por vezes encravava juntamente com a mola. Esta foi a origem do aumento de pressão que rebentou o filtro.



Figura 3-17 - Imagens de duas válvulas limitadoras de pressão de bombas de óleo.

Assim, a conclusão foi que o problema do motor do Renault Mégane se deveu a problemas na válvula limitadora de pressão, Figura 3-17, existente na bomba de óleo, que se estragou e encravou na posição de fechada. Sem esta limitação de pressão o óleo aumentou drasticamente a sua pressão fez romper o filtro de óleo, o elemento que aguenta menos pressão no circuito de lubrificação. O óleo saiu rapidamente e parte dele terá molhado o tubo de escape e terá produzido fumo que é algo perigoso e que algumas vezes leva a danos maiores, como incêndios. Outra parte do óleo terá saído sob pressão, tendo mesmo chegado ao interior do capot. Eventualmente a luz de aviso de falta de pressão de óleo terá acendido, mas nesta altura o motor já teria rodado sem pressão de óleo durante algum tempo e terá gripado. Este é um exemplo de que a “fama” da fragilidade dos bronzes nestes motores não deve condicionar uma análise técnica que deve nortear-se por evidências e não por estatísticas.

Uma curiosidade é que, nestes Renault, aquando da substituição dos bronzes originais, a marca possui um kit que diferencia o bronze superior, Figura 3-18 à direita, do inferior, na mesma figura à esquerda. O bronze de cima é feito dum material mais resistente, pois, além da inexistência do “chanfro” (ver à frente), são geralmente os bronzes superior que se podem deformar durante a utilização. No final verifica-se que os bronzes substituídos geralmente não geram problemas.

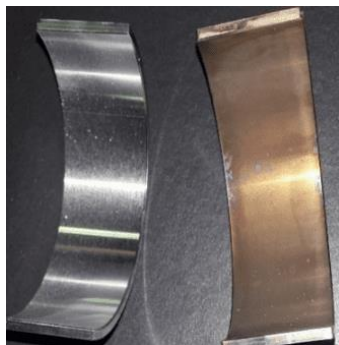


Figura 3-18 - Bronze inferior à esquerda) e superior à direita)

Um outro aspeto relevante é que estes motores (mas também outros) têm uma conceção dos bronzes que permite que estes possam sair do alojamento e rodar. Uma parte dos fabricantes utiliza bronzes com chanfros (*protusion*) que encaixam nas ranhuras das bielas (*cutout*), Figura 3-19, e que assim permite uma fixação mais eficiente e evita que eles rodem.



Figura 3-19 - Fotografia das ranhuras nas bielas.

A conceção dos bronzes sem o chanfro para fixar na ranhura da biela faz com que eles possam sair do seu alojamento e causem uma destruição noutros componentes como por vezes acontece.

#### 3.1.2.5. BMW M6.

Um M6 da BMW do ano de 2000 com 260 000 km (Figura 3-20), apresentava um barulho do motor que indicava claramente uma gripagem dos bronzes.



Figura 3-20 - BMW M6

A audição e sensibilidade do técnico ainda é uma boa ferramenta de diagnóstico, desde que aquele tenha o conhecimento empírico e experiência que possam ajudar nesse diagnóstico. Mas algumas vezes existem barulhos e ruídos que são semelhantes e têm causas

diferentes. Por exemplo, um barulho de bronzes gastos confunde-se muitas das vezes com problemas na injeção. Neste caso a medida tomada foi desmontar o cárter do óleo e verificar o estado dos bronzes efetuando-se simultaneamente uma análise ao óleo do motor. A desmontagem do cárter, (Figura 3-21), evidenciou estranhos pedaços de silicone presentes no óleo que obstruíram a aspiração da bomba e assim limitaram a lubrificação dos bronzes de biela, assim como a de outros componentes.

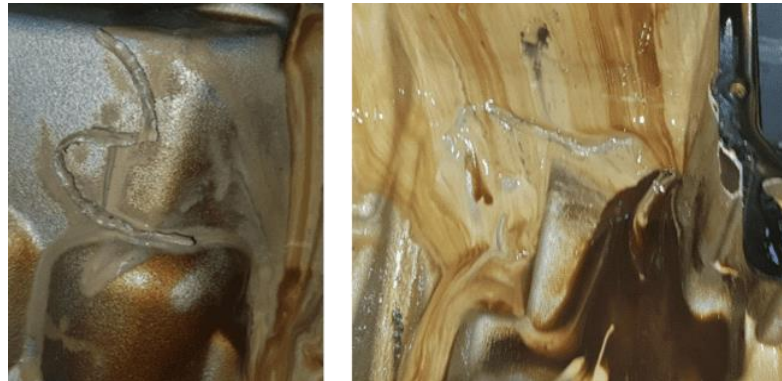


Figura 3-21 - Carter com pedaços de silicone.

Desmontou-se ainda a bomba de óleo e esta apresentava sinais claros de cavitação por obstrução da aspiração - Figura 3-22. Era evidente que os bocados de silicone obstruíram o filtro de aspiração da bomba, colmatando-o e obstruindo a lubrificação (Figura 3-23).

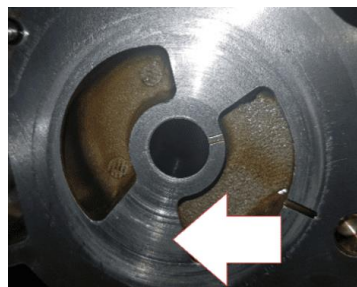


Figura 3-22 - Sinais de cavitação na bomba de óleo.



Figura 3-23 - Filtro de aspiração da bomba colmatado.



Os bronzes desmontados evidenciaram um padrão generalizado de gripagem (Figura 3-24). O elevado desgaste dos bronzes de biela e a contaminação do filtro do óleo do motor, Figura 3-25, evidenciados foram corroborados com análise efetuada ao óleo que mostrou uma presença de um elevado teor de cobre e chumbo, bem acima do máximo admissível.

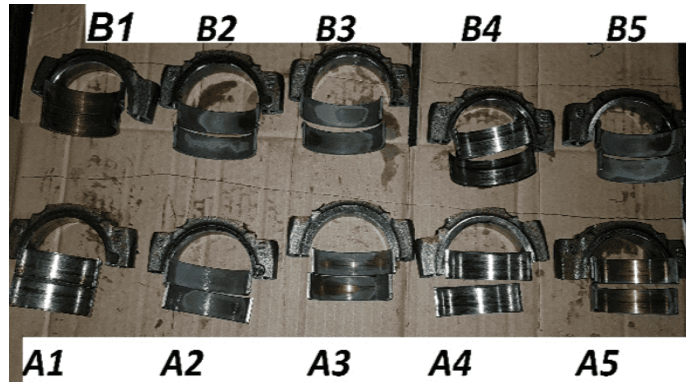


Figura 3-24 - Bronzes gripados.



Figura 3-25 - Filtro de óleo contaminado

Esta análise também demonstrou uma viscosidade do óleo bem mais baixa do que a recomendada (10W60) o que também poderia indicar que as especificações do óleo eram diferentes. A viscosidade a 40° C e a 100° C eram mais baixas (cerca de metade) do que é recomendado pelo Construtor e este fator pode ter ajudado a um desgaste ainda maior dos bronzes, e que tal tenha funcionado cumulativamente com o lixo (bocados de silicone) a obstruir a aspiração da bomba e os subsequentes problemas de lubrificação.

### 3.1.3 Gripagem por *fretting*.

A gripagem dos bronzes de biela acontece normalmente na superfície interior dos bronzes. Mas existe um mecanismo de desgaste que leva a que a gripagem seja na superfície exterior dos bronzes (nas costas) e designa-se por mecanismo ou fenómeno de *fretting* (Figura 3-26). Este é um fenómeno, como vimos no capítulo 2, de desgaste progressivo entre superfícies que estão em contato sob o efeito de elevadas cargas cíclicas e de baixa amplitude de deslocamento (microdeslocações, da ordem de 5 a 50  $\mu\text{m}$ ). O *fretting* pode ser do tipo desgaste progressivo (*fretting wear*) ou do tipo nucleação e propagação de fenda por fadiga (*fretting fatigue*).

Vimos este fenómeno no capítulo anterior em detalhe e vamos estudar dois evidenciados em motores Renault e FIAT.

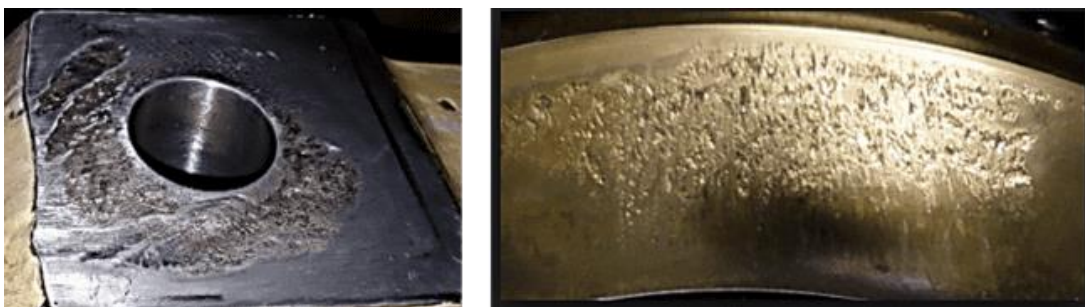


Figura 3-26 - Superfícies com zonas onde está presente o fenómeno de *fretting*.

#### 3.1.3.1. Motores DCI Renault

Um Renault Mégane do ano de 2010, Figura 3-27, apresentava uma gripagem dos bronzes do 2º cilindro do motor, Figura 3-28, e bielas. Os bronzes estavam com danos evidentes na sua superfície interior, Figura 3-28-esquerda por abrasão e contato metal/metal, e *fretting* nas costas ou superfícies exteriores, na mesma figura à direita.



Figura 3-27 - Renault Mégane.

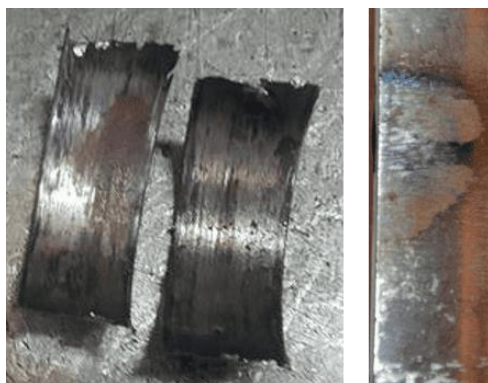


Figura 3-28 - Bronzes gastos à esquerda), e gripados por *fretting* à direita).

A biela da Figura 3-29 apresentava sinais de desgaste quer no chapéu quer na cabeça, evidenciando que os bronzes rodaram no seu alojamento. Havia ainda sinais de *fretting* concretamente no chapéu, facto que como se viu no capítulo 2 leva a uma alteração perigosa da geometria da chumaceira hidrodinâmica, com redução da espessura de óleo lubrificante, o que atingindo valores críticos permite o contato metal-metal. Foi o que terá ocorrido.



Figura 3-29 - Biela com sinais de os bronzes terem rodado e saído do seu alojamento.

A cambota, Figura 3-30, tinha uma profunda gripagem no moente de biela do cilindro #2 superior a 0,5 mm de profundidade, levando à sua inutilização e impossibilidade de ser reutilizada numa eventual reparação.

Eram ainda evidentes sinais de o pistão do cilindro #2 ter batido na culassa do motor, Figura 3-31. Isto acontece quando o desgaste dos bronzes é elevado e os pistões podem movimentar-se em excesso. O *fretting* nos chapéus das bielas foi a causa para os danos

verificados que foram amplificados pelo facto anterior mencionado de os bronzes não terem chanfro.



Figura 3-30 - Cambota com danos.

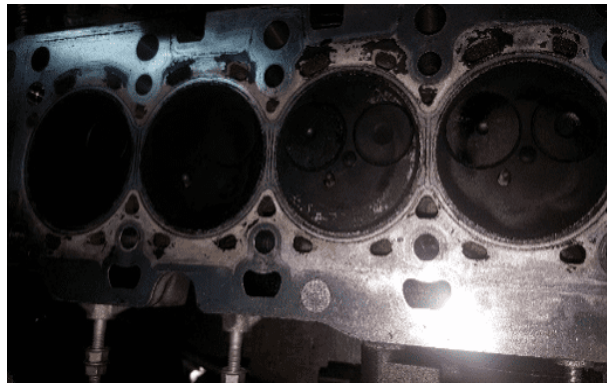


Figura 3-31 - Culassa com sinais de o pistão ter batido.

#### 3.1.3.2. Fiat Brava

O motor FIAT de um modelo BRAVO 1.6MJET16V, com 135 000 km apresentava desgaste elevado e gripagem dos bronzes de biela, particularmente na biela do cilindro #1. O desgaste elevado levou a que o pistão deste cilindro batesse na cabeça do motor, com marcas bem evidentes (Figura 3-32), num exemplo semelhante ao anterior.

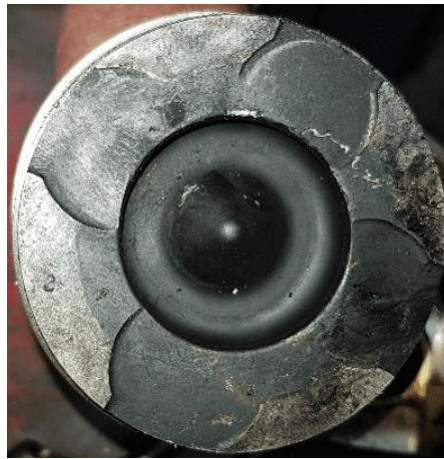


Figura 3-32 - Pistão com marcas impressas de ter batido na cabeça do motor.

As bielas, Figura 3-33, apresentavam uma gripagem demonstrativa de aquecimento, apresentando-se de cor azulada escura. Todas as bielas apresentavam um padrão de desgaste por *fretting* na superfície de contato entre estas e os bronzes de biela (as costas dos bronzes, superfície exterior do bronze), Figura 3-34.

A cambota, Figura 3-35, apresenta sinais de gripagem no moente da biela do cilindro #1 fruto de agarramento do bronze.



Figura 3-33 - Biela e pistão.



Figura 3-34 - Desgaste das bielas por *fretting*.



Figura 3-35 - Cambota.

O *fretting* dos bronzes e bielas, Figura 3-36, alterou a geometria da chumaceira hidrodinâmica levando ao contato metal-metal, com desgaste subsequente e alteração do PMS (ponto morto superior) com a batida do pistão na cabeça do motor, amplificando todos os esforços sobre os bronzes e provocando a gripagem profunda existente.



Figura 3-36 - Bronzes de biela com *fretting* nas costas e desgaste na superfície interior.

### 3.1.4 Fenômeno de *runaway* – Volkswagen Golf IV

O tema do “*runaway*” foi apresentado no capítulo 2 e tem maioritariamente epicentro ou gênese em problemas no turbocompressor por fuga e passagem de óleo para a conduta de admissão. Esse óleo é queimado e o motor começa a acelerar mesmo quando se desliga a ignição produzindo muito fumo, levando a uma de 2 situações, ou gripagem por ter consumido todo o óleo ou parte pela elevadíssima aceleração devido à ingestão de óleo. Apresenta-se um caso em que a dimensão dos danos foi menos elevada do que o habitual.

Este Golf IV, Figura 3-37, quando se deslocou a uma oficina especialista em turbos com o sintoma de que de quando em vez se acelerava teve a ocorrência do *runaway* aquando do ensaio pelo mecânico da oficina.



Figura 3-37 - Volkswagen Golf IV.

O sintoma era de aceleração intermitente de quando em vez e desaparecia com a mesma facilidade com que aparecia. O mecânico fez o tradicional teste de fugas ao turbo compressor, retirando-lhe a conduta de admissão e colocando um papel branco para poder perceber se passava algum óleo para a admissão do turbo (zona do compressor). O ensaio mostrou pouca passagem de óleo o que de alguma forma tranquilizou o mecânico que ao fazer um teste em aceleração deparou-se com a autocombustão e *runaway*. Felizmente os danos foram pequenos atendendo a que poderiam ter levado à destruição integral do motor, e apenas houve gripagens dos bronzes, apoios e cambota. O mecânico pela sua experiência conseguiu “parar” o motor com recurso a tapar a entrada de ar da admissão e assim terminar a combustão do óleo. Às vezes também se consegue em caixas de velocidades manuais, engrenando uma velocidade alta (5ª ou 6ª) e travando a fundo para ver se o motor “abafa” e para. É sempre muito difícil e neste caso a perícia do mecânico levou a danos menores.

A análise mais pormenorizada mostrou uma acumulação excessiva de óleo no *intercooler*, Figura 3-38, que foi com o passar do tempo por fuga no turbo passando para a conduta de admissão e depositando-se no *intercooler*.



Figura 3-38 - Acumulação excessiva de óleo no *intercooler*.

Percebe-se a intermitência dos sintomas pois cada vez que algum óleo era arrastado para a câmara de combustão o motor acelerava-se sem qualquer ação do condutor. Isto foi ocorrendo até ao momento em que o nível de óleo depositado no *intercooler* se tornou crítico, Figura 3-39, e mais óleo foi arrastada para a combustão culminando nos danos atrás mencionados.

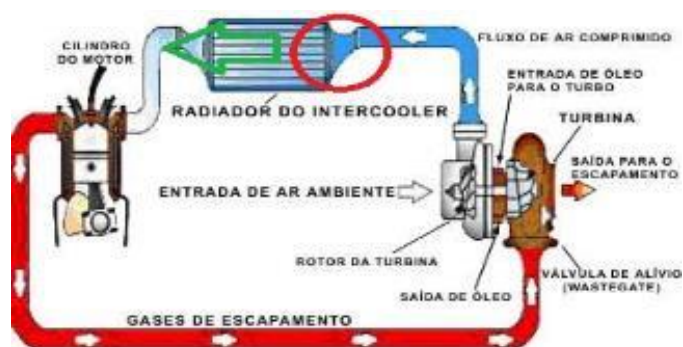


Figura 3-39 - O óleo depositou-se na zona da circunferência a vermelho e aumentando de volume foi sendo escoado até à câmara de combustão (seta a verde).

([https://www.google.com/search?q=turbocompressor&rlz=1C1GCEA\\_enPT871PT871&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewjC-7DLi8rzAhWs4IUkHT7zBHYQ\\_AUoAXoECAEQcg&biw=1920&bih=969&dpr=1#imgrc=FVIG5whIVGN0sM](https://www.google.com/search?q=turbocompressor&rlz=1C1GCEA_enPT871PT871&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewjC-7DLi8rzAhWs4IUkHT7zBHYQ_AUoAXoECAEQcg&biw=1920&bih=969&dpr=1#imgrc=FVIG5whIVGN0sM))



### 3.1.5 Distribuição partida

De modo a perceber-se a razão deste dano, começa-se por fazer uma pequena introdução ao funcionamento e constituição da distribuição num motor de combustão interna. Tradicionalmente os motores tinham uma corrente, Figura 3-40-esq, (metálica, com elos, que funcionava sobre pinhões e/ou rodas dentadas de aço) de distribuição, mas o ruído e os vários problemas ocorridos com os tensores e com a substituição da corrente e diferentes outros componentes, aparentemente levou a alguns modelos mudassem para o uso de correia de distribuição, Figura 3-40-dta, de borracha, funcionando sobre polias de alumínio ou plástico. Hoje em dia a solução de corrente é quase transversal a todas as marcas embora ainda a correia seja a solução mais utilizada.

Quando uma corrente (ou uma correia) de distribuição se danifica, deixa de haver sincronismo entre o movimento da cambota (eixo inferior do motor) e o da(s) árvore(s) de cames, ligado à cambota por essa corrente ou correia. Ora isto provoca o batimento dos pistões nas válvulas (Figura 3-41-esq.) que as empenam e/ou ainda danificam parcial ou totalmente a culassa (ou cabeça) e o restante motor.

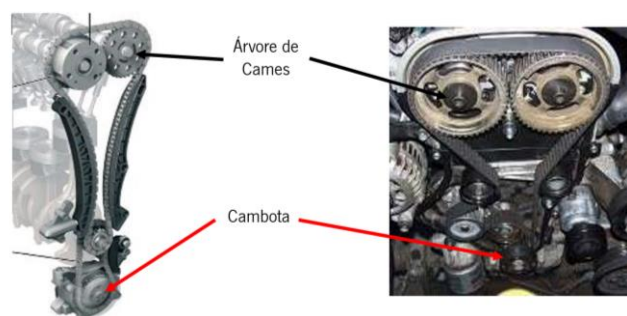


Figura 3-40 – Sistema de distribuição por corrente (à esquerda) e por correia (à direita).



Figura 3-41 - Pistão a bater numa válvula por haver desfasamento entre cambota e árvores de cames e estado em que pode ficar um motor com este problema.

#### **3.1.5.1. BMW M6, dessincronização das válvulas devido a touche estragada.**

Um BMW modelo M6 Coupé com um motor V10 a gasolina de 5.0 L e mais de 500 cv de potência, (Figura 3-42) apresentava uma série de danos cuja alegação consistia em que fratura do cárter teria levado à gripagem por o óleo se ter derramado.

Nesta configuração de motor cada moente da cambota aciona 2 bielas, designando-se cada uma por biela A ou B, de acordo com o lado do motor em que se encontra instalada. O cárter apresentava efetivamente danos e estava partido em dois locais. Na desmontagem verificaram-se várias gripagens das capas ou bronzes das bielas e danos no pistão do cilindro #2, assim como outras variadíssimas evidências que se evidencia nas fotos das figuras seguintes (Figura 3-43 a Figura 3-49).



Figura 3-42 - Motor V10 a gasolina de BMW M6.



Figura 3-43 - Bielas e capas ou bronzes gripados.



Figura 3-44 - Padrão de desgaste, cor acastanhada, demonstrativo de ter sido atingida a última camada de cobre e chumbo que protege a capa de aço.

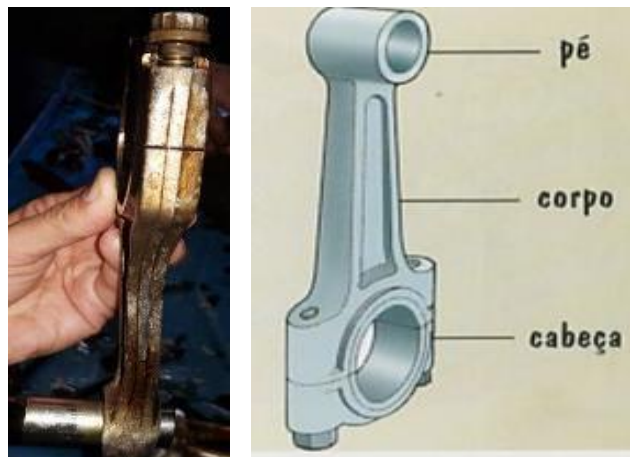


Figura 3-45 - Biela do 2º cilindro com empeno e com o “cavilhão” no seu pé (esquerda), e representação esquemática de uma biela (direita).



Figura 3-46 - Bomba de óleo em bom estado.



Figura 3-47 - Tubos de óleo situados no cárter amassados e com diversos danos resultantes de impactos.



Figura 3-48 - Filtro de sucção ou aspiração deformado.

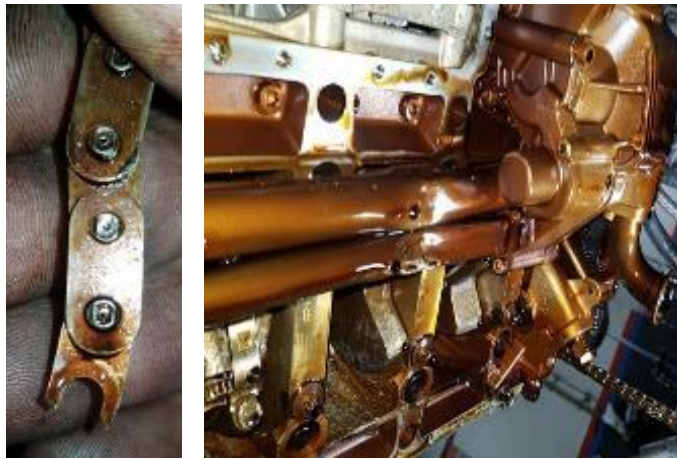


Figura 3-49 - Corrente da bomba do óleo partida.

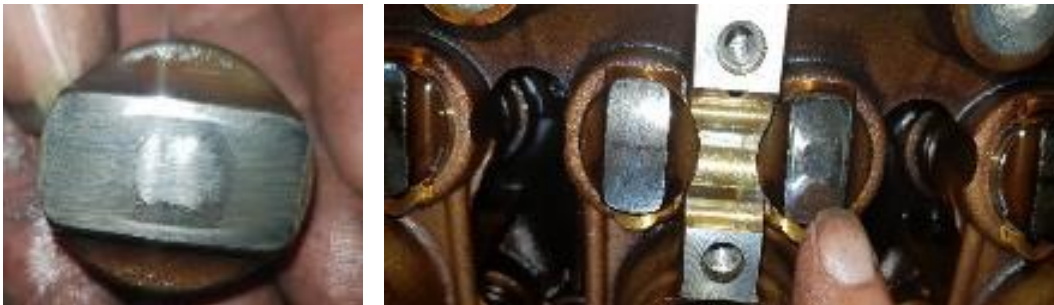


Figura 3-50 - Touche das válvulas do 2º cilindro com marcas profundas de desgaste.

As válvulas do 2º cilindro revelavam elevados danos, quer na superfície da culassa do motor, quer na superfície inferior das válvulas e até nas sedes destas. Na Figura 3-51 são perfeitamente visíveis os danos por indentação devidos aos impactos do pistão e dos seus fragmentos sendo ainda possível verificar o afundamento de uma válvula de escape (lado inferior esquerdo) para dentro da conduta de escape.

- Válvulas do 2º cilindro, Figura 3-51, empenadas e com múltiplos danos.



Figura 3-51 - Danos nas Válvulas do 2º cilindro que se encontram empenadas.

A análise à culassa do lado A do motor revelava danos severos no cilindro#2. Tal como se pode ver na Figura 3-52 o interior do cilindro revelava um padrão de danos compatível com o funcionamento do motor na presença dos fragmentos do pistão, isto é, o pistão foi fraturado e desintegrou-se durante o funcionamento do motor.

- Culassa do motor, Figura 3-52, com marcas profundas do pistão ter batido na zona correspondente à parte superior do cilindro, quer diretamente, quer comprimindo os fragmentos do pistão que se foram libertando.



Figura 3-52 - Cabeça do motor com marcas de ter sido batida.

O cárter do óleo tem como principais funções proteger a parte inferior do motor e recolher o óleo de lubrificação para este poder ser novamente aspirado pela bomba de óleo. Neste caso o cárter apresentava dois rombos, que se mostram na Figura 3-53, cuja origem deve estar nos impactos resultantes de fragmentos do pistão, dos que foram projetados na sua direção e de outros que após se libertarem sofreram impactos com as peças do motor que se encontravam em movimento, cabota e parte inferior das bielas.



Figura 3-53 - Cárter partido apresentando dois rombos.

Esta situação poderia à partida ter uma série de causas no epicentro dos danos. Vejam-se as várias possibilidades, por um lado o desgaste dos bronzes excessivo, poderia fazer com que o pistão do 2º cilindro batesse nas válvulas e assim partisse, empenando simultaneamente a biela e causando os danos relatados. Por outro lado, uma outra hipótese seria o rombo existente no cárter ter feito com que o óleo se perdesse e houvesse a gripagem dos bronzes, e assim sucessivamente pistão, biela e restantes danos, com uma dinâmica de dano perfeitamente aceitável.

Mas a causa da avaria era outra. Se o óleo tivesse saído pelo cárter e assim a gripagem se ter iniciado por aí, teríamos necessariamente danos quer na bomba, quer nas capas de apoio da cambota, quer ainda um padrão generalizado de gripagem nos bronzes de biela por o óleo se ter perdido e não chegar aos pontos de lubrificação. Ora isto não aconteceu, a bomba inclusive ainda tinha óleo, os bronzes ou capas de apoio estava em estado normal de desgaste, sem gripagens, e havia alguns bronzes de biela, concretamente os do 2º cilindro gripados, não existindo um padrão de gripagens nos outros. Portanto não foi falta de óleo.

Apurou-se que a dinâmica de ocorrência cronológica do dano passou pela existência de problemas numa válvula do 2º cilindro, as marcas na touche evidenciavam isso mesmo, e que se manteve ainda durante algum tempo. A válvula não recuperava, ou por empeno, ou por deficiência da mola de fecho e provocou um embate desta com a cabeça do pistão. Este embate com uma peça em movimento obrigou a válvula a fechar provocando um desgaste na superfície de contacto da touche com a came. Estas pancadas que se repetem a elevada frequência durante o funcionamento do motor foram destruindo o pistão, criando um esforço adicional nos bronzes desse cilindro. Tudo isto amplifica e agrava os danos, no pistão, nos bronzes, na touche e na árvore de cames. Os danos provocados pelos impactos repetidos com

as válvulas soltaram fragmentos do pistão que ficaram dentro da câmara de combustão. Tratando-se de uma câmara com dimensões reduzidas com o pistão no ponto morto superior a presença desses fragmentos seguramente criou elevadas cargas sobre o pistão que sofreu uma rotura catastrófica em funcionamento. Dado que no cárter a cambota e as bielas se encontravam em movimento é provável que parte desses fragmentos tenham embatido na cambota e nas bielas e tenham sido projetados em diferentes direções. É provável ainda que alguns desses fragmentos tenham sido projetos para a frente e agarrados entre a corrente e o pinhão o que terá provocado a rotura daquela.

Assim sendo a rotura do cárter terá sido uma consequência e não a causa principal da avaria do motor, que teve na dessincronização da válvula do 2º cilindro o início dos danos no pistão.

#### 3.1.5.2. BMW série 5

O motor BMW série 5, com 210 000 km substituiu a distribuição numa ação rotineira de manutenção, que neste caso é constituída por corrente e não correia, assim como os tensores, Figura 3-54.



Figura 3-54 - BMW Série 5.

Após esta ação de manutenção ordinária a distribuição ( Figura 3-55) partiu, não na corrente, mas sim nos tensores (espaçadores), Figura 3-55-dta, e simultaneamente deu-se a gripagem dos bronzes de biela e cambota.



Figura 3-55 - Kit completo de distribuição do BMW série 5, à direita os tensores (espaçadores).



A gripagem ocorreu por falta de lubrificação derivada da colmatação do filtro de aspiração da bomba de óleo devido aos destroços e pedaços do material do tensor (Figura 3-56 - Tensores da correia., a vermelho) que se destruíram por serem de má qualidade, largando vários bocados que caíram para o cárter do óleo, Figura 3-57.

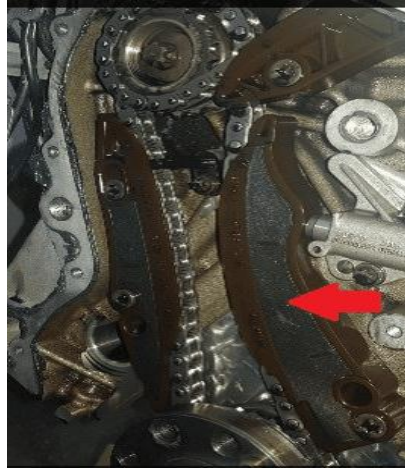


Figura 3-56 - Tensores da correia.



Figura 3-57 - Bocados do tensor depositados no cárter (à esquerda) e tensor estragado (à direita).

Estes pedaços depositaram-se no cárter do óleo, tendo sido posteriormente aspirados pela bomba de óleo, obstruindo o filtro, Figura 3-58, que ficou colmatado impedindo a passagem do óleo, e que culminou com a gripagem dos bronzes e da cambota.



Figura 3-58 - Filtro de aspiração da bomba de óleo.

### 3.1.5.3. Fiat 500

O Fiat 500, com motor 1.3 L, Figura 3-59, teve um problema semelhante, em que a destruição da distribuição levou também à gripagem da biela e da cambota, e respectivas capas ou bronzes, Figura 3-60.



Figura 3-59 - Fiat 500.



Figura 3-60 - Bronze de biela gripado à esquerda) e moente da cambota (à direita) gripado.

Os motivos ou as causas primeiras é que foram bem diferentes, como se verá. O tensor destruiu-se por excesso de utilização sem substituição (demasiados quilómetros) (Figura 3-61). O processo foi semelhante ao anterior, os bocados do tensor caíram para o cárter, tendo sido aspirados pela bomba de óleo e ficaram retidos e colmataram o filtro de aspiração (Figura 3-62).



Figura 3-61 - Corrente de distribuição e tensor.



Figura 3-62 - Resíduos do tensor que se partiu e colmataram o filtro de aspiração.

Ocorreu uma irreparável gripagem da cambota, com uma profundidade de desgaste superior a 0,5 mm (limite máximo para a reparação). A causa mãe, ou primeira, assentou na deterioração da distribuição. Neste caso não houve material defeituoso, mas sim excesso de uso, com intervalos de manutenção obrigatórios (substituição da distribuição) ultrapassados. Esta evidência foi obtida através de uma leitura na ficha OBD e nas memórias do controlador do motor. O Construtor recomenda a substituição da distribuição aos 180 000 km, mas existem experiências de que a partir dos 120 000 km já existe ruído metálico e algumas evidências de danos. Neste caso em concreto, embora o quadrante registasse perto de 76 000 km, a viatura efetivamente tinha já percorridos pelo menos 190 000 km. Isto foi possível verificar pois o controlador do motor registou a substituição dos injetores e a sua codificação com essa quilometragem. Assim, foi possível perceber que esta alteração de quilómetros induziu a manutenção em erro, mostrando um número de quilómetros bastante inferior à realidade, ultrapassando o prazo previsto pelo Construtor para a mudança do kit de distribuição.

#### 3.1.5.4. Mitsubishi Canter Fuso

Uma Mitsubishi Canter apresentava a cambota do motor bloqueada quando se tentava rodar manualmente o motor para um dos lados, mas rodava com dificuldade para o outro lado. Isto indiciava que o problema deveria ter a ver com as válvulas estarem a bater nos pistões, pelo que seria necessário retirar a culassa para verificação. Isto também poderia

acontecer por gripagem do motor, embora nestes casos o bloqueio devesse ser para ambos os lados. Com a desmontagem verificou-se que o problema estava no cilindro #1, pois os came das duas árvores de came relativos a este cilindro estavam "batidos" (Figura 3-63) e dois dos balanceiros ("martelos") estavam partidos.

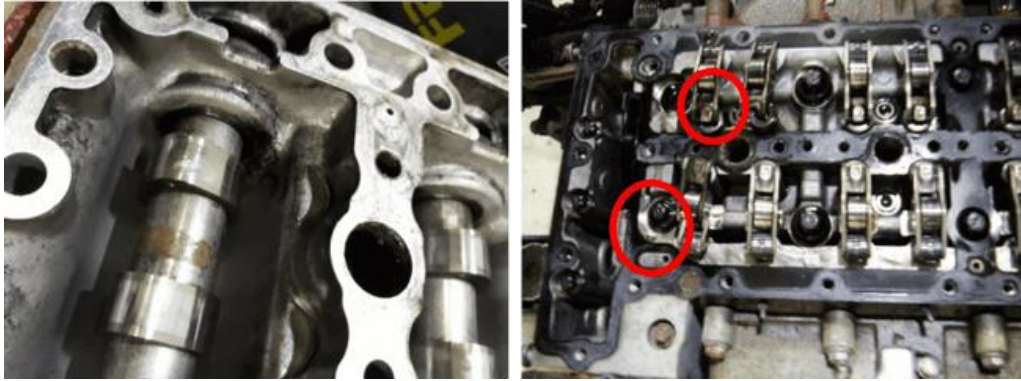


Figura 3-63 - Came do cilindro #1 batido (à esquerda). Balanceiros do cilindro #1 partidos (à direita).

Desmontou-se a culassa e foi possível verificar a extensão do problema. As 4 válvulas do cilindro #1 estavam partidas (Figura 3-64), tais como as suas sedes. Os bocados partidos das válvulas embateram no pistão e na culassa destruindo estes dois componentes. Na Figura 3-64 pode-se ver a culassa com a câmara do cilindro #1 (esquerda) sem as cabeças das válvulas e com as sedes das válvulas partidas.

Na Figura 3-65 pode-se ver o pistão dentro do cilindro #1 (esquerda) com a cabeça do pistão "desfeita" e com as 4 cabeças das válvulas que partiram. Nos restantes cilindros podem-se ver pequenos fragmentos de alumínio sobre os pistões.

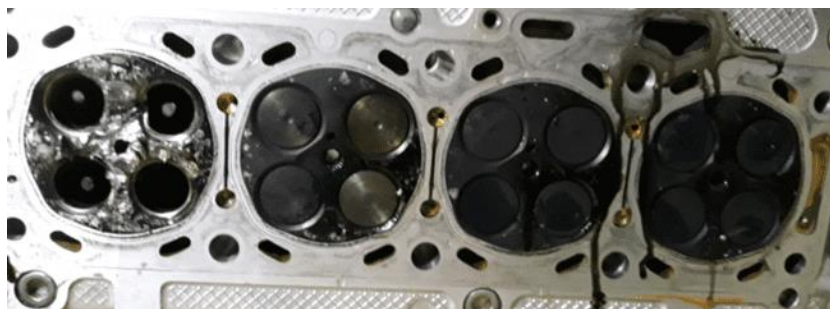


Figura 3-64 - Culassa com danos no cilindro #1.

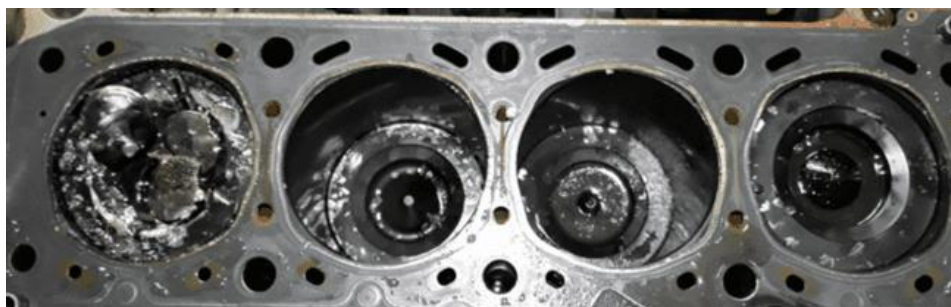


Figura 3-65 - Pistão do cilindro#1 com danos.

O problema neste motor residia no cilindro #1, no qual as válvulas por alguma razão, partiram e destruíram a culassa e o pistão desse cilindro. Havia também pedaços de metal (alumínio arrancado da cabeça ou do pistão do cilindro #1) nos restantes cilindros, pois terão aí chegado através da conduta de admissão que é comum aos 4 cilindros. Era evidente que não havia problemas de lubrificação nem de arrefecimento, pois não se notavam sinais de gripagem ou de sobreaquecimento nas peças verificadas. De modo a analisar a causa deste incidente no motor, as 4 hastes das válvulas do cilindro #1 foram analisadas numa lupa (microscópio) da Universidade do Minho, de modo a verificar a existência de fratura simples (resultante de uma só pancada que a partiu) ou de fratura com propagação por fadiga (o material começou a desenvolver uma fissura que mais tarde aumentou e resultou na sua rutura). Esta análise mostrou que uma das válvulas (Figura 3-66) teve uma propagação da fratura por fadiga. Estes contornos foram realçados na imagem da mesma figura à direita).

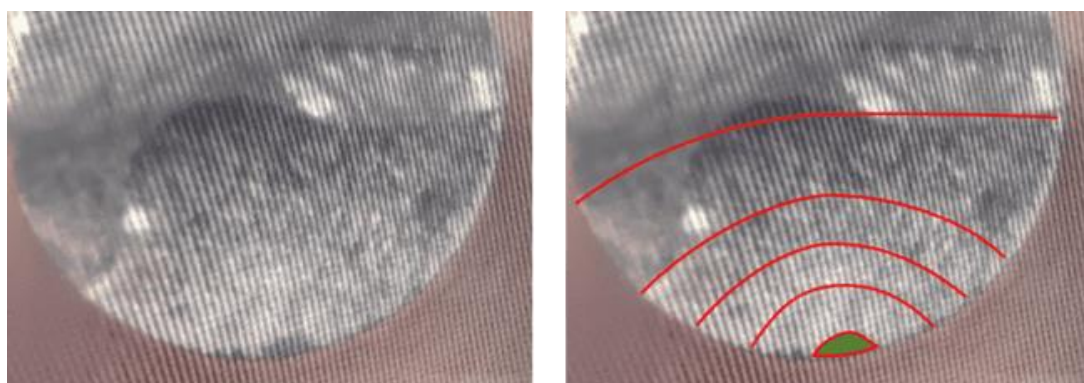


Figura 3-66 - Aspeto da fratura de uma válvula por fadiga (à esquerda).

Este tipo de contorno não se conseguiu observar nas restantes 3 válvulas (as 3 da direita da Figura 3-67), que apresentam uma fratura relativamente simples. Assim se pode concluir que uma das válvulas teve um processo relativamente lento de propagação de uma fenda de fadiga enquanto as restantes 3 quebraram rapidamente, por resultado de um só golpe.



Figura 3-67 - Aspeto da fratura das 4 válvulas.

Dado que anteriormente o motor tinha tido problemas relacionados com a quebra de um balanceiro, e que essa quebra indica que houve contacto entre o pistão e essa válvula, é provável que durante esta ocorrência a válvula tenha ficado localmente fragilizada (no ponto central da evolução da fadiga na Figura 3-67). Como esta válvula não foi substituída e com o decorrer do tempo e do funcionamento do motor, essa fragilidade tenha resultado no desenvolvimento de uma fenda (por fadiga), resultando na rutura total da válvula. Logo que isso aconteceu, a cabeça da válvula ficou solta e com o movimento alternativo do pistão foi batendo violentamente nas restantes 3 válvulas, tendo-as também rapidamente partido.

#### 3.1.5.5. Volkswagen Golf V

Um Golf V de 2005, com 139 000 km após uma de manutenção em oficina que passou pela substituição do *kit* de distribuição, Figura 3-68-Esq., (corrente e tensores) empenou as válvulas (Figura 3-68-Dir.) após ter-se posto o motor a trabalhar na fase de teste e ensaio pós reparação.



Figura 3-68 - kit de distribuição (à esquerda) e válvulas empenadas à direita).

Esta operação de manutenção implica a utilização de uma ferramenta própria, Figura 3-69, para fixar a árvore de cames e a cambota e assim não haver qualquer descomando entre elas durante o funcionamento do motor.

A distribuição tem um pinhão com um chanfro (seta a branco na Figura 3-70), que deve encaixar na ranhura da cambota, numa posição bem definida (Figura 3-71).

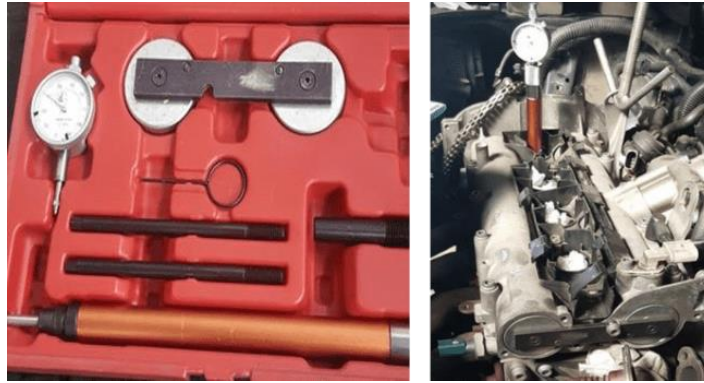


Figura 3-69 - Ferramenta para fixar a árvore de cames e a cambota.



Figura 3-70 - Pinhão da distribuição.



Figura 3-71 - Ranhura da cambota e marcas do aperto fora da ranhura.

Neste caso fez-se uma montagem incorreta sem a ferramenta apropriada, colocando o pinhão e apertando-o fora da sua posição, cerca de 90 ° antes da posição definida na ranhura na cambota, Figura 3-71. O aperto fora do local deixou marcas bem visíveis na cambota (Figura 3-71) e fez com que o funcionamento do motor levasse a que o pinhão fosse escorregando à volta do veio, levando assim ao descomando (ou dessincronização) do motor.

A Figura 3-72 mostra a maneira correta com que o pinhão 1 deve encaixar na ranhura da cambota, local 3. O facto de não se ter respeitada a montagem correta expressa na Figura 3-72 fez com que a árvore de cames ficasse dessincronizada da cambota, levando a que os pistões embatessem nas válvulas, Figura 3-73, com os danos subsequentes empenando umas e partindo outras. O dente do pinhão não encaixou solidariamente e de forma franca na

ranhura da cambota, tendo sido apertado fora desse lugar contra o veio da cambota. Com o trabalhar do motor aquele foi escorregando levando à dessincronização do motor.

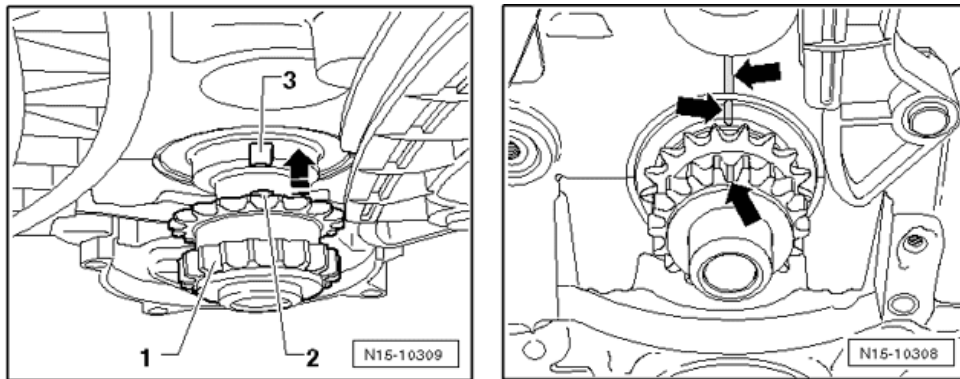


Figura 3-72 - Posição de montagem do pinhão com a cambota.



Figura 3-73 - Pistão a bater nas válvulas empenando-as.

#### 3.1.5.6. Hyundai Matrix

O Hyundai Matrix CRDI de 2007, estava parcialmente desmontado aquando da investigação, estando o motor sem a culassa com sinais que estava já há algum tempo imobilizado, com sinais de oxidação em dois dos três cilindros, oxidados (enferrujados) pela exposição à atmosfera.



Figura 3-74 - Hyundai Matrix.



A culassa estava desmontada, embora ainda com as válvulas montadas. Os balanceiros estavam todos partidos ou fendidos mostrando ter havido impactos entre as válvulas e os pistões. No entanto, pelo menos no único pistão não oxidado, não eram visíveis marcas de impacto com as válvulas de admissão, embora tal tenha de ter existido, mas provavelmente com menor intensidade que com as válvulas de escape Figura 3-75.

A observação minuciosa da correia de distribuição não detetou nenhum defeito e os sulcos desta correia estavam também em perfeitas condições de funcionamento, Figura 3-76.



Figura 3-75 - Balanceiros partidos à esquerda) e marcas no pistão de ter batido nas válvulas (à direita).



Figura 3-76 - Correia e roletes da distribuição.

A árvore de cames encontrava-se com indentações nalguns pontos, mostrando também ter havido problemas de impacto entre válvulas e pistões. Houve claramente problemas com a distribuição com quase todas as válvulas a terem batido nos pistões. Eram possíveis 5 causas principais:

- A.** A correia de distribuição ter "passado" dentes deixando de haver sincronização entre a abertura das válvulas e a subida dos pistões.
- B.** Uma sobre rotação do motor levar a que as válvulas de escape não conseguissem fechar no tempo devido, sendo batidas pelo pistão.
- C.** Falta de lubrificação adequada ou outro qualquer motivo que fizesse com que uma válvula ficasse na posição de aberta e conseqüentemente o pistão bateria nela.

- D. Um corpo estranho ter-se colocado entre a árvore de cames, o balanceiro e a válvula.
- E. Uma montagem deficiente das "meias-luas" de uma válvula tivesse feito com que esta deixasse de estar ligada à mola, pelo que bateria no pistão.

As causas **C**, **D** e **E** levariam a que somente uma válvula batesse no pistão, mas neste caso várias válvulas bateram, pelo que se puderam excluir estas causas. A causa **B** obrigaria a que o motor fosse sujeito a sobre regime em desaceleração (em aceleração o motor tem sistema de corte que nunca permitiriam chegar a esse ponto) que poderia acontecer em dois casos:

- B1.** Ao descer uma estrada com elevada inclinação, usando uma velocidade de caixa baixa (por exemplo em 2ª) o veículo aceleraria assim como o motor a que estava ligado.
- B2.** Ao mudar de velocidade (por exemplo, de 3ª para 4ª) inadvertidamente o condutor meteria a 2ª e o motor entraria em sobre regime.

No caso **B1** o barulho da elevação de velocidade do motor é suficiente para que o condutor use os travões para reduzir a velocidade do veículo. No caso **B2**, um condutor atento notaria que, ao retirar a embraiagem o carro travaria e o barulho do motor aumentaria significativamente, que seria o suficiente para se carregar novamente na embraiagem (a desaceleração sentida no carro ajudaria a que tal fosse feito). Pelo que a falha mais provável parece ter sido a causada por **A**.

Ou seja, a análise ao motor em questão evidenciou problemas de distribuição que poderão ter origem num sobre regime em desaceleração do motor ou numa folga excessiva da correia de distribuição. Em termos de probabilidades de ocorrência pela experiência havida a grande maioria das vezes que um motor mostra estes sintomas a causa advém da correia de distribuição estar mal ajustada, deficiente ou excessivamente usada.

#### 3.1.5.7. Alfa Romeo 156 JTD

O Alfa Romeo 156, Figura 3-77, verificado tinha sido alvo de uma reparação pouco tempo antes da avaria constada, aos 68 000 km, tendo na data do estudo 9 anos de idade.



Figura 3-77 - Alfa Romeo 156 JTD.

Neste motor a correia de distribuição deve ser substituída aos 100 000 km ou cada 5 anos. Estes tipos de correias são bastante silenciosos, Figura 3-78, mas têm duração limitada pelo que é necessário substituírem-se. Como vimos, quando esta correia se estraga, perde-se o sincronismo entre a cambota e as árvores de cames o que implica que os pistões batam nas válvulas.



Figura 3-78 - Correia de distribuição.

Geralmente os motores têm um chamado "fusível", que é uma peça barata que parte, de modo que se minimize o custo de reparação do motor. No caso de falha da correia de distribuição o "fusível" são os martelos das válvulas que partem. Podem-se ver os 16 martelos deste motor na Figura 3-79, com parte deles partidos.

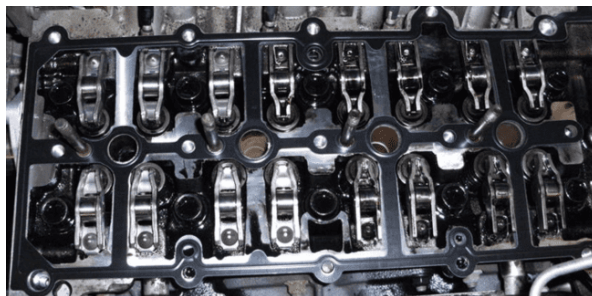


Figura 3-79 - Martelos das válvulas.

Assim, quando a correia de distribuição parte é necessário retirar a culassa do motor e substituir os martelos e as válvulas, além da junta de culassa e a correia.

Eventualmente terão de ser intervencionadas outras peças, tais como reparar as sedes das válvulas (pois o pistão bateu violentamente na válvula que por sua vez bateu na sua sede), trocar rolamentos notando-se que estão estragados ou a degradarem-se. É normal substituir-se a bomba de água sempre que se substitui a correia de distribuição por ser acionada pela mesma correia e a sua falha implica danos graves no motor.

O trabalho de avaliação de avaria visava encontrar a razão para uma distribuição se partir num veículo com tão poucos quilómetros. Já não se observaram as peças partidas na primeira avaria pois o veículo já tinha sido reparado e pretendia-se justificar as razões de tão prematuro dano. Dado que a rutura da distribuição implica reparações muito onerosas, é norma substituí-la muito antes de haver probabilidades de rutura. Os valores habituais de distância entre substituição da correia de distribuição variam entre 80 e os 160 mil km. No caso presente do motor JTD da Alfa Romeo, como se disse atrás, a distância especificada é de 100 000 km. Em termos de duração temporal, há ainda maiores variações entre os Construtores, pois alguns especificam 3 ou 4 ou 5 anos enquanto outros não impõem limites. No caso do motor JTD da Alfa Romeo o tempo especificado é de 5 anos.

A conclusão possível a retirar foi a correia de distribuição, fruto do tempo, ter-se deteriorado e não ter sido atempadamente substituída, no intervalo temporal dos 5 anos.

#### **3.1.5.8. Peugeot 5008**

Um modelo do Grupo PSA, um Peugeot 5008 com 52 mil km, Figura 3-80, teve uma paragem do motor de forma abrupta e repentina. Verificou-se uma dessincronização do motor que ocorreu por material de baixa qualidade. Apesar destas ocorrências levarem normalmente a danos avultados, neste caso e pela tecnologia (que se explicará mais à frente), não foram tão profundos quanto outros verificados, tais como no caso do Citroen C2 e do Golf V.



Figura 3-80 - Peugeot 5008.

O tensor gripou e criou um esforço sobre a correia do alternador muito elevado, Figura 3-81. Esta começou a desfiar e parte desses “fios” gerados entraram para a zona da distribuição do motor.

A gripagem do tensor da correia fez com que esta, não só desfiasse, como também saísse do seu posicionamento. Ao desfazer-se em bocados que se separaram, alguns entraram para o carreto da correia de distribuição, na zona da árvore de cames. Estes bocados da correia do alternador alojaram-se entre a correia de distribuição e o carreto desta, criando movimento relativo entre eles e um desfasamento entre a árvore de cames e a cambota, ou seja, uma falta de sincronismo entre elas. O que poderia ter culminado com os pistões a baterem nas válvulas, tal como no exemplo do Golf V, e destruir assim o motor integralmente, neste caso o motor entrou em “modo segurança” porque o sistema tem um sensor de posição, Figura 3-82, que permite verificar esse desfasamento e essa perda de sincronismo desliga o motor definitivamente, obrigando a uma intervenção de uma oficina técnica especializada.



Figura 3-81 – Correia do alternador e respetivo tensor.

Ora um sensor que custa poucos euros evitou milhares de euros de prejuízo e danos. Esta prática está a começar a ser seguida por vários Construtores e Fabricantes, com o intuito de minorar os danos de uma eventual falência do sistema de distribuição, que é um dos danos, a par das gripagens, de grande incidência e de custo elevado na reparação do motor.



Figura 3-82 - Sensor de posição.

### 3.1.6 Danos com FAP's.

Os motores Diesel produzem vários poluentes e utilizam os filtros de partículas (FAP – *Filtre à Particules* ou DPF – *Diesel Particulate Filter*) para a eliminação de parte deles nomeadamente as partículas. Com a exigência Euro 3, os motores Diesel passaram a ser dotados de turbo-compressor, “*intercooler*”, EGR arrefecido e catalisadores de oxidação, e com a Euro 5, filtros de partículas com regeneração, catalisador seletivo ou de absorção dos NOx, e o uso de combustíveis com teor de enxofre máximo de 10 ppm. Como se disse atrás, os problemas com os FAP derivam na maioria das vezes do não respeitar as regenerações (limpeza) do filtro. Isto deriva de algum desconhecimento por parte dos condutores das regras de utilização de veículos com FAP, mas também de alguns problemas de funcionamento de alguns sistemas, como adiante veremos.

#### 3.1.6.1. Mercedes CLS 250 de 2014

Este topo de gama da Mercedes, Figura 3-83, efetuava percursos genericamente de auto estrada e assim garantia as velocidades ideais acima dos 120 km/h com tempos de percurso acima dos 15 minutos para as regenerações passivas de limpeza do FAP.



Figura 3-83 - Mercedes CLS 250.

Apesar disto, o controlador do motor injetava combustível extra para a limpeza do FAP, mesmo este estando limpo e sem a necessidade de tal limpeza. É uma evidência estatística que a maior parte dos casos de problemas com FAP's têm que ver com os percursos curtos que não propiciam nem a temperatura mínima de motor (85°C), nem principalmente a de escape (normalmente acima dos 600 °C). Não era este o caso.

No Mercedes CLS250 com 2500 cc, 220 kW, e com 25 mil km, em plena auto estrada o motor entrava em “modo segurança” (redução da potência disponível para cerca de 1/3), e havia a subida excessiva (acima do nível máximo) do nível do óleo do motor. Uma análise ao óleo do motor confirmou uma contaminação com gasóleo acima dos 20%, o que corroborava a tese de escorrimento do gasóleo para o cárter do óleo e que muito provavelmente seria das regenerações interrompidas do FAP.

Efetuada a investigação, apurou-se que a causa da avaria residia no sensor de pressão diferencial que tinha problemas. Este indiretamente mede a colmatção do FAP, pois verifica, medindo a diferença de pressões entre a entrada do FAP e a sua saída. Quando o diferencial de pressões sobe acima de um valor estabelecido, significa que existe colmatção do filtro e com esta informação enviada ao controlador do motor, este procede à limpeza ou regeneração do FAP. Esta regeneração chama-se de ativa, conforme vimos no capítulo 2. Estas somente deveriam acontecer quando as regenerações passivas não são possíveis, o que era muito estranho neste caso, pois os percursos efetuados pela viatura, maioritariamente em auto-estrada e com tempos superiores a 45 minutos, deviam permitir boas e totais regenerações passivas. Assim, a avaria daquele sensor fazia com que o controlador do motor injetasse gasóleo extra (regenerações ativas, vistas no capítulo 2) que para além de aumentar o consumo faziam com que o gasóleo escorresse para o cárter aumentando o nível do óleo, levando ao “modo de segurança” da viatura e à redução de potência.

#### **3.1.6.2. Honda Civic 1.6.**

Um Honda Civic, com motor diesel de 1500 cc, 110 kW, com 65 mil km, apresentava a luz do FAP acesa no painel de instrumentos, Figura 3-84, com redução da potência do motor, tal como caso anterior, o que indiciava que os problemas do FAP seriam consequência dos percursos curtos do utilizador, que no caso eram de cerca de 20 km por viagem num máximo de 40 a 50 km por dia.



Figura 3-84 - Painel de instrumentos do veículo com avaria sinalizada.

Este veículo ainda com dois mil quilómetros acendia sucessivamente a luz de avaria do motor, sinalizando na memória de erros de problemas na sonda lambda. Efetuou-se uma análise ao óleo do motor assim como um diagnóstico com leitura das memórias de erros através da ficha OBD no Concessionário da marca, Figura 3-85.

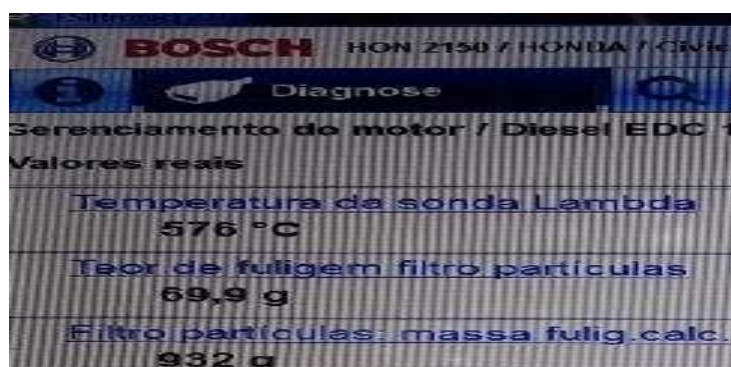


Figura 3-85 - Leitura de erros com equipamento oficial.

O diagnóstico revelava percursos efetivamente curtos, da ordem dos 20 km por viagem, assim como revelava erros memorizados de avaria da sonda lambda. Existia ainda um teor de fuligem da ordem dos 69,9 g claramente acima dos valores máximos permitidos para não haver colmatção do FAP que é da ordem dos 15 g. A colmatção era evidente pelos valores da pressão diferencial acima dos 300 mbar, quando os valores médios aceitáveis são da ordem de grandeza 10 vezes inferiores. A análise ao óleo evidenciou uma adição de gasóleo não muito elevada da ordem dos 3,6%, Figura 3-86, pois normalmente, em situações de regenerações interrompidas, a diluição ultrapassa claramente os 20%.

TEOR DE COMBUSTIVEL		
(% v/v)	-	3,6

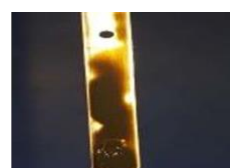


Figura 3-86 - Teor de combustível (à esquerda) na análise ao óleo e vareta de nível de óleo (à direita).



Além disso existia uma estranha concentração de enxofre no óleo. Este motor utiliza um lubrificante 0W/30 LOW SAPS com baixo teor em enxofre, fósforo e baixo teor em cinzas sulfatadas. O enxofre é um aditivo importante para melhorar a capacidade de lubrificação, mas que tem vindo a ser diminuído pelas restrições nas emissões, como vimos no cap.2).

Vejam-se as evidências obtidas na investigação deste caso:

- A Sonda lambda foi a avaria detetada (erro memorizado pelo controlador do motor; P0133 Avaria/resposta lenta do sensor da relação ar/combustível) nas várias idas ao concessionário (22 vezes no total);

- A análise ao óleo do motor mostrou que a contaminação do óleo por gasóleo existia e era de 3,6%, o que é baixa para situações de regenerações interrompidas. Nestes casos os valores expetáveis do gasóleo no óleo ascendem a mais de 20%, pelo que existiu uma forte probabilidade de estas não terem sido interrompidas e/ou até iniciadas. Numa situação normal um motor diesel entre mudanças de óleo pode apresentar valores de adição de gasóleo da ordem dos 10%;

- No diagnóstico no Concessionário apurou-se que a última regeneração efetuada com sucesso teria ocorrido há 4000 km, e que após aquela foram gastos 149 litros de combustível. O consumo médio era da ordem dos 3,7 L/100 km que é o expetável neste modelo o que com hipotéticas regenerações interrompidas teria de ser seguramente maior.

Sabe-se ainda que uma avaria memorizada no controlador do motor, faz com que por questões de segurança fiquem inibidas quaisquer possibilidades de se darem as regenerações ativas. Isto é facilmente perceptível porque estas acontecem quando as passivas não são possíveis de se efetuarem e são um momento de algum risco (embora controlado), mas em que o nível térmico do escape sobe 5 a 6 vezes, obrigando a que o conjunto dos componentes do automóvel estejam todos a funcionar de forma eficiente e eficaz, e que o UCE tenha essa informação. Ora as sucessivas avarias na sonda lambda impediram que as regenerações se efetuassem, e assim o FAP foi sendo sucessivamente sujo até à colmatação total. A investigação pretendia encontrar a correlação entre os percursos curtos e os danos no FAP e caso não se confirmasse elencar a/s causa/s possíveis.

A conclusão obteve-se por exclusão de partes, e provou-se de que ao contrário da evidência estatística dos percursos curtos serem a causa de maior probabilidade, neste caso não foi a causa. Ficou evidente que houve algo que impediu o controlador do motor de iniciar

as regenerações ativas, uma vez que os percursos curtos não permitiram que as passivas se efetuassem. Algo que levou ao erro na sonda lambda, ou até a avaria desta.

### 3.1.6.3. Opel Astra

A análise ao motor deste Astra, Figura 3-87, mostrou uma gripagem que com elevada probabilidade resultou de o óleo ter ficado muito diluído por gasóleo (injetado pelo controlador na tentativa de regenerar o filtro de partículas).



Figura 3-87 - Opel Astra.

Esta gripagem ocorreu posteriormente a uma reparação em oficina que se revelou mal feita. Na reparação havida foi reutilizada uma das árvores de cames da admissão que estava danificada e que não deveria ter sido aproveitada. A desmontagem verificou que existiam válvulas empenadas na culassa, Figura 3-88 e os cabeçotes (apoios das árvores de cames), Figura 3-89 também estavam ambos gripados. Aquando da primeira avaria, os relatos existentes no processo mencionam que o controlador do motor sinalizou uma avaria no quadrante do veículo. Para além disso este sinal foi secundado por um barulho que mais tarde se veio a verificar tratar-se da correia de distribuição, que estaria solta ("lassa") tendo sido reapertada. Apesar disso e do barulho ter diminuído de intensidade ainda estava presente.



Figura 3-88 – Culassa do motor onde se notam as válvulas empenadas.

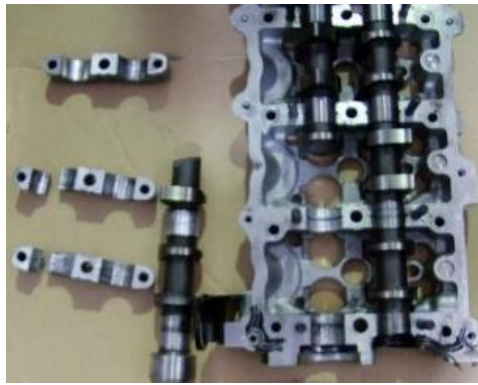


Figura 3-89 - Cabeçote do motor aquando da quebra da árvore de cames.

O cabeçote da culassa onde as árvores de cames estão alojadas tinha os apoios das árvores de cames gripados (Figura 3-90), círculos vermelhos).

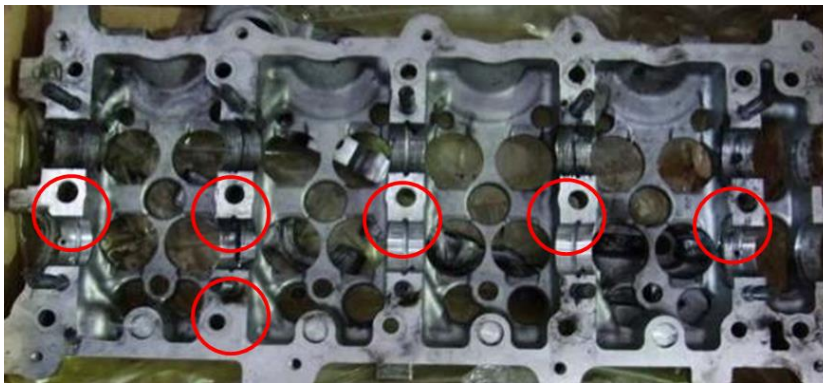


Figura 3-90 - Cabeçote do motor aquando do primeiro problema do motor (os círculos indicam os apoios gripados).

Veio-se a perceber que aquelas peças tinham sido enviadas para um torneiro/retificador a fim deste avaliar a possibilidade da sua recuperação. A culassa foi retificada e as árvores de cames foram consideradas aptas a funcionar após terem sido polidas nos apoios. Foi colocado um novo cabeçote e nele alojaram as árvores de cames em cima da culassa e fecharam o motor. Esta foi a reparação. Durante ainda o teste de estrada após a reparação, o motor parou e o veículo voltou de reboque para a oficina. A nova desmontagem mostrou que a árvore de cames de admissão estava partida por os seus apoios terem gripado (agarrado), de modo similar (nas mesmas posições) da vez anterior. Porém, agora com a quebra da árvore de cames, a extensão dos problemas foi muito maior: os pistões #1 e #3 bateram nas válvulas, empenando-as, o que poderá também ter afetado as suas guias e sedes.



Figura 3-91 - As 16 *touches* das 16 válvulas, sendo que metade estão batidas.

A causa de ambas avarias foi com elevada probabilidade a lubrificação ineficiente derivada da diluição do óleo com gasóleo. Verificou-se o óleo retirado do motor visualmente e com tato e verificou-se que este era pouco viscoso (muito fino).

Estes dois factos (óleo a mais e viscosidade baixa) aliados a um dos erros presentes no controlador (temperatura do filtro de partículas), levaram a que com forte probabilidade, por diferentes vezes tenha havido algum problema com a regeneração do filtro de partículas. Quando o filtro de partículas fica "sujo" o controlador do motor injeta, durante a descida do pistão, uma quantidade significativa de gasóleo de modo que este arda e queime as partículas que estão a entupir o filtro. Esta situação já foi explicada para outros casos neste trabalho. Das várias tentativas de regeneração do FAP por injeção de gasóleo resultaram os dois problemas, o volume de óleo aumentou e a degradação do mesmo, retirando-lhe o poder lubrificante necessário para o bom funcionamento do motor. Deverá ter sido por esta causa (regenerações forçadas) que as árvores de cames griparam. Verificaram-se outros componentes que também poderiam ter contribuído para a ineficiente lubrificação. A bomba do óleo desmontou-se e eram claros os sinais de bom funcionamento (Figura 3-92).



Figura 3-92 - Os vários componentes da bomba de óleo, em perfeito estado.

A tubagem foi também alvo de verificação pela importância que tem na condução do óleo até aos pontos de lubrificação. A tubagem desde a bomba até a cabeça ou culassa do motor foi verificada pela passagem desobstruída de ar comprimido. Também no cabeçote verificaram-se as linhas de distribuição do óleo para os vários apoios (Figura 3-93). Destas linhas havia furos que as ligavam aos apoios das árvores de cames. Verificaram-se todas estas passagens (Figura 3-94) para ver se haveria bloqueamentos, usando um fio metálico que se introduziu por esses furos. Somente uma destas passagens estava bloqueada, como resultado da gripagem que fez com que alumínio fosse deslocado para esse furo após a gripagem. Todas as restantes estavam desobstruídas, mostrando que a obstrução à passagem do óleo não era o problema. Estas verificações provaram que não havia, no motor, problemas relativos ao circuito de lubrificação, pois este estava perfeitamente funcional.

Assim a causa era perfeitamente perceptível e a desmontagem aquando da investigação e numa análise minuciosa a árvore de cames de admissão mostrou que um dos apoios (Figura 3-95) estava fortemente riscado (círculo vermelho), mas o apoio do cabeçote relativo a esta posição estava como novo, ou seja, esta profunda marca no apoio da árvore de cames tinha sido feita durante a primeira gripagem e o reparador considerou que este apoio estava perfeitamente funcional, o que não correspondia à verdade.

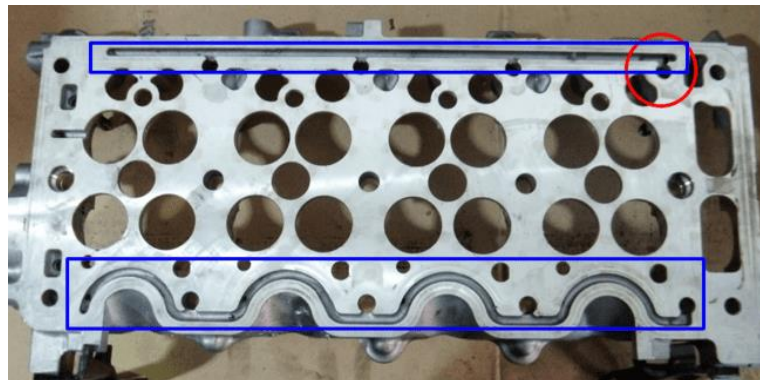


Figura 3-93 - Cabeçote (lado inferior) onde se vê o ponto de fornecimento do óleo (círculo vermelho) e as linhas de distribuição do óleo (a azul).

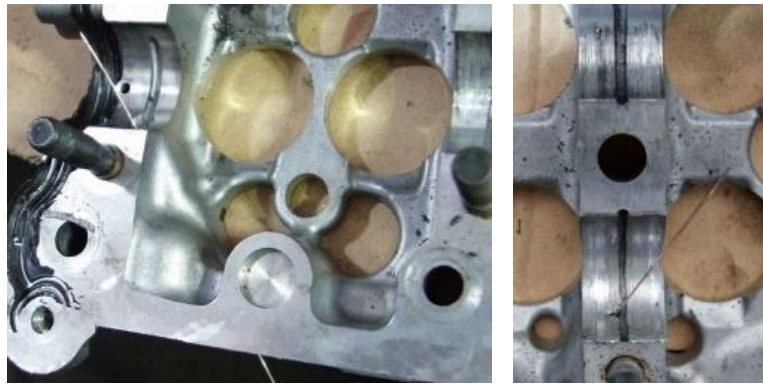


Figura 3-94 - Análise à eventual blocagem das passagens de óleo com um fio metálico.



Figura 3-95 - Árvore de cames de admissão com apoio gripado.

Assim terá sido esta a razão da segunda gripagem, os dois apoios com problemas superficiais (pela gripagem anterior) teriam iniciado a gripagem no novo cabeçote, que originou uma gripagem profunda e a rutura da árvore de cames de admissão e os restantes problemas na culassa. O novo óleo foi também analisado, sendo que o seu volume era o expetável (pouco mais de 5L) e a sua viscosidade era também a correspondente a um óleo novo - Figura 3-96.



Figura 3-96 - Avaliação da viscosidade do novo óleo.

### 3.1.7 Incêndios

Uma das causas de maior destruição em motores e em automóveis são os incêndios. Iremos ver alguns casos e algumas das causas mais presentes.

Um incêndio para ocorrer tem de haver uma ignição e um material combustível que alimente o fogo com suficiente energia, além de ter de haver também um comburente, o ar. Nos automóveis e historicamente, os incêndios derivam de fugas de combustível, curto-circuitos elétricos, turbocompressores com gripagem, fuga de óleo a temperaturas superiores a 500 °C (temperatura de auto-ignição do óleo), e a regenerações dos filtros de partículas.

Um cigarro ou um isqueiro podem iniciar um incêndio num automóvel, mas são mais um mito do que verdadeiramente uma causa para os incêndios, pois o setor automóvel utiliza materiais ignífugos, que podem arder se houver chama viva, mas não ardem por si, nem propagam o fogo. Exemplo a ponta de um cigarro pode furar um estofado, mas não consegue propagar a chama através deste, por este ter propriedades ignífugas. Há, no entanto, alguns tecidos têxteis comprados no mercado alternativo, cujas características são de origem duvidosa, sem as especificações do fabricante, e que podem ser combustíveis (que ardem) e dar origem a esses incêndios.

Os curto-circuitos elétricos, que veremos à frente, o derrame de combustível sobre superfícies a temperaturas elevadas (próximas das temperaturas de auto-ignição do combustível), que veremos de seguida, são também outras das causas propiciadoras de incêndios.

#### 3.1.7.1. Mercedes C200

Um Mercedes com incorretas regenerações do filtro de partículas (FAP) foi alvo de incêndio. Este caso estudado um Mercedes C200 (Figura 3-97), de 2008, com 270 mil km, com motor de 2.0 L, de 150 kW, cujo dano do FAP culminou num incêndio que deflagrou na zona do motor.



Figura 3-97 - Mercedes Benz C200.

Um dos primeiros pontos a investigar num carro com FAP é a cor do escape, pois uma coloração branca-azulada, como uma deposição de pó se trate, Figura 3-98, mostra uma combustão com temperatura elevada, pois com o FAP o escape deve estar sem qualquer sujidade e mostrando apenas o metal do mesmo. No caso estudado houve uma rutura (fenda) da saída do FAP por o metal ter sido fundido e tendo aberto uma fenda, Figura 3-99.



Figura 3-98 - Interior branco do escape.



Figura 3-99 - Fenda na saída (jusante) do FAP.

A forte elevação da temperatura de escape foi a causa para os danos relatados atrás. Mesmo numa regeneração “normal”, a existência na área do motor e do tubo de escape de papéis, de panos ou outro material inflamável incluindo óleo ou gasóleo, com a grande elevação de temperatura aquando da regeneração do filtro de partículas pode levar a um incêndio. A elevadíssima temperatura dos gases de escape pode ter origem na colmatação do FAP e ser de tal forma intensa que o controlador injetou quantidades anormais de gasóleo para o regenerar. O elevado teor de sujidade do filtro de partículas certamente teria sido causado pela maneira de usar o veículo sem lhe permitir que houvesse regeneração do filtro de partículas. Uma outra possibilidade seria o uso de gasolina no motor Diesel. A análise ao combustível existente no depósito e no filtro de gasóleo não identificou esse combustível.



Retiraram-se amostras de combustível do depósito e do filtro de gasóleo e fizeram-se testes à viscosidade do combustível, obtendo-se os resultados da Tabela 3-1.

Tabela 3-1 – Viscosidade do combustível (mm<sup>2</sup>/s) analisado/ outros valores de referência

	<b>Viscosidade (Dados de referência)</b>	<b>Medição</b>
Gasolina	0,5 a 0,7	0,7
Gasóleo	3 a 4	3,8
Biodiesel	4 a 6	6,3
Combustível analisado		4,6

A viscosidade medida no combustível do veículo demonstrou, comparativamente com os valores de referência, que é mais viscoso do que uma amostra de gasóleo da bomba, pelo que não poderá ser uma mistura de gasóleo com gasolina ou até só gasolina, e descartou-se esta possibilidade. A análise ao combustível pretendia verificar a possibilidade de utilização de gasolina no motor, o que poderia levar ao incêndio. A gasolina, dado que o seu índice de cetano é muito baixo, leva mais tempo que o gasóleo a entrar em ignição, e os gases ainda saem a arder ( $\approx 2000^{\circ}\text{C}$ ) para o escape, o que pode "derreter" a tubagem e criar um incêndio. Num sistema com FAP este problema poderia ser amplificado se o controlador do motor tentasse fazer uma regeneração e consequentemente injetaria mais combustível, isto aumentaria ainda mais a temperatura do escape.

Assim concluiu-se que o incêndio teve origem na elevadíssima temperatura dos gases de escape que "derreteram" (fusão) o aço do filtro de partículas, pelo que a temperatura do metal foi superior a  $1400^{\circ}\text{C}$ . A esta temperatura a radiação é tão intensa que poderá fazer com que os materiais isolantes deixem de funcionar e iniciar o incêndio. No presente caso, dado que o material do filtro de partículas fundiu, os gases saíram através dessa abertura e iniciaram (ou continuaram) o incêndio dos materiais leves que havia nessa zona.

#### 3.1.7.2. Mercedes SLK

O caso seguinte é o de um Mercedes SLK a gasolina que ardeu completamente, Figura 3-100.

A avaliação conseguiu apurar que o incêndio foi muito mais intenso na parte do motor esquerda junto ao coletor de admissão e ao fornecimento de combustível. Também a jante esquerda estava parcialmente fundida e de forma mais intensa que a do lado direito, tal como os elementos de suspensão, de alumínio. Isto é uma evidência clara de que o incêndio se iniciou e/ou teve a sua maior intensidade no lado esquerdo e próximo da admissão e abastecimento de gasolina ao motor, Figura 3-101.



Figura 3-100 – Mercedes-Benz SLK totalmente queimado.



Figura 3-101 - Interior ardido (à esquerda) e jante esquerda fundida (à direita).

O alumínio funde a mais de 600°C e a elevada taxa de combustão do lado esquerdo só teria acontecido com o fornecimento continuado de combustível, o que revela que o veículo teve a bomba de combustível do depósito a funcionar, pelo que a chave no canhão de ignição esteve ligada aquando do incêndio. Na parte esquerda do motor era possível notar partes de tubos metálicos de gasolina (Figura 3-102) e do ar condicionado, e entre estes tubos metálicos a linha de combustível que seguia por tubos de borracha, que poderão ter-se desapertado dos metálicos ou ter fendido, iniciando o derrame da gasolina sobre o motor.

Uma faísca proveniente das velas ou de outro qualquer sistema elétrico é o suficiente para iniciar a combustão que rapidamente se propaga pelo interior do motor, alimentada pelo contínuo fornecimento de combustível. Esta maior violência do incêndio também se notava no interior do capot, no lado esquerdo do motor, Figura 3-100.



Figura 3-102 - Tubos de gasolina para o motor.

### 3.1.7.3. Renault Mégane

O Renault Mégane II 1.5 dCI, Figura 3-103 teve como causa do incêndio uma fuga de óleo que derramou sobre uma superfície quente com temperatura superior à temperatura de auto-ignição do óleo, acima dos 400°C, e gerou e alimentou o incêndio. A fuga por si só do óleo não é uma causa do incêndio, mas conjugada com o local aonde ocorre, leva a que o óleo seja o veículo de propagação do incêndio, que tem ignição em superfícies a temperaturas elevadas.

No Mégane, apesar do seu péssimo estado, Figura 3-104 foi possível verificar que o bloco apresentava dois rombos e uma biela estava partida.



Figura 3-103 - Estado do Renault Mégane.



Figura 3-104 - À esquerda o estado de fusão que o incêndio provocou, e à direita os rombos.

A biela do cilindro #3 estava dividida em 3 partes, por quebra múltipla. Foi efetuada uma observação com microscópio ótico de elevada resolução com ataque químico prévio da superfície para remoção da oxidação e comprovou-se que não existia qualquer defeito de material que mostrasse a origem da rutura do pé da biela - Figura 3-105.



Figura 3-105 - Biela do cilindro#3 com fratura.

A investigação apontou para que o incêndio se tenha iniciado com o derramamento do óleo do motor (5L a cerca de 100°C), que terá atingido o coletor de escape e/ou o turbo-compressor e, assim, terá começado a arder. O referido motor usa turbo-compressor cuja temperatura de funcionamento pode chegar a valores muito elevados (700°C), podendo mesmo ficar ao rubro, nomeadamente em situações de elevada carga como circular rapidamente numa autoestrada. Os gases de escape após saírem da turbina passam para o catalisador, um outro componente que apresenta também temperaturas muito elevadas, embora um pouco inferiores à da turbina (pode chegar aos 600°C). Como este veículo circulava em marcha rápida, o exterior do catalisador seria bastante arrefecido pela passagem do ar, mas tal não acontece com o turbo-compressor. Como o óleo de lubrificação tem uma

temperatura de auto-ignição inferior a 400°C, o seu contacto com o turbo-compressor facilmente entraria em ignição espontânea e iniciaria a sua combustão.

A rutura do pé da biela originou a quebra das paredes do bloco, por onde saiu óleo quente que começou a arder ao contactar com as superfícies quentes do coletor de escape ou do turbo-compressor. Com facilidade o incêndio propaga-se a todo o veículo consumindo-o completamente deixando-o no estado das fotos.

#### 3.1.7.4. Seat Ibiza

Um Seat Ibiza, representado na Figura 3-106, teve uma auto-ignição similar do óleo, como início de incêndio, mas com origem diferente.



Figura 3-106 - Seat Ibiza.

Apurou-se que, antes de arder, o veículo deixou uma longa marca de óleo no pavimento ao longo de cerca de 200m. Este dado indiciava a existência de uma fuga de óleo e que teria sido esse óleo que propiciou o incêndio. A zona do turbo-compressor não tinha sinais de danos por calor, o que mostrava que o foco do incêndio se deu na zona da frente do motor (entre o motor e o radiador) e este deverá ter sido iniciado por óleo que estaria a ser derramado algures no motor. Foi notado que um dos tubos que ligava o permutador de calor água-óleo ao radiador de óleo estava furado e revelava ter sido atingido por calor intenso (Figura 3-107).



Figura 3-107 - Tubo de óleo com furo e mostras de ter sofrido elevado aquecimento.

Fizeram-se ainda mais testes a vários locais do incêndio e ao motor, aos fusíveis, para poderem ver outras eventuais causas, concretamente ver a possibilidade de um curto-circuito. Alguns modelos do Grupo VW, no qual se inclui este SEAT, têm caixas com fusíveis que aguentam correntes elevadas. Além disso a caixa de fusíveis está projetada para que os fusíveis queimem sem que isso origine um incêndio. O material plástico desta caixa é escolhido de modo que não arda com o queimar dos seus fusíveis, no entanto há relatos de este tipo de caixa "derreter" por calor produzido nos fusíveis embora sem arder. Neste caso um dos motores das ventoinhas estava bastante queimado embora a coloração escura terá sido originada exteriormente pelo queimar dos plásticos que o cobriam (Figura 3-108).



Figura 3-108 - Os dois motores elétricos dos ventiladores dos radiadores.

Se o motor da ventoinha estivesse em curto-circuito os enrolamentos (fios de cobre) estariam, pelo menos parcialmente, queimados e fundidos. No entanto isso não aconteceu e o rotor estava ainda a rodar pelo que não havia evidências de que tenha havido curto-circuito nos enrolamentos. Como o fio que liga o motor do ventilador passava perto (ou tocava) do tubo de óleo e como este era revestido por malha metálica, é possível que tenha havido abrasão entre o fio elétrico e esta malha de aço, originando uma faísca que terá iniciado a combustão do óleo quente quando este começou a ser derramado. Ou terá havido uma passagem de corrente entre este fio elétrico e a malha do tubo de óleo que está ligado à massa do carro, produzindo uma faísca localizada (arco elétrico) que terá derretido a malha de aço do tubo de óleo (como se nota na Figura 3-107) e o terá furado.

Por este furo terá começado a sair óleo que entrou em ignição com uma faísca subsequente entre o fio elétrico e a malha de aço. O óleo que caiu ao chão não terá

continuado a sua combustão por ter arrefecido rapidamente (ao cair ao chão), mas o óleo que permaneceu sobre o motor terá continuado a arder e terá propagado o incêndio aos restantes plásticos à volta do motor. Esta foi a causa mais provável do incêndio no Ibiza.

#### 3.1.7.5. Alfa Romeo clássico de corridas

O Alfa Romeo modelo GT Junior 1.6 de 1567 cm<sup>3</sup> de cilindrada (Figura 3-109), apresentava vestígios de incêndio. Os vestígios do incêndio confinavam-se à zona do motor, na sua parte dianteira direita. O capot estava com a pintura queimada e havia vestígios de incêndio em toda a parte do motor (Figura 3-110), com fios, tubos e outras peças queimadas.



Figura 3-109 - Alfa Romeo, modelo GT Júnior.

Este modelo utiliza umas "trombetas" na admissão e não existe filtro de ar (Figura 3-110). Estes acessórios resultam no "retorno" de alguma gasolina para a admissão, que poderá sair pelas trombetas. Desde a década de 60 do século XX que os gases provenientes da passagem de compressão pelos pistões (altamente poluentes e tóxicos) são obrigatoriamente encaminhados para o coletor de admissão de modo a serem queimados no motor. Neste motor estes gases são descarregados para a atmosfera (Figura 3-110). Como este motor tem sistema mecânico de ignição, há sempre faíscas no interior do distribuidor que, neste caso, fizeram a ignição do combustível que estaria a sair pelas trombetas de admissão.

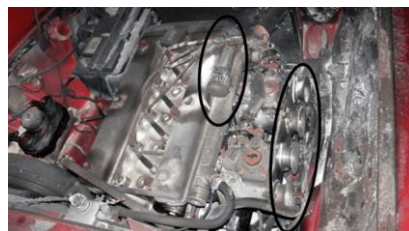


Figura 3-110 - Aspeto da zona do motor.

### 3.1.7.6. Alfa Romeo 159

Um incêndio num Alfa Romeo 159, Figura 3-111 ocorreu em circunstâncias confusas e que a investigação pretendia apurar. Dividiu-se o carro em 3 partes, parte do motor, parte do habitáculo e parte da mala. As partes do motor e da mala, não tinham sinais visíveis de incêndio, o que demonstrava que as zonas “*firewall*” (corta-fogo) funcionaram devidamente. A mala não tinha qualquer sinal de temperatura excessiva.



Figura 3-111 - Zona do motor, sem sinais de incêndio, apenas com alguns componentes plásticos escurecidos.

Na parte do motor, apareceram sinais de aquecimento e queima exterior de alguns componentes plásticos, sem fusão, apenas escurecidos, mas sem sinais de ter havido chama (Figura 3-112). A parte mais queimada era a correspondente aos pés do lugar da frente direita, por baixo do tablier (Figura 3-113), onde se depositaram os pedaços de plástico que, ardendo, derreteram.



Figura 3-112 - Plástico escurecidos.





Figura 3-113 - Parte interior direita do veículo junto ao banco do passageiro.

A fusão foi bastante completa e nalguns casos apenas o material de cobre das cablagens não fundiu, o que revela uma grande intensidade das chamas. A justificação para que tenha sido do lado direito o foco do incêndio assenta no fato de que foi nesta zona que ficaram a maior parte dos componentes fundidos, depositados no chão.

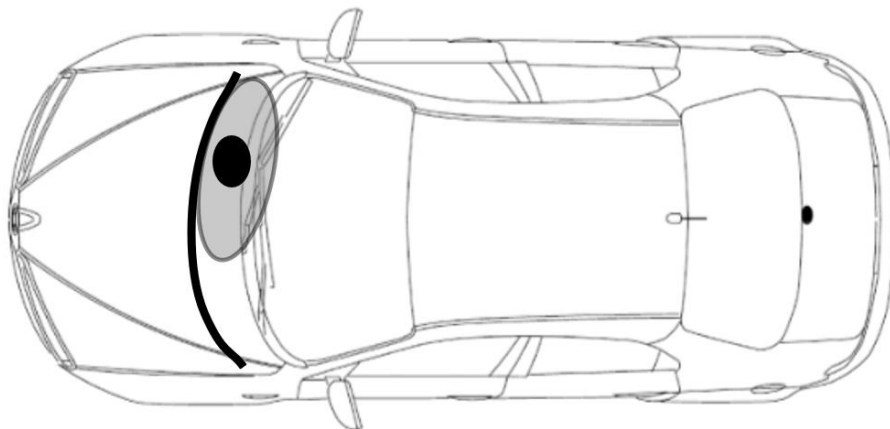


Figura 3-114 - A linha a negro representa a firewall ou corta-fogo e a circunferência a negro, mostra zona de início de incêndio.

Depois de procurar no seio do material plástico fundido e queimado nesse lado direito, conseguiu-se encontrar o ventilador da ventilação interna bastante queimado, o que nos levou a identificar como tendo sido aqui o ponto de ignição. O início do incêndio ter-se-á dado por sobreaquecimento do motor elétrico do ventilador. Isso fez com que inicialmente saíssem pelas grelhas de ventilação, fumo, algo relatado no processo e que é coerente com os acontecimentos.

### 3.1.7.7. Incêndio em autocaravana

Numa autocaravana tinha ocorrido um incêndio há 7 anos e estava desde essa altura parada e sujeita às intempéries, pelo que estava muitíssimo degradada (Figura 3-115), o que dificultou a análise. Num caso de incêndio aonde já vimos que uma parte significativa dos mesmos ficam sem solução quanto às causas, quando isto ocorre o trabalho de investigação é muito difícil. Uma das áreas habituais de análise em incêndios é a instalação elétrica. Este veículo tinha duas instalações separadas, cada uma apoiada por uma bateria independente, para a parte automóvel e para a parte da caravana.



Figura 3-115 - Estado de degradação dos componentes do veículo.

A bateria automóvel situada no compartimento do motor assiste todos os sistemas necessários para a locomoção, mais os sistemas de condução, incluindo faróis, luzes do painel de instrumentos. Esta instalação automóvel possui uma saída para isqueiro, onde é costume ligarem-se aparelhagens tais como GPS. É ainda a esta instalação onde se encontra ligada o sistema de som do veículo, geralmente um auto-rádio.

A bateria da caravana situada na sua traseira esquerda assiste os eletrodomésticos e luzes da caravana. Esta bateria pode ser carregada a partir de uma ligação a um cabo de corrente alternada (220V de proveniência externa à autocaravana) ou pode ser carregada a partir da instalação automóvel, quando o veículo tiver o motor em funcionamento. Por vezes existe um painel solar para ajudar no carregamento desta bateria.

Estes dois sistemas elétricos estão ligados entre si numa caixa aqui denominada central, que faz o corte da ligação entre as baterias quando o motor não estiver a funcionar. O sistema automóvel tem a sua segurança incluindo um conjunto de fusíveis, o mesmo acontecendo ao sistema da caravana, havendo também vários fusíveis a proteger esse sistema. A ligação à corrente alternada 220V está protegida por disjuntores.

Conforme mostra a Figura 3-116, verificou-se que existia um fio suplementar a sair do borne da bateria da caravana (foto da esquerda), fio esse que aparentemente passava por um furo (foto da direita) aberto na zona da cava da roda traseira esquerda e que, alegadamente, iria ligar a um coletor (painel) solar que a carrinha tinha. Este fio estava separado da demais instalação elétrica.

O frigorífico e a instalação elétrica encontravam-se totalmente calcinados sendo assim difícil identificar o local de passagem dos fios. No entanto havia um registo fotográfico do pós incêndio, tirado pouco tempo após o incêndio que mostrava que haveria fios soltos a passar pela traseira do frigorífico. Como na altura do incêndio a autocaravana estaria estacionada e desligada, a central teria desligado as baterias uma da outra. Os aparelhos suplementares (GPS, autorrádio, etc.) que estariam ligados à saída para isqueiro, estariam assim desligados do sistema elétrico da caravana.

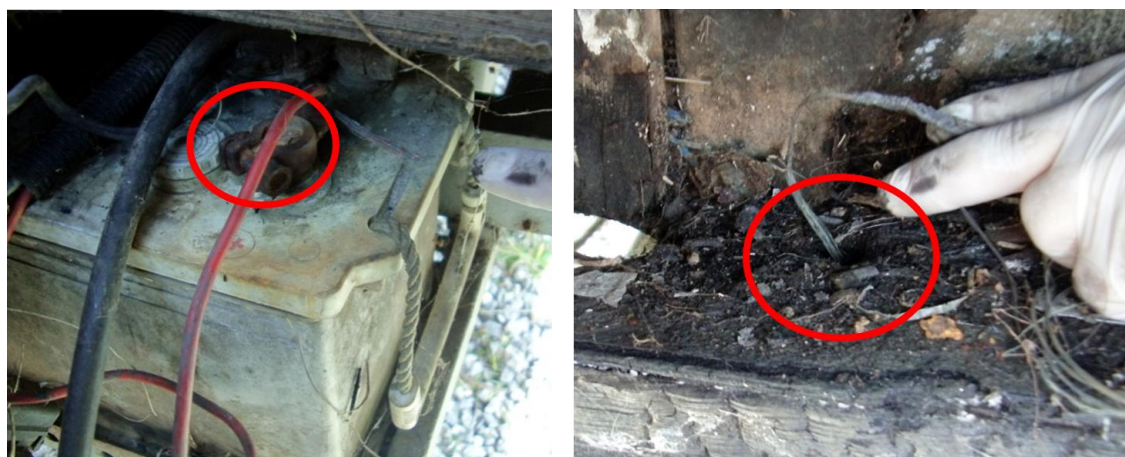


Figura 3-116 – Fio de ligação ao painel solar

O frigorífico e a instalação elétrica encontravam-se totalmente calcinados sendo assim difícil identificar o local de passagem dos fios. No entanto havia um registo fotográfico do pós incêndio, tirado pouco tempo após o incêndio que mostrava que haveria fios soltos a passar pela traseira do frigorífico. Como na altura do incêndio a autocaravana estaria estacionada e desligada, a central teria desligado as baterias uma da outra. Os aparelhos suplementares (GPS, autorrádio, etc.) que estariam ligados à saída para isqueiro, estariam assim desligados do sistema elétrico da caravana.

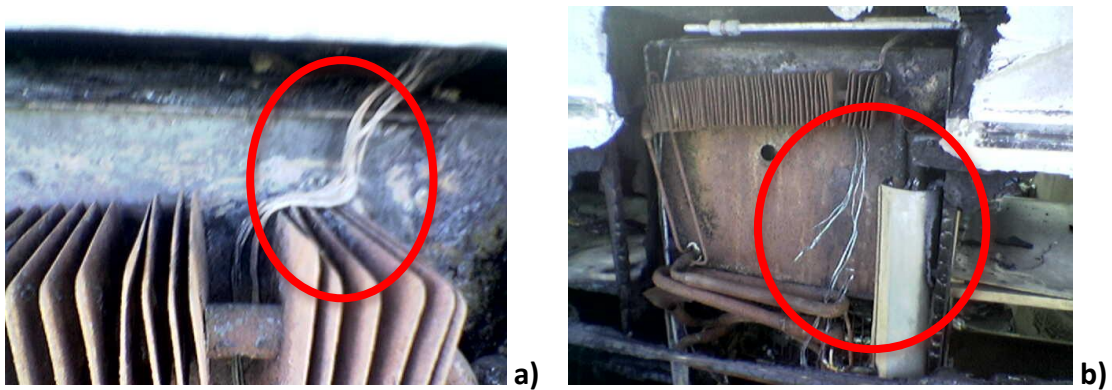


Figura 3-117 - Fios por detrás do frigorífico.

É provável que estes fios (Figura 3-117) pela existência de ventilação possa esta ter ajudado a que o fogo evoluísse mais rapidamente nessa zona. O frigorífico tem para a entrada e sair do ar de forma a não haver aquecimento aquilo que designa de efeito chaminé e isso pode ter amplificado a propagação do incêndio. Os equipamentos referidos como o televisor, o transformador 12V-220V, o auto-rádio e um GPS estão normalmente ligados à saída do isqueiro (ficha elétrica vulgarmente usada para acesso a corrente em automóveis), e assim ligados à instalação do veículo, não à da caravana. Neste caso, a origem do incêndio não pode ser imputada a estes equipamentos. Num caso de curto-circuito os fusíveis deverão cortar a corrente, mas mesmo assim existe a possibilidade de, no caso de haver passagem de corrente abaixo do valor de fusão do fusível e que essa corrente seja suficiente para aquecer um fio que esteja estragado este aqueça até ao ponto de iniciar um incêndio.

#### 3.1.7.8. Incêndio em Mini

O Mini (Figura 3-118) sofreu um incêndio com particular incidência na parte frontal esquerda. É aí que se localiza a bomba de gasolina de alta pressão, Figura 3-119.



Figura 3-118 - Veículo ardido.

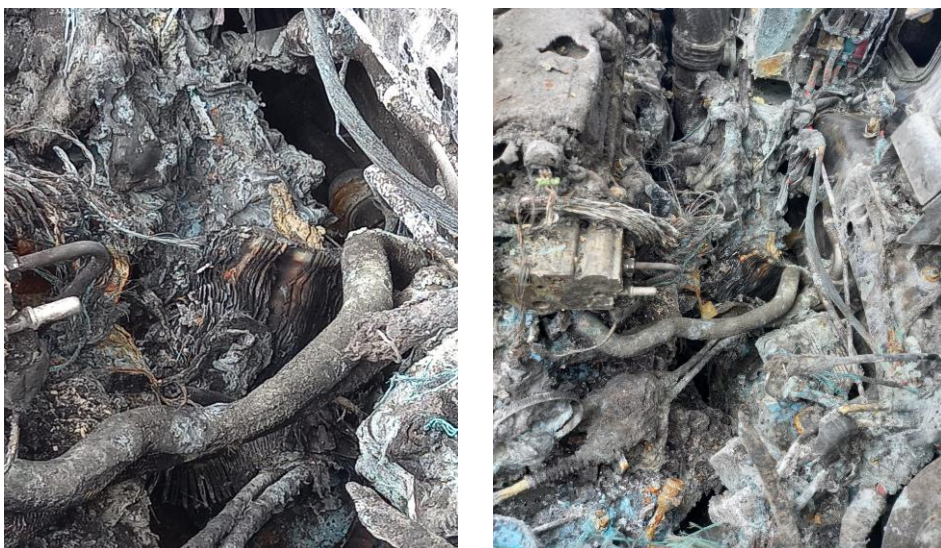


Figura 3-119 - Lado esquerdo da frente junto à bomba da gasolina.

A massa ardida dificulta sempre o apuramento de causas, neste caso pela sua maior intensidade junto à bomba é provável que tenha havido uma fuga pela tubagem contígua à bomba e acontecendo em andamento a própria bomba alimenta o incêndio. No entanto sabemos que é preciso uma fonte de ignição e não é provável que a gasolina tenha sido derramada sobre uma zona quente e seria difícil a ignição dar-se pela temperatura de auto-ignição da gasolina. É provável que tenha havido um pequeno curto-circuito que embora de baixa intensidade (às vezes não chega a queimar fusíveis de segurança) possa ter iniciado a ignição da gasolina e depois alimentada pela bomba de combustível. Soube-se posteriormente que houve uma intervenção mecânica na suspensão dianteira do lado esquerdo em que foi necessário desmontar o amortecedor desse lado e levantar ligeiramente o motor desapertando-o do apoio. Nesta operação é provável que a tubagem e gasolina possa ter sido forçada e ainda que algum cabo ou fio elétrico tenha sido deteriorado no seu isolamento e com isso tenha criado as condições de ignição e alimentação do incêndio.

### 3.1.8 Outros danos

Esta coleção de casos apresenta algumas situações de danos com erros de montagem em oficinas por desconhecimento dos procedimentos de montagem e casos de materiais de qualidade inferior que levaram a danos nos motores.

### 3.1.8.1. Mitsubishi com camisa partida.

O motor alvo da investigação estava já desmontado do veículo e dentro de uma caixa. Uma observação atenta mostrou que o problema deste motor foi devido à camisa do cilindro #3 ter partido pela "gola" ou "colarinho" (Figura 3-120). A camisa ficou, assim, solta, pelo que deslizou para baixo (para o cárter).



Figura 3-120 - Cilindro nº3 com a camisa partida pela gola.

Como a camisa baixou, o segmento do topo (o de fogo) ficou sem apoio e partiu (Figura 3-121), tendo esse pedaço passado para a câmara de combustão, onde foi batendo entre o pistão e a culassa, deixando marcas em ambas as peças. O cilindro #4 estava em processo de também partir a "gola" da camisa (Figura 3-122).



Figura 3-121 - Segmento de fogo partido (esquerda) e a gola do cilindro partido (direita) do cilindro #3



Figura 3-122 - Camisa do cilindro #4, onde se nota a camisa a partir pela gola.

### 3.1.8.2. Opel Combo com camisa partida

Este motor com 363 949 km, Figura 3-123, após reparação em especialista com retificação da culassa e polimento das camisas dos cilindros com montagem de novos pistões no ensaio após montagem revelou um facto estranho. Existia uma subida do nível do óleo no cárter.

O facto estranho assentava na subida do nível do óleo no cárter e o aparecimento em simultâneo de resíduos de óleo no vaso expensor da água, Figura 3-124. Perante este duplo facto entendeu fazerem-se alguns testes, em concreto à culassa e bloco do motor, e ao radiador do óleo do motor que é um permutador água-óleo.

O ensaio à culassa revelou que esta estava em bom estado pelo que foi necessário ensaiar o bloco do motor. O teste em equipamento apropriado, Figura 3-125, consistiu em meter ar comprimido no circuito da água do motor e verificar eventuais fugas.



Figura 3-123 - Opel Combo com 363949 km.



Figura 3-124 - Presença de água no cárter e vareta com nível acima do máximo.



Figura 3-125 - Equipamento de teste e introdução de ar comprimido no circuito de água.

Com uma pressão de ar comprimido regulada e da ordem dos 2 bar (poderia utilizar-se uma pressão superior) a fuga foi evidente na camisa do cilindro #1. Todo o restante circuito da água estava perfeitamente estanque existindo neste cilindro o borbulhar da água pela presença do ar comprimido e evidente na Figura 3-126.

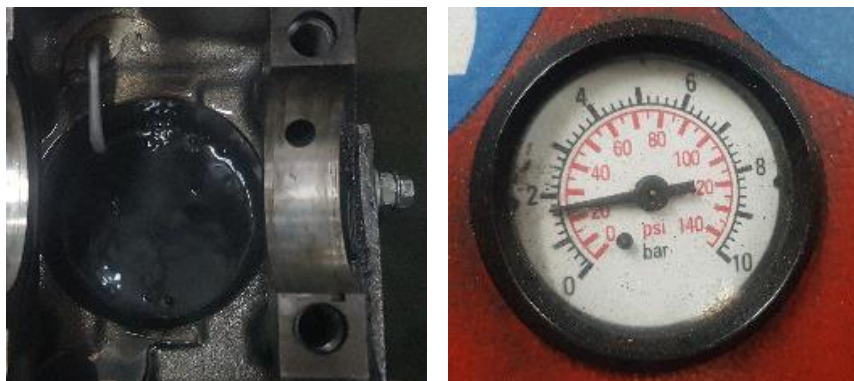


Figura 3-126 - Fuga pela camisa do cilindro #1 e pressão de ensaio da ordem dos 2 bar.

Nesta avaria a água de arrefecimento do motor passava para o cárter do óleo, por uma fissura existente na camisa na sua zona mais baixa, Figura 3-127. O facto de ser na zona mais baixa não implicou outros problemas mais graves como *hydrolock* pois não se gerava um volume de água suficiente na camara de combustão.





Figura 3-127 - Camisa com fissura.

### 3.1.8.3. Citroen C2 com válvulas de incandescência partidas.

Um Citroen C2 com 296650 km, Figura 3-128, numa ação de substituição de velas de incandescência em que uma delas partiu e caiu para dentro do motor levando à destruição deste.



Figura 3-128 - Citroen C2 com 296650 km.

O ensaio efetuado ao veículo mostrava um diagnóstico em que o carro tinha dificuldade de pegar de manhã e simultaneamente perdia potência nas subidas, além de produzir fumo esbranquiçado a sair pelo escape, revelando combustível que não foi queimado. Fez-se um teste de compressão ao motor, tendo revelado um cilindro com compressão muitíssimo baixa

e outro sem compressão (Figura 3-129). Aliou-se a dificuldade de o veículo pegar de manhã a esta falta de compressão, mas qual seria a razão?

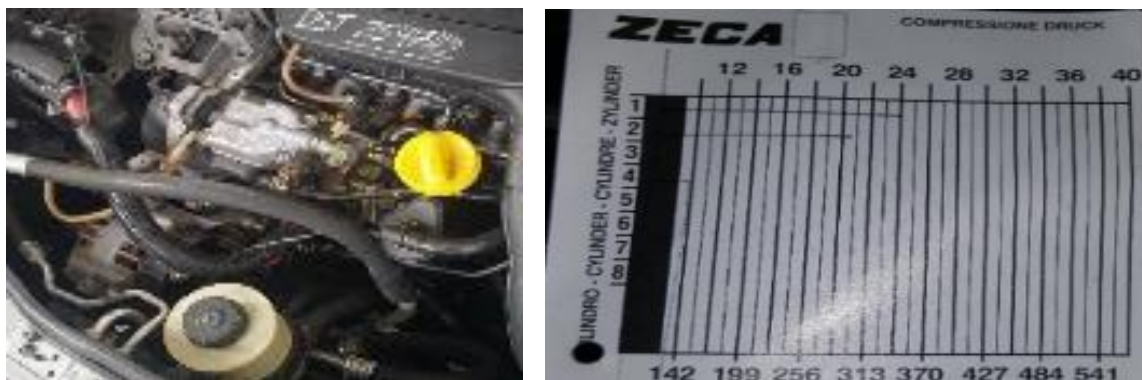


Figura 3-129 - Motor do Citroen C2 (à esquerda) e resultado do teste de compressão (à direita).

Retiraram-se as velas de incandescência do motor e notou-se que, nos cilindros sem compressão, as velas estavam partidas (Figura 3-130 ), tendo as suas extremidades ficado dentro do motor.



Figura 3-130 - Velas de incandescência partidas.

Ao desmontar a culassa, notou-se que as partes partidas das velas foram esmagadas entre os pistões e a culassa e se foram alojar nas válvulas, não as deixando fechar, levando à perda de compressão Figura 3-131. Percebeu-se bem a negligência havida, o mecânico na tentativa de desmontar as velas que estão montadas na culassa acabou por as partir, pois esta operação é delicada pois as roscas dilatam com o aquecimento e tornam-se muito difíceis de desmontar, obrigando a binários de desaperto elevados que podem originar a sua quebra, como foi o caso.



Figura 3-131 – Pormenores da culassa danificada.

Quando se tenta tirar uma vela e não se consegue, como há a possibilidade de esta se partir, ter-se-á de desmontar a culassa do motor para se conseguir desmontar as velas e limpar o lixo, os fragmentos partidos e caídos para o motor.

#### 3.1.8.4. BMW 750i com danos por knock.

Este BMW 750i, a gasolina, com motor V8 apresentava problemas de *knock* (Figura 3-132).

O pistão do cilindro #7 fundiu. E o motor teve de ser reparado. Após a reparação com a substituição pistão nesse cilindro, substituição de todos os segmentos dos restantes cilindros, retificação das sedes de todas as válvulas, substituição das guias de válvulas e retificação da culassa colocou-se o motor em funcionamento. Este ensaio denotou uma falha identificada como problemas no comando do sistema *Vanus* das árvores de cames, que supostamente estaria descomandado (as fichas elétricas relativas ao sistema *Vanus* das árvores de cames estavam trocadas entre a admissão e o escape). Esta situação potencialmente originaria este "falhar" do motor. Simultaneamente diagnosticou-se falta de compressão no cilindro #7.



Figura 3-132 - BMW 750i.

Nova desmontagem do motor e verificou-se a necessidade de substituir uma válvula de admissão (que estava furada), a sua mola, Figura 3-133, e um sensor de detonação. Este motor

tem um sistema de variação de abertura das válvulas que utiliza somente parte do perfil da came o que permite obter a redução da abertura tanto em duração como em altura. Foi inicialmente comercializado em 2001 pela BMW sob a designação de *Valvetronic*, Figura 3-133, proporcionando uma grande liberdade de acionamento das válvulas de admissão. Com isto é possível diminuir as perdas de bombagem existentes aquando do funcionamento do motor a baixa carga.



Figura 3-133 - Sistema Valvetronic da BMW.(Martins, 2016)

Provou-se que desde a primeira avaria existente, com pistão fundido, a causa da mesma foi a existência do *knock* no cilindro 7. O sensor de detonação estava estragado e apesar das reparações mecânicas no motor, a inexistência da segurança eletrónica que o sensor garante, os problemas continuaram, pois na reparação “atacou-se” a consequência e não a causa.

A combustão destrutiva, que anteriormente fundiu o pistão, e posteriormente estragou a válvula de admissão que terá ficado inoperante, fazendo com que o cilindro #7 ficasse sem compressão. O problema do motor era ao nível de eletrónica (o sensor de detonação é um acelerómetro eletrónico) e não da mecânica.

#### 3.1.8.5. BMW 750d com danos por troca de combustível.

Um BMW, mas com motor diesel, teve danos devido a troca do combustível, colocando-se gasolina num motor a gasóleo. O BMW 750d estudado, Figura 3-134, apresentava danos na cambota, nos bronzes de biela, nas válvulas, com fusão dos materiais pelo elevado nível térmico atingido, particularmente nos pistões Figura 3-135.



Figura 3-134 - BMW 750d.



Figura 3-135 – Danos observados nos pistões.

Houve uma contaminação do gasóleo com um combustível com baixo *flash point*, ou temperatura de *flash* (tal como gasolina), conforme análise química posteriormente efetuada. Essa contaminação do combustível foi verificada numa análise ao gasóleo e foi também decisiva para a perceção da razão do aumento do nível térmico da utilização dos pistões e restantes componentes (Figura 3-136).

NAME	METHOD	UNIT	SPECS		RESUL
			Min	Max	
Density at 15 °C	EN ISO 12185	kg/m <sup>3</sup>	820.0	845.0	843.8
Water Karl Fischer	EN ISO 12937	mass %		0.020	0.015
Flash point (PM) procedure A	EN ISO 2719	°C	>55		<40.0
Contamination	EN 12662	mg/kg			<12.0
Distillation	EN ISO 3405				
Recovered at 250 °C		vol %		<65	27.8
Recovered at 350 °C		vol %	85		92.6
95% Recovered		°C		360.0	356.4

Figura 3-136 – Análise efetuada ao gasóleo.

A temperatura de *flash point* do combustível define-se como aquela à qual se produz naturalmente uma mistura estequiométrica do vapor com o ar, que facilmente entra em ignição quando uma fonte exterior entra em contato, por exemplo uma faísca. O gasóleo tem temperaturas de *flash point* superiores a 55 °C, e a análise efetuada mostrou temperaturas inferiores a 40 °C. Este resultado indica que gasolina, ou outro combustível com baixo *flash point*, foi introduzido no depósito de gasóleo, o que levou aos danos causados.

A combustão de gasolina em motores Diesel é difícil, mas pode acontecer se o motor já estiver quente. Quando a gasolina entra em ignição já há muito combustível dentro da câmara, que queima em bloco, produzindo uma explosão descontrolada, com elevadíssimas

pressões e temperaturas, que pode fundir os elementos de alumínio (pistões e paredes da câmara), num fenómeno semelhante ao *knock*. Com o aumento da pressão, de forma muito elevada, a temperatura sofre também um aumento muito elevado, pondo em risco os materiais, em particular os pistões, que fundirão a sua coroa, tal como neste caso. Também neste caso os danos estenderam-se à culassa, que derreteu e furou, assim como as válvulas, em concreto as de escape, pelo aumento elevado da temperatura dos gases de escape, Figura 3-137.

As elevadíssimas temperaturas, que ultrapassam os limites metalúrgicos para os pistões e câmara de combustão (que é em alumínio, pelo que tem uma temperatura de fusão pouco superior aos 600°C), fizeram com que estes componentes fundissem e todas as restantes partes da cabeça, tais como válvulas de escape, sofressem com este fenómeno.



Figura 3-137 – Danos verificados na culassa e válvulas.

#### 3.1.8.6. Suzuki Swift com problemas no sistema de injeção

Nos motores Diesel os sistemas de injeção têm vindo a aumentar a pressão de injeção desde menos de 200 bar para mais de 2500 bar, o que em caso de falhas leva problemas e danos no motor. Por exemplo a Bosch desenvolveu injetores para sistemas “*common rail*” de 1ª geração com 1350 bar de pressão, 2ª geração com 1600 bar, e de 3ª geração acima dos 2000 bar. Outros como a Denso ou Delphi possuem pressões também desta ordem de grandeza. As falhas na injeção podem levar a variadíssimos danos, uns mais leves do que outros. Excessivo consumo, prestações baixas, entre os mais ligeiros, e danos de destruição de componentes do motor, em circunstâncias mais graves. Este aumento das pressões de trabalho de injeção para mais de 10 vezes criou aos materiais uma exigência maior. Os injetores atuais funcionam a pressões elevadíssimas (2500 bar) de forma a pulverizar o gasóleo e injetá-lo na câmara de combustão através de orifícios da ordem das milésimas de milímetro.

Quando o bico de um injetor parte, a elevadíssima pressão produz um jato de gasóleo que desfaz qualquer superfície onde bata, nomeadamente o topo do pistão desse cilindro. Verificou-se esta situação num SUZUKI SWIFT 1.3 DDIS de 2008, Figura 3-138.



Figura 3-138 - Suzuki Swift 1.3 DDIS de 2008.

O motor tinha dificuldade em pegar, falhava, tinha um ralenti muito irregular e apresentava falta de potência, dando a ideia de estar a trabalhar em 3 cilindros. Fez-se um teste de compressão, e confirmou-se falta de compressão no cilindro #2 (Figura 3-139).



Figura 3-139 – Resultado de teste de compressão.

Desmontaram-se os injetores verificando-se que o do cilindro 2 tinha danos, Figura 3-140, com a extremidade ou bico partida, residindo nisto o problema do motor.



Figura 3-140 – Danos no injetor do cilindro #2.

A falta de compressão do motor resultou da destruição do pistão do cilindro 2, que foi destruído pelo facto do bico do injetor ter partido e ter provocado um jato forte de gasóleo a pressões elevadíssimas, furando-o.

#### 3.1.8.7. Ford Transit Conect com pistão furado

Quando estamos perante um caso de pistões furados devemos em primeira instância ver a injeção, que tal como no caso anterior pode levar a que furem os pistões. Simultaneamente devemos verificar a de *Knock* que também leva a que possam furar pistões. No caso de *Knock*, como vimos em casos anteriores haverá danos para além dos existentes nos pistões, como válvulas e culassa. E nos pistões normalmente acontece em mais do que um. O caso deste Ford (Figura 3-141) apresentava evidências da existência de óleo na camara de combustão em dois cilindros, cilindro #1 e cilindro #4, tendo ocorrido a fissura do pistão do cilindro #2. Curiosamente ou não, o cil#2 não apresentava evidências de óleo (Figura 3-142), e a fissura estendia-se desde o centro da cabeça até uma das bordas, Figura 3-143.



Figura 3-141 - Veículo Ford avariado.

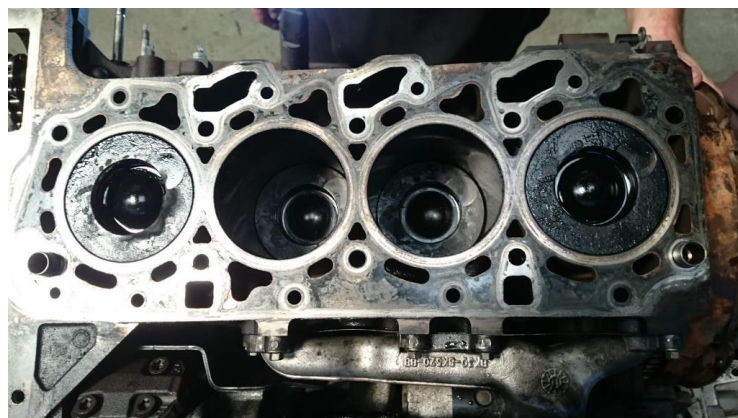


Figura 3-142 - Figura 3-135 – Bloco com pistão do cil#2 furado e óleo no cilindros #1 e #4.



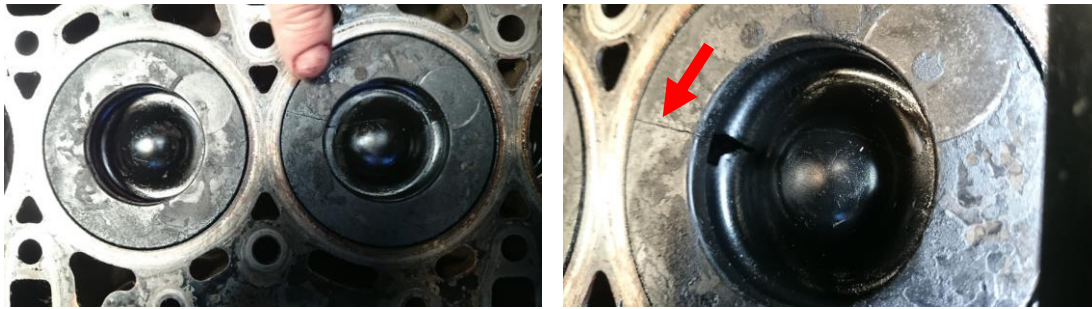


Figura 3-143 - Fissura no cilindro #2.

Existem variadíssimas possibilidades de criar uma cronologia de dano com base nestas evidências, óleo nos pistões, pistão com fissura na cabeça e furado na base da camara de combustão: Iremos apresentar três possibilidades e as razões por que se descartarão duas delas para se ficar com uma, como a causa mais provável:

1 – Problema no injetor do cil#2 leva à fratura do pistão na zona da cabeça aonde o leque de injeção incide. Neste caso a injeção e a compressão do motor passava para o cárter e o óleo iria aparecer principalmente neste cilindro, não foi o caso.

2 – Óleo do turbo passa para a admissão e pelo *intercooler* criando um *runaway* com aceleração elevada das válvulas que batem nos pistões e partem um deles, cilindro #2. Neste caso parece ter havido *runway* mas só no cilindro #2 e cilindro #3 o que não é coerente com o fenómeno que a acontecer seria transversal a todos os outros cilindros. Descarta-se também esta hipótese.

3 – Sobre regime por um qualquer motivo, pois veem-se marcas das válvulas de escape, Figura 3-144.



Figura 3-144 – Marcas nas cabeças dos pistões das válvulas de escape

Em todos os pistões existem marcas de batimento das válvulas de escape, e poderia o pistão do cil#1 ter sido partido pelo batimento das válvulas, mas parece pouco provável pois não havia sinais nas válvulas de pancadas suficientemente relevantes para essa ocorrência e

ainda o que normalmente acontece é que as válvulas empenam ou partem também e os danos seriam outros. Como tal descartamos esta hipótese também.

#### 4 – Dano no pistão do cil#2 por fadiga e/defeito

Esta hipótese advém do facto da fissura não parecer ter ocorrido de forma frágil (de uma só vez) mas sim ao longo do tempo. Este pistão poderia ter um problema de fabrico que com o bater das válvulas foi acentuando essa situação. Essa fissura não era suficiente para que o óleo passasse para a camara de combustão até ao momento em que a fenda se estende a todo o diâmetro do pistão e aí o óleo veio para a camara de combustão e criando um fenómeno de *runway* mas muito subtil ou parado a tempo. Esta é a causa mais provável para a ocorrência.

### 3.2 Danos em grandes motores de cogeração ou motores estacionários

Estes motores de cogeração são imóveis e usa-se a palavra “estacionário” que tem aplicação mais no seu regime de funcionamento do que no tipo de instalação. Normalmente são motores de grande a muito grande tamanho e que produzem centenas de kW ou centenas de MW, como vimos no cap.2.

#### 3.2.1 Cummins Wartsila

Um motor de cogeração, Cummins Wartsila, V12 de 2203 kW às 1500 rpm (Figura 3-145) gripou no arranque após uma ação de manutenção.

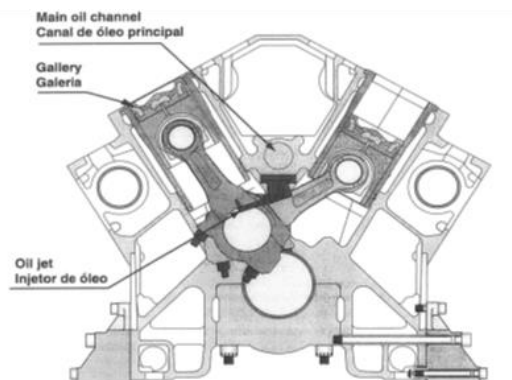


Figura 3-145 - Foto do motor (à esquerda) e da secção transversal de dois cilindros do motor Cummins Wartsila (à direita).

Este motor designado por V12, tem 12 cilindros com geometria em V (Figura 3-146) e que nesta disposição (V12) e de acordo com a normativa ISO1204 e DIN 6265, tem 6 cilindros de A1 até A6, do lado do comando, e B1 até B6 do lado livre.

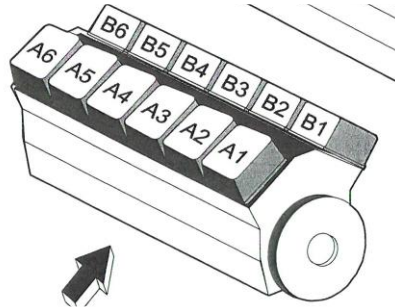


Figura 3-146 - Arquitetura de um motor em "V".

Numa ação preventiva de manutenção às 62 000 h para substituir e verificar uma série de componentes de acordo com o plano de manutenção. Basicamente o motor foi reparado substituindo as capas de apoio e biela (Figura 3-147), e outros componentes de menor relevo. O motor após esta revisão ao reiniciar a marcha gripou as capas de biela. Havia várias possibilidades como causas de avaria nomeadamente que não tivessem sido seguidos todos os procedimentos no considerado estado da arte na realização dos trabalhos referentes à manutenção dos motores. Foi necessário verificar se os sinais de *fretting* nas costas das capas de biela e nas bielas pudesse ser a causa da avaria pois eram bem evidentes e presentes em várias bielas. Assim existiam algumas evidências a reter:

1. As bielas das manivelas do cilindro A6 e do cilindro B6 tinham *fretting* nas suas zonas mais críticas de funcionamento.

2. De acordo com evidências de *fretting*, e com base no manual do Fabricante que recomendava a substituição das bielas a cada 12 000 horas, a sua não substituição poderia estar na génese da avaria. O fenómeno de "*fretting*" existente poderia ter desenvolvido microfissuras internas na zona de assentamento das capas das chumaceiras dos moentes com consequente perda de propriedades mecânicas do material. Esta hipótese pressupunha que em funcionamento as bielas alterassem a sua geometria na zona de assentamento das costas das capas, área considerada a mais crítica de impacto nas bielas. Levava ainda em linha de conta que a ocorrência de desagregação e fusão de material nas costas das capas dos bronzes, modificando também a sua geometria. Estes fenómenos somados diminuiriam a folga entre o

bronze e o moente de biela, indo até ao limite de perder a película de óleo com a consequente diminuição ou falta de óleo de lubrificação das partes, bronze e moente com aquecimento elevado e fusão dos metais em contacto dando-se a fatal gripagem. O Fabricante diz que estas áreas de não assentamento não devem ser superiores a 20% da área total.

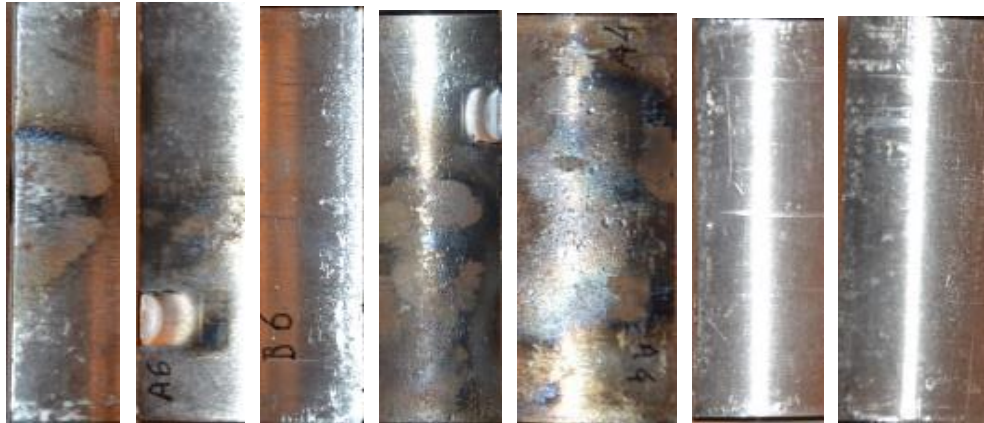


Figura 3-147 - Capas ou bronzes de biela retirados aquando da manutenção.

Definiu-se uma estratégia de análise de forma que se pudesse confirmar ou descartar este fenómeno do *fretting* como a causa principal da avaria. O *fretting* como se viu é um fenómeno de desgaste progressivo pelo que não aconteceria em capas de biela que “rodaram” apenas cerca de 2 minutos. Verificou-se que as capas mostradas na primeira análise eram as retirados do motor aquando da revisão e não as que “rodaram” 2 minutos. Assim se percebeu melhor a situação e coerência da mesma, não era possível capas com 2 minutos ter sinais de *fretting*. No entanto a existência dele nas primeiras capas que tinham 12000 horas de trabalho poderiam mesmo assim evidenciar problemas nas bielas, Figura 3-148.



Figura 3-148 - Sinais de fretting nas cabeças das bielas, setas a branco

O passo seguinte foi verificar as bielas, nomeadamente a sua ovalização. Esta a existir e haviam alguns sinais de abrasão nas costas das novas capas mudadas na revisão, que eram compatíveis com roçamento no alojamento da biela por eventual ajustamento deficiente ou ainda com acumulação de partículas duras (*build ups*). Havia ainda pontos de aquecimento localizado (*hot points*), Figura 3-149, que pudessem fazer com o assentamento dos bronzes novos pudesse ser afetado e assim a causa da avaria e gripagem após 2 minutos de trabalho.

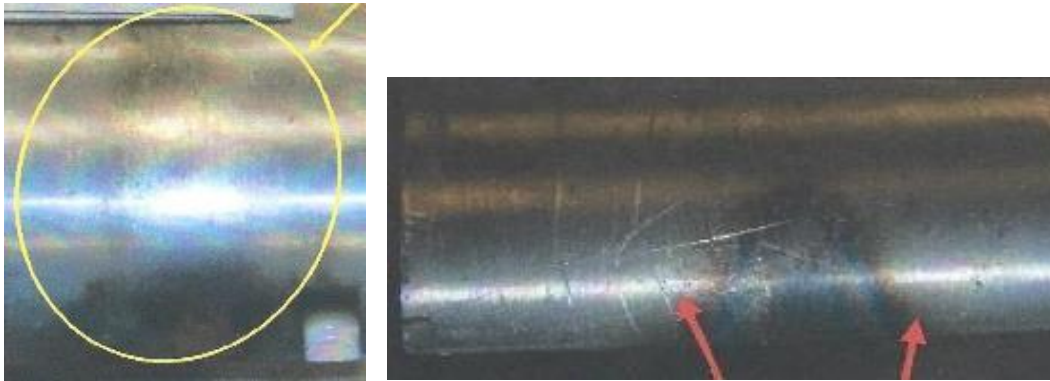


Figura 3-149 – Sinais de partículas duras, foto à esquerda e aquecimento localizado, foto à direita, setas a vermelho

Decidiu-se efetuarem-se medições e utilizou-se o centro tecnológico CATIM que corroborou as medições manuais que se efetuaram com um micrómetro de precisão 0,01 mm (Figura 3-150).



Figura 3-150 - Medição com micrómetro (precisão: 0,01 mm) de diâmetros interiores de uma cabeça de tirante, e de acordo com a Tabela fornecida pelo Fabricante.

Ficou comprovado que não existia ovalização relevante das bielas e que sendo sensato efetuar-se a sua substituição pela recomendação do Fabricante do ponto de vista dimensional

ser reutilizadas a sua reutilização não foi a causa da avaria e gripagem. Assim restariam como hipótese o entupimento dos canais de lubrificação, mas que era altamente improvável pois o motor só arranca depois da pressão de óleo ser atingida na pré-lubrificação. A lubrificação da cabeça das bielas é feita pelo óleo que sai de dois furos de cada moente da cambota não sendo também provável que um dos furos, e não os dois, pudessem estar obstruídos. Por exemplo as chumaceiras gripadas (A6 e A4) são adjacentes às chumaceiras não gripadas. O objetivo da investigação era aferir se a causa da gripagem teria sido o *fretting* nas bielas que causaria ovalização daquelas e assim alteração da geometria da chumaceira assim como alteração (diminuição) da película de óleo lubrificante. Ora o *fretting* foi cabalmente descartado pela inexistência de co-relação com a gripagem e pela não ovalização suspeitada das bielas.

### 3.2.2 Jenbacher

O motor seguinte analisado foi um *Jenbacher* de cogeração a gás natural. Este motor em 2014, na altura da avaria era ainda uma novidade neste tipo de motores estacionários, com duplo turbocompressor, 24 cilindros e uma potência nominal de 4491 kW (Figura 3-151).

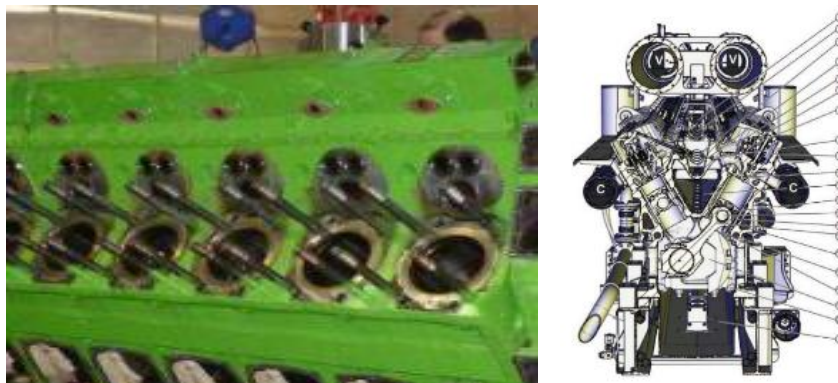


Figura 3-151 - Foto do motor (à esquerda) e da secção transversal de dois cilindros do motor Jenbacher (à direita).

Numa reflexão sobre o combustível utilizado, o gás natural, pode dizer-se que tem uma velocidade de propagação de chama significativamente inferior à gasolina o que implica um aumento do avanço à ignição podendo haver problemas com a duração da combustão nomeadamente a elevadas rotações. A energia necessária para o início da combustão é também superior à da gasolina em cerca de 1/3 obrigando a bons sistemas de ignição normalmente com 0,33 mJ. Além deste reforço do sistema de ignição relativamente aos

motores a gasolina é necessário o endurecimento das sedes das válvulas pois este combustível (gás natural – GN) e na generalidade dos combustíveis gasosos não criam depósitos entre as superfícies das válvulas e as sedes. Estes depósitos promovem a “lubrificidade” garantindo pouco desgaste e são designados estes combustíveis por “secos”. As válvulas com este tipo de combustíveis podem sofrer um elevado desgaste nomeadamente as suas sedes provavelmente porque a elevadas pressões durante a combustão a cabeça das válvulas encurva originando o contacto válvula-sede. Sem os depósitos mencionados atrás poderá haver um desgaste prematuro. Estes motores permitem uma série de vantagens, nomeadamente rendimento mais elevado pelas maiores taxas de compressão, melhor combustão comparativamente aos de gasolina ou ainda os de queima pobre e extra-pobre do nível dos Diesel. Têm ainda como vantagem a inexistência de emissões evaporativas, baixa reatividade fotoquímica (produção de ozono) dos gases de escape e também baixas emissões a baixas temperaturas e arranques a frio. O motor analisado numa ação de manutenção à 11 000 horas após o arranque do motor (2 minutos após) parou de emergência com vários danos particularmente no cilindro#15.

Os danos presentes estavam particularmente evidentes no cilindro#15 em vários componentes:

- Bronzes de biela gripados (Figura 3-152);
- Biela gripada e pistão partido (Figura 3-153);
- Culassa com válvulas partidas (Figura 3-154);
- Válvula de admissão partida (Figura 3-155);
- Camisa do cilindro fissurada (Figura 3-156);
- Cambota gripada nos moentes da biela 15 (mesmo moente da biela do cilindro#3) (Figura 3-157).



Figura 3-152 - Bronzes e biela gripados.



Figura 3-153 - Biela gripada (à esquerda) e pistão partido (à direita).

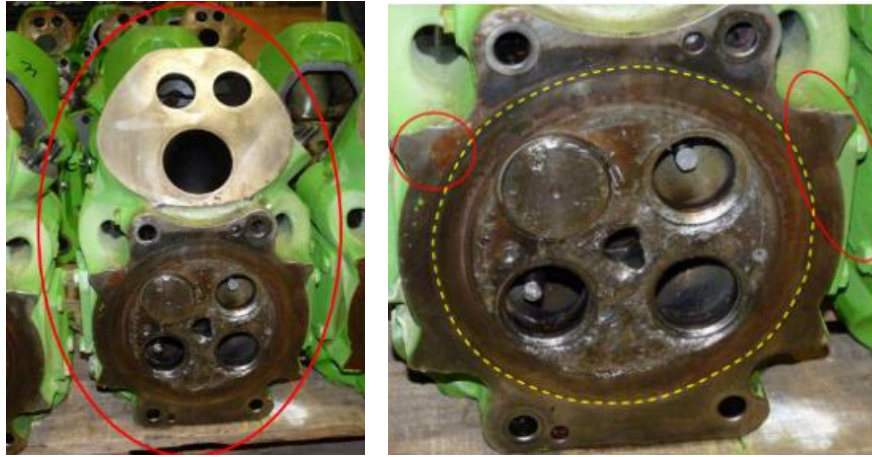


Figura 3-154 - Danos nas válvulas e culassa.



Figura 3-155 - Pormenor da válvula de admissão partida.





Figura 3-156 - Fissuras na camisa do cilindro.

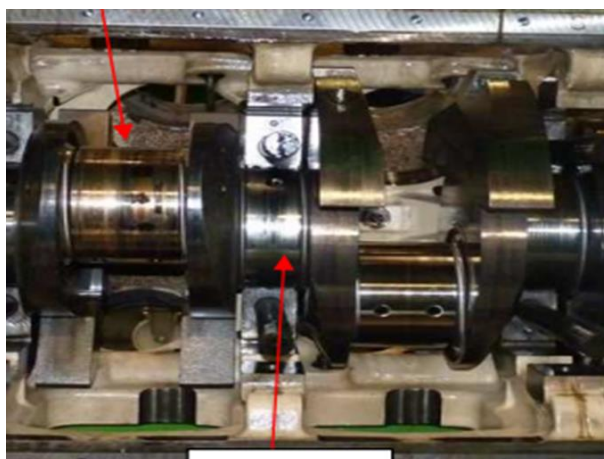


Figura 3-157 - Gripagem da cambota (moentes da biela 15).

No cilindro#3 os danos eram mais leves:

- Bronzes da biela gripados (Figura 3-158);
- Biela nº 3 gripada (Figura 3-159);
- Moente da cambota gripado (Figura 3-160).



Figura 3-158 - Bronzes da biela nº3 gripados.



Figura 3-159 - Biela nº 3 gripada.



Figura 3-160 - Moente da cambota gripado, seta a vermelho

Na cronologia do dano após o arranque e passados precisamente 2.57 minutos estando o motor a 10% da sua potência nominal acontece a paragem abrupta, com alarme de “baixa pressão de água de arrefecimento” (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).

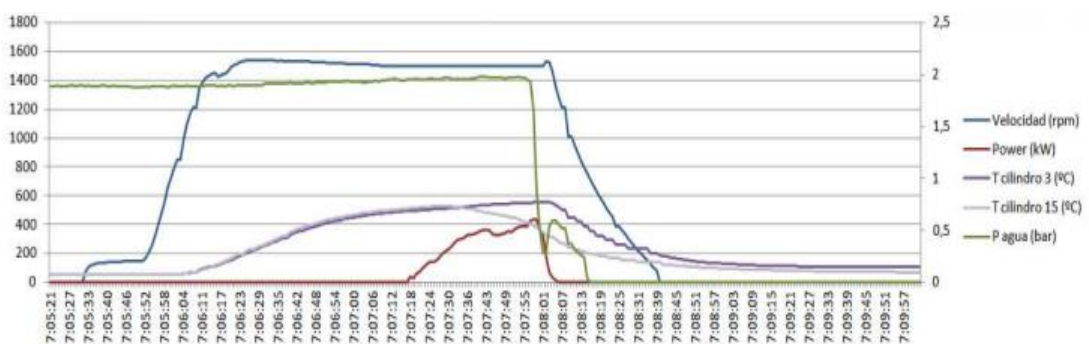


Figura 3-161 - Monitorização eletrónica do motor, Velocidade, Potência, Temperatura, Pressão da água.

Na monitorização dos parâmetros do motor, **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** ,apurou-se que a pressão da água de arrefecimento estava à volta dos 2,11 bar, caindo para 1,89 bar quando o motor começou a rodar, recuperando a pressão para 1,95 bar. As temperaturas de cada cilindro estavam entre o valor mínimo de 480 °C no cilindro #11 e o

valor máximo de 559 °C no cilindro 22. O cilindro #15 apresentava uma temperatura de 529,1 °C assim como no cilindro#3 contíguo estava a 509,6 °C. Entretanto a pressão da água de arrefecimento começou a baixar de 1,95 bar para 0,86 bar e posteriormente para 0,29 bar. Em simultâneo a temperatura no cilindro#15 também começou a baixar, primeiro para 415,1 °C e baixando de seguida. A monitorização mostra ainda 2 evidências importantes no cilindro#3 que é contíguo ao 15, a temperatura manteve-se nos 550 °C e os valores gerais da pressão de lubrificação nos valores corretos de 4,26 bar e temperatura de 61,5 °C. A temperatura da água de arrefecimento manteve-se nos valores corretos de 63,5 °C.

A maior probabilidade de dinâmica de dano assentava no facto de a válvula de admissão do cilindro#15 ter ficado presa na guia da haste e o pistão#15 embateu-lhe partindo-a e soltando a sua cabeça. Os pedaços da válvula partida encravaram as restantes válvulas. Os bocados destruíram também a pré camara. As fortes pancadas provenientes das sucessivas batidas do pistão nos bocados das válvulas na camara de combustão deterioraram os bronzes pelo esforço criado nesse cilindro. Estes esforços criaram a dilatação do pistão e implicaram um esforço e cargas radiais sobre a camisa que fissurou, levado ao abaixamento da pressão da água de arrefecimento e à mistura de óleo na água.

### **3.3 Ferramentas para análise de danos**

As várias ferramentas existentes permitem avaliar ou de forma genérica o estado de um veículo ou então de forma mais específica o estado de um componente ou sistema.

#### **3.3.1 Avaliações gerais**

Em termos gerais o comum é fazer uma verificação aos níveis do veículo, óleo do motor, óleo de travões, água de arrefecimento e óleo de direção nos veículos com direção hidráulica. Esta análise permite de forma visual e auditiva verificar eventuais fugas de óleo, água, combustível, ou até ruídos anormais que possam ser indiciadores de problemas ou de potenciais avarias no futuro. Estas análises ou avaliações podem e devem ser feitas pelos Condutores, sendo que nas oficinas são feitas como forma de venda de produtos numa perspetiva comercial.

### 3.3.2 Análises laboratoriais ao óleo e ao combustível

As análises aos lubrificantes e combustíveis não sendo uma avaria ou dano, são uma ferramenta importante na manutenção automóvel e ainda para determinar as causas de avarias ou danos. É sempre recomendado e necessário o conhecimento da ficha técnica do lubrificante e/ou combustível recomendado pelo Construtor e a análise permite a comparação com os valores daquele. Elas permitem perceber o funcionamento deficiente por exemplo dos FAP evidenciado na adição de gasóleo no óleo com valores acima dos 20%, permitem ainda no caso de gripagens das capas de biela e/ou apoio, verificar a maior ou menor presença significativa de chumbo, estanho e cobre, e ainda o teor de água no óleo indicadores de problemas de radiadores de arrefecimento do óleo do motor ou problemas de junta de culassa e/ou bloco ou ainda camisas do motor com problemas. Existem vários tipos de análises e este trabalho não tem como objetivo verificar cada uma delas, mas sim a importância que elas têm na prevenção, previsão ou conhecimento das causas das avarias e danos. Alguns exemplos expressam-se nestes testes:

- Análise Elementar ICP (ppm) (Al, Ba, Pb, B, Cr, Fe, K, Ca, Mg, Cu, Mo, Ca, Ni, P, S, Si, Zn, Ti);
- Índice PQ;
- Viscosidade (40 ° e 100 °C);
- Número de Basicidade Total (TBN);
- Concentração de combustível (%).

No Apêndice.1 colocam-se os elementos presentes num óleo e a sua origem ou proveniência que ajuda em muitos casos a perceber aonde existem os problemas, nomeadamente o desgaste e as anomalias nos sistemas de combustível e de arrefecimento.

Na tabela do Apêndice.2 apresentam-se ainda análises comparativas demonstrando os intervalos ótimos em comparação com as amostras analisadas, em ligeiros, (Apêndice.2A) e pesados (Apêndice.2B). No entanto sempre que possível é necessário efetuar uma análise a uma amostra de óleo novo para comparar com a usada.

Vejam-se alguns exemplos:

### 3.3.2.1. Diluição do Óleo

Um caso típico de diluição do óleo por problemas na injeção cujos resultados se apresentam no Apêndice.3 com a presença de combustível acima de 20% e 5,7% de biodiesel.

Esta análise permitiu verificar que o lubrificante apresentava um abaixamento elevado da sua viscosidade que deveria apresentar valores a 100°C de 14,65 mm<sup>2</sup>/s e evidenciava 4,138 mm<sup>2</sup>/s (Figura 3-162). Esta viscosidade foi alterada pela presença significativa de combustível com um valor acima de 20%, também evidenciada na análise.



Figura 3-162 - Viscosidade a 100 °C medida á esquerda (4,138) e valor referência á direita (14,65).

Mas há uma outra característica evidenciada na análise ao óleo, que é o elevado teor de biodiesel, mostrando que o veículo usava uma mistura de gasóleo com biodiesel, provavelmente acima dos 20 ou 30%. O gasóleo é um combustível que antigamente incorporava uma elevada concentração de enxofre, o que originava gases de escape com elevados teores de óxidos de enxofre o que ocasionava as chamadas "chuvas ácidas", pois esse dióxido de enxofre misturava-se com a água da chuva originando ácido sulfúrico. Para que tal não acontecesse (e por outras razões tecnológicas relacionadas com o funcionamento dos catalisadores) o enxofre foi retirado do gasóleo, mas com isso ele perdeu as propriedades lubrificantes que tinha. Assim foi necessário arranjar-se um aditivo lubrificante, que foi o biodiesel. Como tal os gasóleos dessulfurizados (sem enxofre) tinham cerca de 2% de biodiesel. Entretanto houve a necessidade de aumentar a incorporação "bio" nos combustíveis, pelo que a incorporação de biodiesel subiu para os atuais 5 a 7% e prevê-se o seu significativo aumento nos próximos anos.

Há algumas histórias e relatos de problemas relacionados com o uso de biodiesel em motores, nomeadamente com bombas de injeção que se estragam e/ou gripam. Este problema não advém da falta de lubrificidade (o biodiesel é muitíssimo melhor que o gasóleo neste aspeto) mas sim da qualidade de fabrico do biodiesel. Ou seja, o biodiesel puro é um muito bom combustível (melhor que o gasóleo) mas os métodos de produção "artesanais" é que poderão originar um produto que danifique as bombas de injeção dos motores. Mas a imagem que muitas das vezes fica é que o biodiesel é que é um mau combustível, erradamente.

Neste caso e pela análise permitia-se ver que existia um problema no sistema de injeção e o veículo apresentava outros sintomas associados a problemas na regeneração do FAP em que o gasóleo escorria para o cárter.

### 3.3.2.2. Óleos de diferentes especificações

As análises permitem-nos verificar nalgumas situações se as especificações dos lubrificantes que são recomendados pelos Construtores estão a ser utilizados. Este é um caso em que claramente se verifica que se trata de óleos diferentes. A grandeza que nos permitiu comprovar isso esmo foi a viscosidade, visto que da amostra nova para uma usada o valor subiu. Ora um aumento de viscosidade é impossível acontecer, a viscosidade de um óleo usado baixa comparativamente ao óleo novo, por várias razões e também por efeito da diluição com combustível. Há ainda neste caso o facto de o teor de enxofre ser muito diferente e maior do que a amostra nova, o que sendo um aditivo do óleo, de novo para usado baixa sempre. Poderia haver por via da diluição por gasóleo e este conter um teor de enxofre elevado, subir, mas nunca proporcionalmente tanto.

A análise efetuada (Figura 3-163) permitiu verificar que as especificações dos óleos são diferentes sendo uma especificação de um óleo 0W20 (amostra Novo) e a outra uma de 0W30 (amostra usada - 1).

Amostra nº:	Novo	1
Data amostra:	jun/19	ma/19
Análise nº:	47/19	48/19
Horas Máquina:	0	n.d.
Horas Óleo:	0	n.d.
Substituição do Óleo	-	n.d.
Atestos:	-	n.d.
<b>FERROGRAFIA</b>		
Desgaste normal	-	-
Desgaste severo	-	-
Desgaste de fadiga	-	-
Desgaste de abrasão	-	-
Partículas carbonosas	-	-
Partículas esféricas	-	-
Partículas não ferrosas	-	-
Polímeros de atrito	-	-
Óxidos de ferro	-	-
Minerais/Orgânicos	-	-
<b>ÍNDICE PQ</b>		
	< 25	< 25
<b>ELEMENTOS ICP (ppm)</b>		
<b>Desgaste</b>		
Ferro (Fe)	0	26
Crómio (Cr)	0	2
Estanho (Sn)	0	0
Alumínio (Al)	0	12
Níquel (Ni)	0	0
Cobre (Cu)	0	5
Chumbo (Pb)	0	0
<b>Contaminantes</b>		
Silica (Si)	8	15
Potássio (K)	4	32
Sódio (Na)	1	1
<b>Aditivos</b>		
Cálcio (Ca)	1450	1218
Magnésio (Mg)	11	4
Boro (B)	208	3
Zinco (Zn)	760	670
Fósforo (P)	654	566
Molibdénio (Mo)	455	5
Enxofre (S)	1973	2394
<b>TBN</b>		
(mg KOH/g)	6.95	3.46
<b>TEOR DE COMBUSTÍVEL</b>		
(% v/v)	-	3.6
<b>TEOR DE ÁGUA</b>		
(% v/v)	< 0.10	< 0.10
<b>VISC. CINEMÁTICA</b>		
(cSt@40°C):	31.25	56.23
(cSt@100°C):	7.94	10.40
<b>DENSIDADE</b>		
(g/cm3@15°C):	0.8407	0.8494

Figura 3-163 - Resultado de análise ao óleo.

### 3.3.2.3. Análise a óleo de motor com gripagem de bronzes

Neste veículo houve uma forte gripagem dos bronzes de biela, e a análise evidenciava claramente isso mesmo com valores dos elementos ICP (Figura 3-164), cobre e estanho bastante elevados.

CLIENTE: Processo BMW \		
MORADA:		
DATA: 25/06/2019		
<b>IDENTIFICAÇÃO</b>		
Amostra nº:	Novo	1
Data amostra:	jun/19	mai/19
Análise nº:	45/19	46/19
Horas Máquina:	0	n.d.
Horas Óleo:	0	n.d.
Substituição do Óleo:	-	n.d.
Atestos:	-	n.d.
<b>FERROGRAFIA</b>		
Desgaste normal	-	F
Desgaste severo	-	M
Desgaste de fadiga	-	M
Desgaste de abrasão	-	f
Desgaste de adesão	-	M
Partículas esféricas	-	-
Partículas não ferrosas	-	F
Polímeros de atrito	-	F
Óxidos de ferro	-	M
Minerais/Orgânicos	-	M
<b>ÍNDICE PQ</b>		
	< 25	< 25
<b>ELEMENTOS ICP (ppm)</b>		
<i>Desgaste</i>		
Ferro (Fe)	0	17
Crômio (Cr)	0	0
Estanho (Sn)	0	0
Alumínio (Al)	0	1
Níquel (Ni)	0	0
Cobre (Cu)	0	81
Chumbo (Pb)	0	94
<i>Contaminantes</i>		
Silica (Si)	7	10
Potássio (K)	0	2
Sódio (Na)	0	13
<i>Aditivos</i>		
Cálcio (Ca)	2096	2397
Magnésio (Mg)	8	9
Boro (B)	1	62
Zinco (Zn)	1043	1477
Fósforo (P)	901	1423
Molibdênio (Mo)	27	39
Enxofre (S)	3280	5252
<b>TBN</b>		
(mg KOH/g)	7.42	9.05
<b>TEOR DE COMBUSTIVEL</b>		
(% v/v)	-	4.3
<b>TEOR DE ÁGUA</b>		
(% v/v)	< 0.10	< 0.10
<b>VISC. CINEMÁTICA</b>		
(cSt@40°C):	169.91	71.77
(cSt@100°C):	24.94	12.12
<b>ÍNDICE de VISC. (VI)</b>		
	179	168
<b>DENSIDADE</b>		
(g/cm3@15°C):	0.8581	0.8793

Figura 3-164 - Análise ao óleo de gripagem

Os aditivos nos lubrificantes devem diminuir de uma amostra nova para uma amostra usada, consumindo-se com o passar dos quilómetros. Neste caso desta análise há uma subida estranha, que indicia com forte probabilidade que as especificações entre a amostra nova e usada eram diferentes, tratando-se assim de óleos diferentes. Também tal como no caso anterior a viscosidade diminuiu de uma amostra para outra para valores que são metade da amostra nova e que nos coloca as mesmas reservas quanto à especificações serem iguais. Com forte probabilidade o veículo utilizava um óleo diferente do recomendado pelo Construtor

que deveria ser um 10W60, cujas características de viscosidade se apresentam na Figura 3-165.

<b>Características Típicas</b>			
Nombre	Método	Unidades	Castrol EDGE 10W-60
Densidad Relativa, @ 15°C	ASTM D4052	g/ml	0.853
Viscosidad Cinemática, 100°C	ASTM D445	mm <sup>2</sup> /s	22.7
Viscosidad, CCS -25°C (10W)	ASTM D5293	mPa.s (cP)	4879
Viscosidad Cinemática, 40°C	ASTM D445	mm <sup>2</sup> /s	160
Índice de Viscosidad	ASTM D2270	None	173
Punto de Fluidez	ASTM D97	°C	-39
Punto de Inflamación, PMCC	ASTM D93	°C	203
Cenizas Sulfatadas	ASTM D874	% wt	1.29

**Especificaciones**  
 ACEA A3/B3, A3/B4  
 API SN/CF  
 Approved for BMW M-Models  
 Koenigsegg Approved  
 VW 501 01/ 505 00

Figura 3-165 - Óleo 10W60 Castrol EDGE, amostra nova.

#### 3.3.2.4. Análise ao combustível

A importância das análises ao combustível revelou-se fundamental à deteção das causas dos danos num caso em que o motor do veículo tinha fundido os pistões e furado as válvulas. A análise ao combustível mostrou uma adição de gasolina evidenciada com uma baixa temperatura de *flash point* que ajudou a explicar o sucedido. O gasóleo tem uma temperatura de *flash point* superior a 50 °C, e na análise (Apêndice.4) apuraram-se valores inferiores a 40 °C claramente gasolina ou outro líquido inflamável. Uma análise mais empírica, o olfato, mostrou que era efetivamente gasolina.

#### 3.3.2.5. Análise *on line* do óleo

Nos motores de elevadas potências estacionários como os que se viram anteriormente é habitual utilizarem-se as análises de forma periódica, mensais como forma de monitorizar o desgaste do motor e a deterioração do lubrificante, para melhorar a manutenção e evitar avarias que possam danificar o motor parando-o e sujeitando-o a tempos de reparação e custos elevados. No Apêndice.5 apresentam-se os valores da amostra e os intervalos ótimos.

Estas análises periódicas num dos casos analisados permitiram evidenciar um aumento do teor do sódio para quase 4 vezes o valor máximo admissível (análise de 16/6/2014) o que indicava problemas no sistema de arrefecimento do motor. O sódio é um aditivo do líquido de arrefecimento do motor e esta evidencia conjugada com abaixamentos sistemáticos da



pressão da água de arrefecimento apelavam à manutenção para verificar todo o circuito de arrefecimento na probabilidade de existir uma fuga. Esta evidência e a análise efetuada feita permitiram antecipar problemas que seriam bastante onerosos para o equipamento.

#### **3.3.2.6. Análises aos injetores**

O sistema de combustível é um dos sistemas que quando funcionam de forma deficiente implicam danos que podem resultar em elevados custos de reparação. Para além disso o funcionamento anómalo resulta ou em baixas prestações ou elevado consumo e assim a avaliação do seu funcionamento resulta importante e deve ser periódica. Normalmente os testes que se fazem são ao nível da estanquicidade e a determinação do caudal de retorno. Na maior parte destes casos esses testes e análises são feitos após uma descarbonização dos injetores o que leva a que os resultados sejam alterados já por esta operação pois os injetores em funcionamento podem por via dessa carbonização ter um funcionamento já anómalo, pelo que nesta área é ainda necessário melhorar as medidas de teste e diagnóstico a utilizar. Coloca-se no Apêndice.6 um exemplo de um relatório de um desses testes.

#### **3.3.3 Leitura de erros do controlador por OBD e deteção de reprogramação eletrónica.**

O sistema “*On Board Diagnostics*” OBD existe nos automóveis desde a década de 80 com a designação OBD I que evoluiu para a solução OBD II, introduzido em 1996 nos EUA que usa uma ficha de 16 ligadores (“*pins*”) com uma interface comum a todas as marcas (*Diagnostic Link Connetor*” – DLC e serve para fornecer alertas de eventuais problemas que possam existir no veículo.

Sempre que há um problema o OBD deteta-o, acende uma luz avisadora de mau funcionamento do motor e grava a avaria ocorrida na sua memória. O OBD não é o controlador do motor (UCE). Este sistema monitoriza o funcionamento de componentes e subsistemas, analisa o funcionamento do motor e guarda todas as informações.

Os veículos atualmente têm uma ficha atrás descrita, Figura 3-166, DLC que possui 16 ligadores, em que 7 são ligadores padrão de interface e os outros 9 podem ainda fornecer mais dados.

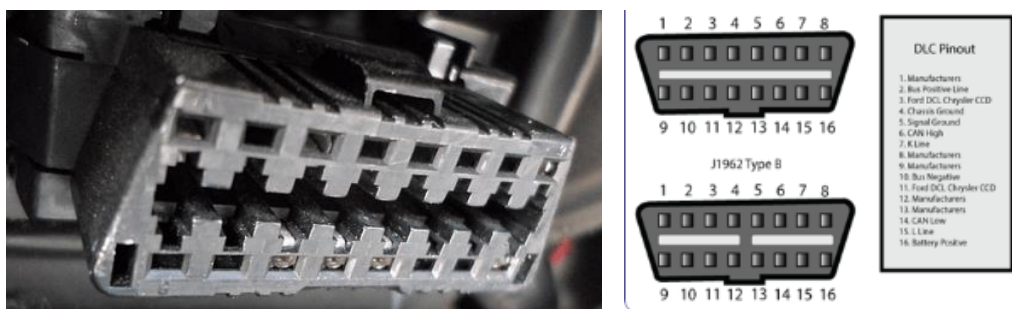


Figura 3-166 - Ficha OBD (DLC) e respetivo pinout.

A leitura de erros memorizados no controlador do motor através da ficha OBD permite detetar avarias assim como verificar o histórico de manutenção da viatura, e também nalguns casos descobrir alterações a componentes ou aos quilómetros dos veículos, como se verá nalguns casos.

### 3.3.3.1. Série 3 da BMW 320d

Este modelo analisado, Figura 3-167, evidenciou após a leitura da memória de erros com equipamento oficial uma série de alterações e vícios. Desde logo a alteração do número de quilómetros.



Figura 3-167 - BMW 320d.

O veículo teve uma diminuição de 65 000 km e obteve-se esta informação pelo histórico de manutenção, no caso da BMW chama-se de “Leitura de Chave”, que regista a manutenção efetuada, a data, e o tipo de intervenção. A leitura do controlador do motor permite ainda chegar mais longe e detetar fraudes e viciações. Por exemplo este veículo tinha instalado um “simulador de carga” no banco do ocupante para ocultar um dano ou avaria na esteira do banco do veículo, Figura 3-168.



Figura 3-168 - Simulador de carga no sensor do banco do ocupante.

Também ao nível do sistema de controle de emissões o veículo tinha várias alterações com a válvula EGR fora de serviço e o FAP sem o miolo cerâmico interior. O escape da viatura apresentava uma cor não condizente com um veículo com FAP (que deve ser a cor do metal do tubo de escape) emitindo um excessivo fumo azul-escuro (Figura 3-169). O FAP estava eliminado física e eletronicamente.



Figura 3-169 - Escape do veículo com sinais de fumo.

A leitura de erros no controlador do motor permitiu verificar que o veículo tem os sistemas de controle emissões fora de serviço, EGR “suja” e avariada, FAP sem o miolo cerâmico e fora de função, e ainda sistemas de segurança, esteira do banco do ocupante avariada, o que implica riscos de não funcionamento dos airbags, pondo em causa a segurança global do veículo.

### 3.3.3.2. Seat Ibiza reprogramado

O sistema de leitura OBD permite ainda verificar outras alterações aos parâmetros de funcionamento do motor, como sejam reprogramações e outras alterações, como no caso deste Ibiza (Figura 3-170). É bastante vulgar no setor *tuning*, cuja legislação é bem clara e não permite qualquer alteração aos veículos e que apesar disso e da negligência de alguns proprietários, chegam à Vara do Tribunal.

Este Ibiza aumentou a potência dos 74 kW para os 100 kW. Há, no entanto, veículos semelhantes a este, cujos aumentos podem chegar a 215 kW de potência.



Figura 3-170 - Seat Ibiza.

São vários casos em que as alterações ultrapassam os níveis de segurança dos materiais, nomeadamente os níveis térmicos com destruição dos motores. Assim e numa simples caracterização, a potência de um motor depende de vários parâmetros, dos quais se destacam:

1. cilindrada do motor;
2. pressão de alimentação (pressão fornecida pelo turbo);
3. fornecimento de combustível;
4. rotação máxima do motor.

Excetuando a cilindrada que é uma característica intrínseca do motor, todas as outras são perfeitamente alteradas. Neste Ibiza efetuou-se uma análise do controlador do motor e isso evidenciou logo os aumentos significativos registados em comparação com os originais que se colocam no Apêndice.7.

As alterações conjugadas com um turbo de maior dimensão, permitiram aumentar significativamente a pressão de admissão (muito mais ar pode entrar no motor) e a quantidade de combustível a ser injetada (muito mais combustível pode ser fornecido ao motor).

A isto acrescenta-se:

- a) o aumento da velocidade de rotação do motor para potência máxima;
- b) a eliminação do sistema EGR;
- c) a eliminação do sensor de massa de ar.

O aumento da velocidade de rotação do motor aumenta proporcionalmente a sua potência, que neste caso foi em cerca de 10%. A eliminação do sistema EGR faz com que mais ar possa entrar no motor, mas principalmente a baixas cargas (acelerações) e velocidades, pelo que não afetará a potência máxima. A eliminação do sensor de massa de ar permite o cálculo da carga (aceleração) a partir da pressão do coletor de admissão (MAP), permitindo assim o aumento de potência pela alteração dos mapas atrás referidos. Com a alteração verificada em TODOS estes parâmetros no controlador do motor, a potência aumentou significativamente, em mais de 50%, mesmo antes do motor começar a "fumar" pelo escape. Dado que o limite de fumo foi amplamente alargado (+428%), a potência poderia ser significativamente aumentada (além desses 50%) mesmo depois de se chegar ao limite de emissão de fumo, ou seja, em potência máxima o veículo deveria emitir uma grande quantidade de fumo. Neste caso houve a destruição do motor com fusão dos materiais dos pistões, válvulas partidas (furadas), pelo facto dos níveis térmicos máximos dos materiais que normalmente estão sobredimensionados em 30%, terem sido atingidos.

## 4. CONCLUSÕES

O trabalho efetuado foi baseado em vários pareceres judiciais e outras investigações a ocorrências efetuados na área de danos em motores automóveis. Os estudos feitos em cada caso tiveram sempre uma perspectiva de verificar as consequências, danos e avarias e criar uma metodologia científica como forma de chegar às causas que as originaram. Várias dificuldades na análise prenderam-se com o facto de, por diversas vezes, algumas consequências são causas de outras consequências ou danos, o que dificulta sempre o apuramento da causa primeira.

As gripagens acontecem quando por razões diversas os componentes em movimento relativo perdem a película de óleo que os separa e contactam. Podem acontecer por problemas do circuito de arrefecimento e implicam maioritariamente danos em pistões, mas podem ocorrer também por problemas no circuito de lubrificação que geralmente culminam em danos nos bronzes, bielas, cambota entre outros. Concluimos que alguns motores específicos apresentam uma enorme fragilidade ao nível dos bronzes e requerem a sua substituição antes dos 120 000 km. Fragilidades estas que pela sua conceção sem uma ranhura na biela para fixação no chanfro existente no bronze, amplificam claramente os danos em caso de avaria.

Motores de elevada potência (»500 Cv) requerem uma qualidade dos lubrificantes elevada assim como o respeito escrupuloso dos prazos de manutenção para que não surjam problemas de gripagens com danos avultadíssimos. O fenómeno de *fretting* (mecanismo de desgaste) que pese embora ser um mecanismo de desgaste antigo e conhecido é ainda pouco tratado no setor automóvel embora muito frequente nos motores estacionários e que pode propiciar muitas das vezes a gripagem. Uma parte significativa de danos nos sistemas de distribuição do motor deriva de não se respeitarem os prazos de manutenção ou até devido a substituições parciais dos componentes que os constituem, por exemplo substituindo a correia e reutilizando os rolamentos tensores que posteriormente gripam e levam aos danos do motor. Válvulas partidas e/ou empenadas, pistões danificados, cabeça do motor partida, são alguns dos danos mais correntes na falha da distribuição que se designam vulgarmente por fenómeno de dessincronização entre a árvore de cames e a cambota, são algumas conclusões que se extraem deste trabalho.

Os problemas nos filtros de partículas FAP são um dos danos mais frequentes no setor automóvel, atualmente. O desconhecimento por parte dos condutores dos vários modos de regeneração (limpeza) faz com que a utilização dada aos veículos não permita quer pelos trajetos quer pelo tempo dos percursos, que esse processo de regeneração aconteça de forma natural e completa. A importância de se respeitar na utilização dos veículos certas condições como o tempo de percurso, a velocidade, a carga do motor que têm implicações diretas na temperatura de escape e na temperatura de motor. Estes são dos principais fatores que podem evitar ou diminuir a grande incidência estatística que esta avaria apresenta no setor.

A análise aos incêndios nos automóveis é uma área de muito difícil estudo quanto às causas, e sabe-se que estatisticamente 77% dos casos ficam sem a obtenção da causa dos mesmos pelo facto de as provas e evidências serem consumidas com o próprio fogo. Concluiu-se, desmistificando que os incêndios podem ocorrer maioritariamente por descuidos como por exemplo o manuseio negligente de um simples isqueiro ou cigarro. Mostrou-se que esta é uma causa de baixíssima probabilidade pela utilização generalizada no setor automóvel de materiais ignífugos que não propiciam a propagação de chama, podendo queimar localmente, mas não propagar a chama. Excecionam-se os casos da utilização de materiais sem qualidade comprados no mercado paralelo. Já os curto-circuitos são ainda uma das causas que podem promover com grande probabilidade os incêndios, nomeadamente quando incidem sobre zonas com combustível e/ou óleo, sendo fatores de ignição. Este trabalho evidencia vários casos de incêndios que tiveram nos curto-circuitos a sua origem ou causa. Também um derrame de óleo pode ser o motivo de um incêndio, quando esse mesmo derrame ocorre sobre uma superfície a temperatura elevada (acima dos 400 °C), nomeadamente acima da temperatura de auto-ignição do óleo. Derrames de óleo sobre o coletor de escape, sobre a turbina do turbo-compressor, sobre o catalisador ou ainda sobre o filtro de partículas, podem ser causadores de incêndios nos automóveis.

Concluiu-se que hoje em dia os automóveis são muito mais fiáveis com durabilidade média de 300 000 km sem grandes intervenções, são mais leves, mais potentes para a mesma cilindrada (o dobro da potência) e muito, muito menos poluentes, cerca de 100 vezes menos. Apresentam-se alguns casos em que os sistemas eletrónicos dos automóveis permitiram na falha que os danos subsequentes fossem menores. Alguns casos tratados revelam que para a eficácia dos sistemas no seu conjunto existem componentes de valor monetário baixo, de

poucos euros, mas que são relevantes e que asseguram a eficiência do conjunto podendo evitar avarias e danos de centenas de milhares de euros.

Concluiu-se ainda que uma alteração de potência, uma grandeza que passa despercebida nos centros de IPO e que são muito vigentes num crescente mercado *tunning*. Este aumento de potência é também utilizado para diminuições do consumo em veículos pesados e veículos com grande número de quilómetros percorridos como táxis, mas pode ser um fator causador de danos pelo fato de os aumentos feitos poderem pôr em causa os limites térmicos dos materiais e assim levar a danos.

Verificou-se também um determinado padrão existente no mercado de revenda de automóveis que consiste na alteração da quilometragem no odómetro dos veículos. Isto tem particular incidência em veículos com elevado uso, exemplo de táxis, carros de empresas, carros de rent-a-car. Estas alterações reduzem os quilómetros das viaturas de forma que sejam mais comerciais e mais procuradas, pois este é um fator de maior ou menor procura (número de quilómetros). Estas alterações aos quilómetros podem ultrapassar diminuições para menos de 1/3 da quilometragem real. Com estas alterações são colocados em risco a durabilidade de vários componentes pois o novo utilizador quando adquire o veículo não faz ideia da quilometragem real do mesmo e por vezes isto implica danos nos componentes por não substituição e manutenção atempada.



## BIBLIOGRAFIA

ACEA - European Automobile Manufacturers' Association [online]. Available: <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-electric-10-5-hybrid-11-9-petrol-47-5-market-share-full-year-2020/> . [Accessed: Jun-2020]

ADENE, IMT, ACAP (2019). Guia de economia de combustíveis. ADENE – Agência para a energia. IMT – Instituto de Mobilidade e dos Transportes; ACAP – Associação automóvel de Portugal.

ALS Tribology Brasil. *Análise de óleo*. ALS Tribology Brasil.

Alves, L. (2016). *Determinação de metais em óleos lubrificantes utilizando a técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser*. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Autarquia associada à Universidade de S. Paulo.

Anthony J., Bideaux, R. Bladh, K., Nichols, M. *Handbook of Mineralogy*. Mineralogical Society of America.

Arval – BNP Paribas Group (2017). *Explicando as dúvidas sobre o diesel. O futuro do diesel: Abordagem e soluções*. Arval – BNP Paribas Group.

Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas (2012). *Lubrificantes*.

Binder, K., Mollenhauer, K., Tschoke, H. (2010). *Handbook of Diesel Engines*. Springer.

Bosch (2015). *Sistemas de Injecção Diesel*. Robert Bosch, Brasil.

Cairrão, A (2004). *Desgaste e gripagem na bomba de injeção, de um sistema “Common Rail” em motores diesel*. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

Calhau, M. (2011). *Principais biocombustíveis e combustíveis fósseis, com breve abordagem ao Projecto de Conversão da Refinaria de Sines do ponto de vista da Higiene e Segurança*. Faculdade De Ciências E Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Cepra (2017). *Óleos Lubrificantes de motor – 2ª parte*. Cepra – Centro de Formação Profissional de Reparação Automóvel.

Chien, W., 2005. Fatigue analysis of crankshaft sections under bending with consideration of residual stresses. *Int. J. Fatigue* 27, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2004.06.009>

Chun, K., Kim, J., Hong, J. (2007). *A Study of exhaust valve and seat insert wear depending on cycle numbers*. Wear, vol. 263, n. 7-12 SPEC. ISS, 2007.

Ciavarella, M., Dini, D., Demelio, G. *A critical assessment of damage parameters for fretting fatigue*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Clark, P., Hoepfner, D. *Fretting fatigue initial damage state to cracking state: observation and analysis*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Collacott, R. (1982). *Mechanical Fault Diagnosis and Condition Monitoring*. Chapman and Hall.

Comissão das Comunidades Europeias (2007). *Relatório da Comissão para a "Qualidade da gasolina e do combustível para motores diesel utilizados no transporte rodoviário na União Europeia: Quarto relatório anual (Ano de 2005)*.

Concawe (2017). *Introdução às emissões de carros de passageiros e ciclos de teste*. Concawe

Cordeiro, S., Leonel, E. (2014). *BEM and Tangent Operator Technique Applied to Analysis of Contact Problems*. Departamento de Engenharia Estrutural, Escola de Engenharia e Universidade de S. Paulo, Brasil.

Correia, P, (2011). *Desenvolvimento de motor de combustível Dual*. Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

Cosimpor, S. (2010). *Compilação para informação de suporte aos parceiros na distribuição de produtos KS (Anéis, Bielias, Bronzes; Camisas, Filtros; Kits, Pistões, Válvulas; Bombas de Água)*. Cosimpor, S.A.

Costa, J. P. *Combustíveis e lubrificantes*. Federação Portuguesa de Aerodelismo.

Davani, E. (2011). *Experimental investigation on high-pressure, high-temperature viscosity of gas mixtures*. Graduate studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy

DaCosta, H., Shannon, C.M., and Silver, R. (2006) *Durability of Diesel Particulate Filters—Bench Studies on Cordierite Filters*. Diesel Exhaust Emissions Research Conference.

Desconhecido, (1996). *Os sistemas de lubrificação e os lubrificantes nos equipamentos agrícolas*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Diário da República (2000). *É concedida ao Governo autorização legislativa para aprovar o regime especial de ilícitos de mera ordenação social em matéria de poluição do meio marinho sob jurisdição marítima nacional*. Lei nº 8/2000 de 3 de Junho.

Diário da República (2004). *Decreto-Lei nº 235/2004 Especificações dos combustíveis em veículos equipados com motores de ignição comandada e de ignição por compressão e as disposições necessárias ao controlo da sua aplicação*. Imprensa Nacional Casa da Moeda.

Diário da República (2017). *Decreto-Lei nº 152-D/2017 de 11 de Dezembro. Estabelece o regime jurídico a que fica sujeita a gestão dos seguintes fluxos específicos de resíduos*. Imprensa Nacional Casa da Moeda.

Dionísio, G. (2017). *Proposta de um Sistema de Monitorização de Condição de Motores Diesel*. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa

Dubourg, M.-C.(2003) *Local fretting regime influences on crack initiation and early growth*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA..

Elo, R., Jacobson, S. (2015) *Formation and breakdown of oil residue tribofilms protecting the valves of diesel engines*. Wear, vol 330-331.

Espadafor, F.J., Villanueva, J.B., García, M.T., 2009. Analysis of a diesel generator crankshaft failure. Eng. Fail. Anal. 16, 2333–2341. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2009.03.019>

Fonte, M., Anes, V., Duarte, P., Reis, L., Freitas, M. *Crankshaft failure analysis of a boxer diesel motor*. ENIDH Escola Superior Náutica, IDMEC - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Fonte, M., de Freitas, M., 2009. Marine main engine crankshaft failure analysis: A case study. Eng. Fail. Anal. 16, 1940-1947. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2008.10.013>

Fonte, M., Freitas, M. (1997). *Semi-Elliptical fatigue crack growth under rotating or reversed bending combined with steady torsion*. Escola Náutica. Instituto Superior Técnico.

Fonte, M., Li, B., Reis, L., Freitas, M. (2013) *Crankshaft failure analysis of a motor vehicle*. ICEMS – IST e Escola Superior Náutica, ICEM-IST - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Portugal.

Fonte, M., Romeiro F., Freitas, M. (2007). *Environment effects and surface roughness on fatigue crack growth at negative R- ratios*. Escola Náutica, Instituto Politecnico de Lisboa; Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Fonte, M., Infante, V., Freitas, M., Reis, L. (2016). *Failure mode analysis of two diesel engine crankshafts*. ENIDH - Escola Superior Náutica,– IDMEC - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Fonte, M., Reis, L., Freitas, M., Li, B., Duarte, P., Reis, L. *Welding assessment of a damaged crane pedestal of a container ship*. ICEM-IST - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Portugal; Escola Superior Náutica D. Henrique, Paços de Arcos, Portugal.

Fonte, M., Infante, V., Reis, L., Freitas, M. (2016). *Failure mode analysis of a diesel motor crankshaft*. Escola Superior Náutica; Laeta, IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Fonte, M. Reis, L., Freitas, M. *Failure analysis of a gear wheel of a marine azimuth thruster*. ENIDH – Escola Superior Náutica, Paço de Arcos e IST – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Fonte, M., Romeiro, F., Freitas, M., Stanzl-Tschegg, S., Tschegg, E., Vasudévan, A. (2003). *The effect of microstructure and environment on fatigue crack growth in 7049 aluminium alloy at negative stress ratios*. International Journal of Fatigue.

Fouvry, S., Kapsa, P., Vincent, L. *A Global methodology to quantify fretting damages*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Goh, C.-H., Neu, R., McDowell, D. *Influence of nonhomogeneous material in fretting fatigue*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

González, J., Park, K., Abascal, R., (2014). *A portioned formulation for FEM/BEM coupling in contact problems using localized Lagrange multipliers*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Spain; Department of Aerospace Engineering Sciences, University of Colorado, USA.

Graciani, E., Mantič, V., París, F. (2014). *Effect of Friction on the Size of the Near-tip Contact Zone in a Penny-shaped Interface Crack*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, Spain.

Guerra, S. (2008). *Influência do Biodiesel nas Emissões Poluentes de um Motor Turbo Diesel*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Hahn, G., Iyer, K., Rubin, C. (2005). *Structural shear joints: Analyses, properties and design for repeat loading*. Mechanical engineering, Vanderbilt university e U.S. Army Research Laboratory.

Hattori, T., Nakamura, M., Watanabe, T. *Improvement of fretting fatigue strength by using stress-release slits*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Heyes, A., 1998. Automotive component failures. Eng. Fail. Anal. 5, 129–141. [https://doi.org/10.1016/S1350-6307\(98\)00010-7](https://doi.org/10.1016/S1350-6307(98)00010-7)

Hooper, J. Irving, P. *Fretting fatigue under block loading conditions*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Hoepfner, D., Taylor, A., Chandrasekaran, V. *Fretting fatigue, behavior of titanium alloys*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Hutson, A., Ashbaugh, N., Nicholas, T. *Na investigation os fretting fatigue crack nucleation life of Ti-6Al-4V under flat-on-flat contact*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Jones, N. e Li, Y. (2000). *A review of condition monitoring and fault diagnosis for Diesel engines, tribotest*. J., vol.6, n.3, pp.267-291

Iborra, A. e Sánchez J. (2014). *Avería em motor de cógeneracion*. Investigación de Siniestros, S.L.

Junceiro, P. (2019). *Estudo ADAC: Motores Diesel mais recentes quase não emitem NOx*. Motor 24.

Kent, W., Finnigan, F. (1971), *The Effect of some fuel and operating parameters on exhaust valve seat wear*. SAE Technical paper 710673.

Kimura, T., Sato, K. *Stress intensity factors  $K_I$  and  $K_{II}$  of oblique through thickness cracks in a semi-infinite body under fretting fatigue conditions*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

KS. *Resumo danos nos pistões e suas respectivas causas*. Motor Service.

Kubota, M., Odanaka, H., Sakae, C., Ohkomori, Y., Kondo, Y. *The analysis of fretting fatigue failure in backup roll and its prevention*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Kucuksucu, A., Guler, M., Avci, A. (2014). *Closed-form solution of the frictional sliding contact problem for an orthotropic elastic half-plane indented by a wedge-shaped punch*. Department of Mechanical Engineering, University of Economics and Technology, Ankara, Turkey; Department of Aerospace and Mechanical Engineering, University of Arizona, Tucson, USA; Department of Mechanical Engineering, Selcuk University, Konya, Turkey.

Lindley, T., *Fretting wear and fatigue in overhead electrical conductor cables*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Lowe, D. (2013). *Characterisation of Combustion Related Acoustic Emission Sources for Diesel Engine Condition Monitoring*. School of Chemistry, Physics and Mechanical Engineering in the Faculty of Science and Engineering at Queensland University of Technology.

Mahle Manual Técnico – Curso Mahle metal leve – Motores de Combustão Interna

Mahle Metal Leve S. A. (2019). *Manual de falhas prematuras em pistões, anéis, bronzinas, camisas, buchas, válvulas, tuchos e turbo-compressores*. Mahle Metal Leve S.A.

Mall S., Namjoshi, S., Lykins, C. *Fretting fatigue crack initiation behavior of Ti-6Al-4V*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Martins, J. (2005). *Motores de Combustão interna*. Publindústria, Edições Técnicas

Martins, J. (2019). *Honing*. Universidade do Minho, Escola de Engenharia.

Martins, J. (2020) *Acidentes e Conflitos em Veículos Automóveis e sua Avaliação*. Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

Mateus, J. (2018). *Análise do modo de falha de um motor diesel 1.9 TDI*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - Área Departamental de Engenharia Mecânica.

Matik, J., Farris, T. *High-frequency fretting fatigue experiments*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Mineral Data Publishing, (2001) *Constituição e propriedades da Cordierite*.

Miranda, A., Claro, J. (1997). *Análise do desempenho de chumaceiras radiais hidrodinâmicas*. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho, Guimarães.

Miyoshi, K., Lerch, B., Draper, s., Raj, S. *Evaluation on Ti-48Al-2Cr-2Nb under fretting conditions*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Mollenhauer, K., Tschoke, H. (Eds.), 2010. *Handbook of diesel engines*. Springer, Berlin ; New York,

Moreira, S. (2008). *Influência do Biodiesel nas emissões poluentes de um motor turbo diesel*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Motor Service Technical Market Support MS Motor Service International GmbH (2010). *Identificar e eliminar – danos nos pistões*. MS Motor Service International GmbH.

Motorservice Technical Market Support (2017). *Danos em bronzinas. Rheinmetall automotive*. MS Motorservice International GmbH.

Mugadu, A., Hills, D., Limmer, L. *A theoretical and experimental procedure for predicting the fretting fatigue strength of complete contacts*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Muradova, A., Stavroulakis, G. (2014). *Nonlinear time spectral Analysis for a dynamic contact model with buckling for na elastic plate*. Department of Production Engineering and Management, Department of Mineral Resources and Engineering, Technical University of Crete, Greece.

Murthy, H. Rajeev, P., Okane, M., Farris, T. *Development of test methods for high temperature fretting of turbine materials subjected to engine-type loading*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Mutoh, Y., Xu, J., Kondoh, K. *Observation and analysis of fretting fatigue crack initiation and propagation*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Nakazawa, K., Maruyama, N., Hanawa, T. *Effect of contact pressure on fretting fatigue in type 316L Stainless Steel*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Navarro, C., Vásquez, J., Domínguez, J. (2014). *Life Assessment in Fretting Fatigue*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Spain

Navarro, C., Garcia, C., Domínguez, J. *An estimation of life in fretting fatigue using an initiation-propagation model*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Neta R. (2013). *Análise e simulação dum pistão automóvel sob diferentes condições de funcionamento*. Universidade de Aveiro. Departamento de Engenharia Mecânica.

Nishida, T., Kondoh, K., XU, JQ. Mutoh, Y. *Observations and analysis of relative slip in fretting fatigue*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Nishida, T., Mizutani, J., Mutoh, Y., Maejima, M. *Effect of lubricating anodic film on fretting fatigue strength of aluminum alloy*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Norton, R.L. *Machine design an approach*. New Jersey Prentice-Hall, 1996

Nowell, D., Araújo, J. *Application of multiaxial fatigue parameters to fretting contacts with high stress gradients*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Ochi, Y., Kido, Y., Akiyama, T., Matsumura, T. *Effect of contact pad geometry on fretting fatigue behavior of high strength steel*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).



Oilcheck. *Análise de Óleos*. Oilcheck, Brasil

Okane, M., Shiozawa, K., Hiki, M., Suzuki, K. *Fretting fatigue properties of WC-Co thermal sprayed NiCrMo steel*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Oliveira, A. (2009). *Desenvolvimento e avaliação de um lubrificante, com partículas magnéticas, destinado à redução de atrito em motores de combustão interna*. Tese apresentada `Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de S. Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Pacheco, N. (2013). *Teste de motor diesel com biocombustíveis*. Tese de Doutorado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia – Guimarães.

Páczelt, I. Mróz. Z. *On steady wear states for monotonic relative sliding of contacting bodies*. University of Miskolc, Hungary; Institute of Fundamental Technological Research, Poland.

Paiva, A., Nogueira C., Costa A., Costa, M. (2009). *Catalisadores de Automóvel. Caracterização, Reciclagem e Recuperação de Metais Preciosos*. Centro de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve; Centro de Ciências do Mar, Departamento de Química e Farmácia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve.

Pinto, A., Valente, S. *Sobrealimentação automóvel*. Departamento de Engenharia Eletrotécnica. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Ribeiro, F. (2012). *Características dos principais combustíveis – Parte I – Gasolinas*. Instituto Superior Técnico – Lisboa.

Ribeiro, F. (2012). *Características dos principais combustíveis – Parte II – Gasóleos, Combustíveis de aviação, outros derivados do petróleo*. Instituto Superior Técnico – Lisboa.

Rodrigues, C. (2009). *Lubrificação de Motores Diesel*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Rodríguez-Tembleque, L., Aliabadi, M. (2014). *Wear and contact mechanics*.

Rodríguez-Tembleque, L., Aliabadi, M., Abascal, R. (2014). *Anisotropic contact and wear simulation using boundary elements*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Spain; Department of Aeronautics, Faculty of Engineering, Imperial College London, UK

Santos, L. Sistema de Injeção Diesel. Aluno, Departamento de Engenharia Electrotécnica (DEE) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Politécnico do Porto (IPP)

Santos T., Ferreira, R. *Análise do óleo pelo método de contagem de partículas metálicas*. Universidade de Rio Verde.

Schommers, J. (2004) Das neue Mercedes Benz Dieselpartikelfilterkonzept fuer PKW in Verbindung mit der Abgasstufe EU4. 25 Wiener Motorensymposium, April 2004

Serrano, L., *Ensaio e análise do desempenho de motores utilizando combustíveis aditivados e não aditivados*. Instituto Politécnico de Leiria.

Shirai, S., Kumuthini, K., Mutoh, Y., Nagata, K. *Fretting fatigue characteristics of titanium alloy Ti-6Al-4V in ultra high cycle regime*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Shreekrushna, S. (2019). *Engine Emissions and Their Control: Review*. Mechanical Engineering Department, SIET (Poly.), Paniv, Maharashtra.

Silva, F. (2004). *Fatigue on engine pistons – A compendium of case studies*. Departamento de Engenharia Mecânica. Escola de Engenharia. Universidade do Minho.

Silva, I. (2011). *Análise de combustíveis comerciais para automóveis*. Universidade de Aveiro - Departamento de Química

Silva, R., Viana, M., Mohallem. N. (2009). *Caracterização textural, morfológica e estrutural de catalisadores automotivos novos e usados*. Laboratório de Materiais Nanoestruturados, Departamento de Química, UFMG, Belo Horizonte, MG.

Stachowiak, G., Batcgelor, A. (2005). *Tribology Engineering*. Elsevier Butterworth Heineman.

Swalla, D., Neu, R. *Characterization of fretting fatigue process volume using finite element analysis*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Taylor, C. (1998). *Automobile engine tribology . design considerations for efficiency and durability*. Wear, Amsterdam, v. 221, n.1, p.1-8, Oct.

Taylor, R., Coy, R. (2000). *Improved fuel efficiency by lubricante design: a review*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J: journal of engineering tribology, London, v.214, n.1, p.1-15.

Taylor, R., Mainwarning, R., Mortier, R. (2005). *Engine lubricant trends since 1990*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J: journal of engineering tribology, London, v.219, n.5, p.331-346, Oct.

Taylor, R., et al. (2005). *Lubricants & energy efficiency: life-cycle analysis*. Elsevier: Amsterdam. P.565-572. (Tribology and Interface Engineering, Série 48).

Tente, H., Gomes, P. (2009). *Testes com filtros de partículas em veículos pesados*. FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Walker (2020). *Tudo sobre filtros de partículas diesel*. Southfield, Estados Unidos

Wang, Y., Narasimhan, S., Larson, J., Larson, J, Barber, G. (1996) *The effect of operating conditions on heavy duty engine valve seat wear*. Wear, vol.201, n.1-2, pp.15-25, 1996.

Waterhouse, R. *Fretting in steel ropes and cables – A review*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Wautelet, G., Ponthot, JP., (2014). *The influence of equivalente contact area computation in extended node to surface contact elements*. LTAS-MN2L – Non-Linear Computational Mechanics, Departement of Aerospace & Mechanical Engineering, University of Liege, Belgium.

Wielligh, A., Burger, N., Wilcocks, T. (2003). *Diesel engine failures due to combustion disturbances, caused by insufficient lubricity*. Industrial Lubrication and Tribology, Volume 55 · Number 2 · 2003 - pp. 65–75

Wünsche, M., Sáez. A., García-Sánchez, F., Zhang, C., Domínguez, J. (2014). *Transient dynamic analysis of cracked multifield solids with consideration of crack-face contact and semi-permeable electric/magnetic boundary conditions*. Faculty os Science and Technology, University of Siegen, Alemanha; Departamento de Mecânica de Medios Continuos y Teoria de Estructuras, Universidade de Sevilla, Espanha; Departamento de Ingenieria Civil, de Materiales y Fabricación. Universidade de Málaga, Espanha.

Yoshimura, T., Machida, T., Hattori, T. *Evaluating fatigue life of compressor dovetails by using stress singularity parameters at the contact edge*. Fretting Fatigue: Advances in basic understanding and applications. ASTM STP 1425, Mutoh, Y., Kinyon, S.E., Hoepfner, D.W. Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, (2003).

Yu, Z., Xu, X., Ding, H., 2007. Failure analysis of a diesel engine piston-pin. Eng. Fail. Anal. 14, 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2005.12.004>

Zhan, R. (2008) *DPF*. Durability. SwRI Symposium.

## APÊNDICES

(traduzido e adaptado de Iborra, A. e Sánchez J. (2014))

### Apêndice 1 – Elementos presentes num óleo de motor e a sua origem

Elemento	Proveniência
Alumínio - Al	Pistões, chumaceiras, radiadores de óleo, bronzes e em alguns blocos de motor.
Bário - Ba	Aditivo detergente que também atua como inibidor de corrosão. Apenas utilizado em alguns óleos sintéticos
Boro - B	Aditivo utilizado no óleo anti desgaste e antioxidante
Cálcio - Ca	Aditivo detergente e dispersante.
Chumbo - Pb	Chumaceiras e cambota.
Cobre - Cu	Presente em muitos componentes como na cambota, árvore de cames, pino dos pistões e radiador de óleo
Crómio - Cr	Principalmente segmentos dos pistões, mas também presente no fluido de arrefecimento do motor, cambota, engrenagens e chumaceiras.
Estanho - Sn	Normalmente ligado com o cobre e o chumbo, encontra-se na cambota e biela.
Ferro - Fe	Geralmente provem das camisas dos cilindros, árvores de cames, cambota e bomba de óleo.
Fósforo - P	Aditivo anti desgaste, antioxidante e inibidor de corrosão
Magnésio - Mg	Aditivo detergente e dispersante.
Molibdénio - Mo	Utilizado no óleo como aditivo anti desgaste, no óleo do motor, para criar um coeficiente de atrito mais baixo.
Níquel - Ni	Apesar de não ser muito utilizado, pode ser encontrado em alguns componentes de ligas de aço de peças internas do motor, como segmentos, válvulas e veios.
Prata - Ag	É usado como revestimento em alguns componentes para reduzir a fricção, devido à sua excelente condutibilidade térmica.
Silício - Si	Poeiras, devido à filtração de ar ineficiente. Também encontrado em alguns aditivos antiespumantes.
Sódio - Na	Usado como aditivo inibidor de corrosão, e presente também no líquido de arrefecimento.
Vanádio - V	Presente em algumas ligas metálicas como o aço.
Zinco - Zn	Aditivo anti desgaste, antioxidante e inibidor de corrosão (peças galvanizadas).

**Apêndice 2A – Valores ótimos (veículos ligeiros) em comparação com valores de várias amostras**

<b>Características Físico-Químicas</b>	<b>Técnica de análise</b>	<b>Suzuki Swift</b>	<b>Toyota Dyna 75-LD-56</b>	<b>Toyota Dyna 27-FB-15</b>	<b>Intervalo ótimo</b>
Teor em água %(m/m)	KARL FISCHER	<0,010	<0,1	<0,1	<0,2
Viscosidade 100°C mm <sup>2</sup> /s	ASTM D D445	4,138	6,95	8,78	12,5 a 16,3
Viscosidade 40°C mm <sup>2</sup> /s	ASTM D445	16,13	34,24	50,6	55 a 80
Número de base mg KOH/g	ASTM 2896	2,9	3,6	5,6	4 a 7
% Gasóleo	ASTM 3524	>20	23	19,6	<2
% Biodiesel	ASTM 3524	5,7			<1
<b>Aditivação</b>					
Boro - ppm WT	ICP	4	37	27	10 a 300
Bário - ppm WT	ICP	<1	<1	<1	<2
Cálcio - ppm WT	ICP	673	1092	2256	800 a 3500
Magnésio - ppm WT	ICP	5	9	10	7 a 15
Molibdénio - ppm WT	ICP	<1	110	34	10 a 120
Fósforo - ppm WT	ICP	262	480	943	360 a 1500
Zinco - ppm WT	ICP	353	566	1079	500 a 2000
<b>Metais de desgaste e contaminação</b>					
Alumínio - ppm WT	ICP	11	3	6	<15
Cobre - ppm WT	ICP	<1	4	9	<10
Crómio - ppm WT	ICP	1	1	4	<6
Ferro - ppm WT	ICP	49	54	40	<60
Chumbo - ppm WT	ICP	<1	42	16	<15
Silício - ppm WT	ICP	25	16	8	<30
Estanho - ppm WT	ICP	<1	1	1	<2
Sódio - ppm WT	ICP	<1	<1	2	<3
Prata - ppm WT	ICP	<1	<1	<1	<3
Níquel - ppm WT	ICP	1	<1	1	<4
Vanádio - ppm WT	ICP	<1	<1	<1	<1

Apêndice 2B – Valores ótimos (veículos pesados) em comparação com valores de várias amostras

Características Físico-Químicas	Scania 124L 360	Mercedes OC500	Mercedes OH 1634	Daf 37-DI- 05	Daf 37-FP-96		Intervalo ótimo
					Análise 1	Análise 2	
Teor em água - %(m/m)	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,2
Viscosidade 100 °C - mm/s	11,2	13,52	13,86	13,54	14,2	13,77	12 a 21
Número de base - mg KOH/g	13,2	10,4	9,3	8,8	0,5	12,8	9,5 a 16,3
% Gasóleo	5,2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<2
% Biodiesel	0,56	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<1,3
<b>Aditivação</b>							
Boro - ppm WT	257	88	27	76	85	144	10 a 300
Bário - ppm WT	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<2
Cálcio - ppm WT	4129	1423	1117	1360	1325	1258	600 a 5000
Magnésio - ppm WT	63	814	963	866	917	867	100 a 5000
Molibdénio - ppm WT	2	44	50	49	49	44	2 a 80
Fósforo - ppm WT	1043	622	1105	606	696	677	600 a 2000
Zinco - ppm WT	1254	887	1387	899	936	887	500 a 2000
<b>Metais de desgaste e contaminação</b>							
Alumínio - ppm WT	42	1	3	3	<1	<1	<25
Cobre - ppm WT	7	4	62	38	3	1	<20
Crómio - ppm WT	1	2	2	2	1	<1	<8
Ferro - ppm WT	30	17	19	111	12	2	<40
Chumbo - ppm WT	3	1	10	72	3	<1	<10
Silício - ppm WT	16	16	8	7	4	4	<30
Estanho - ppm WT	<1	<1	<1	5	<1	<1	<2
Sódio - ppm WT	14	4	48	20	8	7	<50
Prata - ppm WT	<1	1	1	<1	<1	<1	<3
Níquel - ppm WT	2	1	1	1	<1	<1	<4
Vanádio - ppm WT	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

### Apêndice 3 – Análise de amostra usada de óleo

#### Resultados

<b>1. Características Físico-Químicas</b>		
Teor em água - %(m/m)	KARL FISCHER	<0,010
Viscosidade 100°C - mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445	4,138
Viscosidade 40°C - mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445	16,13
Índice de viscosidade	ASTM D 2270	170
Número de base - mg KOH/g	ASTM D 2896	2,9
% Diesel	ASTM D 3524	>20
% Biodiesel	ASTM D 3524	5,7
Espectro infravermelho	FTIR	em anexo
<b>2.- Aditivação</b>		
Boro - ppm WT	ICP	4
Bário - ppm WT	ICP	<1
Cálcio - ppm WT	ICP	673
Magnésio - ppm WT	ICP	5
Molibdenio - ppm WT	ICP	<1
Fósforo - ppm WT	ICP	262
Zinco - ppm WT	ICP	353
<b>3.- Metais de desgaste e contaminação</b>		
Prata - ppm WT	ICP	<1
Alumínio - ppm WT	ICP	11
Crômio - ppm WT	ICP	1
Cobre - ppm WT	ICP	<1
Ferro - ppm WT	ICP	49
Sódio - ppm WT	ICP	<1
Níquel - ppm WT	ICP	1
Chumbo - ppm WT	ICP	<1
Silício - ppm WT	ICP	25
Estanho - ppm WT	ICP	<1
Vanádio - ppm WT	ICP	<1

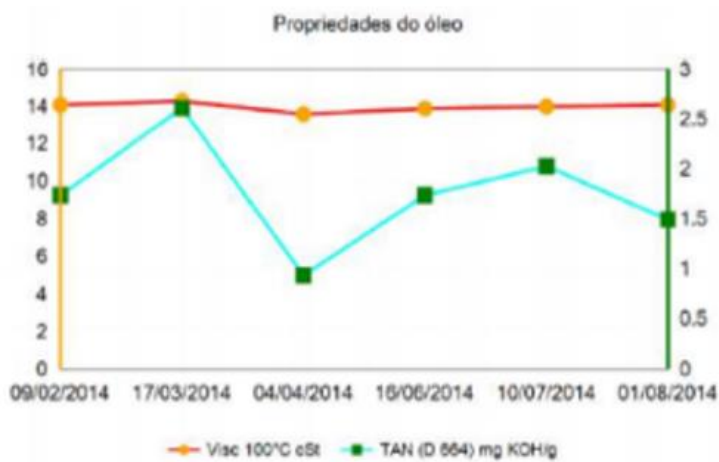


#### Apêndice 4 – Análise ao combustível (gasóleo)

Report number : **11201/00011818,1/L/18** Submitted date : 10/05/2018  
 Main object : Amostra para análise Sample submitte at : Saybolt Portugal  
 Report Date : 14/05/2018 Date received : 10/05/2018  
 Date of issue : 14/05/2018 Date completed : 11/05/2018  
 Sample object : Amostra para análise Sample number : 6624852  
 Sample type : Submitted  
 Sample sumited as : Gasóleo  
 Marked : Amostra para análise: 32,OD,02 - Chassis C998505

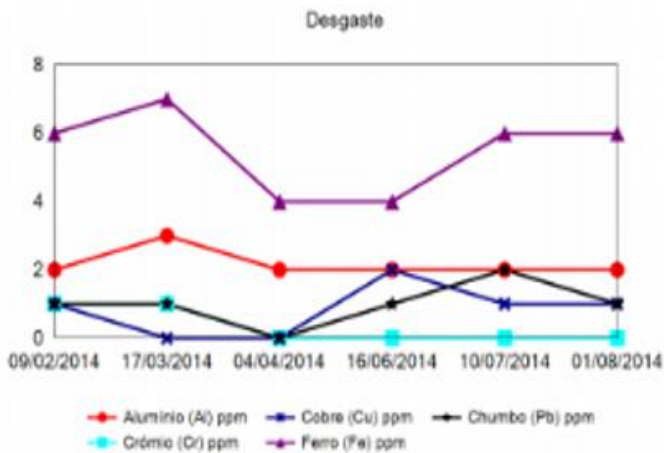
NAME	METHOD	UNIT	SPECS		RESULT
			Min	Max	
Density at 15°C	EN ISO 12185	kg/m <sup>3</sup>	820	845	843,8
Water Karl Fischer	EN ISO 12937	mass %		0,02	0,015
Flash Point (PM) procedure A	EN ISO 2719	°C	>55		<40,0
Contamination	EN 12862	mg/kg			<12,0
Distillation	EN ISO 3405				
Recovered at 250°C		vol %		<65	27,8
Recovered at 350°C		vol %			92,6
95% Recovered		°C		360,0	356,4

Apêndice 5 – Características do óleo analisado e valores ótimos.

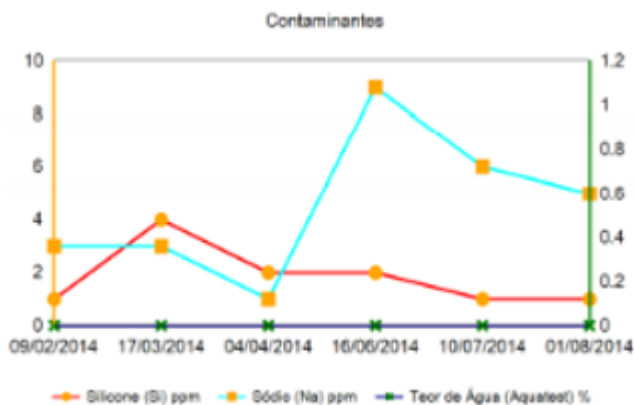


Item do programa	Valor limite
Viscosidade 100°	≥ 12 ≤ 18 mm <sup>2</sup> /s e < óleo novo + 3 mm <sup>2</sup> /s
Valor básico DN	≥ 16,9 mm <sup>2</sup> /s *) > 50% do óleo novo e > 2 mg KOH/g > 2,5 mg KOH/g *)
Valor ácido AN	Valor de óleo novo + 2,5 mg KOH/g Valor de óleo novo + 3 mg KOH/g *)
Valor ipH	min. 4,0 método GE Jenbacher min. 4,5 método Mobil min. 4,5 método GE Jenbacher min. 5 método Mobil
Envelhecimento	λ 5,8 μ máx. 20 A/cm máx. 30/cm *)
Nitruração IR	λ 6,1 μ máx. 30 A/cm máx. 30/cm *)

\*) só para Mobil Pegasus 1005.



Item do programa	Valores de advertência ppm/1000 Bh
Fe	máx. 20 ppm
Pb	máx. 20 ppm
Al	máx. 15 ppm
Sn	máx. 5 ppm
Cr	máx. 5 ppm
Cu	máx. 15 ppm



Item do programa	Valor limite	Directiva	Óleo	Motor	Gás
Sódio (*)	max. 1 m <sup>3</sup> /h	EN 12662	X	X	
Substâncias estranhas			X		
Conteúdo de cloro		DN 51577			X
Glicol				X	
Água				X	
Silício				X	X

(+) O sódio é um aditivo da água de refrigeração para motores. A determinação do conteúdo de Na utiliza-se para identificar o conteúdo anterior de água eventualmente presente no óleo de lubrificação.

## Apêndice 6 – Análise e teste aos injetores

### Equipamento

Bomba VP/CMR/EDC/H     Bomba Convencional     Inj. CMRail     Unid.UIS/PLD     Turbo

Marca:     Modelo:     Referência:

Garantia:     Sim     Não

### Relatório de Trabalhos Realizados

Intervenção no Turbo, Substituição de peças e Afiliação     Verificação de débitos em Banco de Ensaio

### Observações:

Após descarbonização e teste dos injetores, em comparação de quantidades, verificamos que dois deles com o código IMA - 8HSAE1K e BAS1GAK se encontram danificados na estanquicidade, o outros 4 com algumas diferenças entre eles, como não existe valores de referencia, aconselhamos a substituição do 6 injetores.

Apêndice 7 – Valores lidos no controlador do motor comparativamente aos valores originais, Pressão de admissão, injeção de combustível

Valores relativos ao controlo do turbo e da sua pressão:

valor de pressão de admissão: + 125%

valor de pressão do turbo vs temp. escape: + 145%

valor de controlo de pressão do turbo: + 62%

valor limite da pressão do turbo: + 33%

valor relativo ao fornecimento de combustível:

valor de controlo de injeção de combustível: + 80%

valor de carga na admissão: + 120%

valor limite de fumo: + 428%

valor do limitador de binário: + 33%