

**UNIVERSIDADE DO PORTO**

**Faculdade de Engenharia**

**Desgaste e gripagem na bomba de injeção, de um sistema  
“Common Rail” em motores diesel**

**António Manuel Quaresma Cairrão**

**Tese submetida com vista à obtenção do grau de Mestre em  
Manutenção Industrial**

**Porto, 2004**

---

## RESUMO

A comercialização da motorização diesel de viaturas ligeiras, teve sempre associados condicionantes de ordem fiscal, prestações em relação à mesma motorização a gasolina, consumo de combustível e a emissão de gases poluentes, que levava a ter pouca procura e a torná-la inviável na comercialização em massa.

A legislação emitida por parte de organismos oficiais sobre a protecção do ambiente, assim como a necessidade de reduzir o consumo de combustível, levou os construtores de motores e fabricantes de sistemas de injeção diesel, a terem que inovar a motorização diesel.

Do esforço conjunto, associado à incorporação da electrónica e informática, resultaram motores com prestações mais competitivas, baixo consumo de combustível, pequenas cilindradas, menos poluentes e menor preço.

Estava assim lançada a massificação da motorização diesel.

Como esta nova motorização atinge altas rotações, determinados órgãos ficam sujeitos a condições de funcionamento muito severas, que deveriam estar abrangidos por planos de manutenção do construtor ou fabricante. De entre os órgãos, está a bomba de alta pressão do sistema de injeção “Common Rail”, CP1, objecto deste trabalho.

O mecanismo interno da bomba, ao ser lubrificado pelo próprio gasóleo, que é utilizado como combustível, fica condicionada à qualidade deste, nomeadamente em relação ao índice cetano, ausência de sólidos em suspensão e água.

Como o gasóleo é submetido a elevadas pressões e temperaturas, reduz-se o efeito lubrificante. As peças que foram projectadas para beneficiar deste efeito, ficam assim sujeitas a um processo acelerado de desgaste ou até mesmo gripagem.

Ao conhecerem-se casos de avarias graves da CP1, que conduzem a elevados custos de reparação, pretende-se com este trabalho focar os pontos críticos e propor acções de manutenção, que prolonguem a sua vida útil ao menor custo e com a máxima disponibilidade da viatura.

## **AGRADECIMENTOS**

Para a elaboração deste trabalho, contei com a colaboração dos técnicos de várias empresas prestadoras de serviços na área diesel, pela informação dada sobre as avarias na bomba CP1, e, por eles já verificadas. A todos eles, o meu reconhecimento pela ajuda prestada.

Agradeço ao Sr. Professor Doutor Filipe Didelet Pereira, a colaboração e apoio dado ao longo das várias fases do trabalho.

À empresa Bombóleo na pessoa do seu Gerente, Sr. Domingos Marques, por toda a disponibilidade do material para estudo e informação técnica, o meu agradecimento.

À minha família, pelo apoio prestado e pela impossibilidade de acompanhamento em ocasiões especiais e nas horas de convívio, o meu maior agradecimento.

**ÍNDICE**

	Pág.
Resumo	i
Summary	ii
Agradecimentos	iii
Índice	iv
Índice de figuras	ix
Índice de tabelas	x
Nomenclatura	xi
<b>Capítulo 1 Introdução e Objectivo</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento do problema	1
1.2 Objectivo	2
1.3 Organização do trabalho	3
<b>Capítulo 2 A motorização Diesel e a sua influência sobre o Meio Ambiente</b>	<b>4</b>
2.1 História do motor Diesel	4
2.2 Evolução do sistema de injeção Diesel	5
2.3 Tipos de utilização do motor diesel	8
2.3.1 Circuito Cidade (tráfego intenso)	8
2.3.2 Circuito Urbano	8
2.3.3 Circuito Estrada	8
2.3.4 Circuito Misto (Circuito cidade, urbano e estrada)	8
2.3.5 Circuito Auto estrada	8
2.4 Propriedades do gasóleo	9
2.4.1 Influência da diminuição do teor de enxofre	13
2.4.2 Variação da viscosidade com a temperatura	15
2.5 Normativas Europeias para o motor diesel	17
2.5.1 EURO 2, EURO 3, EURO 4	17
2.5.2 Influência do sistema de injeção no cumprimento das Normativas	17
2.5.3 Problema dos inqueimados	19

---

2.5.4	NO <sub>x</sub>	19
2.5.5	Redução de consumo de combustível	21
2.6	Os órgãos periféricos do motor vistos pelo construtor do veículo	23
2.7	Comportamento da injeção diesel	24
2.7.1	Sistema convencional	24
2.7.2	Sistema “ Common Rail “	26
2.8	O gasóleo como lubrificante, nos sistemas “ Common Rail “ de injeção diesel	27
2.9	Previsão da evolução do mercado europeu para o motor diesel	27
2.10	Conclusões específicas	30
<b>Capitulo 3 Conceitos e Sistemas “ COMMON RAIL “</b>		<b>31</b>
3.1	O que se entende por Manutenção	32
3.1.1	A mais valia da Manutenção	36
3.1.2	Finalidade da Manutenção	37
3.1.3	Tipos de manutenção	39
3.1.4	Qualidade e Manutenção	41
3.2	Análise de avarias	42
3.3	FMECA	42
3.4	Domínios da Tribologia	49
3.4.1	Tipo de contacto	49
3.4.2	Controlo de atrito e desgaste	49
3.4.3	Estados geométrico e metalúrgico das superfícies	49
3.4.4	Factor lambda	50
3.4.5	Tipos e modos de lubrificação	51
3.4.6	Lubrificantes	53
3.4.7	Materiais	54
3.5	Estados das superfícies	54
3.5.1	Acabamentos superficiais	55
3.5.2	Influência da Rugosidade	55
3.5.3	Atrito	56
3.5.4	Área de contacto	57

---

3.5.5	Efeito da Lubrificação no Atrito	58
3.6	Desgaste	59
3.6.1	Tipos de Desgaste	60
3.6.2	Fadiga de Contacto	61
3.6.3	Tensões de Hertz	61
3.6.4	Picagem	64
3.7	Gripagem	66
3.8	Ligações móveis	68
3.9	Pares cinemáticos	68
3.10	Sistemas “ Common Rail “ de injeção diesel (excepto Bosch)	69
3.10.1	Sistema “ Common Rail “ de injeção diesel, SIEMENS	70
3.10.2	Sistema “ Common Rail “ de injeção diesel, DELPHI	72
3.10.3	Sistema “ Common Rail “ de injeção diesel, DENSO	74
3.11	Conclusões específicas	75
<b>Capítulo 4 O caso em estudo</b>		<b>76</b>
4.1	Sistema “Common Rail“ de injeção diesel, do fabricante BOSCH	76
4.2	Bomba de Alta Pressão, CP1	87
4.2.1	Constituição	87
4.2.2	Funcionamento	88
4.3	Pontos comuns	90
4.4	Pontos críticos da CP1	91
4.5	Factores que influenciam os pontos críticos na sua degradação	97
4.5.1	Rpm	97
4.5.2	Pressão de Injeção	98
4.5.3	Temperatura do gasóleo	98
4.6	Falhas na CP1	100
4.7	Teste numa viatura que tem aplicada a CP1, consumindo um depósito de gasóleo	108
4.8	Manutenção da CP1 segundo a utilização da motorização diesel	111
4.8.1	Custos de reparação da bomba injectora danificada por desgaste	112
4.8.1.1	Sistema convencional com EDC	113

---

4.8.1.2	Sistema CR	115
4.8.2	Custos de reparação da bomba injectora danificada por gripagem	116
4.8.2.1	Sistema convencional com EDC	116
4.8.2.2	Sistema CR	116
4.9	Proposta de manutenção preventiva	117
4.10	Conclusões específicas	118
<b>Capítulo 5 Conclusões</b>		120
5.1	Síntese do trabalho realizado	120
5.2	Conclusões gerais	120
5.3	Sugestões para trabalhos futuros	122
<b>Referências bibliográficas</b>		123

<b>Anexo I</b>	Bomba em linha tipo P e rotativa	127
<b>Anexo II</b>	Bomba rotativa de êmbolo axial e Sistema UIS, montado em motor industrial	128
<b>Anexo III</b>	Sistema UPS, montado em motor industrial e Bomba rotativa de êmbolo radial	129
<b>Anexo IV</b>	Sistema Common Rail e Sistema UIS aplicado em motor de viatura ligeira	130
<b>Anexo V</b>	Bomba de alta pressão Siemens e Delphi	131
<b>Anexo VI</b>	Bomba de alta pressão Denso e Bomba de alta pressão CP3 da Bosch	132
<b>Anexo VII</b>	Peças de reposição para a CP1	133
<b>Anexo VIII</b>	Peças de reposição para a bomba rotativa de êmbolo axial, VE6	134
<b>Anexo IX</b>	Propriedades físico-química do gasóleo, Galp	135
<b>Anexo X</b>	Ficha técnica do gasóleo BP	136
<b>Anexo XI</b>	Resultados globais, obtidos com o consumo de um depósito de gasóleo	137
<b>Anexo XII</b>	Dados verificados quando a ECU entrou em programa de emergência	138
<b>Anexo XIII</b>	Dados recolhidos a partir de meio depósito de gasóleo	136
<b>Anexo XIV</b>	Dados recolhidos após o motor ter atingido a temperatura de trabalho	139
<b>Anexo XV</b>	Tampa, veio, casquilho do dado e corpo da CP1, gripados	141
<b>Anexo XVI</b>	Veio, conjunto elemento/camisa, tampa e dado da CP1, gripados	142
<b>Anexo XVII</b>	Base gripada e queimada, zonas do elemento com desgaste e zona onde actua o pé do elemento	143
<b>Anexo XVIII</b>	Peças de reposição da bomba de alta pressão CP3	144
<b>Anexo XIX</b>	Tratamento dos gases de escape	145



**ÍNDICE de FIGURAS**

Pág.

Fig. 2.1	Gráfico de emissão de gases, em função do ponto de injeção	20
Fig. 2.2	Influência da EGR nas emissões contaminantes	21
Fig. 2.3	Desenvolvimento da injeção convencional	25
Fig. 2.4	Representação gráfica da evolução da injeção convencional	25
Fig. 2.5	Desenvolvimento da injeção CR	26
Fig. 3.1	Esquemática das formas de manutenção	35
Fig. 3.2	Classificação dos diferentes tempos	38
Fig. 3.3	Tipos de manutenção face ao tipo de avaria	40
Fig. 3.4	Implementação dos critérios de controlo e perdas no processo FMECA	48
Fig. 3.5	Relação do atrito com o tipo de aplicação	57
Fig. 3.6	Curva de Stribeck	58
Fig. 3.7	Desenvolvimento da LHED, num contacto	62
Fig. 3.8	Admissão do gasóleo	73
Fig. 3.9	Compressão do gasóleo	73
Fig. 4.1	Interligação entre sensores, outras UC e actuadores, do sistema CR	78
Fig. 4.2	Vista em corte e pormenor de um injetor indutivo	84
Fig. 4.3	Bomba CP1, em corte	88
Fig. 4.4	Admissão e compressão do gasóleo	89
Fig. 4.5	Verificação do deslocamento do elemento	92
Fig. 4.6	Deslocamento da base do elemento na face do dado	93
Fig. 4.7	Fixação da base ao elemento	96
Fig. 4.8	Fluxograma geral do circuito de gasóleo, no sistema CR	103
Fig. 4.9	Fluxograma para verificar falha provocada pela qualidade do combustível	104
Fig. 4.10	Fluxograma para verificar falha provocada por deficiente caudal e pressão na alimentação de gasóleo à CP1	105
Fig. 4.11	Fluxograma para verificar alimentação de gasóleo aos elementos	106
Fig. 4.12	Fluxograma para verificar a saída a alta pressão de gasóleo, da CP1	107

**ÍNDICE de TABELAS**

		Pág.
Tabela 2.1	Parâmetros do gasóleo vendido em Portugal	13
Tabela 2.2	Parâmetros do gasóleo, segundo EN 590 e Proposta Europeia	13
Tabela 2.3	Composição química percentual do petróleo bruto	14
Tabela 2.4	Valores limite de parâmetros do gasóleo	15
Tabela 2.5	Normas ambientais e respectiva vigência	17
Tabela 2.6	Níveis máximos de emissão contaminantes	17
Tabela 2.7	Estratégia para a redução das emissões contaminantes	18
Tabela 2.8	Tratamento dos gases de escape	18
Tabela 2.9	Previsão da evolução do mercado diesel	28
Tabela 2.10	Vendas de viaturas diesel em Portugal	29
Tabela 2.11	Evolução da motorização diesel, em alguns países europeus	30
Tabela 3.1	Tabela do índice de gravidade	45
Tabela 3.2	Tabela do índice de frequência	46
Tabela 3.3	Tabela do índice de detecção	46
Tabela 4.1	Cálculo das solicitações nas molas da CP1	96
Tabela 4.2	Velocidades de deslocação do elemento	99
Tabela 4.3	Avarias originadas pelo combustível	100
Tabela 4.4	Avarias devido à deficiente alimentação de gasóleo	100
Tabela 4.5	Avarias devido ao funcionamento da CP1	102
Tabela 4.6	Quadro resumo dos valores obtidos no teste	109
Tabela 4.7	Registo a partir de meio depósito de gasóleo (após uma paragem de 2 h)	109
Tabela 4.8	Valores obtidos desde o arranque com o motor frio, até atingir a temperatura de trabalho, com meio depósito de gasóleo	109

ABS	Antilock Braking System
ACEA	Associação Europeia Construtores Automóveis
ASR	Controlo de tracção
ASTM	American Society Testing and Materials
Bus CAN	Linha de transporte de dados
CAFE	Corporate Average Fuel Economy
CAN	Controller Area Network
CO	Oxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CR	Common Rail
CR - DID	Common Rail Diesel Injection Direct
ECU	Electronic Control Unit
EDC	Electronic Diesel Control
EGE	Emissão de gases de escape
EGR	Exhaust Gases Recirculation
EP	Extrema Pressão
EPROM	Electrically Programmable Read Only Memory
F <sub>a</sub>	Força de atrito
F <sub>ades</sub>	Força de adesão
FMEA	Modo de Falha e Avaliação do Efeito
FMECA	Modo de Falha e Avaliação do Efeito, e, a sua Criticidade
F <sub>sul</sub>	Força de sulcagem
HC	Hidrocarbonetos
ISO	International Standard Organization
MTBF	Tempo médio entre falhas
MTTR	Tempo médio de imobilização para intervenção de manutenção
Multijet	Sistema de injeção diesel, com injeção múltipla
NEDC	New European Driving Cycle
NO <sub>x</sub>	Óxidos de azoto
PM	Material particulado (inqueimados)

Pm	Pressão média
Ps	Pressão máxima
ROM	Read Only Memory
TE	Tempo de espera. O equipamento não foi solicitado.
TED	Tempo efectivo de disponibilidade. O equipamento está apto a operar e pode haver operações de manutenção que não causem indisponibilidade.
TEID	Tempo efectivo de indisponibilidade. O equipamento está indisponível.
TF	Tempo que o equipamento funcionou
TICE	Tempo próprio de indisponibilidade por causas externas. O equipamento está indisponível devido à falta de mão-de-obra, energia eléctrica, peças, etc.
TN	Tempo necessário. O utilizador necessita do equipamento disponível para operar.
TNN	Tempo não necessário. O utilizador não necessita que o equipamento esteja operativo.
TPD	Tempo potencial de disponibilidade. O equipamento está disponível
TPID	Tempo potencial de indisponibilidade. Devido a qualquer causa, o equipamento não opera.
TT	Tempo total . Período de referência.
UIS	Unit Injector System
UPS	Unit Pomp System
VE	Bomba rotativa de êmbolos axiais
VR	Bomba rotativa de êmbolos radiais

## **1 - INTRODUÇÃO E OBJECTIVO**

Este capítulo, introduz o crescimento do parque automóvel com motorização diesel, o impacto sobre o meio ambiente, as preocupações dos seus utilizadores, e ainda o objectivo deste trabalho e a sua organização.

Esta introdução visa o posicionar o objectivo deste trabalho no tema.

### **1.1 - Enquadramento do tema**

A crescente tendência na procura de viaturas com motorização diesel, por parte dos consumidores (em 2010 atingirá os 50% da produção automóvel), tem vindo a colocar novos problemas e desafios.

O aumento do volume de gases de escape, provenientes dos motores de combustão interna, que contribuem de forma significativa para a poluição atmosférica, levou a que fossem tomadas medidas, no sentido do seu tratamento antes de atingirem a atmosfera.

Organizações de vários países criaram legislação, com vista à diminuição drástica dos elementos mais nocivos presentes nos gases de escape. A legislação, com objectivos e prazos bem definidos, obrigou os construtores de motores e os fabricantes de sistemas de injeção diesel, a terem uma postura de constante inovação, afim de cumprirem os valores legislados ou até mesmo apresentarem valores inferiores.

O acentuado consumo dos combustíveis, com a consequente diminuição das reservas naturais de petróleo e a constante instabilidade dos preços das ramas, levou a que a redução do consumo de combustível passasse a ser prioritária.

A nova mentalidade da sociedade leva a que num futuro próximo quando se pretenda adquirir uma viatura sejam considerados os seguintes aspectos:

- Consumo de combustível;
- Poluição;
- Custos de manutenção;
- Vida útil previsível;
- Percentagem do veículo que é reciclável.

## **1.2 - Objectivo**

O presente trabalho visa estudar os problemas mecânicos originados pelo desgaste ou a gripagem, da bomba de alta pressão da primeira geração e designada por CP1, e que, é parte integrante do sistema de injeção diesel “Common Rail” (CR), do maior fabricante mundial de sistemas de injeção diesel, a “Robert Bosch”.

Pretende-se também, sugerir algumas restrições importantes na utilização da viatura, incluir a manutenção da bomba nas intervenções de carácter preventivo, de forma a atenuar os custos de utilização e os problemas com que se estão a deparar os detentores de viaturas, que têm a bomba CP1 aplicada.

Optou-se por este modelo de bomba de alta pressão, de entre os sistemas CR disponíveis, pelo facto de ter sido a primeira a ser montada em viaturas ligeiras.

## **1.3 – Organização do trabalho**

Este trabalho desenvolve-se ao longo de quatro capítulos.

No segundo capítulo, procede-se a uma breve resenha histórica do motor diesel, e, apresenta-se a evolução ao longo do tempo, do sistema de injeção diesel do fabricante Robert Bosch. Só é referida a história deste fabricante, uma vez que é um órgão desenvolvido por este que vai ser de objecto deste estudo.

São descritos os vários tipos de utilização que a motorização diesel pode ter.

Sendo o gasóleo um dos elementos que influenciam o desempenho do motor e do órgão em estudo, é importante conhecer as suas propriedades físicas e químicas.

É apresentada a legislação europeia, que incide sobre as emissões dos gases de escape da motorização diesel, assim como a quantificação de valores para os elementos que mais contribuem para a degradação do meio ambiente.

São descritos os órgãos periféricos do motor, vistos e analisados pelo construtor da viatura.

São referidas algumas considerações sobre o comportamento da injeção diesel no sistema tradicional e CR.

Conclui-se com a previsão de crescimento da motorização diesel na perspectiva do fabricante Bosch e a realidade actual.

No terceiro capítulo são dadas as definições teóricas sobre vários pontos que vão servir de suporte ao objecto de trabalho (bomba de alta pressão, CP1), e descritos os outros sistemas de injeção diesel, CR, aplicados na motorização diesel.

O quarto capítulo está dividido em três sub-capítulos:

- No primeiro é descrito o sistema de injeção diesel CR, Bosch, e a sua evolução;

- No segundo apresentam-se as avarias mais frequentes, os factores que as originam, e os resultados de um teste feito com uma viatura que tem aplicada o modelo de bomba que é objecto de estudo;

- No terceiro, comparam-se os custos de reparação ou substituição para cada caso (bomba rotativa com EDC ou CP1, aplicado à mesma viatura), assim como é sugerida a acção de manutenção da “bomba CP1”, um dos objectivos deste trabalho.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões.

## **2 – A MOTORIZAÇÃO DIESEL E A SUA INFLUÊNCIA SOBRE O MEIO AMBIENTE**

Este capítulo tem por objectivo descrever a evolução do motor e do sistema de injeção diesel, a sua utilização e a influência sobre o meio ambiente. O motor diesel, que começou por ter uma grande envergadura e a ser aplicado na indústria como gerador de energia, chega aos dias de hoje com uma pequena cilindrada e aplicado nos mais diversos fins.

### **2.1 - História do motor Diesel**

O construtor de motores Augsburg Maschinenfabrik, actualmente MAN, foi quem graças ao engenho do alemão Rudolph Diesel contruiu o primeiro motor diesel, e que acaba por marcar uma era na indústria e nos transportes.

Os primeiros motores diesel, devido ao seu peso e tamanho, só podiam ser utilizados em unidades estacionárias para a produção de energia (geradores), e eram normalmente instalados em fábricas de lanifícios. Mais tarde são utilizados nas fábricas de descasque de cereais e em operações de bombagem.

Com o seu aparecimento, dá-se início a uma nova era. O vapor deixa de ser interessante como até aí.

Numa mostra de motores de quatro cilindros, organizada em Munique em 1898, sob a designação comum de “DIESEL”, são apresentados aos visitantes de todo o mundo as primeiras unidades comerciais deste tipo de motor.

A partir desta exposição, o nome de Rudolph Diesel passa a ser conhecido e a ganhar a fama de que ainda hoje disfruta, apesar dos avanços tecnológicos que se verificaram ao longo de um século.

Rudolph Diesel fez os seus estudos em Paris, e patenteou a sua nova tecnologia como: “Teoria para a construção de um motor térmico que substitua o motor a vapor e outros motores de combustão interna de uso corrente”.

A teoria visava o desenvolvimento de um motor que substituísse o vapor e competisse com o propulsor gasolina (altamente perigoso) muito usado na época.



O motor diesel solucionava assim o problema da utilização de combustíveis muito inflamáveis, uma vez que é um produto menos refinado. Surge assim um combustível alternativo, mais económico que a gasolina.

A empresa Priestmans faz a primeira experiência com um motor de explosão numa locomotiva, utilizando a ignição a partir da faísca. Os resultados foram decepcionantes, e o vapor manteve-se como preferencial.

Em 1902, aparece na Alemanha a primeira locomotiva que é movida por acção de um motor diesel. Em Portugal, só entram ao serviço as primeiras locomotivas no ano de 1948.

Com esta aplicação, inicia-se o declínio das máquinas a vapor neste tipo de transporte, tal como já também tinha acontecido com os geradores.

A indústria naval começa por utilizar o motor a diesel nos submersíveis em 1901, o que vem permitir ao navio ter uma maior velocidade de deslocamento, utilizar um combustível mais eficiente e diminuir as cargas necessárias ao funcionamento das máquinas, em suma, uma maior rentabilidade.

Praticamente todos os transportes rodoviários beneficiaram da invenção de Rudolph Diesel, no entanto a aceitação da motorização diesel, tanto em veículos industriais ou ligeiros não foi imediato.

Com a constante evolução ao longo de décadas, dispõe-se actualmente de motores diesel no mercado automóvel, com uma cilindrada de 799 centímetros cúbicos, repartida por três cilindros, debitando uma potência de 41 CV às 4.200 rpm e um binário de 100 Nm às 1.800 rpm, com um consumo médio de 3,4 litros em cada 100 Km percorridos, que tem aplicado um sistema de injeção diesel "Common Rail".

## **2.2 – Evolução do sistema de injeção Diesel**

Segundo Massagardi, entre 1921 e 1924 a Robert Bosch realizou os primeiros ensaios com sistemas de injeção diesel e testou protótipos de bombas injectoras em linha.

Em 1927, foi concedida a licença para a produção limitada de bombas de injeção diesel, visando a sua experimentação por parte dos construtores de motores. Os testes foram um sucesso e viabilizaram a produção em grande escala.

No final do ano, foi produzida pelo fabricante Robert Bosch a primeira bomba injectora para motores diesel, o que o tornou pioneiro na oferta dum sistema de injeção que podia ser produzido em série, aos construtores de motores.

Estava lançada a primeira bomba em linha, vulgarmente conhecida por P. (Anexo I).

Foi este o primeiro passo, que a tornou viável económica e tecnicamente, na utilização em motores diesel de camiões, autocarros e posteriormente em veículos ligeiros.

A primeira empresa a utilizar esta nova tecnologia, foi o construtor alemão MAN, que a adoptou em alguns dos seus camiões. Estes veículos, ao ganharem maior potência e uma conseqüente maior capacidade de carga, possibilitaram a hipótese de novos negócios.

Em 1928 foram vendidas 1.000 bombas e, decorridos sete anos, foi produzida a 100.000<sup>a</sup> bomba.

A aplicação da bomba de injeção nos motores de viaturas ligeiras, acontece em 1936, tornando-se um marco de sucesso para este tipo de combustível. Surge assim, a primeira bomba rotativa (Anexo I).

Uma importante mudança que se verifica na história do sistema de injeção diesel, é consequência da incorporação da electrónica.

No ano de 1986, é fabricada a primeira bomba rotativa de êmbolo axial controlada electronicamente (Anexo II), gerando uma pressão máxima de injeção de 1.200 bar.

Surge assim a designação TDI, com aplicação num motor do construtor alemão AUDI.

A evolução na década de 90, foi marcada pela aceitação inequívoca por parte dos construtores de motores, em incorporar nos seus motores, os sistemas de injeção directa a alta pressão controlados por uma ECU.

## A motorização diesel e a sua influência sobre o meio ambiente

O sistema de injeção diesel com incorporação electrónica, montado num motor industrial, surge em 1994 com a designação UIS (Anexo II). Este sistema, tem no mesmo corpo o mecanismo que gera a elevação de pressão e o injektor propriamente dito (injector bomba) e por cada cilindro do motor. O movimento que vai gerar a elevação de pressão, é feito a partir de uma came que está inserida na árvore de cames do motor. A pressão máxima atingida, é de 1.800 bar.

Outra variante do sistema de injeção diesel com incorporação electrónica, montado num motor industrial, surge em 1995 com a designação UPS (Anexo III). Este sistema tem uma bomba individual para a elevação de pressão, com a ligação ao injektor a ser feita através dum tubo, e, por cilindro do motor. O movimento para elevação de pressão é feito a partir de uma came que está inserida na árvore de cames do motor. A pressão máxima atingida, é de 1.800 bar.

A bomba rotativa de êmbolo radial (Anexo III) surge em 1996, e trabalha em simultâneo com duas ECU's :

- Uma que faz a gestão global do motor;
- Outra montada na própria bomba, que faz o seu controlo.

A pressão máxima de injeção, é de 1.700 bar.

Em 1997, surge o inovador sistema de injeção de gasóleo por acumulador hidráulico, designado por "Common Rail" (Anexo IV). Esta inovação é lançada no mercado automóvel pelo construtor italiano ALFA ROMEO, com a designação JTD.

A pressão máxima de injeção é de 1.350 bar.

O sistema UIS (Anexo IV), aplicado no motor de viatura ligeira, surge em 1998. O grupo alemão VAG, negociou com a Robert Bosch a exclusividade para a montagem do seu sistema, e aplica-o na sua nova geração de motores. O funcionamento é igual ao aplicado nos motores industriais, com a pressão máxima de injeção, 2.050 bar.

Fabricantes como a Delphi (ver 3.10.2) e a Denso (ver 3.10.3) também desenvolveram os seus próprios sistemas CR. A Siemens (ver 3.10.1) é o mais recente.

## **2.3 - Tipos de utilização do motor diesel**

A motorização diesel aplicada em viaturas ligeiras até 3.500 Kg (acima desta carga têm outras condicionantes), podem ser utilizados para diversos fins.

Assim, a utilização pode ser o meio de transporte individual, o colectivo de passageiros ou até a distribuição de mercadorias. Em qualquer destas utilizações, as viaturas são submetidas a vários tipos de circuitos.

Seguem-se as definições dos tipos de circuito considerados neste trabalho.

### 2.3.1 - Circuito de cidade (tráfego intenso)

Quando a viatura está sujeita a tráfego intenso, como velocidade média muito reduzida, constantes arranques e paragens, durante largos intervalos de tempo.

### 2.3.2 - Circuito urbano

Quando uma viatura pode circular até à velocidade permitida dentro da localidade, durante largos intervalos de tempo, mas também pode estar sujeita ao chamado, pára arranca.

### 2.3.3 - Circuito de estrada

Quando é possível percorrer uma longa distância, sem que seja necessário parar, tanto por limitação de peões ou sinalética. É permitido rodar a uma velocidade média superior à do circuito urbano.

### 2.3.4 - Circuito misto

É uma combinação dos circuitos, cidade, urbano e estrada.

### 2.3.5 - Circuito de Auto- estrada

A viatura sem parar, pode percorrer à velocidade limite, ou com pequenas variações, distâncias de dezenas ou centenas de quilómetros, ou também pode acontecer percorrer a velocidade muito elevada, longas distâncias.

Estas definições não estão normalizadas. Contudo as suas designações são correntes e é com base nelas, que os diferentes construtores definem os indicadores de consumo de combustível para as suas viaturas.

## 2.4 Propriedades do Gasóleo

O gasóleo é um combustível derivado do petróleo. É basicamente constituído por hidrocarbonetos (compostos orgânicos da cadeia linear, constituídos por átomos de carbono e hidrogénio), e, vestígios de enxofre e azoto.

O gasóleo distingue-se dos restantes hidrocarbonetos combustíveis, por apresentar uma baixa evaporação, ser pouco inflamável à temperatura ambiente. A ignição só possível quando pulverizado a elevada pressão e num ambiente de temperatura elevada.

Tipos de Gasóleo

Tipo A – Automotivo, utilizado na motorização diesel e em instalações de aquecimento de pequeno porte. Limite de teor de enxofre 350 mg / Kg

Tipo B – Para máquinas agrícolas, difere do tipo A na cor (verde).

O gasóleo depois de sair da refinaria, pode receber aditivos nas distribuidoras. Estes, aditivos visam conferir melhores características de desempenho.

Os aditivos podem actuar, como:

- Desemulsificantes;
- Anti-espumas;
- Detergentes;
- Dispersantes;
- Inibidores de corrosão.

Relativamente aos ensaios realizados no controlo de qualidade do gasóleo, salienta-se o seguinte.

Aspecto – Límpido e isento de materiais em suspensão susceptíveis de reduzir a vida útil dos filtros e do equipamento.

Cor ASTM – Esta característica do gasóleo deve ser avaliada, já que se estiver alterada, pode indicar problemas no processo produtivo, degradação ou contaminação.

Viscosidade – Mede-se como a resistência oferecida pelo gasóleo ao seu escoamento. É importante o seu controlo, já que visa a obtenção de uma boa atomização e também preservar a sua característica lubrificante.

Valores inferiores à especificação, podem acelerar o desgaste nas partes auto-lubrificantes do sistema de injeção. Enquanto que valores superiores, podem levar a um aumento de trabalho da bomba injectora, que trabalhará forçada e com maior desgaste, também pode provocar a má atomização do gasóleo com a consequente combustão incompleta, com o aumento de material particulado (inqueimados).

Ponto névoa – Define-se como a menor temperatura a que se observa a formação de uma turvação numa amostra do gasóleo. Indica o início de cristalização de parafinas ou outras substâncias com comportamento semelhante que estão presentes.

Valores de ponto de névoa superiores à temperatura ambiente, conduzem a maiores dificuldades no arranque de motores a perdas de potência devido à obstrução, por parafinas, das tubagens e filtros do sistema de combustível.

Teor de enxofre – Existem limites máximos admissíveis de concentração, uma vez que é um elemento indesejável em qualquer gasóleo, devido à acção corrosiva dos seus compostos e à formação de gases tóxicos.

Ponto de Inflamação – É um indicador da auto-ignição, é considerado nos cuidados a ter com o manuseamento, armazenamento, transporte e uso.

Densidade do gasóleo– Representa a relação entre a massa específica do gasóleo a 20° C e a mesma massa de água a 20° C.

Uma variação de densidade leva a uma significativa variação da massa de gasóleo injectada, podendo originar um aumento da emissão de poluentes.

Uma baixa densidade, reduz o rendimento do motor provocando perda de potência, e levando a um aumento do consumo de gasóleo.

Resíduo de carbono – Representa o teor de resíduo obtido após a evaporação das fracções voláteis do gasóleo, quando submetido a aquecimento sob condições

controladas. Este ensaio serve como indicador da quantidade de depósitos, que podem ser depositados pelo gasóleo na câmara de combustão.

Valores elevados de resíduo de carbono, podem levar à formação de uma quantidade excessiva de depósitos na câmara de combustão, e, uma maior contaminação do lubrificante, por fuligem.

Também pode estar na origem da auto – ignição (o motor continuar a trabalhar após o corte de combustível), ou se porventura houver excesso de óleo na câmara, pode o motor desalvorar (exceder o limite de rotações projectado para o motor), e partir-se.

Percentagem de água e sedimentos – É uma medida que avalia o teor destas substâncias no gasóleo. Quando se excedem os níveis pré - fixados, é altamente prejudicial, porque aceleram a deterioração e a saturação dos filtros, além de prejudicar a combustão e o sistema de injeção.

Corrosividade ao cobre – Avalia o carácter corrosivo do gasóleo e indica o potencial de peças ou ligas de cobre, e outros metais.

A corrosividade traduz-se pela presença do enxofre elementar e do sulfureto e hidrogénio, que representa o carácter corrosivo.

Teor de cinzas – É o teor de resíduos inorgânicos não combustíveis, apurado após a queima de uma amostra de gasóleo. Esta avaliação, visa garantir que os sais ou óxidos metálicos formados após a combustão do gasóleo e que se apresentam como abrasivos, não venham a causar depósitos numa quantidade que prejudique os pistões, câmara de combustão, etc.

Número Cetano – Mede a qualidade de ignição do gasóleo, tendo influência directa no arranque do motor e no seu funcionamento em carga.

Fisicamente, relaciona-se directamente com o atraso da ignição do gasóleo no motor. Assim, quanto menor for o numero cetano, maior é o atraso da ignição. Como consequência, teremos uma maior quantidade de gasóleo na câmara sem queimar no tempo certo. Esta situação leva a um mau funcionamento do motor, pois quando a queima acontecer, gerará uma quantidade de energia superior á necessária.

Este excesso de energia força o pistão a descer a uma velocidade superior ao devido, o que vai provocar esforços anormais sobre o pistão, originando danos mecânicos e perda de potência.

O gasóleo com alto teor de parafina, apresenta um numero cetano elevado, enquanto que o gasóleo rico em hidrocarbonetos aromáticos apresentam um baixo numero cetano.

A determinação desta característica do gasóleo, é feita comparando o desempenho do n- hexadecano , produto parafínico comercializado como cetano, ao qual é atribuído o número de cetano igual a 100 e com o produto aromático (alfa mentil - naftaleno) que padroniza o número de cetano igual a zero.

A determinação do número cetano, requer o uso de um motor de teste (é possível variar a relação de compressão) standard, equipado com instrumentação adequada e operando sob condições específicas.

Para determinar o numero cetano de uma amostra de gasóleo, esta é pulverizada no motor de teste e no qual se varia a relação de compressão até que a amostra se auto - inflame. Mantendo esta relação de compressão, utiliza-se uma mistura de cetano e alfa mentil - naftaleno até que se auto-inflame. O numero cetano corresponde à proporção volumétrica de cetano presente naquela mistura.

Índice de Cetano – Correlaciona-se com o numero cetano e é determinado pelas refinarias como substituto daquele. Está ligado à qualidade de ignição com o número cetano.

Um indice cetano baixo, dificulta o arranque dos motores a frio e dá origem a depósito nos pistões e mau funcionamento do motor. Um índice cetano alto, facilita o arranque a frio e o motor atinge mais rapidamente a temperatura ideal de trabalho. Impede a ocorrência de pós - ignição, baixa o nível de ruído e minimiza a emissão de poluentes.

Na tabela 2.1, são apresentados alguns parâmetros com respectiva quantificação, do gasóleo vendido em Portugal.



## A motorização diesel e a sua influência sobre o meio ambiente

Parâmetros	Unidade	
Densidade 15° C	Kg.m <sup>-3</sup>	835
Viscosidade 40°C	cst	2,31
Poder calorífico	J / l	35 500
Índice cetano		> 51
Ponto de colmatação do filtro (Verão)	° C	5
Teor de carbono (C)	%	86,6
Teor de hidrogénio (H)	%	13,23
Teor de enxofre (S)	%	0,17

Tabela 2.1 - Parâmetros do gasóleo vendido em Portugal

Na tabela 2.2, são apresentados alguns parâmetros do gasóleo, segundo a EN 590 e a Proposta Europeia.

Parâmetros	Unidade	EN 590	Proposta Europeia
Densidade 15°	Kg.m <sup>-3</sup>	830-880	860-900
Destilação	% vol.	≤65%@ 250°C	
Viscosidade 40°C Cst	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	2 – 4,3	3,5 – 5
Teor de enxofre	% massa	≤ 0,05	< 0,001
Teor de água	mg.Kg <sup>-1</sup>	≤ 200	< 500
Resíduos sólidos	mg.Kg <sup>-1</sup>	≤ 24	< 20
Teor de cinzas	% massa	≤ 0,01	< 0,02
Índice cetano		≥ 49	≥ 51
Resíduo Carbonoso	% massa	≤ 0,30	< 0,3 nos 10 % resíduo
Ponto de inflamação	° C	≥ 55	≥ 101

Tabela 2.2 - Parâmetros do gasóleo, segundo EN 590 e Proposta Europeia

### 2.4.1 Influência da diminuição do teor de enxofre

O enxofre é usado como um aditivo EP, para reduzir ou eliminar o desgaste derivado do atrito em condições de lubrificação extrema ou quando entre duas superfícies interactuantes são atingidas elevadas pressões (acima de 7.000 Kg / cm<sup>2</sup>), que dão origem às denominadas tensões de Hertz.

Se a película de óleo se romper ou tiver sido removida por efeito das pressões muito elevadas, ou ocorreu escorregamento a altas velocidades que provocam temperaturas locais muito elevadas, os aditivos reagem com as superfícies metálicas, onde é

## A motorização diesel e a sua influência sobre o meio ambiente

exercido o atrito, dando origem a placas protectoras que funcionam como películas lubrificantes que se opõem à gripagem.

Com a diminuição do teor de enxofre, perde-se uma boa protecção contra o desgaste e a gripagem.

O enxofre, é um dos principais responsáveis pelo grave problema ambiental, o que levou a que desde à alguns anos, a União Europeia se debruçasse sobre o assunto e legislasse nesse sentido.

A 1ª Directiva do Conselho, 93 / 12 / CE, de 23/3/99, com a designação: “Teor de Enxofre de determinados combustíveis líquidos (gasóleo)”, foi alterada em 13/ 10 / 98 pela 98 / 70 / CE, relativa à qualidade da gasolina sem chumbo e ao gasóleo normal (Diesel Fuel), e que a partir de 1 de Janeiro de 2000 estes combustíveis foram obrigados a ser comercializados com determinados parâmetros.

Portugal adoptou a Directiva (98 / 70 / CE) a partir de 1 de Julho de 1999.

Sendo o gasóleo um derivado do petróleo e o combustível da motorização diesel, tem no sistema de injeção, a função de lubrificante.

Na tabela 2.3, é apresentada a composição química do petróleo bruto e respectiva percentagem para cada elemento.

<b>Elemento</b>	<b>Percentagem</b>
Carbono	75,5 – 88,5
Hidrogénio	9,5 – 14,5
Oxigénio	0,15 – 6,5
Azoto	0,01 – 0,5
Enxofre	0,01 – 9,0

Tabela 2.3 – Composição química percentual do petróleo bruto

Na tabela 2.4, apresentam-se os valores limite de dois parâmetros do gasóleo, segundo a Directiva (98/70/CE)

<b>Parâmetros</b>	<b>Limite</b>
Índice Cetano (mínimo)	51,0
Teor de enxofre (máximo)	350 mg / Kg

Tabela 2.4 – Valores limite de parâmetros do gasóleo

Pode-se assim dizer, que a redução do teor de enxofre tem efeitos positivos e negativos.

Os efeitos positivos têm a ver com:

- Aspectos ambientais (redução do dióxido de enxofre);
- Aumento da vida útil do motor;
- Redução dos inqueimados (PM);
- Melhoria do rendimento dos equipamentos pós - tratamento dos gases de escape;
- Aumento da eficiência dos regeneradores de partículas e filtros dos inqueimados.

Os efeitos negativos têm a ver com:

- Redução do efeito de lubricidade do combustível (esta redução deve ser acompanhada de verificações, para se avaliar a necessidade de adicionar aditivos afim de atenuar a menor lubricidade);
- Instabilidade térmica.

#### 2.4.2 Variação da viscosidade com a temperatura

Para Silva (1985), a viscosidade é provavelmente a propriedade mais importante dum fluido lubrificante, traduzindo o grau de atrito interno (resistência ao deslocamento das moléculas de uma camada em relação a outra) ou de resistência que um líquido oferece ao seu escorrimento.

Para os lubrificantes são considerados dois tipos de viscosidade:

- Viscosidade absoluta (VA)
- Viscosidade cinemática (VK)

A viscosidade absoluta (ou dinâmica), representa o acréscimo da força que é necessário fazer para deslocar uma superfície plana de um centímetro quadrado sobre outra com a mesma configuração, com a velocidade de um centímetro por segundo, sendo as duas superfícies separadas por um filme de lubrificante com a espessura de um centímetro.

A unidade do S. I. que exprime a viscosidade, é o “ Pa.s “

A viscosidade cinemática, é o quociente entre a viscosidade dinâmica e o peso específico, obtidos à mesma temperatura.

Embora a unidade do S.I. seja o m<sup>2</sup>/s, na prática, é habitual utilizar-se unidades do antigo sistema CGS, como o Stoke (10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s) ou até o centistoke (10<sup>-6</sup>m<sup>2</sup>/s).

$$\text{Viscosidade cinemática} = \frac{\text{Viscosidade Absoluta}}{\text{Peso específico}}$$
$$V_k \text{ (“Centistokes”) } = \frac{(VA) \text{ (“Poise”)}}{100 \times \text{Peso específico}}$$

A viscosidade dos óleos lubrificantes, varia com maior ou menor intensidade com a temperatura. Como na maior parte das aplicações, as alterações das condições de temperatura dos óleos são importantes, é necessário ter em conta esta variação da viscosidade. Pode dizer-se que quanto mais viscoso é um óleo, maior é a tendência para sofrer variação de viscosidade.

Hersey (1929) utiliza uma amostra de gasóleo, cujas características define, para ser submetido a testes, a diferentes pressões e temperaturas. Conclui-se através dos gráficos apresentados pelo autor, que com à temperatura constante de 20° C, a viscosidade absoluta vai aumentando com o aumento de pressão. À temperatura de 80° C, a viscosidade absoluta é menor, e à medida que a pressão vai aumentando tem um aumento pouco significativo. Do exposto, verifica-se que a viscosidade absoluta varia com a alteração da temperatura e pressão, sendo que a temperaturas mais elevadas tem um baixo valor e com uma variação muito reduzida, qualquer que seja o aumento do valor da pressão.

## 2.5 Normas Europeias para a motorização diesel

Neste ponto, é focado a período de vigência das Normas Europeias que controlam e quantificam os valores dos elementos presentes nas emissões dos gases de escape, assim como a estratégia adoptada pelos construtores de viaturas.

### 2.5.1 EURO 2, EURO 3 EURO 4

Afim de atenuar os crescentes e graves problemas ambientais originados pelos gases de escape proveniente da motorização diesel, a União Europeia promulgou através de normas, imposições que os construtores de viaturas tiveram que dar cumprimento. Nas Normas, são quantificados os valores máximos admissíveis para os elementos que compõem os gases de escape, assim como para os inqueimados.

Na tabela 2.5 são apresentadas as normas ambientais e respectivo período de vigência, segundo Inovazione e Competitivita (2001):

<b>Norma Ambiental</b>	<b>Vigência</b>
EURO 2	1995 – 2000
EURO 3	2000 – 2005
EURO 4	2005 - 2010
EURO 5	A partir de 2010

Tabela 2.5 – Normas ambientais e respectiva vigência

### 2.5.2 Influência do sistema de injeção no cumprimento das Normativas

Segundo Gielespi (1998), as imposições restritivas aos limites das emissões contaminantes em g/Km e para cada norma, podem resumir-se de acordo com a tabela 2.6.

<b>Norma</b>	<b>CO</b>	<b>HC + NO<sub>x</sub></b>	<b>MP</b>
EURO 2	1,00	0,70	8
EURO 3	0,64	0,56	5
EURO 4	0,50	0,30	2,5

Tabela 2.6 - Níveis máximos de emissões contaminantes

## A motorização diesel e a sua influência sobre o meio ambiente

Para atingirem os valores fixados pelas Normas os fabricantes adoptaram uma estratégia para a redução das emissões de gases de escape, a partir da motorização diesel com sistema CR – DID.

Na tabela 2.7, são apresentados os conceitos e os requisitos tecnológicos desenvolvidos pelos fabricantes de sistemas de injeção diesel, para o cumprimento das normas ambientais.

Conceito	Requisitos Tecnológicos
Aumento da pressão; Redução do diâmetro do furo de pulverização. Controlo da combustão mediante injeção múltipla. Combustão homogénea para o motor diesel: ( $\lambda = 1$ – elevada quantidade de EGR)	Sistema CR, com: - 1.600 bar pressão injeção.  - Ângulo dwell muito curto ( $10 \mu s$ ); - Melhoria na actuação da gestão do combustível.  Controlo do ar fresco e EGR, por meio dum motor passo a passo.

Tabela 2.7 - Estratégia para a redução das emissões contaminantes

Na tabela 2.8, são apresentados os conceitos e os requisitos tecnológicos desenvolvidos pelos fabricantes de sistemas de injeção no tratamento dos gases de escape (ver anexo XIX).

Conceito	Requisitos Tecnológicos
Eficiência na redução de $NO_x$ a menos de 50% no ciclo NEDC  Filtragem das Partículas, com 90% de eficiência.	Catalizador de tratamento de $NO_x$ : Enxofre tolerável - 50 ppm Estratégia de regeneração  Filtro de Partículas Diesel Enxofre tolerável - 50 ppm Estratégia de regeneração

Tabela 2.8 - Tratamento dos gases de escape

### 2.5.3 Problema dos inqueimados

Considera-se inqueimado, o material sólido carbonoso que resulta da deficiente combustão do gasóleo. Em excesso, dá origem a fumo negro e pode surgir nas seguintes condições:

- Início de injeção incorrecto;
- Excessivo débito de gasóleo injectado, para a condição requerida pelo motor;
- Deficiente pulverização dos injectores;
- Colmatação do filtro de ar.

O início de injeção tem a ver com a distribuição do motor e esta pode alterar-se devido a problemas mecânicos ou outros.

A dosificação do gasóleo, é feita de modo distinto nos sistemas de injeção diesel. No sistema convencional é a bomba injectora que quantifica o débito de gasóleo a injectar, enquanto nos sistemas controlados pela da ECU, é esta que regula o débito.

No sistema convencional, a deficiente pulverização do injector pode ser devido a:

- Desgaste nos furos de pulverização;
- Problemas mecânicos;
- Presença de água.

No sistema CR, pode ser devido:

- Às verificadas no sistema convencional;
- Avaria na bobine dos injector (controlo do fecho e abertura da passagem do gasóleo para o retorno).

A colmatação do filtro de ar, pode ser devida a uma utilização excessiva, ou então se o motor esteve a trabalhar em ambiente de muita poeira e húmido

### 2.5.4 NO<sub>x</sub>

Os óxidos de azoto presentes nas emissões dos gases de escape da motorização diesel, são dos contaminantes mais prejudiciais, tanto para o ser humano como para o

## A motorização diesel e a sua influência sobre o meio ambiente

meio ambiente. Ao entrarem em contacto com o vapor de água existente na atmosfera, dão origem à formação da chamada chuva ácida.

No sistema de injeção diesel convencional, a injeção ao ser feita de uma só vez, levantava problemas aos construtores de motores no controlo das emissões poluentes.

No sistema CR, o controlo das emissões poluentes já é possível. Havendo uma injeção posterior, esta pode usada para a dosificação dos meios redutores numa determinada variante do catalizador de  $\text{NO}_x$ . A injeção posterior segue-se á principal, faz-se até 20° de manivela depois do PMS e durante o tempo de expansão do pistão. Esta injeção posterior (retardada), introduz nos gases de escape uma quantidade de gasóleo exactamente dosificada, mas pode conduzir a uma diluição por parte do gasóleo, no óleo do motor. Contrariamente à injeção prévia e principal, o gasóleo não é queimado, evaporando-se por acção do calor residual nos gases de escape que se encontram dentro da camisa. Esta mistura gases de escape / gasóleo, é conduzida no tempo escape, através das válvulas, para as condutas de saída dos gases de escape.

A retroalimentação do motor com parte dos gases de escape (através da EGR), conduz novamente uma parte do gasóleo para a combustão, e, actua como uma injeção prévia muito avançada.

Os restantes gases com gasóleo, ao passarem por catalizadores apropriados para os  $\text{NO}_x$ , servem como um meio redutor para os óxidos de azoto e reduzem os valores destes.

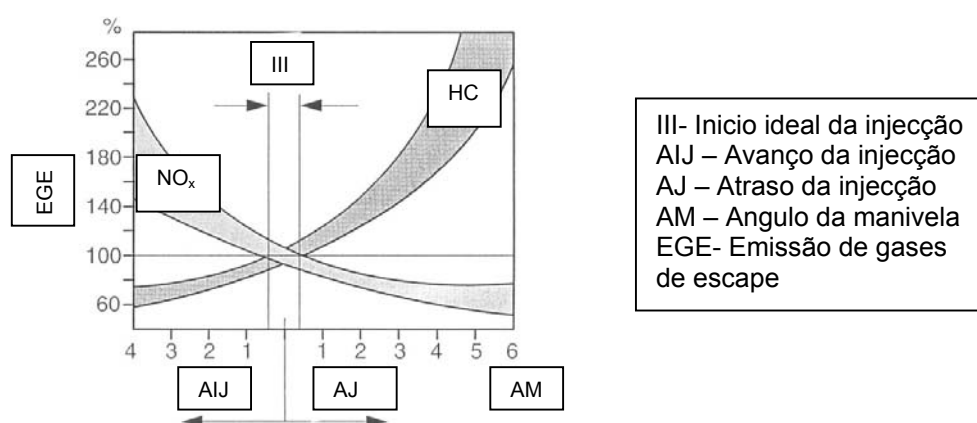


Fig. 2.1 - Emissão de gases em função do ponto da injeção

Como se pode observar na figura 2.1, a injeção ideal deve ser feita no intervalo III, para que resulte em simultâneo, a menor percentagem das emissões contaminantes.



## A motorização diesel e a sua influência sobre o meio ambiente

Um avanço muito grande da injeção provoca uma elevada percentagem de  $\text{NO}_x$ , mas diminui a percentagem de HC.

Um atraso muito grande da injeção provoca uma elevada percentagem de HC, mas diminui a percentagem de  $\text{NO}_x$ .

Pretende-se com a figura 2.2, mostrar até que percentagem de gases recirculados se obtêm resultados benéficos para o controlo das emissões contaminantes.

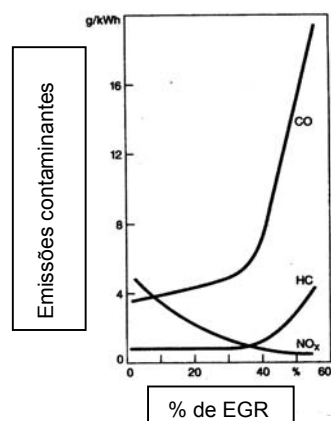


Fig. 2.2 - Influência da EGR nas emissões contaminantes

### 2.5.5 Redução de consumo de combustível

Segundo Inovazione e Competitivita (2001), no ano de 1998, a ACEA assume o empenho na progressiva redução do consumo de gasóleo, para a nova motorização diesel a ser produzida.

Foi convicção comum que, para se obter tal resultado, era necessário um alargamento do mercado da motorização diesel, ficando a pretensão de ser atingido nas vendas de veículos novos na europa, a percentagem de 50 %, no ano 2012.

Graças à sua excelente eficiência, a motorização diesel CR-DID apresenta em termos de consumo de gasóleo, uma vantagem de cerca de 30% relativamente ao motor a gasolina.

Para que o motor funcione em qualquer estado de serviço com uma combustão ideal, é calculado, pela ECU, o caudal de injeção adequado a cada caso.

Assim, poderemos ter:

- O caudal de arranque é determinado em função da temperatura e do regime do motor. Estabelece-se desde o contacto de chave, até que seja atingido o regime de rotação mínima, sem a influência do condutor;

- O serviço de marcha normal, leva a que caudal de injeção seja determinado em função da posição do pedal do acelerador (sinal eléctrico, enviado á ECU a partir do sensor do pedal) e do numero de rotações do motor. Isto realiza-se mediante o campo característico do comportamento de marcha. Ficam assim adaptados da melhor forma possível, o desejo do condutor e a potência do veículo;

- A regulação de ralenti é feita com o motor a este regime, e, é o grau de rendimento que determina o consumo de gasóleo. Uma grande parte do gasóleo que é consumido nas viaturas com motorização diesel e utilizada em tráfego intenso, recai sobre este estado de serviço. Para atenuar esta condição, é vantajoso que o regime de ralenti seja o mais baixo possível, e, deve estar ajustado de modo a que, quando estiver ligado o ar condicionado no máximo da sua potência, a rede eléctrica a plena carga e a viatura com caixa de velocidades automática e deslocar-se em marcha lenta, a rotação não diminua demasiado, que o motor passe a trabalhar em regime irregular ou chegue mesmo a parar;

- Regulação da suavidade de marcha é devida às tolerâncias mecânicas. Uma vez que nem todos os cilindros geram o mesmo binário motor, esta situação dá origem a um funcionamento irregular do motor, (“o motor não está redondo” na gíria oficial). O regulador de suavidade de marcha, determina as variações do regime depois de cada combustão e compara-as entre si. O caudal de injeção, para cada cilindro, é ajustado com base nas diferenças de rotação, de modo a que todos os cilindros contribuam por igual para a geração do binário motor. Esta regulação actua unicamente na margem inferior de rotações;

- Regulação da velocidade de marcha, permite a circulação da viatura a uma velocidade constante. O regulador ajusta a velocidade da viatura ao valor desejado pelo condutor que, ao premir um botão no painel de instrumentos, fica memorizada na ECU. É a denominada “Velocidade de Cruzeiro “.

O caudal de injeção aumenta ou diminui, conforme a velocidade da viatura varia em relação à pré - determinada.

Quando se acciona o pedal do travão ou da embraiagem, a função é desactivada. Para utilizar de novo esta função, repete-se o procedimento;

- Regulação do caudal de referência. Uma vez que nem sempre é injectado o caudal de gasóleo requerido pelo condutor ou fisicamente possível, aquele caudal de referência serve para comparar. As causas podem ser consequência de :

- Produção excessiva das emissões contaminantes;
- Libertação excessiva de fumo negro;
- Sobrecarga mecânica, devido a um binário motor excessivo ou excesso de rotações;
- Sobrecarga térmica, devido a temperatura excessiva do liquido refrigerante, ou do óleo lubrificante do motor;
- Entrada em programa de emergência, devido a alguma falha registada na ECU.

Também a motorização diesel com CR-DID, quando a viatura circula em qualquer regime e o pedal do acelerador na posição de repouso (ex: numa descida com o motor a servir de travão, ou quando se pressiona o pedal do travão), não se dá injeção. Aproveitando esta condição de estado, o condutor pode assim usufruir de uma diminuição do consumo de gasóleo.

## **2.6 Os órgãos periféricos do motor, vistos pelo construtor do veículo**

São órgãos periféricos, todos aqueles que são montados exteriormente ao motor e são indispensáveis para o seu eficaz desempenho.

Consideremos alguns dos órgãos periféricos mais importantes:

- Bateria;
- Motor de arranque;
- Alternador;
- Componentes que constituem o sistema de injeção;
- Turbocompressor;
- etc.

O construtor da viatura ao não participar no desenvolvimento dos órgãos periféricos (apenas exige que tenham uma elevada fiabilidade dentro do período de garantia, para garantir custos reduzidos), não planifica a sua manutenção, como o faz para o material

que por ele foi desenvolvido. Por outro lado, é uma forma de se defender de uma eventual análise de custos de manutenção, situação que acontece quando se trata de utilizadores frotistas.

Durante o período de garantia atribuído pelo construtor da viatura, quando um órgão avaria, este é substituído por outro novo. A análise da avaria, normalmente não é feita levando em alguns casos, a que o órgão substituído avarie prematuramente. A análise de avaria é importante, uma vez que pode servir de alerta e prevenção para situações futuras.

## **2.7 Comportamento da injeção diesel**

Neste sub - capítulo, pretende-se mostrar o desenvolvimento da pressão de injeção, ao longo do período de tempo durante o qual a mesma se dá.

O desenvolvimento é distinto para o sistema convencional e CR.

### **2.7.1 Sistema Convencional**

Segundo R. Bosch (1999), no sistema de injeção convencional com bomba injectora rotativa ou em linha, só é feita uma injeção por cilindro em cada rotação de manivela, excepto em algumas bombas rotativas controladas por electroválvula, que permitem uma injeção prévia.

No sistema convencional, a geração de pressão e a disponibilidade do caudal de injeção estão associados, uma vez que ambos são devidos às válvulas e êmbolos de fornecimento. Estes componentes actuam sobre o comportamento da injeção, com a pressão de injeção e o caudal a aumentarem em simultâneo com a subida da rotação.

Com este tipo de funcionamento, temos:

- Pequenos caudais são injectados a pressões mais baixas;
- A pressão máxima atingida, é mais do dobro da pressão de injeção média;
- O desenvolvimento da injeção é aproximadamente triangular, como é o requerido numa combustão favorável.

Na figura 2.3, verifica-se que o aumento de pressão começa com o fornecimento do gasóleo a partir da bomba. Quando a pressão atinge o valor a que o injector for

calibrado, este abre, há uma ligeira queda de pressão e inicia-se a injeção. Durante o período de injeção, a pressão vai aumentando até um determinado valor, após o qual, diminui rapidamente. Quando a pressão de injeção atinge o valor imediatamente abaixo daquele a que o injetor foi calibrado, este fecha, a pressão sobe ligeiramente, e, geram-se ondas de pressão que vão no sentido da bomba injetora e que depois se reflectem para o lado do injetor. Se a onda de pressão atingir um valor superior ao valor de fecho do injetor, pode originar injeções secundárias, criando um vazio nas linhas de alimentação, assim como, se as válvulas da bomba injetora não vedarem correctamente.

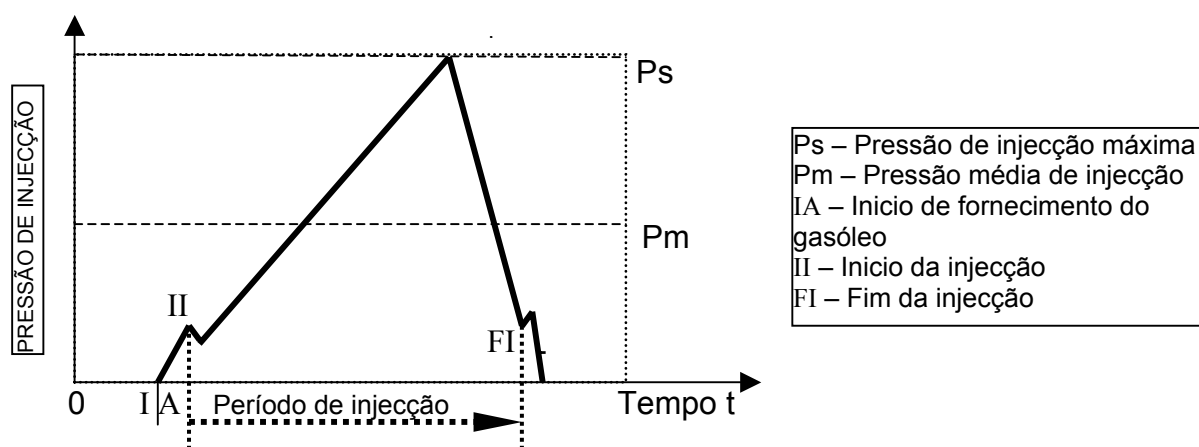


Fig. 2.3 - Desenvolvimento da injeção convencional

Na figura 2.4, é representado o desenvolvimento gráfico da injeção, o aumento de pressão provocada pela combustão e compressão, em função do angulo de manivela.

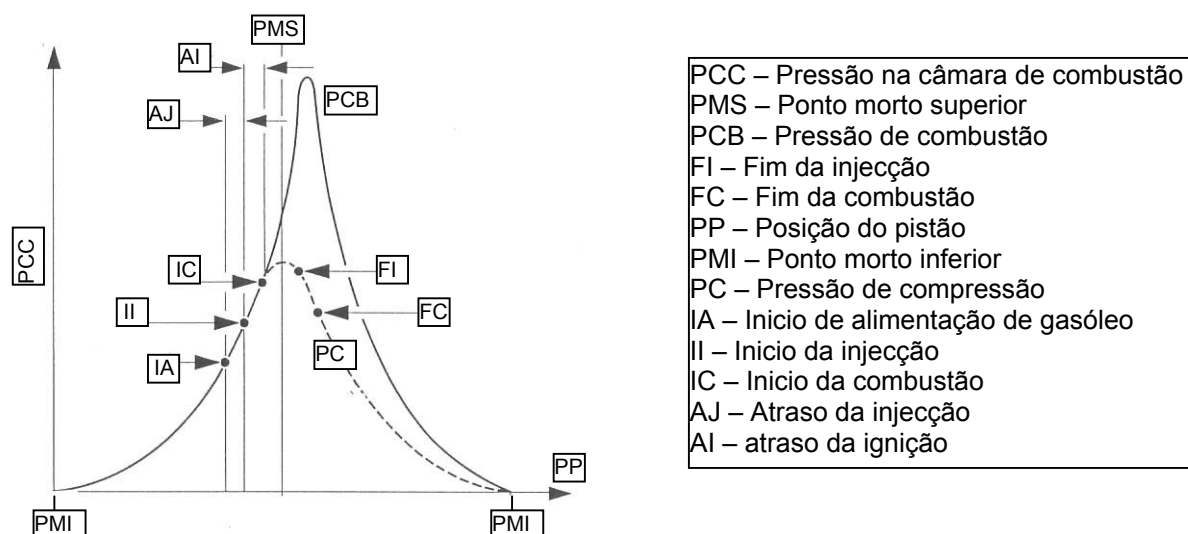


Figura 2.4 - Representação gráfica da injeção convencional

### 2.7.2 Sistema “Common Rail”

O comportamento da injeção no sistema CR, cumpre as seguintes exigências adicionais, relativamente ao comportamento de injeção convencional:

- A pressão e o caudal de injeção podem estabelecer-se independentemente entre si, para cada ponto de serviço do motor (grau de liberdade adicional para a formação da mistura);
- O caudal de injeção deve ser no início da mesma, o mais reduzido possível e durante o atraso da ignição (tempo que medeia entre o início da injeção e o começo da combustão).

No sistema CR com injeção prévia e principal, estas exigências são satisfeitas.

Do comportamento da injeção, são responsáveis em primeiro lugar os seguintes componentes:

- Injectores controlados por electroválvula ou piezoeléctricos;
- Acumulador “Rail” de gasóleo;
- Bomba de alta pressão.

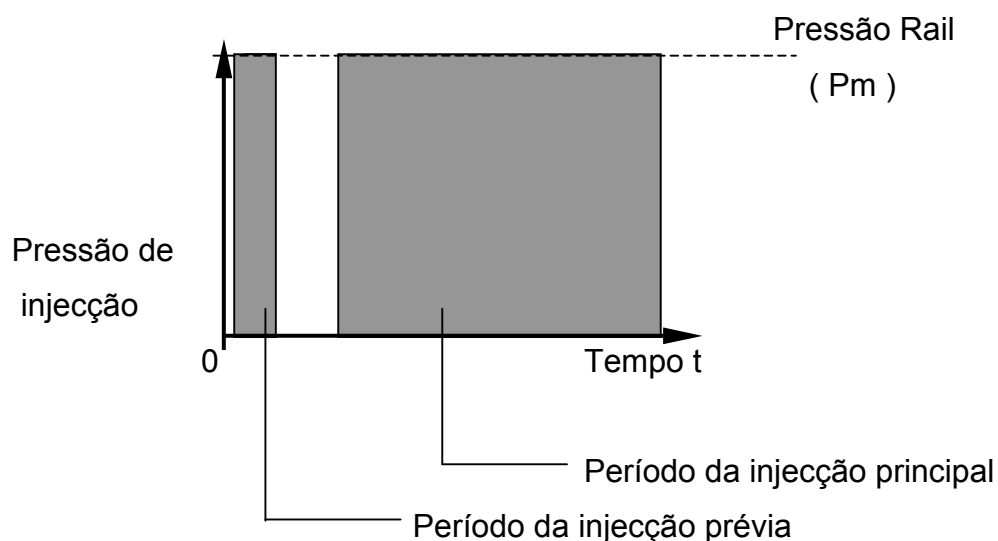


Fig. 2.5 – Desenvolvimento da injeção “CR”

Como se pode observar, a pressão de injeção mantém-se constante independentemente da rotação do motor. O tempo de injeção é controlado pela ECU, e, é condicionado pelas condições de trabalho do motor.

## 2.8 O gasóleo como lubrificante nos sistemas “Common Rail” de injeção diesel

O gasóleo ao ser utilizado como lubrificante, levanta alguns problemas face aos lubrificantes tradicionais, já que entre ambos existe uma grande diferença quanto à sua aplicação. Enquanto o gasóleo é fundamentalmente usado como combustível e com todas as condicionantes que o facto implica, os lubrificantes já têm um campo de aplicação mais alargado e uma composição química que não é restringida.

As principais diferenças entre eles, têm a ver com os aditivos que podem ser incorporados nos lubrificantes e lhes conferem outras propriedades, que também contribuem para:

- Baixar ponto de congelação;
- Melhorar índice de viscosidade;
- Anti desgaste.

Com a limitação dos aditivos e de que entre outros se destaca o antidesgaste (EP), leva a que mecanismos lubrificados pelo gasóleo, tenham um desgaste mais acelerado ou até mesmo possa surgir a gripagem em certas condições de trabalho.

## 2.9 Previsão da evolução do mercado europeu para a motorização diesel

O gasóleo, que sempre foi um combustível mais barato que a gasolina, tinha na motorização diesel disponível, aspectos negativos que levavam a que esta não fosse muito procurada para aplicação em viaturas de uso utilitário.

Quando em 1986 é iniciada a montagem de bombas rotativas com controlo electrónico (EDC), é dado o primeiro grande passo na mudança de imagem e prestações da motorização diesel, face aos motores a gasolina de igual cilindrada.

Este inovador sistema de injeção com EDC, ao ser adoptado pelo construtor alemão da marca Audi e detentor de elevado prestígio no mundo automóvel, modifica radicalmente a opinião do utilizador, face às prestações, consumo, ruído e poluição.

A previsão de massificação da motorização diesel, leva os grandes construtores de viaturas a tomarem medidas em conjunto, no sentido de a optimizarem ainda mais, tendo em conta a preocupação de ordem ambiental e a redução de consumo de gasóleo.

## A motorização diesel e a sua influência sobre o meio ambiente

A ACEA e a CAFE estabelecem os seguintes parâmetros, com o compromisso de os mesmos serem atingidos :

- Redução de 30 % no consumo de combustível por cada 100 Kms percorridos;
- Redução de 50% no custo de combustível por cada 100 Kms percorridos;
- Redução: de 12 % de CO<sub>2</sub> (g / Km) de 1998 até 2002  
de 26 % de CO<sub>2</sub> (g / Km) de 1998 até 2007  
de 37 % de CO<sub>2</sub> (g / Km) de 1998 até 2012

Apresenta-se na tabela 2.9, a previsão da evolução da motorização diesel, segundo a projecção do fabricante Robert Bosch.

Ano	% Ligeiros	% Comerciais	% Industriais
1990	15	5	3
2000	35	15	6
2010	66	22	8

Tabela 2.9 – Previsão da evolução do mercado diesel

A nível nacional, com os preços praticados com as viaturas com motorização diesel em relação às de gasolina, a tendência de crescimento do diesel é um dado adquirido. Alguns construtores, já propõem viaturas (não comerciais) com motorização diesel de custo inferior às de igual cilindrada e motorização a gasolina. Esta política de preços, tende a generalizar-se.

Segundo Guia do Automóvel N° 234, apresentam-se os dados relativos a vendas de viaturas ligeiras em Portugal.

Em Agosto de 2004, verificava-se o seguinte, em relação aos vinte modelos mais vendidos.

Viaturas a diesel	3.062
Viaturas a gasolina	<u>1.874</u>
Total	4.936
Percentagem diesel	61 %



## A motorização diesel e a sua influência sobre o meio ambiente

De Janeiro a Agosto de 2004, verificava-se o seguinte em relação aos vinte modelos mais vendidos.

Viaturas a diesel	25.867
Viaturas a gasolina	<u>22.275</u>
Total	48.142
Percentagem diesel	64 %

Na tabela 2.10, é apresentado o numero de vendas de viaturas diesel durante o mês de agosto de 2004, as globais de janeiro a agosto do mesmo ano e a evolução relativamente aos mesmos períodos do ano 2003. Nas vendas, não estão incluídas as viaturas todo terreno (em que a motorização diesel, representa a maior percentagem).

<b>Viatura</b>	<b>Vendas Agosto</b>	<b>% Rel. 2003</b>	<b>Venda Jan. Agost</b>	<b>% Rel. 2003</b>
Comercial Ligeiro	4.235	+3,2	46.848	+5,2
Comercial Pesado	278	+47,1	3.469	+23,8

Tabela 2.10 – Vendas de viaturas diesel em Portugal

Na tabela 2.11, é apresentada a percentagem anual de vendas de motorização diesel em vários países da europa, segundo U.S. Department of Energy (2003).

<b>País</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>
Bélgica	54,3%	56,7%	62,6%	64,2%
França	44,1%	49,0%	56,2%	63,2%
Alemanha	22,4%	30,4%	34,6%	38,0%
Itália	29,1%	33,7%	36,6%	43,6%
Noruega	8,2%	9,0%	13,3%	17,5%
Espanha	51,7%	53,1%	52,5%	57,3%
Suiça	6,6%	9,2%	13,3%	17,8%
Reino Unido	13,8%	14,1%	17,8%	23,5%
<b>Total</b>	<b>28,4%</b>	<b>32,3%</b>	<b>36,0%</b>	<b>40,4%</b>

Tabela 2.11 – Evolução da motorização diesel, em alguns países europeus

Como se pode observar, há um incremento de 4% nas vendas ano. Com evolução verificada, a meta dos 50% estabelecida pelos construtores de motores para o ano de 2012, vai provavelmente acontecer antes daquela data.

## 2.10 Conclusões específicas

A crescente degradação ambiental, que em parte tem o contributo das emissões contaminantes presentes nos gases de escape da motorização diesel, levou a que fossem tomadas medidas no sentido de haver um maior controlo sobre as emissões, tanto por parte de organismos oficiais como pelos construtores de motores e fabricantes de sistemas de injeção diesel.

A legislação europeia que foi publicada, foi um forte contributo para a rápida evolução da motorização diesel, assim como do gasóleo.

No gasóleo, o enxofre como elemento constituinte e o mais nefasto para o meio ambiente e o próprio motor, mereceu uma atenção especial.

### **3 CONCEITOS E SISTEMAS “COMMON RAIL”**

Neste capítulo, é desenvolvida a introdução teórica que servirá de suporte ao tema em estudo, com a definição dos vários tipos de manutenção, a sua finalidade e importância, e ainda, as técnicas que podem ser aplicadas nos mais diversos tipos de actividade.

Aplicam-se, no âmbito deste estudo, alguns conceitos cuja definição é importante:

- Orgão é um conjunto composto por vários componentes ou elementos simples que, agrupados, formam um conjunto com alguma complexidade;
- Orgão rotável - orgão intermutável, que tem a particularidade de poder ser aplicado, indistintamente, na substituição de outro idêntico;
- Recondicionamento de bombas de alta pressão – filosofia de reparação, levada a cabo pelo fabricante das bombas ou em oficinas especializadas e detentoras de equipamento específico para a sua reparação, que consiste na substituição dos elementos que apresentem desgaste ou outro tipo de avaria, por outros novos. A bomba é submetida a um ensaio, a fim de garantir que se encontra de acordo com os valores do fabricante;
- Falha crítica – estado de um produto avariado que revela o mais elevado índice de severidade;
- Índice de severidade – representa de uma forma quantitativa a falha. Tem associado a gravidade que a falha representa, a frequência com que acontece e o modo como é detectada.

Aplicam-se também alguns conceitos dentro do âmbito da manutenção, como:

- Fiabilidade – probabilidade de um item poder executar uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo;
- Manutenibilidade – probabilidade de uma acção activa de manutenção para um elemento sob determinadas condições de utilização, poder ser executada dentro de um intervalo de tempo estabelecido, quando a manutenção é realizada nas condições pré - estabelecidas e utilizando os procedimentos e os recursos pré - definidos;
- Disponibilidade – capacidade de um bem se encontrar num estado, que

execute uma função requerida sob dadas condições, num determinado momento ou intervalo de tempo.

### **3.1 O que se entende por manutenção**

O conceito de manutenção pode ter várias definições, que traduzem o objectivo final, a garantia da máxima disponibilidade do bem ao menor custo. Este conceito tem evoluído no sentido de aumentar o seu âmbito e diversificar as estratégias de intervenção.

Esta evolução, levou ao reconhecimento da sua mais valia no conjunto das actividades empresariais, assim como a sua interadaptação noutras áreas funcionais.

Para Pinto (1994), a “Manutenção é um conjunto integrado de actividades que se desenvolvem em todo o ciclo de vida de um equipamento, sistema ou instalação, e, que visa manter ou repor a sua operacionalidade, nas melhores condições de qualidade, custo e disponibilidade, com total segurança”.

A manutenção, desde que foi adoptada como uma forma de intervenção nos equipamentos e bens, foi-se desenvolvendo ao longo dos tempos várias vertentes.

Teve início no conceito de manutenção reactiva, seguido-se o evitar a avaria, afim de dar satisfação ao grande desenvolvimento que se verificava no tecido empresarial produtivo.

Com o acelerado desenvolvimento tecnológico após a 2ª Guerra Mundial, acompanhado da disponibilização das tecnologias da informação que entretanto se verificou, foi possível adoptar-se um novo conceito, a prevenção da avaria (manutenção proactiva). A evolução que entretanto teve este último conceito, foi a transferência de protagonismo para o fabricante dos bens e equipamentos, em que a manutenção (de melhoria) é aplicada desde o projecto ou desenvolvimento daqueles (FMEA).

São salientadas outras estratégias de manutenção por Ferreira (2002), tais como:

- Terotecnologia;
- TPM, Total Productive Maintenance;
- RCM, Reliability-centred Maintenance;
- RBI, Risk-based inspection;

- EUT, Eindhoven University of Technology Model;
- TQMMain, Total Quality Maintenance.

Pode dizer-se que a manutenção começou a ser feita pelo Homem desde a sua existência, com a reparação ou substituição da sua arma de caça.

Este tipo de manutenção denominada por curativa, correctiva ou resolutive, resume-se a reparar quando avaria, o que ainda hoje em dia ocorre em muitas situações. Considera-se uma manutenção do tipo reactiva, e ocorrerá sempre até que não haja possibilidade de prevenir a avaria através de métodos de diagnóstico disponíveis, e, exige a disponibilidade de peças de reserva em stock (mais custos), não se poder planear a imobilização do equipamento e encurtar os tempos de paragem (pode dar origem ao não cumprimento do prazo de entrega de encomendas), originar trabalho extraordinário (maiores custos relacionados com a mão de obra), assim como formação adequada do pessoal interveniente, etc.

A vantagem deste tipo de manutenção, é a não introdução de avarias que sempre podem ocorrer, ao fazer-se uma intervenção num equipamento que estava a operar correctamente.

A prevenção da avaria é conseguida através de operações de manutenção que estão planeadas e programadas Ferreira (1998), recorrendo-se a métodos expeditos de detecção. Com este tipo de manutenção, evitam-se paragens inoportunas, reduz-se o numero de avarias imprevistas e os custos das peças de reserva, contudo apresenta a desvantagem de exigir pessoal especializado e multidisciplinar e que operem com os equipamentos de diagnóstico e interpretem correctamente os dados recolhidos, ou então na impossibilidade tem que se recorrer a empresas de outsourcing Souris (1990), que executem este tipo de serviços e se mantenham por média / longa duração, Mendonça (2002).

A existência de equipamentos de diagnóstico tecnologicamente evoluídos, permitem diversas técnicas que podem ser utilizadas na manutenção condicionada, no controlo de condição, ou no diagnóstico dos equipamentos.

Segundo Cabral (1998), são exemplo de técnicas de inspecção com aplicação na manutenção condicionada:

- Análise de vibrações;

- Termografia.
- Análise dos parâmetros de rendimento;
- Inspeção visual;
- Análise dos lubrificantes;
- Medição através de ultrasons.

Análise de vibrações.

Roque (2002), define vibração como o movimento relativo periódico ou aleatório de um ponto ou corpo em relação a uma posição de referência, normalmente a sua posição de repouso. Análise de vibrações é uma técnica de grande expressão e pode ser executada com de equipamentos portáteis ou através de sensores fixos (monitorização em contínuo), em pontos pré definidos. A informação é enviada para uma unidade de controlo, onde foram introduzidos os valores máximos de alerta ou paragem. A evolução dos valores recolhidos, permite ajustar os limites pré definidos.

Termografia.

Consiste na utilização dum equipamento que utiliza radiação de infravermelhos para detectar zonas de aquecimento excessivo, permitindo desta forma actuar para que a temperatura seja distribuída uniformemente sobre o corpo.

Análise de parâmetros.

Trata-se de uma técnica muito utilizada na verificação da eficiência de motores. A medição da taxa de compressão, das rotações do motor, da corrente absorvida pelo motor de arranque e respectiva rotação, pressão no colector de admissão, etc, são alguns dos parâmetros que determinam o bom desempenho do motor

Inspeção visual.

É extremamente importante num qualquer programa de manutenção condicionada. Deve ser feita por técnicos experientes e com uma boa memória histórica dos equipamentos. Permite detectar fugas, desapertos, fissuras, níveis, etc.

A análise do lubrificante.

Segundo Cabral (1998) e Mobil (1980), é uma técnica não destrutiva bastante eficiente, que permite diagnosticar o estado de qualquer componente lubrificado, uma vez que as partículas metálicas geradas pelo processo de desgaste vão sendo incorporadas no lubrificante. O mapa metalográfico possibilita a determinação de qual a(s) zona(s) ou elemento(s), que está(ão) com um processo de desgaste acelerado. Permite também acompanhar o estado de condição do lubrificante. As análises, devem ser feitas a partir de uma amostra recolhida sob condições bem definidas.

Medição através de ultrasons.

Este método é expedito na detecção de irregularidades na estrutura ao nível da sub-camada dos metais, como a existência de fissuras, ôcos, spalls, etc. Permite ainda avaliar a sua profundidade e extensão.

Outra forma de executar manutenção pró-activa é haver cooperação com o fabricante do equipamento ou bem, transmitindo-se a ocorrência de falha, o modo como aconteceu e até mesmo propondo novas alterações ou mesmo as já realizadas por parte dos técnicos especializados da equipa de manutenção tendo como base a sua experiência. É possível que, na fase de projecto ou desenvolvimento do equipamento ou bem, sejam eliminados os factores que contribuem para o aparecimento da avaria. Em todos os tipos de manutenção, tem de estar sempre presente no espírito do pessoal interveniente, que o objectivo final, é a melhoria continua ao menor custo.

Na figura 3.1, estão esquematizadas as duas formas de manutenção.

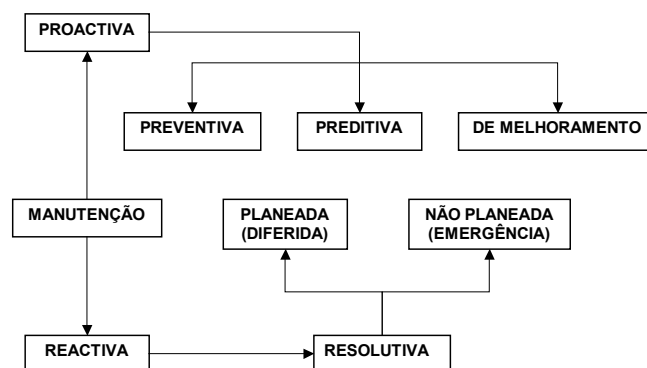


Fig. 3.1 – Esquematisação das formas de manutenção

### 3.1.1 A mais valia da Manutenção

A manutenção, na perspectiva do construtor da viatura, é preventiva planeada, resumindo-se à substituição de peças de desgaste rápido (por ex. discos de travões e pastilhas), mudança de lubrificantes, líquido refrigerante e óleo de travões e, ainda do que possa contribuir para uma avaria grave (por ex. correia distribuição) no motor.

Os órgãos periféricos montados no motor e sujeitos a desgaste por acção do seu funcionamento, também são susceptíveis de operações de manutenção.

Nos representantes do construtor, estes órgãos quando avariaram, são substituídos por outros novos ou reconstruídos não sendo analisada a avaria ou mesmo tomada uma acção preventiva.

Para os fabricantes dos órgãos a perspectiva é diferente, uma vez que estes podem sofrer acções de manutenção preventiva condicionada (mediante a utilização da viatura), ou curativa (reparação). Os fabricantes, para assegurarem a fiabilidade e os seus elevados padrões de qualidade, têm nos seus representantes o apoio para realizar qualquer tipo de manutenção.

Com a constante evolução que se verifica nos órgãos, a que também está associada a introdução da electrónica e da informática, os fabricantes só disponibilizam os equipamentos e dados necessários para acções de manutenção e análise das várias condições de estado de funcionamento dos órgãos, de uma forma limitada.

Quando se procede a uma acção de manutenção (por ex. bomba injectora diesel), é necessário ter informação disponível, tanto do construtor como do fabricante, por forma a que as acções de manutenção sejam executadas num intervalo de tempo estabelecido ou considerado aceitável.

Com a inserção da electrónica e informática (suportadas numa constante evolução tecnológica) nos mais recentes sistemas de injeção diesel, levantam-se algumas dificuldades de acompanhamento por parte dos técnicos o que, associado à ausência de informação detalhada, leva a que em algumas acções de manutenção, o tempo estabelecido não seja cumprido. Este incumprimento também se pode verificar nas operações de manutenção em que não está identificado o órgão ou elemento avariado, e / ou não existem procedimentos definidos tanto pelo construtor como pelo fabricante.



Para atenuar esta ausência de informação, é a equipa técnica que deve verificar o controlo de condição do órgão (considerando correcto o seu estado de funcionamento), procedendo à recolha de dados (deve ser definido um procedimento), que são registados num arquivo, com a finalidade de serem comparados com outros que suscitem dúvidas. Esta acção visa a implementação de um programa de manutenção condicionada do órgão.

Ao proceder-se à execução duma acção de manutenção, visa reduzir-se custos de utilização da viatura, prolongar a vida dos órgãos e reduzir o consumo de matérias primas. É a sua mais valia.

### 3.1.2 Finalidade da manutenção

Considera Farinha (1997), que o objectivo primário de qualquer sector da manutenção, é garantir que os equipamentos sob a sua responsabilidade, cumpram a função para a qual foram postos ao serviço dos utilizadores.

Já Pinto (1994), considera que os objectivos podem ser organizados em quatro grupos.

- 1º - Objectivos económicos (custos);
- 2º - Objectivos Técnicos (qualidade);
- 3º - Objectivos Operacionais (disponibilidade);
- 4º - Objectivos Sociais (segurança, meio ambiente, utilizadores, etc).

É evidente nestas duas definições, que ambas têm sobreposição de interesses, mas que pela sua própria natureza são impossíveis de conciliar na optimização, pelo que será o bom senso que deve encontrar o ponto de equilíbrio.

Assim, podemos considerar os seguintes objectivos da optimização:

- 1º - Segurança de pessoas, bens e equipamentos. Deve ser sempre tida como uma referência presente, e inegociável;
- 2º - Qualidade, na obtenção do maior rendimento do bem e um menor numero de defeitos de produção, com as melhores condições de higiene e segurança e procurando contribuir para a não degradação do meio ambiente;
- 3º - Custo deverá ser o mínimo, nos custos globais do produto considerado, tendo em conta os custos próprios de produção, os de manutenção / não -

manutenção;

- 4º - Disponibilidade para os equipamentos operarem o máximo tempo possível, reduzindo ao mínimo possível os tempos de paragem (quer as imobilizações programadas como as de avaria) e assim contribuir para o assegurar da regularidade da produção com o cumprimento dos prazos planeados.

É responsabilidade da gestão de manutenção encontrar o compromisso mais satisfatório, que seja compatível com os objectivos da empresa e tendo também em conta as decisões futuras.

A disponibilidade de um equipamento, é condicionada pela ocorrência de avarias, pelo tempo gasto nas suas reparações, em acções de manutenção preventiva, etc. A fim de melhor se entender a forma de calcular a disponibilidade, é necessário classificar os diferentes tempos, assim como estes são entendidos em manutenção.

Na figura 3.2, representa-se a classificação dos diferentes tempos, segundo Pinto (1994), para o cálculo das disponibilidade, e conforme as normas francesas:

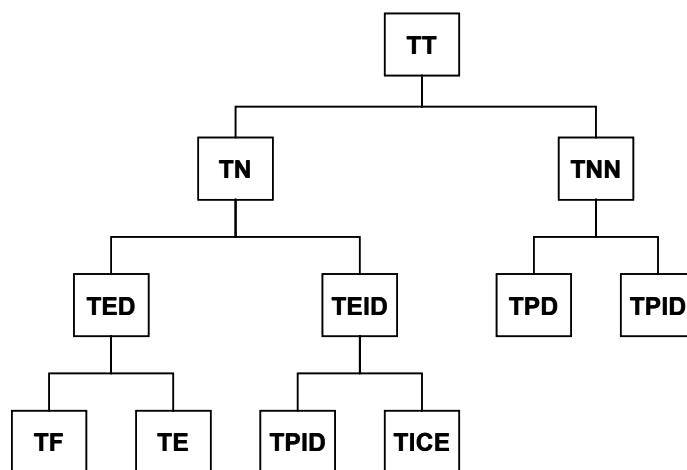


Fig. 3.2 – Classificação dos diferentes tempos, Adaptado de Pinto (1994)

Atendendo ao exposto, podemos considerar que a disponibilidade (D), como:

$$D = \frac{TED}{TN}$$

Segundo Roque (2002), há dois entendimentos para a disponibilidade:

- Disponibilidade intrínseca ( $D_i$ ). É a disponibilidade que o fabricante anuncia, como consequência da fiabilidade e da manutenibilidade inerentes ao equipamento.

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

- Disponibilidade operacional ( $D_o$ ). É a disponibilidade que interessa ao utilizador, levando em linha de conta os factores que intervêm na disponibilidade intrínseca, mais os constrangimentos de ordem logística (MTL).

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTL}$$

Na taxa de avarias consideramos a tecnologia base, as condições de utilização e tipo de manutenção aplicado. Na taxa de reparação, consideramos a tecnologia base, a política de manutenção e a sua logística.

### 3.1.3 Tipos de manutenção

Segundo Ferreira (1998), os tipos de manutenção podem ser divididos em dois modos de intervenção:

- Correctiva, que pode ser executada como Paleativa e Curativa. A paleativa que é processada após a avaria, e, pode ser executada como reparação provisória. A curativa é executada como reparação de carácter definitivo;

- Preventiva que é executada com a intenção de reduzir a probabilidade de avaria. Pode ser feita de forma pré determinada e sistemática, ou executada com base no diagnóstico, condicionada, ou também a partir dos dados recolhidos na Inspeção.

Na figura 3.3, esquematiza-se graficamente os dois tipos de abordagem da manutenção face ao tipo de varia e a sua interdependência através do efeito de melhoramento, o qual vem tomado uma importância cada vez maior, tanto da parte do fabricante como do utilizador.

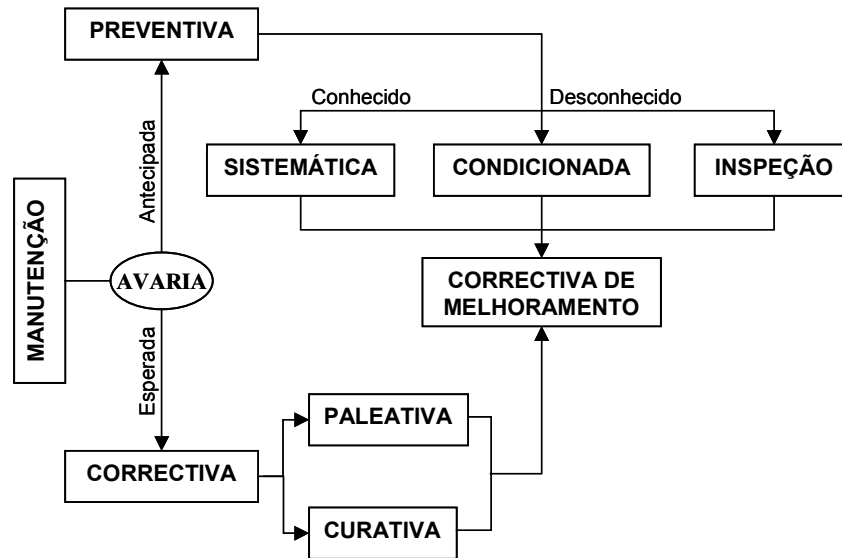


Fig. 3.3 Tipos de manutenção face ao tipo de avaria

Também podem ser atribuídas ao sector da manutenção outras tarefas. Assim, a manutenção pode ter à sua responsabilidade:

- Instalação de novos equipamentos;
- Expansão dos existentes;
- Novos trabalhos;
- Renovação;
- Reconstrução;
- Modernização
- “Canibalização”.

A reconstrução abrange a inspecção completa de todos os componentes, com a análise dimensional, substituição de peças deformadas, verificação das características e eventual reparação ou substituição de peças e subconjuntos avariados; é entendida a reposição do estado definido para o equipamento no caderno de encargos.

A modernização é entendida como, a substituição de acessórios ainda existentes no equipamento, e do qual fazem parte desde o início, por outros já aperfeiçoados no aspecto técnico;

“Canibalização” é remoção de sistemas, órgãos, acessórios ou elementos de equipamentos abatidos, que ainda podem desempenhar a função para o qual foram projectados, noutra equipamento que se pretende recuperar.

#### 3.1.4 Qualidade e Manutenção

Para Cabral (1998), a qualidade e manutenção são factores que não se podem dissociar. É com uma boa operacionalidade dos equipamentos que se produzem produtos de qualidade.

Já para Pinto (1994), a manutenção pode ter influência na qualidade do produto a partir do controlo de condição (folgas, tolerâncias), da boa operacionalidade dos mecanismos, da calibração programada de todos os instrumentos de inspecção e ensaio e da disponibilidade de condições ambientais adequadas à boa operacionalidade dos equipamentos e conservação dos produtos.

Destas teorias, pode deduzir-se que a qualidade da manutenção visa a melhoria contínua dos produtos e da operacionalidade dos equipamentos, e deve ser assegurada por técnicos com qualificação adequada, para que possam desempenhar bem as suas funções e levem a manutenção a atingir os seguintes objectivos:

- Estabelecer um programa de controlo de qualidade para a manutenção, com identificação de tarefas que requeiram a presença de um supervisor ou de um inspector da qualidade;

- Realizar auditorias a fornecedores e empresas subcontratadas, a fim de assegurar a conformidade dos requisitos da empresa em meios humanos e materiais, documentação técnica, sistemas de controlo e formação de pessoal;

- Execução de trabalhos mais especializados e que requeiram experiência e conhecimento, devem ser executados e acompanhados de algumas inspecções, ensaios e controlo dimensional;

- Sensibilizar e motivar para a qualidade toda a organização de manutenção. A qualidade não resulta de verificações mais ou menos frequentes, mas do trabalho bem executado desde o início, e sempre; todas as discrepâncias que sejam detectadas devem ser comunicadas aos sectores adequados, para que sejam revistas e corrigidas.

### 3.2 Análise de avarias

Para a resolução de avarias, dentro do tema proposto, assim como, do sistema em que se encontra inserido numa viatura, têm que ser utilizados equipamentos de diagnóstico que possibilitam a recolha de dados e valores.

De uma gama alargada de equipamentos disponíveis, os mais utilizados são:

- Leitor do código de falha registado na ECU.
- Multímetro
- Osciloscópio
- Simulador do sistema de injeção CR

O leitor de código de falha (erro), é um equipamento que funciona através de uma ficha de diagnóstico e das linhas de comunicação (K e L), para ter acesso ao registo das falhas memorizadas ou até aos valores que os sensores de controlo enviam em continuo para a ECU.

Multímetro, é um equipamento destinado a medir os valores de tensão e intensidade da corrente AC e DC, resistências, continuidades, verificar transístores, frequências, etc.

O sistema indicador da grandeza medida, pode ser analógico ou digital.

Osciloscópio – trata-se de um instrumento electrónico, utilizado para observação e registo de fenómenos físicos que variam no tempo, após transformação prévia em sinais eléctricos variáveis.

Simulador do sistema de injeção CR – é um equipamento electrónico, que em conjunto com um programa informático específico, permite simular o funcionamento de todo o sistema e testar ou detectar falhas existentes.

### 3.3 FMECA

Para Pegas (2003) e Stamatis (1947), o objectivo mais elementar da técnica FMECA é prever as falhas que possam ocorrer, antes que o produto, peça ou serviço seja executado.

O FMECA, é uma metodologia de análise do modo de falha com a avaliação da sua criticidade, tem como contributo evitar, atenuar, ou conduzir a acções de melhoria que evitem a probabilidade de falha do produto, peça ou serviço. Ao utilizar-se esta técnica, pode afirmar-se, que a probabilidade de falha diminui, aumentando a fiabilidade do equipamento.

Ao ser lançado no mercado um produto, peça ou serviço, a ocorrência de determinados tipos de falhas, pode ter consequências graves para o consumidor. Por exemplo, uma falha em aviões e equipamentos hospitalares, pode colocar em risco a vida dos utilizadores.

Uma falha, por vezes totalmente coberta pela garantia do fabricante e mesmo que prontamente reparada pelo serviço de assistência, causa no consumidor uma insatisfação durante um período de tempo uma privação do uso do bem.

A técnica FMECA ao ser aplicada na vertente qualidade, torna-a cada vez mais importante, tanto para o fabricante, utilizador ou consumidor uma vez que minimiza o número de falhas.

O FMECA foi inicialmente desenvolvido para os novos projectos de produtos e processos, mas, ao ser verificada a utilidade da sua metodologia, passou a ter aplicações diversas como por exemplo nos serviços administrativos e aplicações específicas, como a industria alimentar ou a engenharia de segurança. Nesta técnica é a fonte de risco que é analisada.

A implementação da técnica FMECA, deve ser um meio para a empresa atingir os seus objectivos e resultados, não uma exigência do comprador.

Muitas empresas certificadas pela norma ISO 9000, ao adquirirem peças / produtos ao exterior, exigem de entre outros documentos, o FMECA, o que levou à ampla divulgação desta técnica.

Como foi dito anteriormente, a metodologia FMECA usada tanto pode ser aplicada na fase de projecto de desenvolvimento de um produto, processo ou sistema, como a

serviços. As etapas e modo de realização são os mesmos, embora com objectivos diferentes.

A análise FMECA pode ser aplicada em:

- Projectos de produtos ou processos, para diminuição da ocorrência da probabilidade de falha na concepção;
- Produtos ou processos já em curso, para análise das falhas já ocorridas, ou, diminuir a probabilidade de acontecerem outras falhas;
- Sistemas e sub-sistemas. Na fase de projecto são analisados os modos de falha potencial, entre as funções de um sistema e provocadas por deficiência deste e as já ocorridas nos produtos ou processos em curso;
- Serviços. Antes que sejam colocados ao dispor dos clientes, são identificadas as falhas potenciais que possam ocorrer nos sistemas, diminuindo assim os riscos de erros, aumentando assim a qualidade dos serviços administrativos.

Esta metodologia, inicia-se com a formação de uma equipa pluridisciplinar, cujas funções permitam prever os tipos de falhas que possam ocorrer, os seus efeitos e as possíveis causas e esteja identificada com o produto, processo, sistema ou sub-sistema e serviço em questão.

Fases de aplicação da técnica FMECA:

- Planeamento;
- Análise de potenciais falhas;
- Avaliação de riscos;
- Melhoria;
- Continuidade;
- Importância.

A fase de planeamento prevê a identificação do produto(s) ou processo(s) a analisar e a descrição dos objectivos e a sua abrangência;

- Formação do grupo de trabalho por quatro a seis elementos multidisciplinares de acordo com o âmbito (por ex. áreas da qualidade, desenvolvimento e produção);



- Planeamento de reuniões. Estas devem ser agendadas com antecedência e com a aprovação prévia de todos os participantes, para o cumprimento dos prazos;
- Preparação da documentação.

A análise de falha potencial, é realizada pelo grupo de trabalho que discute e preenche o formulário FMECA, com:

- A(s) função(es) e característica(s) do produto(s), processo(s), sistemas e sub-sistemas, ou serviços;
- O(s) tipo(s) de falha(s) potencial(is) para cada função;
- O(s) efeito(s) por tipo de falha;
- A(s) causa(s) possível(eis) da(s) falha(s);
- O controlo actual.

Avaliação de riscos. É a fase em que são definidos pelo grupo, os índices de Gravidade (G), de Frequência (F) e de Detecção (D) para cada causa de falha, conforme os critérios previamente estabelecidos.

Com estes três índices, calcula-se o IPR, que é o produto dos valores atribuídos a G, F e D.

Na tabela 3.1, é atribuído o índice de gravidade, face à avaria verificada no sistema CR.

Índice Gravidade		
Índice	Gravidade	Critério
1	Mínima	O cliente mal se apercebe que ocorre uma falha
2 3	Pequena	Leve abaixamento no desempenho de uma função e o cliente ainda aceita a falha
4 5 6	Moderada	Significativo abaixamento no desempenho de uma função e o cliente descontente
7 8	Alta	A função deixa de funcionar e o cliente mostra grande descontentamento.
9 10	Muito Alta	O mesmo que anterior, acrescido do factor segurança

Tabela 3.1 – Tabela do índice de gravidade

Na tabela 3.2, é atribuído o índice de frequência, face à ocorrência da avaria verificada no sistema CR.

Índice Frequência		
Índice	Ocorrência	Frequência ( Kms)
1	Remota	10E-6
2	Pequena	20E-5
3		4E-3
4	Moderada	1E-3
5		4E-2
6		8E-1
7	Alta	4E-1
8		2E-1
9	Muito Alta	8 <sup>-1</sup>
10		2 <sup>-1</sup>

Tabela 3.2 – Tabela do índice de frequência

Na tabela 3.3, é atribuído o índice de detecção face ao modo como é reconhecida a avaria no sistema CR.

Índice de Detecção		
Índice	Detecção	Critério
1	Muito grande	Certamente será detectado
2		
3	Grande	Grande probabilidade de ser detectado
4		
5	Moderada	Provavelmente será detectado
6		
7	Pequena	Provavelmente não será detectado
8		
9	Muito pequena	Certamente não será detectado
10		

Tabela 3.3 – Tabela do índice de detecção

Nota: A avaliação de cada um dos índices, deve ser independente. Assim, se uma determinada causa produz um efeito que é elevado, o índice de gravidade também é elevado. Não se deve decidir a valoração de um índice em função dos valores atribuídos aos restantes.

Melhoria, é a fase em que o grupo utiliza conhecimentos, criatividade e técnicas para elaborar uma listagem de todas as acções que podem ser realizadas, para diminuir os riscos. As acções de melhoria visam:

- A prevenção total ao tipo da falha;
- A prevenção total da causa de uma falha;
- Dificultar a ocorrência da falha;
- Limitar o tipo ou efeito da falha ;
- Aumentar a probabilidade de detecção da causa ou tipo da falha.

Todas estas medidas devem ser analisadas quanto à sua viabilidade, e só depois definidas as que serão implementadas. O próprio formulário FMECA, é uma ferramenta de controlo da implementação das medidas, uma vez que contém o registo as medidas recomendadas pelo grupo, o nome do(s) responsável(eis) e data(s) para implementação, os prazos e a programação.

A partir das três tabelas (Gravidade, Frequência e Detecção), é calculado o valor de IPR. Arbitra-se por ex., que o valor máximo admissível de IPR seja menor que 100, o que, só os casos com IPR maior ou igual a 100 são tratados. Pode-se assim hierarquizar os potenciais modos de falha e os seus efeitos, para estabelecer e aplicar um plano de melhoria. Para verificar se o plano de melhoria estabelecido foi o indicado, calcula-se novamente o valor de IPR e comparam-se os valores.

Continuidade. O formulário FMECA, é um documento em permanente actualização, já que uma vez realizada uma análise para qualquer caso mencionado, esta deve ser sempre revista quando ocorrem alterações.

Se não existirem alterações, deve rever-se regularmente a análise, comparando as potenciais falhas listadas pelo grupo, com as reais observadas no dia a dia, o que possibilita incorporar falhas não previstas, bem como reavaliar as falhas listadas previamente pelo grupo, com base em dados objectivos.

Importância. Se a metodologia FMECA for executada de uma forma sistemática, é possível:

- Catalogar toda a informação sobre a falha;
- Conhecer o problema;
- Optimizar o projecto de processo, produto, sistema e sub-sistemas ou serviço;
- Reduzir custos;
- Incorporar o trabalho em equipa (promove a atitude de cooperação e prevenção, tendo sempre em mente a preocupação da satisfação do cliente).

Na figura 3.4, esquematiza-se a implementação dos critérios de controlo de perdas, com a aplicação da técnica FMECA .

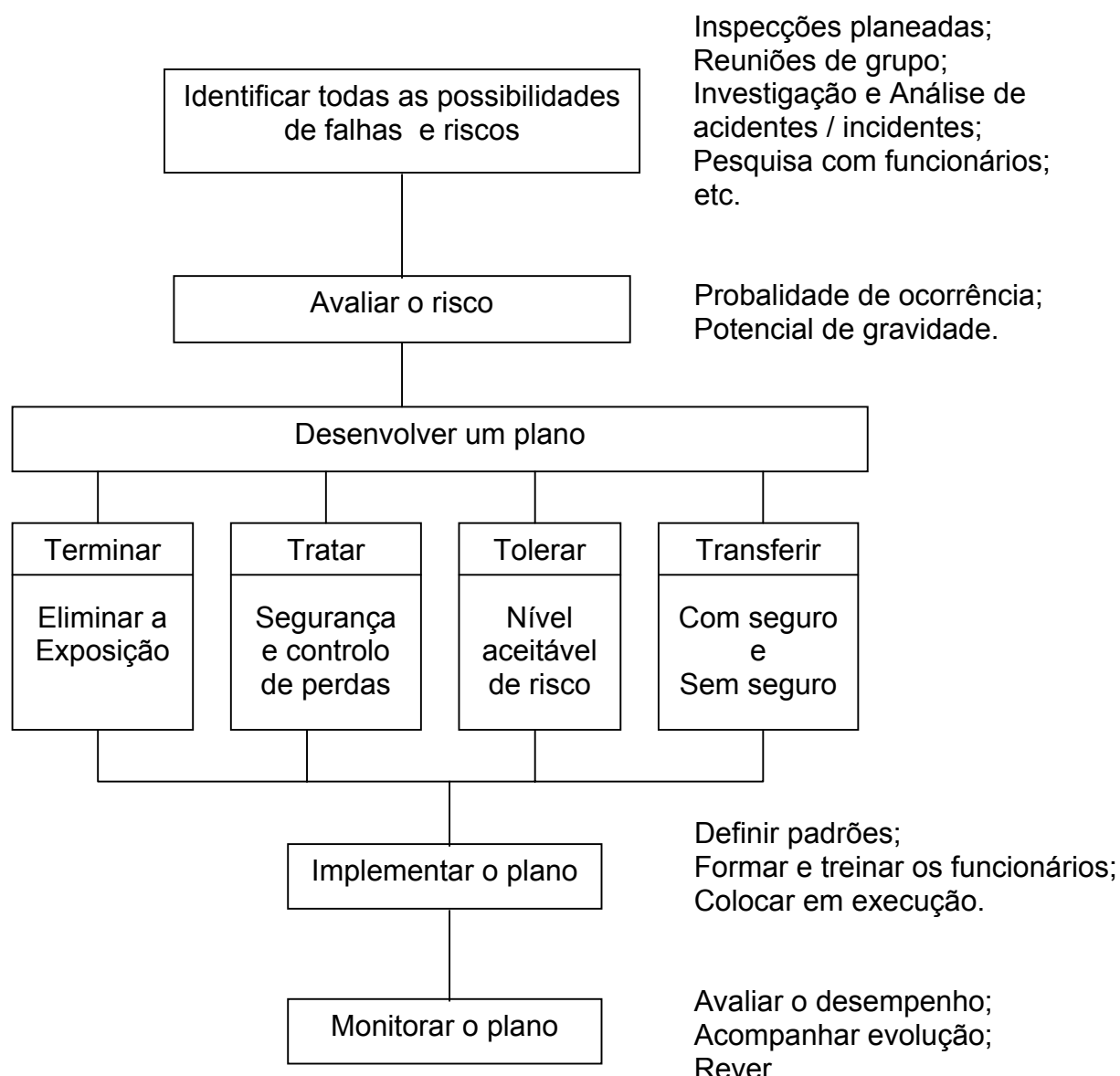


Fig. 3.4 – Implementação dos critérios de controlo e perdas na técnica FMECA

### 3.4 Domínios da Tribologia

Neste ponto, vão ser abordados os tipos de contacto possíveis nos pares cinemáticos, as diferentes funções do atrito nas aplicações mecânicas, a influência do tipo de acabamento nas superfícies interactuantes, os modos de lubrificação e algumas das particularidades dos lubrificantes, e ainda, a condição de material a utilizar nos pares cinemáticos.

#### 3.4.1 Tipo de contacto

Geralmente, consideram-se para análise, as seguintes condições:

- Forma física de contacto (se é par cinemático superior ou inferior)
- Movimento relativo (rolamento, escorregamento ou combinação dos dois)
- Tipo de lubrificação (contacto lubrificado ou a seco)

#### 3.4.2 Controlo de atrito e desgaste

O controlo do atrito e do desgaste é de vital importância, no que respeita á longevidade das peças com faces interactuantes e pode ser estudado sobre dois pontos de vista:

- Situações em que o interesse é reduzir o atrito e com isso o consequente desgaste, interpondo um lubrificante entre as faces interactuantes.
- Situações em que o que se pretende, é precisamente o oposto, (elevados valores de coeficiente de atrito e estabilizado em margens de controlo adequadas), como aquele se verifica nas embraiagens, travões, rodas de atrito.

#### 3.4.3 Estados geométrico e metalúrgico das superfícies

A superfície duma peça tem mais ou menos rugosidade, o que lhe confere uma característica de irregularidade superficial (devido ao modo e forma como foram maquinadas ou acabadas), um tipo de endurecimento (tratamento térmico de têmpera superficial, tratamento termoquímico de cementação, etc). Também a sua própria composição química (original, transformada ou não por acção voluntária), são factores que influenciam o comportamento do par cinemático, sob o ponto de vista tribológico.

A interadaptação das microgeometrias das superfícies de contacto, influenciam a película lubrificante interposta entre elas, ou, o valor do coeficiente de atrito no contacto seco.

Assim, é imperativo que para cada aplicação, se deva observar uma cuidadosa especificação em relação ao grau de rugosidade das superfícies técnicas funcionais. O elevado grau de acabamento superficial, leva a tolerâncias muito apertadas. Esta condição, tem necessariamente associados custos de produção elevados, pelo que se deve assumir o melhor compromisso, custo - benefício.

É à superfície da face da peça que foi maquinada, que as propriedades do material sofrem profundas alterações. Como a rede cristalina foi interrompida para formar a face do cristal, nas peças mecânicas, surgem fenómenos de fadiga que podem ter origem no estado das superfícies e nos defeitos microgeométricos superficiais. Estes podem ser considerados como entalhes, e são susceptíveis de iniciar uma fissura.

Nos pares cinemáticos, o facto dos metais das superfícies interactuantes serem ou não compatíveis metalurgicamente é de vital importância, já que a compatibilidade metalúrgica está associada à solubilidade, Dias Lopes (2002).

Dois materiais são metalurgicamente compatíveis quando o diagrama de fases mostra uma perfeita miscibilidade líquida e também uma solubilidade sólida dum metal no outro, à temperatura ambiente em pelo menos 1% do volume.

Quando um par cinemático apresenta baixo coeficiente de atrito, reduzido desgaste e uma fraca tendência à formação de junções adesivas nas superfícies interactuantes, o material que o constitui, pode ser designado por “Material tribologicamente compatível” ou “Compatível em atrito”. O que acontece, é que os metais compatíveis metalurgicamente, são incompatíveis em atrito e, vice – versa.

#### 3.4.4 Factor Lambda

Factor lambda ( $\lambda$ )– tem o significado físico de representar quantas vezes a espessura da película lubrificante é superior à rugosidade composta do par cinemático (ver 3.5.2) , podendo assim caracterizar o regime de lubrificação quanto a esse critério, e permitir assim a sua classificação.

$$\lambda = \frac{h_{\min}}{R} \quad (3.1)$$

### 3.4.5 Tipos e modos de lubrificação

Para se criar e manter uma película lubrificante entre as superfícies interactuantes, pode-se recorrer a vários tipos ou mecanismos de lubrificação, tais como:

- Lubrificação Hidrodinâmica (LHD) em que é auto - gerada entre as superfícies de contacto, uma película relativamente espessa de lubrificante, que garante a efectiva separação das superfícies, e a completa impossibilidade do contacto sólido. Esta espessura relativa da película, ou factor  $\lambda$ , é da ordem de  $\lambda \geq 3$ .

- Lubrificação Hidrostática (LHE). Neste tipo de lubrificação para que exista a necessária película espessa de lubrificante é necessário uma fonte de alimentação exterior ao sistema tribológico. A fonte, é uma bomba de pressurização externa. Pode haver casos, em que só na condição de arranque é que aquela fonte é necessária, porque depois de estabelecido o regime nominal ou a condição normal de serviço, já se dispõe de um sistema LHD.

- Lubrificação Elasto - Hidrodinâmica (LEHD). É a lubrificação típica, dos pares cinemáticos superiores, em que a “adequada geometria”, deve a sua existência á mutua deformação elástica das pequeníssimas áreas de contacto (pontuais ou lineares), devido à acção das elevadas pressões de Hertz (ver 3.6.3).

Boas condições de películas espessa, podem originar espessuras relativas da ordem de grandeza  $\lambda \geq 3$ .

Normalmente  $\lambda$ , situa-se no intervalo entre 1 e 3 ( $1 < \lambda < 3$ ).

- Lubrificação Limite, ou de camada limite (LL). É o tipo de lubrificação imperfeita, que ocorre quando não se consegue criar a condição de película espessa de lubrificante com a espessura relativa da película, a ser da ordem de  $\lambda \leq 1$ . É designada por película fina.

Neste regime de lubrificação, a espessura média da película é da ordem de grandeza das rugosidades das superfícies interactuantes, e, é descontinuadamente rompida pelas asperidades. Esta condição de lubrificação pode surgir em algumas condições de funcionamento, levando a um decréscimo de viscosidade por elevação accidental da temperatura, ou até mesmo uma insuficiente velocidade de arranque ou na paragem.

Para estes casos de lubrificação, as propriedades físicas e químicas dos lubrificantes, têm um papel importantíssimo, a desempenhar. Pode-se destacar a:

- Aderência (untosidade);
- Tensão superficial (poder molhante);
- Possibilidade de formação de óxidos e outros compostos metálicos superficiais (redutores de atrito), que são obtidos pela reacção química do lubrificante com as superfícies de contacto.

- Lubrificação Sólida (LS). É obtida pela interposição de lubrificantes sólidos entre as superfícies de contacto e o seu mecanismo pode ser descrito pela aderência do sólido em causa, ás superfícies de contacto. A película lubrificante formada na interface do contacto, é por um lado capaz de resistir à penetração por compressão das asperidades superficiais interactuantes e por outro lado deixar-se cortar facilmente pelo efeito de escorregamento entre as superfícies. É um tipo de lubrificação que depende da adequação do sólido usado à finalidade que se pretende.

Propriedades básicas do lubrificante, para este tipo de lubrificação:

- Boa aderência as superfícies interactuantes;
- Elevada resistência á compressão (penetração);
- Fraca resistência ao corte.

No intervalo  $1 < \lambda < 3$ , pode-se considerar a respectiva condição por regime de lubrificação mista (ver 3.5.5). Não corresponde este regime a um tipo independente de lubrificação, mas sim a uma condição intermédia entre os tipos hidrodinamico e limite (haverá alguma separação das superfícies por uma película lubrificante, mas também algum contacto directo entre as mesmas).

Os modos de lubrificação podem ser por :

- Aerosol;
- Gravidade;
- Chapinhagem;
- Sistema óleo-hidráulico
- Mecha;



- Etc.

### 3.4.6 Lubrificantes

Um lubrificante tem a finalidade de reduzir o atrito e o desgaste entre duas superfícies interactuantes. Qualquer substância (seja ela sólida, líquida ou gasosa) interposta entre duas superfícies interactuantes e que facilite o seu escorregamento, é um potencial lubrificante e requer as seguintes características:

- Reduzida resistência ao corte;
- Viscosidade;
- Boa condutividade térmica.

Em relação às superfícies com que vai estar em contacto deve proporcionar uma boa protecção contra a corrosão, mesmo quando os órgãos estiverem parados.

Os lubrificantes á base de óleos minerais, são os de maior aplicação, já que preenchem os requisitos básicos e apresentam algumas características adicionais vantajosas, tais como:

- Baixo custo e abundância;
- Propriedades físicas e químicas rigorosamente controláveis na destilação do petróleo bruto;
- Gama de temperatura de trabalho, que abrange a grande a maioria das aplicações industriais;
- Possibilidade de se complementar com aditivos, e melhorar a sua qualidade;
- Não tóxicos.

Há consideráveis diferenças nas propriedades físicas dos óleos lubrificantes fabricados a partir de diferentes tipos de ramas. Os óleos leves são provenientes de ramas parafínicas e caracterizam-se por um elevado índice de viscosidade, elevado ponto de congelação e baixo peso específico. Outros, igualmente destilados, mas provenientes de ramas de base intermédia, têm um índice de viscosidade mais baixo, um igual, ou possivelmente inferior, ponto de congelação (conforme a quantidade de parafinas que contiverem) e um peso específico mais elevado.

Os obtidos por simples destilação de ramos de base nafténica mostram um baixo índice de viscosidade e ponto de congelação, e um peso específico superior aos dos de base parafínica ou intermédia.

### 3.4.7 Materiais

É importante, que se estudem as melhores combinações de materiais dos pares cinemáticos. Sendo o aço o material mais usual na construção mecânica, há que escolher os melhores “parceiros”. De entre vários disponíveis, destacam-se:

- Os convencionais bronzes;
- Os revestimentos de metais duros (ex: crómio);
- Fixação de pastilhas duras (ex: carboneto de tungsténio) usadas como insertos em normais peças de aço e de elevada resistência ao desgaste;
- Plásticos para ligações não lubrificadas ou secas;
- Os materiais cerâmicos e refractários de elevada resistência ao desgaste e ao calor e de notável estabilidade dimensional.

## 3.5 Estado das superfícies

Nas superfícies razoavelmente limpas, como as asperidades entram em franco contacto, a adesão é tão forte, que a força de atrito é dominada praticamente pela força de adesão.

Nas superfícies contaminadas (oleadas ou oxidadas) as áreas de franca adesão são menores, e necessita-se até, que ocorra a rotura da película contaminante para que essa adesão se processe. Neste caso é a força de sulcagem a ter um importante contributo na força de atrito.

Também podem contribuir e ser apontadas como causas básicas (consideradas intrínsecas dos corpos interactuantes) do atrito :

- O interbloqueamento mecânico entre as irregularidades superficiais de ambas as superfícies de contacto;
- A rigidez de material na sub-superfície de contacto, com a sua microestrutura metalúrgica mais ou menos alterada em relação à do material base, devido aos processos de fabrico usados na obtenção das superfícies técnicas;

- A resistência á deformação e à rotura de películas superficiais de óxidos ou de outros produtos adsorvidos;
- As interferências e conseqüentes deformações locais causadas por partículas aprisionadas entre as duas superfícies.

### 3.5.1 Acabamentos superficiais

Nos acabamentos das superfícies técnicas, a rugosidade é uma característica da irregularidade superficial (desvios de forma adquiridos pelas superfícies reais em relação ás superfícies geométricas teóricas), mas é um importante factor que influencia o comportamento tribológico numa ligação funcional, sobretudo quando esta tem a natureza de uma ligação móvel, isto é, de um par cinemático. A importância, prende-se com a maior ou menor interadaptação das microgeometrias das superfícies em contacto, que assim influenciam o valor do coeficiente de atrito no contacto seco, ou a eficácia duma película lubrificante interposta entre as duas superfícies em contacto lubrificado.

É importante que haja uma imperativa e cuidadosa especificação para cada aplicação em particular, assim como para o grau de rugosidade das superfícies funcionais.

O acabamento superficial das superfícies técnicas é obtida por um determinado processo de fabrico, cujos custos de produção, aumentam com o nível de qualidade, havendo que proceder ao estudo e análise de optimização de custos – benefícios em cada caso particular.

### 3.5.2 Influência da Rugosidade

Considerando a influência da rugosidade como uma função que é acessória ao tipo de lubrificação, mas de enorme importância no modo de lubrificação e na estanquidade necessária entre as superfícies interactuantes do conjunto funcional, para a manutenção da adequada quantidade de lubrificante no sistema. Para se obviarem as fugas toleráveis de lubrificante, controla-se a rugosidade máxima admissível das superfícies funcionais, quer quando actuam directamente entre si (vedação metal-metal, aplicação em vedantes rotativos), quer quando contactem com elementos vedantes intermédios do tipo juntas (planas) ou empanques (o-rings).

Quanto à influência no mecanismo de lubrificação, a rugosidade é fundamental na eficiência do mesmo, devido aos seguintes factos:

- A área de contacto do par cinemático deve ser a maior possível, para que seja reduzida a pressão local efectiva nas pequenas zonas reais de contacto;
- Deve ser mantida uma espessura da película lubrificante entre as superfícies interactuantes e que exceda confortavelmente os raios de curvatura das rugosidades elevadas, de forma a garantir a sua eficaz separação.

A relação entre a espessura da película lubrificante característica de um dado sistema tribológico e a rugosidade média das superfícies interactuantes, pode ser usada como critério de caracterização.

Considerando a rugosidade das duas superfícies interactuantes de um par cinemático, designadas por  $R_1$  e  $R_2$ , a rugosidade composta, é determinada por:

$$\bar{R} = \sqrt{(R_1^2 + R_2^2)} \quad (3.2)$$

### 3.5.3 Atrito

O atrito é tido como a principal causa de desgaste das superfícies interactuantes, e uma importante contribuição para a perda de energia.

Embora ainda que não se tenha chegado á obtenção de uma teoria universalmente aceite para este complexo fenómeno, nem formalizada uma lei matemática que o descreva o seu estudo, é, no entanto, de extrema utilidade para a engenharia.

Segundo Ferreira (1998) e recordando as quatro leis empíricas sobre o atrito, estabelecidas por Leonardo da Vinci e Guillaume Amontons:

- A força de atrito tangencial é proporcional à força normal aplicada durante o escorregamento;
- A força de atrito é independente da área aparente de contacto;
- A força de atrito é independente da velocidade de escorregamento;
- Existe uma proporcionalidade entre a força máxima tangencial antes do escorregamento se iniciar e a força normal quando um corpo estático é submetido a uma força tangencial crescente.

Na figura 3.5, representa-se a relação do atrito com o tipo de aplicação, e a sua influência no desgaste.

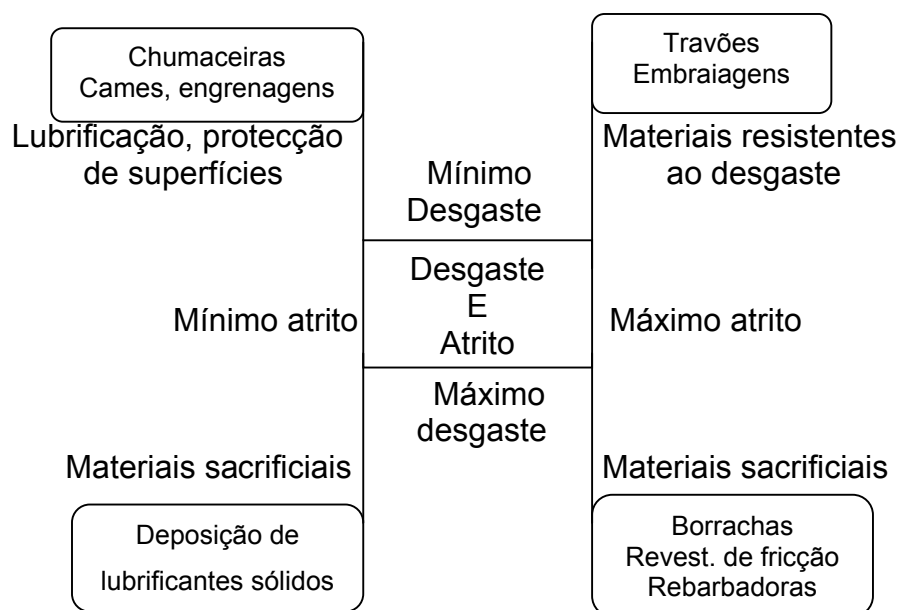


Fig. 3. 5 – Relação do atrito com o tipo de aplicação

#### 3.5.4 Área de contacto

Quando as superfícies técnicas são colocadas em contacto, apenas se tocam pelas pontas das suas asperidades, o que determina que a área real de contacto seja bastante menor que a área aparente. Com esta condição, a pressão real de contacto local entre as asperidades, é muito superior à pressão de contacto aparente calculada, admitindo no modelo analítico, a distribuição uniforme da força de contacto por toda a área aparente.

Na eventualidade de as superfícies de contacto dos dois corpos estarem razoavelmente limpas, isto é, não contaminadas, livres de óxidos e isentas de gorduras ou outras sujidades usuais, as forças de atracção atómica conseguirão provocar uma forte adesão (micro - soldaduras) entre as asperidades, que se oporá ao movimento de escorregamento, de uma superfície sobre a outra que se pretenda efectuar. A oposição ao escorregamento pela adesão, será uma das causas primárias do atrito.

Se asperidades endurecerem por deformação plástica (encruamento), ou, se uma das superfícies interactuantes for mais dura que a outra, as asperidades de maior dureza tenderão a penetrar nas da outra superfície. Nestas condições, ao impôr-se o

escorregamento, este origina a produção de sulcos, causados pelas asperezas mais duras de um corpo sobre o outro, devido à deformação plástica da superfície.

Teremos então:

$$F_a = F_{ades} + F_{sul}$$

### 3.5.5 Efeito da lubrificação no atrito

O efeito da lubrificação sobre o atrito, tem os efeitos mais benéficos, quando a lubrificação é mista.

Na fig. 3.6, o ponto B corresponde ao valor a partir do qual a curva de Stribeck acompanha a curva da lei de Patroff, e, em que o valor do coeficiente de atrito (f), tem aproximadamente o valor mínimo.

A partir deste ponto, o coeficiente de atrito aumenta de acordo com a lei de Patroff.

O ponto A corresponde aproximadamente ao mesmo coeficiente de atrito de B, contudo, a partir deste ponto aumenta de acordo com a curva de Stribeck.

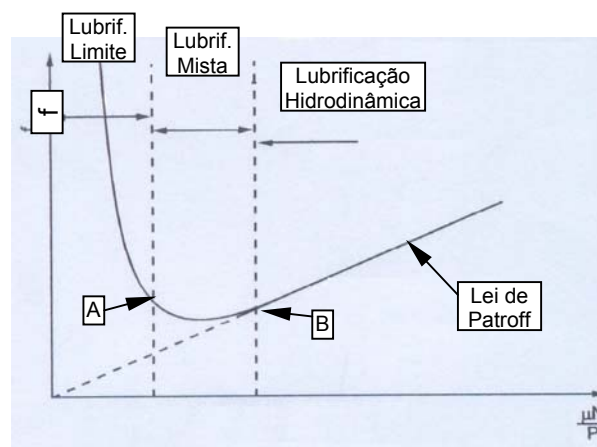


Fig. 3.6 – Curva Stribeck

### 3.6 Desgaste

O desgaste, pode ser definido genericamente, como a perda progressiva de material provocada pela interacção mecânica de duas superfícies em contacto, com carga e movimento relativo (rolamento, escorregamento ou ambos).

O desgaste, é no sistema tribológico uma característica própria, podendo ser considerada como que uma falha mecânica das superfícies (e sub - superfícies) de interface, e pode também acontecer devido a factores externos (ambientais) assim como fundamentalmente a dois factores de solicitação:

- Carga;
- Velocidade.

A degradação das superfícies, provoca o aparecimento de partículas de desgaste devido aos seguintes processos:

- Processo sequencial de adesão;
- Processo de produção directa, tipo arranque de aparas (por corte);
- Processo de picagem por fadiga superficial;
- Processo de transferência e libertação de material.

A presença de películas contaminantes nas superfícies, é vantajosa na minimização do desgaste, uma vez que irão prejudicar a tendência de alargamento dos pontos agarrados. Actuam assim, como um mecanismo de controlo do desgaste e por outro lado, também fazem com que o coeficiente de atrito tenda a estabilizar-se num valor finito (situações em que o volume de desgaste seja normal, não - destrutivo). Esta é uma das acções benéficas da corrosão, e, uma vez que se dá apenas ao nível microscópico nas camadas superficiais, vai influenciar de modo bastante positivo, a contenção do processo de desgaste.

Se o contacto se processar entre superfícies heterogéneas e não homogéneas, quer em composição química quer em estrutura metalúrgica, também se minimiza a apetência para a coesão dos materiais, o que também é uma forma de minimizar o desgaste. O endurecimento das superfícies interactuantes, quer por tratamento térmico

ou termoquímico, também minimiza o alargamento dos pontos de contacto, contribuindo assim para a contenção das dimensões das partículas de desgaste.

### 3.6.1 Tipos de desgaste

Muitos casos de desgaste, podem iniciar-se por mecanismos de desgaste adesivo. Podem também degenerar num processo mais violento de desgaste por abrasão, que é provocado pelas partículas de desgaste anteriormente formadas, muitas delas na forma de óxidos metálicos e extremamente duros (criados por acção catalizadora das elevadas temperaturas devidas ao calor de atrito), e que são abrasivos.

Os três tipos de produção de partículas, que caracterizam os principais tipos de desgaste por interacção integralmente sólida, ou sólido - sólido, são designados por:

- Desgaste adesivo;
- Desgaste abrasivo;
- Desgaste por fadiga ( Fadiga de contacto ).

#### Desgaste adesivo

Segundo Carinhas (2002), o desgaste adesivo é inerente ao contacto dinâmico de todos os materiais, sendo uma fatalidade dos sistemas que se desenvolve em três estágios sequenciais:

- A adesão acontece, devido ás forças de coesão da matéria das duas superfícies em contacto, tenderem a atrair-se (através das asperidades). A adesão é tanto mais eficaz, quanto mais limpas (descontaminadas) estiverem as superfícies. As superfícies técnicas têm mais ou menos contaminação, nem que seja por uma simples película de oxidação. Se a película for rompida nos pontos de contacto (asperidades) devido á carga ou escorregamento, então dá-se a adesão;

- Transferência de material surge quando as junções entre as asperidades relativamente endurecidas pela deformação plástica que é imposta pela carga de interacção, são arrancadas de uma das suas raízes, por acção do movimento relativo do par cinemático, são transferidos fragmentos de material de uma das superfícies de contacto para outra;

- Arranque da partícula de material é a fase em que ocorre efectivamente o desgaste (na fase anterior, tinha havido unicamente a transferência e não perda total



de material). O arranque das partículas, dá-se nos pontos em que já houve acumulação de material transferido e relativamente fragilizado pela deformação plástica a frio, e que foi provocada pela acção de arrastamento da outra superfície.

#### Desgaste Abrasivo

É obtido pela acção cortante de pontas ou partículas duras, que interagem com as superfícies dos corpos num processo semelhante ao de corte por arranque de avara. É exemplo disto, o processo de rectificação feita por uma mó. As partículas em causa, quer sejam de origem endógena (produzidas por um processo de desgaste adesivo) ao sistema tribológico, quer se trate de origem exógena (origem no meio ambiente sujo, ou material intermédio contaminado), podem estar agarradas a uma das superfícies interactuantes, ou, apresentarem-se livres de embater sobre uma das superfícies (neste caso podem ser transportadas por um fluído).

Nas superfícies actuantes mais duras, o desgaste abrasivo é menor, uma vez que à medida que a sua dureza se aproxima da dureza das partículas, estas não só terão mais dificuldade em cortar, como ainda se arredondarão por quebra dos gumes, o que de uma outra forma reduzirá o desgaste.

#### 3.6.2 Fadiga de contacto

A fadiga superficial ou fadiga de contacto, é entendida como um fenómeno de ruptura progressiva dos materiais sujeitos a ciclos de tensão / deformação.

A fadiga superficial pode ser de três tipos:

- Micropicadas                   “*Micro-pitting*”
- Picadas                         “*Pitting*”
- Escamas (Profundas)       “*Spall*”

#### 3.6.3 Tensões de Hertz

Quando as superfícies em contacto são pequenas e as pressões muito elevadas, o estado de tensão naquela pequena zona, é altamente concentrado e tridimensional, pelo que as pressões desenvolvidas no fluído são de tal modo importantes, que podem conduzir a deformações de elevada amplitude, nos maciços. Estas tensões, são

determinantes na duração da vida útil das superfícies em contacto, atendendo aos casos em que o carregamento é variável com o tempo.

O estado de tensão nos contactos muito localizados, é genericamente denominado por contacto hertziano, e designa-se por:

- Estado de tensão Hertz, com as suas respectivas tensões.

Quando se tem um regime de lubrificação elastohidrodinamico (LEHD) num par cinemático superior (caso das engrenagens, rolamentos e cames), então tem-se um contacto hertziano.

A figura 3.7, representa o comportamento do filme lubrificante no regime EHD. A diminuição da secção na saída (zona divergente), leva a uma retenção do lubrificante.

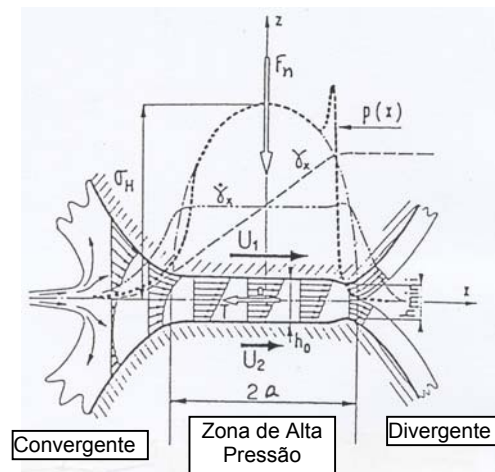


Fig. 3.7 – Desenvolvimento da LHED num contacto

Alguns parâmetros dum contacto hertziano, típico em chumaceiras de rolamento, cames, etc:

- Comprimento do contacto 0,1mm a 1mm;
- Pressão máxima de contacto de 0,5 GPa a 3 GPa (o que implica deformação elástica e por vezes plástica das superfícies);
- Velocidades das superfícies:
- Rolamento 1 m/s a 10 m/s nas turbinas 100 m/s;

- Escorregamento: 0,2 m/s a 2 m/s (engrenagens)  
< 0,1 m/s (rolamentos);
- Tempo de solicitação do lubrificante  $10^{-4}$  S a  $10^{-6}$  S;
- Espessura do filme 0,01  $\mu$ m a 1  $\mu$ m.

A variação periódica da tensão de corte máxima, que ocorre na sub - superfície dum ponto de contacto do par superior, é admitida como a causa principal da falha por fadiga de contacto, das superfícies interactuantes. Este processo de falha é desenvolvido em duas fases e pode ser explicada do seguinte modo:

- A microdeformação plástica periódica imposta, ao interagir com os microdefeitos da estrutura metalúrgica dos corpos interactuantes, nucleia e desenvolve microfissuras, que posteriormente progridem obliquamente para a superfície do corpo, por acção da distorção do campo de tensões, existente nas vizinhanças de contacto.

- Quando chegam um ou mais ramos da fissuração à superfície, assiste-se a um interligamento, com o inevitável desprendimento de um pequeno fragmento de material (perda), que caracteriza o presente tipo de desgaste.

Também tem influência determinante no seu desenvolvimento, os seguintes factores inerentes à maioria dos contactos reais:

- O efeito adicional da fracção de escorregamento superficial, inerente aos pares superiores práticos (pequena amplitude mas elevada densidade de carga, ex: cames), cuja força tangencial e respectiva tensão de corte, facilitará a abertura de fenda à superfície e o arrancamento do fragmento;

- A presença de partículas duras geradas pelo próprio processo de escorregamento, ou arrastadas pelo próprio lubrificante, ao interferirem com este vai provocar abrasão e conseqüente germinação superficial de fendas de fadiga;

- Também a inserção do lubrificante nas fendas já criadas a uma elevada pressão, vai dar origem a um arrancamento mais rápido do material.

Estes efeitos podem ocorrer em simultâneo.

### 3.6.4 Picagem

A ruptura progressiva de material à superfície, denominada por “*micro-pitting*”, tem uma curta incubação (em relação às escamas) e pode aparecer mesmo nos contactos pouco carregados. O arrancamento de material à superfície, é de alguns centésimos de milímetro de diâmetro e de profundidade.

Há que evitar estas micro - escamas, porque embora não impeçam o funcionamento do mecanismo, aceleram a formação de escamas.

Berthe (1974), realizou experiências para observar o aparecimento de *micro-pitting* em provetes, que foram colocados numa máquina de discos. Os resultados dos ensaios, evidenciaram o seguinte:

- A profundidade máxima que pode atingir, varia entre 15 e 30  $\mu\text{m}$ ;
- A proliferação deste defeito, está relacionada com o aumento do escorregamento;
- O *micro-pitting* está associado ao contacto metal / metal, entre as superfícies dos dois sólidos.

O *micro-pitting*, ocorre em contactos elastohidrodinâmicos, com cargas moderadas ou elevadas, e, é típico entre os dentes das engrenagens, nos rolamentos e em elementos em rolamento.

Algumas experiências revelaram que, se a carga aumentar e a espessura específica do filme lubrificante diminuir (ver 3.5.3), então a taxa de desgaste por *micro-pitting*, aumenta.

O “*Pitting*” ocorre em carregamentos elevados, com pressões da ordem de 2 GPa, mas também pode acontecer nos contactos pouco carregados. O parâmetro que mais influência tem para o aparecimento do *pitting*, é a espessura específica do filme lubrificante, devido à:

- Viscosidade;
- Base do óleo lubrificante e seus aditivos;
- Existência de água no óleo.

As partículas de material soltas, provenientes do arrancamento do mesmo, em suspensão no lubrificante, podem provocar deformações plásticas e danos nas superfícies e originar fissuras.

Berthe também chegou às seguintes conclusões, na análise de provetes submetidos a ensaios de *pitting*:

- O *pitting* só se verifica em contactos lubrificados;
- A área pode ser de 0,2 a 2 mm<sup>2</sup>;
- Este fenómeno, depende da natureza e composição química dos óleos;
- A área afectada aumenta com a rugosidade em filme de óleo completo, diminui com o aumento da velocidade de escorregamento e não é afectado de forma significativa pela pressão máxima de contacto.

As zonas mais afectadas pelo *pitting* associadas a uma eventual fissuração no material, pode levar ao aparecimento das “*spalls*”.

As “*spalls*”, são de origem profunda e aparecem brutalmente após uma incubação. São arrancamentos de material com alguns milímetros quadrados de superfície e alguns décimos de milímetro de profundidade. Estas dimensões são à escala do contacto global, dentro do domínio hertziano clássico e aparecem em contactos muito carregados.

Berthe, na análise de provetes submetidos a ensaios para o aparecimento da “*spall*”, chegou às seguintes conclusões:

- Surgem a uma profundidade aproximadamente igual á aquela onde ocorre a tensão máxima e especialmente na fronteira de modificações metalúrgicas;
  - Produz-se contactos secos ou lubrificados;
  - A falha é acelerada pela presença de óleo lubrificante. Este por ser mais rígido que o material dos sólidos, quando introduzido nas fissuras fomenta o seu crescimento e o arrancamento de material. A natureza e composição do lubrificante, pode contribuir para este tipo de falha;
  - A probabilidade de ocorrer *spalling*, aumenta, se a pressão de Hertz aumentar;

- Quando há rolamento ou escorregamento, o *spalling* aparece na superfície com menor velocidade;
- A diminuição da espessura específica do filme lubrificante, aumenta a probabilidade de ocorrer *spalling*.

Para atenuar o desgaste das superfícies que estão em contacto, utilizam-se em engenharia vários processos, nomeadamente:

- Utilização de materiais com maior dureza;
- Melhor acabamento superficial nas superfícies em contacto;
- Utilização de diferentes materiais nas superfícies de contacto;
- Eliminação das partículas que possam estar em suspensão, no fluido lubrificante.

### 3.7 Gripagem

A gripagem, é o resultado de uma disfunção num conjunto de sistemas para o qual não há uma definição.

Vários autores, referem-se apenas a dois tipos de gripagem de acordo com a velocidade a que ocorre:

- Gripagem a quente, observada a médias e altas velocidades;
- Gripagem a frio, que ocorre a baixas velocidades.

A gripagem para Ferreira (2002), é um fenómeno que ocorre de forma súbita, que se caracteriza pela evolução descontrolada de fenómenos de adesão. É acompanhada pela emissão de fumo, ruído e pelo aumento da força de atrito e da temperatura.

A gripagem inicia-se ao nível micro-geométrico e é caracterizada por uma transferência de material, geralmente do topo de uma rugosidade que se encontra quente sobre outra superfície mais fria, através da deformação plástica e ou arrancamento da asperidade quente, seguida de adesão sobre a superfície mais fria. Este fenómeno, é expandido para níveis macroscópicos de uma forma repentina, levando a que as superfícies lisas passem a rugosas, decorridos poucos ciclos de funcionamento, e originando uma rápida degradação do mecanismo. Em determinadas

condições de serviço, a temperatura é tal, que o lubrificante não consegue criar o filme EHD, a superfície não se deforma de modo convergente (deforma-se de modo divergente), dando origem à gripagem. Com este aumento da temperatura média no contacto (menor viscosidade e espessura do filme lubrificante), diminui a resistência ao contacto.

Na condição de gripagem, a interferência entre as rugosidades não acontece apenas na zona de Hertz, mas também no convergente.

Factores que contribuem para a gripagem:

- Carga;
- Rugosidade das superfícies interactuantes;
- Dureza do material;
- Velocidade de escorregamento;
- Temperatura do lubrificante.

Factores que reduzem o aparecimento da gripagem:

- Viscosidade do lubrificante;
- Espessura do filme lubrificante;
- Aditivos presentes no lubrificante;
- Velocidade de rolamento;
- Reacções químicas.

Antes de acontecer a gripagem, dá-se a destruição do filme lubrificante e dos óxidos. Se existir um filme de óxidos, a gripagem não existe, já que este bloqueia as acções das forças inter - atómicas da superfície metálica.

A ruptura do filme lubrificante pode provocar a gripagem, mas por outro lado, favorece a formação de filmes de óxidos.

O início da gripagem é muito localizada e ocorre nos pontos em que o comportamento mecânico é mais severo que o contacto global.

Nos materiais endurecidos superficialmente, pode ocorrer uma estria de adesão e pode não parecer catastrófica, mas a prática mostra-nos que na maior parte dos casos, esse fenómeno é acompanhado de fissuração local do material, que vai originar uma concentração de tensões e levar mesmo a que a superfície venha a ser destruída pela própria propagação dessas fissuras.

### **3.8 Ligações móveis**

Quando se projecta uma máquina ou um mecanismo tem-se sempre em mente a existência de ligações móveis entre parte dos corpos ou peças que os constituem.

É através destas ligações móveis ou articuladas, que se transmitem de peça para peça, as necessárias forças e movimentos, que são inerentes ao funcionamento daquelas concepções técnicas sendo então de realçar, que essa transmissão se processa no concreto pela interactuação das duas superfícies de contacto de cada par de peças conjugadas (impulsor e seguidor, activa e reactiva, mandante e mandada, etc).

### **3.9 Pares cinemáticos**

As superfícies de contacto ou também chamadas interactuantes, constituem afinal a essência física da ligação, sendo o seu conjunto na Teoria dos Mecanismos, designado por par cinemático.

Estes pares cinemáticos podem ser classificados em:

- Pares inferiores;
- Pares superiores.

#### **Pares inferiores**

Quando as superfícies interactuam do ponto de vista macroscópico, por contacto superficial, então são designados por pares inferiores. Estão inseridos nesta definição, os casos típicos de:

- Moente do veio e o casquilho em que este se apoia;
- Filetes de rosca e a sua porca.

Nos pares inferiores, o tipo de movimento relativo inerente é o de escorregamento.

Outro tipo de movimento relativo (rolamento) não é possível, visto que se desfazia o contacto superficial.



### Pares superiores

Quando as superfícies interactivam do ponto de vista macroscópico, por contacto pontual ou linear, são designadas por pares superiores. Estão inseridos nesta definição, os casos típicos de:

- Bola de bilhar na respectiva mesa;
- Rodas de skate na respectiva pista

Só na interacção teórica dos sólidos idealmente rígidos, é que o contacto seria verdadeiramente pontual ou linear.

Sendo os corpos reais mais ou menos deformáveis, ainda que se tratem de apenas de pequeníssimas deformações elásticas, o contacto real processa-se através de reduzidas áreas de contacto que resultam das respectivas interdeformações.

Este facto não invalida, no entanto, que não se considere como um contacto pontual ou linear. A estes pares está associado o movimento relativo de rolamento.

Os pares superiores não se agrupam em sub - classificações.

Cada caso é caracterizado de modo específico, sendo de relevar pela sua importância prática, dois exemplos de concepções técnicas correntes:

- Esfera a rolar sobre um plano ou um cilindro;
- Cilindro a rolar sobre um plano ou sobre outro cilindro.

### **3.10 Sistemas “Common Rail” de injeção diesel, excepto Bosch**

Neste ponto vamos abordar os sistemas CR de injeção diesel, dos maiores fabricantes mundiais, instalados nas viaturas disponíveis no mercado automóvel.

Os fabricantes de sistemas de injeção (por ordem crescente do número de unidades montadas) para a motorização diesel, são:

- BOSCH;
- DELPHI (antiga designação CAV / LUCAS);
- DENSO (ligado ao construtor TOYOTA);
- SIEMENS.

### 3.10.1 Sistema “ COMMON RAIL “ de injeção diesel , SIEMENS

Este sistema de injeção diesel tem como base o sistema Bosch da 1ª geração, apresentando contudo uma acentuada evolução em dois componentes:

- Bomba de alta pressão;
- Injectores (piezoeléctricos).

Esta evolução, contribuiu para que o gasóleo não atingisse temperaturas muito elevadas, levando a um aumento da fiabilidade do sistema, a um melhor rendimento do motor, à redução do consumo e da emissão de contaminantes nos gases de escape.

A bomba da alta pressão (anexo V) está acoplada á distribuição do motor, e é constituída por:

- Bomba de abastecimento (baixa pressão);
- Bomba de pressurização (alta pressão);
- Válvula doseadora de gasóleo;
- Válvula reguladora de alta pressão.

A bomba de abastecimento, é incorporada no próprio veio de accionamento da bomba de alta pressão, é rotativa de palhetas, aspira o gasóleo do depósito através do filtro (com separador de água), para o encaminhar para a zona de pressurização, onde também exerce o efeito lubrificante. Com a incorporação da própria bomba no interior, aumentou-se a fiabilidade do sistema, porque foi anulada a bomba eléctrica instalada no depósito de gasóleo, utilizada no sistema da 1ª versão CR da Bosch.

A bomba de alta pressão, tem o mesmo funcionamento da CP1, com a diferença de enviar o fluxo de gasóleo para o acumulador, até uma pressão máxima de 1.500 bar.

A válvula doseadora de gasóleo, é accionada de forma electromagnética pela ECU, para controlo do caudal de gasóleo que é necessário na alta pressão, para que não haja um elevado caudal de retorno com temperatura elevada. O comando é variável, e, depende da intenção do condutor, do requisito de pressão de gasóleo e do regime do motor.

A válvula reguladora de alta pressão também é accionada de forma electromagnética pela ECU, de modo a garantir a melhor pressão em cada solicitação e também servir de efeito amortecedor das oscilações de pressão geradas na alimentação de gasóleo . Também neste caso, o comando é variável e depende da intenção do condutor, do requisito de pressão de gasóleo e do regime do motor. Se avariar, a pressão na linha de gasóleo durante a fase de arranque (pressão nominal mínima requerida, 150 bar) atinge apenas 50 bar, que representa a força da mola que fecha a válvula.

O injector piezoeléctrico, liga até quatro vezes mais rapidamente que os injectores de accionamento electromagnético.

No sistema de injeção CR, o efeito piezoeléctrico, apresenta as seguintes vantagens:

- A pressão máxima de injeção pode chegar a 1.500 bar;
- O tempo de comutação é extremamente reduzido (0,2 milésimos de segundo no máximo), permitindo intervalos curtos e variáveis entre a pré - injeção e a injeção principal;
- Dosagem precisa da quantidade de gasóleo (na injeção piloto a quantidade mínima é de cerca 1 mm<sup>3</sup>);
- O controlo da corrente de excitação é feito de uma forma mais simples, devido uma elevada compatibilidade electromagnética, o que aumenta a fiabilidade.

O efeito piezoeléctrico pode ser utilizado por efeito directo ou indirecto.

O efeito directo é utilizado nos sensores.

As cerâmicas piezoeléctricas, devido à sua rigidez quando ficam sob pressão, convertem a força que é exercida sobre elas (energia mecânica), num sinal eléctrico. O sistema CR, utiliza esta propriedade para enviar a condição de estado que se verifica (ver 4.1), para a ECU, a partir do sensor.

O efeito indirecto é utilizado nos actuadores.

As cerâmicas piezoeléctricas, ao deformarem-se por acção de um campo eléctrico, convertem a energia eléctrica em energia mecânica. O corpo piezoeléctrico, ao ser

impedido de se deformar, origina uma tensão elástica que tem associada uma força. Esta propriedade, é utilizada no sistema CR para enviar, a partir da ECU, uma ordem de execução de trabalho (ver 4.1).

O sistema CR da Siemens, é utilizado no motor (com a cilindrada de 1.400 cm<sup>3</sup>) desenvolvido em conjunto pela FORD e o grupo PSA.

### 3.10.2 Sistema “COMMON RAIL” de injeção diesel, DELPHI

Este sistema de injeção diesel, difere dos sistemas Bosch e Siemens na bomba de alta pressão (estrutura e modo como se dá a elevação da pressão de gasóleo), no acumulador de alta pressão (pode ser longitudinal ou circular) e nos injectores indutivos.

A bomba de alta pressão (anexo V) é rotativa e de êmbolos radiais. Está acoplada à distribuição do motor, e, tem incorporada no próprio veio a bomba rotativa de palhetas, para alimentação de gasóleo a baixa pressão.

É constituída pelos seguintes componentes:

- Válvula de entrada;
- Válvula de saída;
- Anel de excêntricos;
- Rolete e impulsor;
- Câmara de pressurização.

O abastecimento de gasóleo a baixa pressão, dá-se sempre que a pressão de abastecimento ultrapasse a pressão na câmara de pressurização. Neste caso, a válvula de entrada abre, o gasóleo atinge a câmara de pressurização, através do canal de abastecimento, onde está uma válvula solenoide doseadora, afastando os êmbolos contra os excêntricos.

A válvula solenoide actua através do módulo de controlo dos injectores e tem como função, a regulação do diâmetro, do canal de abastecimento.

A válvula de saída fecha, porque a pressão a jusante é superior à do canal de abastecimento.

O veio de accionamento que é solidário com o anel de excêntricos, no seu movimento de rotação desloca radialmente os êmbolos (vai - vem). Os êmbolos ao deslocarem-se no sentido do centro da câmara de pressurização, provocam o aumento de pressão. A fase de pressurização, dura até ao momento em que o rolete do impulsor atinge o ponto mais elevado do excêntrico (corresponde ao menor diâmetro interior do excêntrico), e, coincide com fim do curso de abastecimento dos êmbolos da bomba. Nesta fase a válvula de está fechada.

Ultrapassado o ponto máximo do excêntrico, como a pressão no canal de alta pressão é superior à pressão na câmara de pressurização, a válvula de saída fecha-se.

Está assim concluído o período de abastecimento de combustível.

Os dois movimentos atrás referidos, são representados nas figuras 3.8 e 3.9.

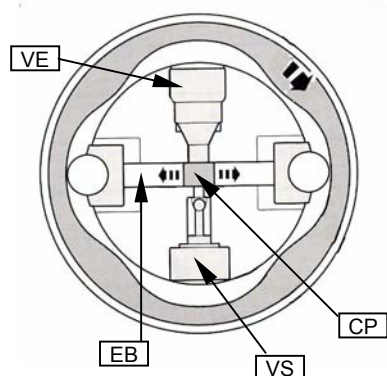


Fig. 3.8 – Admissão do gasóleo

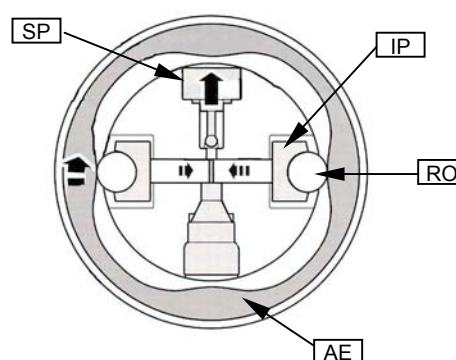


Fig. 3.9 – Compressão do gasóleo

VE	Válvula de entrada gasóleo
AE	Anel de excêntricos
RO	Rolete
VS	Válvula de saída de gasóleo

CP	Câmara de pressurização
EB	Êmbolo da bomba
SP	Saída a alta pressão
IP	Impulsor

Com esta bomba atinge-se a pressão máxima de 1.400 bar, no regime de motor entre as 2.300 e as 4.900 rpm. Abaixo de 2.300 rpm, a pressão é reduzida devido ao controlo da válvula doseadora de gasóleo. Acima de 4.900 rpm, a pressão cai bruscamente.

Neste sistema, a linha de alimentação de gasóleo a alta pressão, está configurada de modo a ter um comprimento mínimo e a conter um volume de gasóleo adequado, para minimizar as flutuações de pressão e assegurar um arranque rápido.

A elevação da pressão do gasóleo, deve ser conseguida no mais curto intervalo de tempo.

Quando se substituem os injectores, deve-se proceder à introdução prévia dos seus códigos nos respectivos cilindros, através do sistema global de diagnóstico.

### 3.10.3 Sistema “COMMON RAIL” de injeção diesel, DENSO

Este sistema de injeção diesel, é idêntico ao Delphi. A maior diferença está no modo como é feita a elevação de pressão do gasóleo, dentro da bomba de alta pressão.

A bomba de alta pressão Denso (anexo VI) é estruturalmente semelhante à Delphi (anexo V). A alimentação a baixa pressão e o controlo de caudal de gasóleo é o mesmo, assim como a forma de atingir a alta pressão.

Há um sensor montado no corpo da própria bomba, para medir a temperatura do gasóleo. É um importante elemento de controlo no sistema.

A Denso para eliminar uma das causas que originam avarias graves, adoptou um duplo sistema de elevação de pressão. Este sistema, tem dois conjuntos de roletes e êmbolos desfasados 90° (na posição tandem) e sujeitos ao mesmo anel de excêntricos. O facto da elevação de pressão ser feita em simultâneo pelos dois conjuntos, (o gasóleo é equitativamente comprimido), reduz a pressão que é exercida pelos roletes no anel de cames.

O facto de haver uma menor relação entre as secções (onde é comprimido o gasóleo e a de saída) é menor o aumento de temperatura do gasóleo.

Este processo da elevação de pressão do gasóleo, reduz o binário de accionamento e possibilita uma maior pressão de injeção (2.000 bar).

### 3.11 Conclusões específicas

O prolongamento da vida útil de um órgão, pode ser conseguido com um bom programa de manutenção.

A manutenção pode ser exercida por imposição (plano do construtor da viatura), ou , a que é feita devida às avarias que vão surgindo com a utilização da viatura.

Os sistemas CR, utilizam a mais avançada tecnologia de engenharia de materiais e superfícies, para assim poderem satisfazer as exigências a que as bombas de alta pressão estão sujeitas.

As bombas de alta pressão como principal elemento dos sistemas CR, apresentam muitos pontos comuns entre elas.

## **4 - CASO EM ESTUDO**

A bomba de alta pressão CP1, é o órgão que eleva a pressão do gasóleo até 1.350 bar, e, está inserida no inovador sistema CR de injeção diesel Bosch. Este sistema, é o resultado da investigação e desenvolvimento do fabricante Robert Bosch, como consequência da obrigatoriedade no cumprimento da legislação ambiental e do compromisso assumido pelos construtores de motores, na redução do consumo de combustível (ver 2.5 e 2.5.5). Este sistema extremamente inovador, rompe por completo com o sistema convencional, tornando-o obsoleto.

### **4.1 Sistema “COMMON RAIL“ de injeção diesel, do fabricante BOSCH**

Este sistema, no essencial, aproveita a tecnologia já desenvolvida e aplicada noutros sistemas e motorizações, como é o caso do sistema de injeção indirecta multiponto a gasolina e o facto da injeção do gasóleo ser directa. Em seguida, apresentam-se algumas diferenças entre os dois sistemas, inseridas no caso em estudo.

No sistema de injeção indirecta a gasolina, tem-se:

- A gasolina a ser injectada (para a zona do pé da válvula) na massa de ar que é admitida e que ainda se encontra no colector de admissão;
- A pressão no acumulador de gasolina, pode chegar a 3 bar;
- Uma injeção por cilindro e ciclo motor (depois de a válvula de admissão fechar, já não há mais entrada de massa de ar, vapores do cárter e os gases de escape sujeitos a recirculação).

Com o sistema CR:

- O gasóleo é injectado directamente, na massa de ar admitida adicionada dos vapores do cárter e dos gases de escape, que se encontra comprimida dentro da camisa ou no topo do cilindro;
- A pressão máxima atingida no acumulador de gasóleo é de 1.350 bar;
- Pode haver até três injeções por cilindro e ciclo motor.

O sistema CR é constituído por duas partes distintas:

- Alimentação do gasóleo à CP1 e aos injectores;
- Controlo e gestão electrónica do sistema.



Na alimentação do gasóleo à CP1 com baixa pressão, estão inseridos:

- Depósito de gasóleo com pré-filtro e bomba eléctrica de abastecimento;
- Filtro de gasóleo com separador de água;
- Tubagem de alimentação e retorno de gasóleo ao depósito.

A bomba eléctrica deve fornecer em caudal e pressão, o gasóleo necessário à CP1, para qualquer estado de serviço do motor. Há construtores, que instalam uma bomba eléctrica suplementar.

O filtro do gasóleo, com separador de água, retém impurezas e água que pode estar presente de forma ligada (emulsão) ou não ligada (condensação originada pelas mudanças de temperatura no depósito) que podem provocar danos nos componentes da bomba e dos injectores.

Para que a alimentação de gasóleo aos injectores seja feita com alta pressão, é necessário:

- A bomba CP1;
- O acumulador de gasóleo a alta pressão.

O acumulador “Rail” tem a função de armazenar, a alta pressão, o gasóleo fornecido pela CP1, de servir de amortecedor às oscilações provocadas pelo fornecimento e distribuir equitativamente em pressão e caudal, por todos os injectores.

Para o controlo e gestão electrónica dos sistemas CR, todos os fabricantes utilizam a mesma designação para os sensores e actuadores.

O sistema CR, está dividido em três partes, que são constituídas por:

- Elementos que enviam sinais para a ECU (Sensores);
- Outras unidades de controlo dos sistemas instalados na viatura, que trocam sinais com a ECU;
- Elementos comandados pela ECU (actuadores).

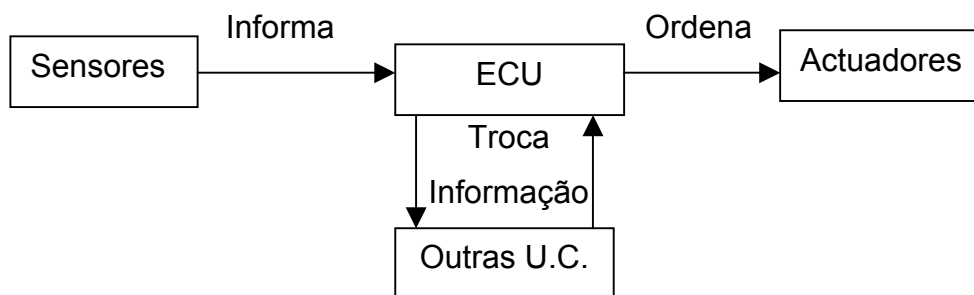


Fig. 4.1 – Interligação entre sensores, outras UC e actuadores, do sistema CR

A figura, mostra a interdependência entre as partes integrantes do sistema CR.

É de referir que no sistema CR, a ECU fornece uma tensão eléctrica aos sensores, recebendo como resposta a que corresponde à condição de estado em que o sensor se encontra.

As outras U.C., trocam informação através das linhas CAN BUS. Esta informação é tratada de um modo digital e a sua leitura só é possível, através de um programa informático.

Também a ECU, fornece um valor de tensão eléctrica aos actuadores, para que realizem o trabalho necessário. Os actuadores, ao realizarem a sua função absorvem uma elevada corrente.

Com o respectivo esquema eléctrico que serve de suporte ao sistema CR, podem ser medidos com um multímetro, os valores de tensão ou corrente, ou verificada num osciloscópio, a forma de onda.

Referem-se em seguida, os componentes que constituem cada parte do sistema CR e a sua função. Inicia-se com a designação dos sensores:

- Sensor de posição da manivela.
- Sensor de posição da árvore de cames;
- Sensor da temperatura do liquido refrigerante;
- Medidor de massa de ar;
- Sensor de pressão do acumulador;

- Sensor de pressão de sobrealimentação;
- Sensor da posição do pedal do acelerador;
- Interruptor da posição do pedal de travão;
- Interruptor da posição do pedal de embraiagem.

Outros sistemas com unidade de controlo, que trocam informação com a ECU:

- Sistema de travagem com ABS, ASR e outros;
- Sistema de ar condicionado, programável;
- Caixa de velocidades automática;
- Bloqueio electrónico de arranque.

Por fim, são designados os actuadores:

- Injectores;
- Solenóide do sistema de recirculação dos gases de escape (EGR);
- Válvula reguladora de pressão;
- Actuador de rotação;
- Regulação de mariposa;
- Unidade de controlo do tempo de incandescência.

Para complementar a informação, irão ser tecidas algumas considerações sobre as funções e características dos sensores do sistema CR.

O sensor de posição da manivela, que é fixo no bloco do motor, com uma folga de ar determinada, na sua fixação, em relação à roda transmissora ferromagnética da manivela, que tem 60 dentes e um intervalo (vazio) correspondente à supressão de 2 dentes. Este efeito entre dentes, especialmente grande, está em correspondência com a posição definida na ECU como o primeiro cilindro e ponto morto superior. Consta de um íman permanente, com um núcleo de ferro doce banhado em cobre, que explora a sucessão de dentes da roda transmissora. Os dentes e os vazios ao passarem alternadamente pelo sensor, fazem variar o fluxo magnético, induzindo uma tensão alternada sinusoidal que é enviada para a ECU, cuja amplitude cresce fortemente com o aumento das rotações. Verifica-se uma amplitude mínima, a partir de 50 rotações por minuto.

O sensor de posição da árvore de cames, está situado na cabeça do motor atrás do carreto da distribuição, tendo uma folga de ar determinada pela fixação, entre um dente de material ferromagnético inserido na árvore de cames e o sensor. Funciona segundo o efeito de Hall e é indispensável na identificação do 1º cilindro quando o motor arranca. Se este sinal falhar no arranque, o motor não trabalha. Depois de o motor começar a trabalhar, o sinal gerado e enviado para a ECU deixa de ser necessário;

O sensor de temperatura do líquido refrigerante, reflecte a temperatura a que o motor se encontra. Está alojado no termostato e informa a ECU da temperatura a que o líquido refrigerante se encontra. Se este está frio, a ECU tem que manter o regime de ralenti pré - determinado com uma quantidade de gasóleo maior, ou se a temperatura ultrapassa um valor pré - determinado, a ECU entra num programa de emergência para proteger o motor.

O medidor de massa de ar, controla a massa de ar aspirada. Esta informação é importante, para que a ECU adapte a combustão às restrições normativas sobre emissões de gases de escape, ou a outras condições pré – estabelecidas.

O sensor de pressão do acumulador, é de elevada precisão, e, mede em continuo a pressão existente.

O sensor de sobrealimentação, controla a pressão existente na colector de admissão dos motores sobrealimentados (onde está instalado), a partir de turbocompressores que aproveitam a energia dos gases de escape.

O sensor do pedal de acelerador, tem por finalidade enviar à ECU, a informação correspondente á intenção do condutor. Por motivos de segurança, neste sensor existem dois potenciómetros. Se avaria o potenciómetro principal, o motor só trabalha até um regime aproximado de 3.000 rpm, devido ao limite de tensão eléctrica a que trabalha o potenciómetro alternativo, que é metade da tensão eléctrica do principal. Quando avariam os dois potenciómetros, o motor trabalha a regime constante de 1.500 rpm.

O interruptor de posição do pedal do travão, informa a ECU sobre um processo de travagem, influenciando a dosagem de gasóleo (a ECU corta o fornecimento de combustível aos injectores). Esta condição só se verifica, com uma mudança da caixa de velocidades engrenada.

Quando o interruptor de posição do pedal de embraiagem é accionado (em braiagem desengatada), a ECU assegura um comportamento do motor, de modo a que as características de condução não sofram uma influência negativa.

Em seguida tecem-se algumas considerações sobre os elementos que trocam sinais com a ECU, através da bus CAN.

Pela bus CAN, é transmitida toda a informação necessária para o serviço e supervisão de avarias.

A intervenção externa sobre o caudal de injeção pode ser influenciada por uma outra unidade de controlo (ex: ABS, ASR), que comunica à ECU que deve ser modificado o binário motor e a sua amplitude (portanto, o caudal de injeção).

O ar condicionado, pode absorver de 1% a 30% da potência do motor, conforme a regulação da temperatura objectivo no interior da viatura. Se, eventualmente, o condutor pressiona rapidamente o pedal do acelerador (desejando um binário motor máximo) a ECU desliga brevemente o compressor frigorífico, para que o motor corresponda à condição de estado para o qual é solicitado.

A caixa de velocidades automática, que visa uma condução mais cómoda para o condutor e mais económica em relação ao consumo de gasóleo, também tem influência sobre o rendimento do motor.

O bloqueio electrónico de arranque, é uma protecção anti - roubo da viatura, que funciona a partir do código da chave que está memorizado na ECU. Este código está em consonância com o código do imobilizador .

Vamos abordar de forma mais detalhada cada actuador.

O actuador de rotação, tem a função de imprimir rotação ao ar aspirado, devido aos canais de entrada em forma espiral. Quando o motor tem baixos regimes, a rotação é alta, e quando o regime é alto, a rotação é baixa. A rotação tem influência sobre a mistura de ar e combustível na câmara de combustão, e como consequência a qualidade da combustão.

O actuador da pressão de sobrealimentação, controla o caudal dos gases de escape no turbocompressor a partir da pressão existente no colector de admissão. Os motores sobrealimentados com turbocompressores que aproveitam a energia residual dos gases de escape, têm que atingir um elevado binário a baixos regimes, o que leva a que a turbina seja dimensionada para um pequeno fluxo de gases de escape. Quando a pressão de sobrealimentação atinge o valor máximo limite, parte do fluxo dos gases de escape é desviado por acção da válvula “*bypass*” (Wastegate), e, diminui a rotação da turbina e a pressão no colector de admissão. A rotação da turbina, está directamente relacionada com a massa de ar aspirada.

A regulação de mariposa, é utilizada para aumentar o índice de retroalimentação dos gases de escape, com a redução da sobrepressão no colector de admissão. Esta regulação só actua em regimes baixos.

O solenóide do sistema de recirculação dos gases de escape (EGR), tem a finalidade de controlar a sua retroalimentação para o colector de admissão do motor. A regulação é feita pela ECU, em função da massa de ar fresco real admitida, e é comparada com um valor teórico de massa de ar em cada ponto de serviço. A alimentação de gases de escape, oferece a possibilidade de reduzir a emissão de  $\text{NO}_x$  sem aumentar drasticamente a formação de fumo. Se a quantidade de gases de escape for superior a 40 %, aumentam as emissões de fumo, de CO e HC assim como também o aumento de consumo de combustível, devido à falta de oxigénio (ver Fig. 2.2).

Os gases de escape e os vapores do cárter (humidade de óleo), vão formar blocos de carvão, que dificultam a entrada da carga de ar fresca no cilindro, diminuindo assim o rendimento do motor e levando ao aparecimento de fumo negro nos gases de escape.

A unidade de controlo do tempo de incandescência, é o dispositivo que facilita o arranque a frio, melhora a fase de aquecimento e origina uma importante diminuição do fumo negro dos gases de escape.

A duração da fase de aquecimento, depende da temperatura do liquido refrigerante, e, as restantes fases de incandescência, (arranque ou com o motor em marcha), são determinadas por uma variedade de parâmetros, tais como o caudal de injeção e o regime do motor.

O injector indutivo, como caso particular do actuador, vai ser tratado de forma diferenciada.

Segue-se a designação dos blocos funcionais e descrição de como se realiza cada fase.

O injector é constituído por diferentes blocos funcionais:

- A agulha e o bico injector com os orifícios;
- O servo - sistema hidráulico;
- A electroválvula.

O seu funcionamento, é determinado em quatro estados de serviço, com o motor em qualquer regime e a bomba de alta pressão a funcionar:

- Injector fechado (estado de repouso) e alta pressão;
- Abertura do injector e inicio da injeção;
- Injector totalmente aberto;
- Fecho do injector, fim da injeção.

Estes estados de serviço, são determinados pela distribuição das forças (hidráulica e da mola) nos componentes. Quando o motor está parado, não existe pressão no acumulador e é a mola do injector, que o fecha.

A figura representa a vista em corte de um injector indutivo e o pormenor do mecanismo que permite a injeção.

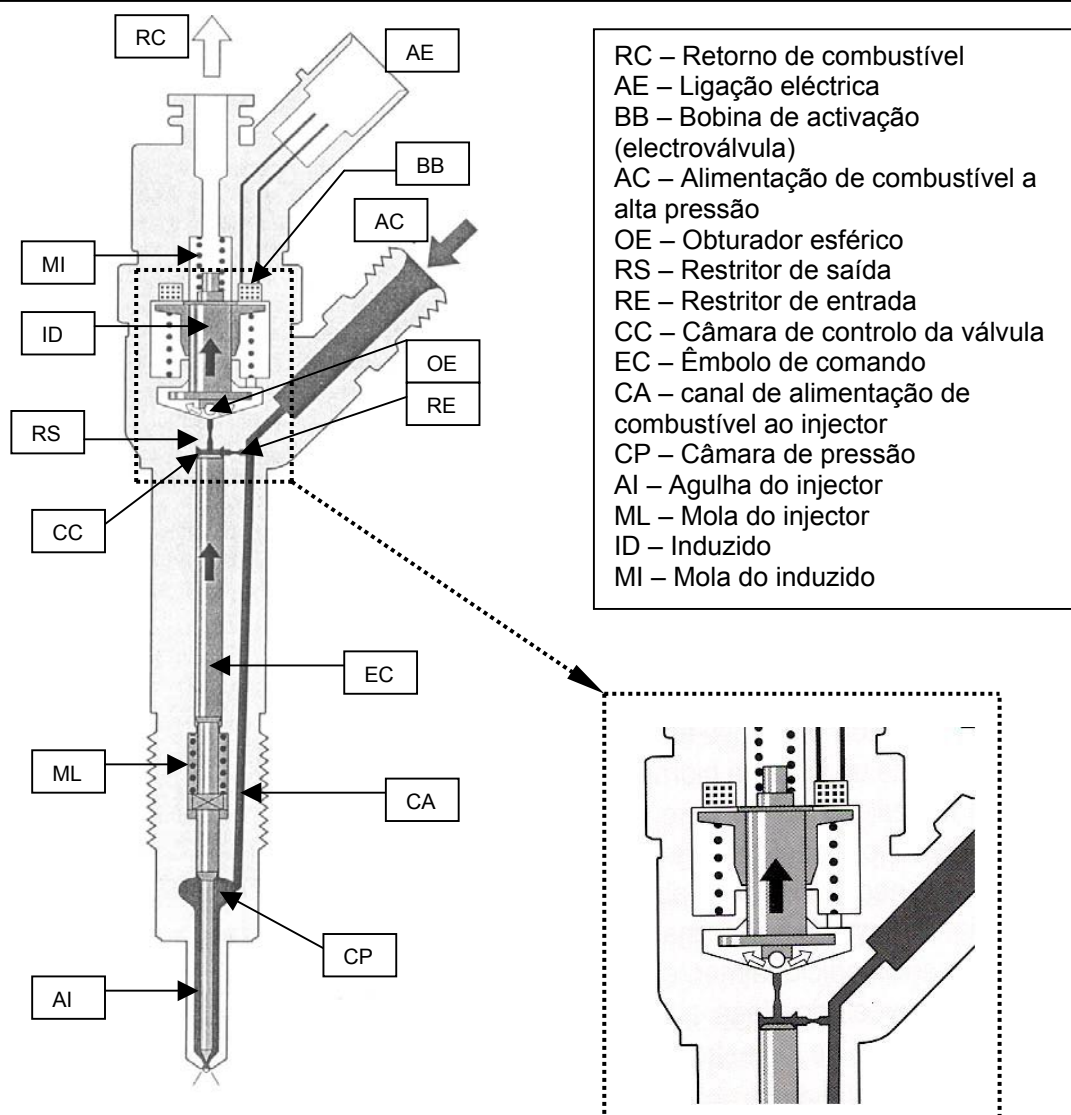


Fig. 4.2 – Vista em corte e pormenor de um injetor indutivo

Desenvolvimento de cada estado de serviço.

Com o injetor fechado (estado de repouso) e a alta pressão – a electroválvula (BB), como não está activada pela corrente de excitação, a esfera do induzido (OE) é pressionada pela mola da válvula (ML), contra a sede do restritor de saída (RS) e fecha a saída de gasóleo para o retorno. Na câmara de controlo (CC) existe a alta pressão do acumulador, assim como na câmara de pressão do injetor (CP). A força devida à pressão do gasóleo, sobre a superfície frontal do embolo de comando (EC) adicionada da força da mola do injetor (ML), mantém fechada a agulha do injetor (AI).

Abertura do injetor e início da injeção – o injetor encontra-se fechado. A electroválvula ao ser activada pela corrente de excitação, provoca o deslocamento



rápido do induzido (ID) com a esfera (OE) a acompanhar o movimento, devido à pressão de gásóleo que passou através do restritor de saída (RS). O gásóleo ao sair da câmara de controlo da válvula (CC), retorna ao depósito.

Num tempo mínimo, a corrente de excitação mais elevada, reduz-se a uma corrente mais baixa de retenção do electroímã. Isto é possível, porque é menor a reacção do circuito magnético. O restritor de entrada (RE), impede uma compensação rápida e completa do volume da câmara de controlo da válvula (CC), o que conduz a que aqui a pressão seja menor que a pressão na câmara de pressão do injector, que é igual à pressão do acumulador. Ao baixar a pressão na câmara de controlo da válvula (CC), diminui a força que actua sobre o embolo de comando (EC), dando origem ao levantamento da agulha do injector (AI), inicia-se a injeção.

Com o injector totalmente aberto, a velocidade de abertura da agulha do injector, fica determinada pela diferença de fluxo de gásóleo entre os restritores de entrada (RE) e de saída (RS), traduzindo também o volume de gásóleo injectado. O êmbolo de comando (EC) alcança o topo superior e permanece ali. O volume de gásóleo residual tem um efeito amortecedor.

O gásóleo é injectado na câmara de combustão, com uma pressão aproximadamente igual à pressão do acumulador. A distribuição de forças, é similar à existente durante a fase de abertura.

O fecho do injector (final da injeção), acontece quando deixa de ser excitada a electroválvula. O induzido é pressionado pela força da mola do induzido (ID) e a esfera (OE) fecha a passagem de gásóleo pelo restritor de saída (RS). Esta condição, leva a que através do restritor de entrada, a pressão na câmara de controlo (CC) seja igual à do acumulador. A velocidade de fecho da agulha do injector (AI), é determinada pelo fluxo de gásóleo através do estrangulamento de entrada. A injeção termina quando a agulha atinge de novo o topo inferior.

O desenvolvimento da injeção, é o mesmo para qualquer função que esta tenha que desempenhar. A injeção, é de extrema importância para o cumprimento da legislação ambiental e para a redução do consumo de combustível.

No primeiro sistema CR, eram feitas até três injeções por ciclo motor, e cumpria-se a EURO III. Com a entrada em vigor do EURO IV, surgiu a versão Multijet, em que podem ser feitas até cinco injeções por ciclo motor.

No primeiro sistema temos:

- Pré - injeção;
- Injeção principal;
- Injeção posterior.

Na versão multijet, há:

- Injeção piloto;
- Pré - injeção;
- Injeção principal;
- Injeção posterior;
- Injeção retardada.

A sequência das injeções é a mesma para as duas versões, e, todas são feitas em dois tempos motor. As injeções até à principal e com esta incluída, são feitas no tempo motor compressão. As restantes são feitas no tempo escape.

Só são feitas as injeções que são necessárias, uma vez que estas são função da necessidade do motor e do controlo sobre as emissões dos gases de escape.

Assim, temos:

- A injeção piloto, é feita na a fase de aquecimento do motor, de modo a facilitar o seu arranque e diminuir o ruído;

- A injeção prévia, pode estar avançada até 90° antes do ponto morto superior da manivela. Um avanço tão grande, pode trazer o inconveniente da lavagem dos cilindros (possibilidade de gripagem) e conduzir a um atraso da injeção principal, o que melhora também o grau e rendimento da combustão.

Esta injeção contribui de forma indirecta para a geração do binário motor. Em função do começo da injeção principal e do intervalo entre a injeção prévia e a principal, pode aumentar-se ou diminuir o consumo específico;

- A injeção principal é a que determina a energia para o trabalho a realizar pelo

motor. Este trabalho é o responsável pelo desenvolvimento do binário motor;

- A injeção posterior, pulveriza os gases de escape com um caudal de gasóleo bem doseado, evaporando-se no calor residual dos gases de escape e assim ajudar a melhorar a combustão, uma vez que os gases ao recircular para o colector de admissão empobrecem a mistura ar gasóleo;

- A injeção retardada, pulveriza os gases de escape com um caudal de gasóleo bem doseado, evaporando-se no calor residual dos gases de escape e é utilizada como meio redutor do óxido de nitrogénio nos catalizadores de NO<sub>x</sub>.

Como na injeção anterior, também aqui pode haver lavagem de cilindros (problemas de gripagem), devido ao grande atraso da injeção.

## **4.2 Bomba de Alta Pressão, CP1**

A bomba de alta pressão faz a ligação entre os estados de baixa e alta pressão, do sistema de alimentação de gasóleo, e, tem como função, colocar uma quantidade de gasóleo comprimido no acumulador. Para todas as condições de serviço exigidas ao motor deve ser mantida uma reserva de gasóleo, para que o processo de arranque seja rápido e ocorra um aumento instantâneo de pressão no acumulador.

A bomba debita continuamente gasóleo alta pressão.

### **4.2.1 Constituição**

A bomba de alta pressão, por uma questão de acessibilidade está montada no mesmo local do motor Diesel, da bomba de injeção convencional. É accionada a partir da distribuição do motor, com a transmissão de movimento a ser feito com roda, correia dentada ou outro dispositivo, e, tem como limite máximo 3.000 rpm.

O gasóleo, que também é utilizado como lubrificante, é comprimido por três êmbolos que estão dispostos radialmente e desfasados entre si 120°, e, originam três cursos de fornecimento por cada rotação.

O accionamento da bomba, comparativamente ao sistema de injeção convencional tem menos exigências, já que não é necessário um cuidado especial com o seu posicionamento na distribuição do motor, quando se procede à montagem da bomba após reparação / substituição.

A força necessária para o accionamento da bomba, aumenta proporcionalmente com a pressão ajustada no acumulador com a velocidade de rotação da bomba (caudal de

fornecimento). A maior exigência de força, depende dos caudais de fugas e de controlo do injector, e, no retorno do gasóleo através da válvula reguladora de pressão.

Conforme o espaço de montagem disponível, a válvula reguladora de pressão, pode estar montada directamente na bomba ou noutra local e é controlada pela ECU .

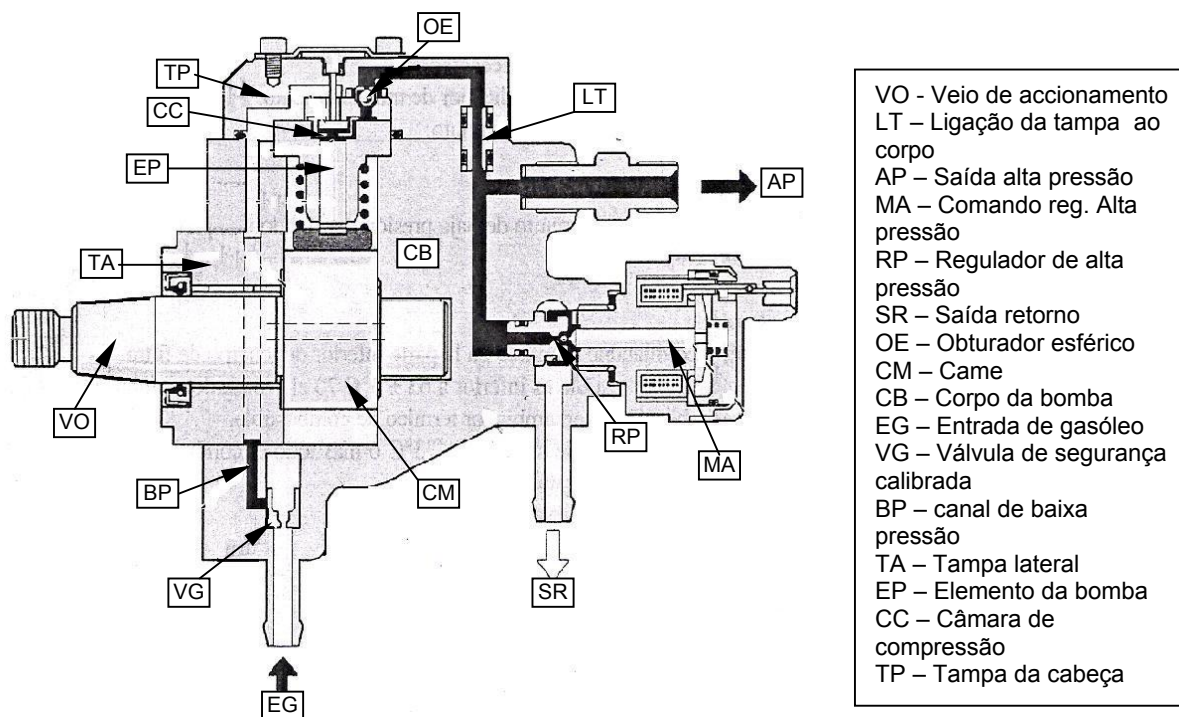


Fig. 4.3 - Bomba CP1 em corte

#### 4.2.2 Funcionamento

A bomba eléctrica situada no depósito comprime o gasóleo. Este passa pelo filtro provido de separador de água e entra dentro da CP1, através do furo de estrangulamento da válvula de segurança, para o circuito de lubrificação.

Se a pressão de fornecimento ultrapassa a pressão de abertura da válvula de segurança (0,5...1,5 bar), o gasóleo passa através da válvula de entrada de alta pressão, e, vai preenchendo o crescente volume gerado pelo deslocamento descendente do elemento (curso de aspiração). O movimento descendente do elemento é originado em grande parte pela força da mola (ver 4.4).

Ao iniciar-se a compressão por parte do elemento (curso de fornecimento), a válvula de entrada fecha e o gasóleo com uma pressão superior à que comanda a válvula de saída, passa continuamente através de um tubo para o acumulador, até que seja atingido o ponto morto superior. Passado este ponto, a pressão diminui e a válvula de saída fecha.

O veio de accionamento com a sua came, faz mover os três êmbolos da bomba no sentido ascendente.

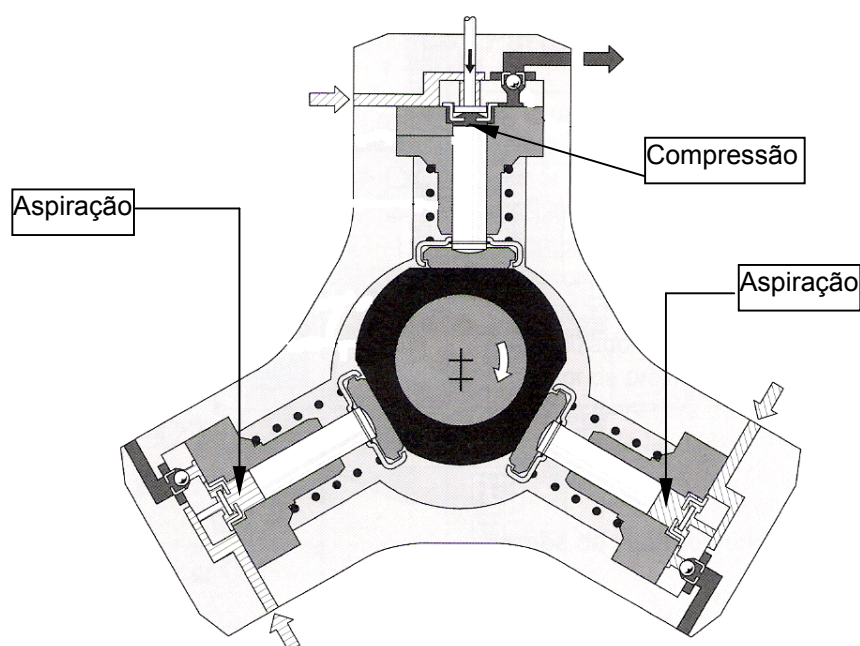


Fig. 4.4 – Admissão e compressão do gasóleo

#### Força necessária para o fornecimento de gasóleo

Como a bomba de alta pressão está dimensionada para grandes caudais de fornecimento, acontece que ao ralenti ou em carga reduzida, existe um excesso de gasóleo comprimido que é conduzido novamente ao depósito, através da válvula reguladora de pressão. O gasóleo quando chega ao depósito, perde a energia ganha com a compressão e faz aumentar a temperatura do que está lá.

O débito da bomba de alta pressão, é proporcional á sua rotação, e esta depende daquela a que o motor estiver a rodar.

Com a aplicação do sistema de injeção ao motor, é estabelecida uma rotação desmultiplicada, de tal forma que, por um lado não seja elevado o excedente do caudal de gasóleo transportado em baixa carga, e por outro quando a plena carga, as necessidades sejam satisfeitas.

São possíveis relações de 1:2 e 2:3, na transmissão entre o motor e a CP1.

A válvula reguladora de pressão, é controlada a partir da ECU, com a finalidade de ajustar ou manter a pressão no acumulador, para qualquer estado de carga do motor. Se a pressão estiver acima do valor necessário para a condição exigida ao motor, a válvula abre e uma parte do gasóleo retorna ao depósito.

### 4.3 Pontos Comuns

Neste ponto pretende-se mostrar a ligação entre técnicas e métodos já aplicados em outros sistemas e órgãos. O sistema CR torna-se inovador, pelo facto de reduzir o consumo de gasóleo e as emissões contaminantes dos gases de escape da motorização diesel, assim como tornou esta mais competitiva, em relação à mesma motorização a gasolina.

Comparando dois sistemas com gestão electrónica (motor diesel e gasolina) já utilizados, conclui-se que o sistema CR adopta alguns órgãos, componentes e mecanismo do sistema de gasolina. Assim, do sistema de injeção indirecta de gasolina, vai utilizar:

- Gestão electrónica a partir da ECU;
- O mesmo tipo de sensores e actuadores e respectiva função;
- O acumulador de gasolina, com a válvula limitadora de pressão;
- A bomba eléctrica no tanque de combustível;
- O mesmo principio de funcionamento dos injectores indutivos.

Do sistema de injeção diesel convencional, utiliza:

- Da bomba injectora em linha, tipo P, o mesmo modo de geração de pressão do gasóleo (camisa / elemento), com o deslocamento vertical do elemento a ser feito pela acção da came, que está inserida no veio accionado a partir da distribuição do motor, a uma rotação que é metade da do motor. A expansão do elemento na fase (descendente) de admissão de gasóleo, é feita com o auxilio da força da mola.

O atrito gerado entre a came e o rolete, é de rolamento, sendo que o elemento permanece na posição vertical em todo o percurso ascendente na compressão do combustível;

- Da bomba injectora rotativa, a experiência de utilização do gasóleo como lubrificante. Como a pressão de saída do gasóleo é mais reduzida, reflecte-se numa

menor força de atrito de rolamento dos roletes sobre o anel de ressaltos, peça a partir do qual, se eleva a pressão do gásóleo para cada linha de injeção.

O fabricante Siemens, aproveitou o conceito da bomba rotativa de palhetas incorporada na própria bomba.

#### **4.4 Pontos Críticos da CP1**

Neste ponto vão ser abordados os pontos mais sensíveis existentes na CP1. Um ponto crítico, neste trabalho, deve ser entendido como uma zona de interacção entre elementos constituintes da bomba CP1, na qual por via daquela interacção, se pode desenvolver um processo de avaria ou modo de falha. Estes pontos, estão na origem de avarias devidas a desgaste ou mesmo gripagem, e, influenciam o desempenho da CP1. Podemos considerar por ordem crescente de importância no contributo para a ocorrência de falhas:

- 1º - Contacto base do elemento com a face do dado;
- 2º - Desgaste do elemento
- 3º - Faces interactuantes do conjunto, elemento / camisa;
- 4º - Mola que contribui para a expansão do elemento;
- 5º - Mola de ligação do elemento à base;
- 6º - Desgaste nos apoios do veio;
- 7º - Desgaste no casquilho de apoio do veio;
- 8º - Desgaste no casquilho do dado;
- 9º - Desgaste do veio onde actua o retentor.

Vamos proceder de seguida ao desenvolvimento de cada ponto crítico, descrevendo o tipo de interacção e a forma como se desenvolve o modo de falha.

1º - O deslocamento vertical do elemento, é feito á custa de um atrito de escorregamento da base do elemento, sobre a face do dado. Por se tratar da zona mais critica da CP1, foi feita uma simulação de funcionamento em bancada, conforme a figura 4.5

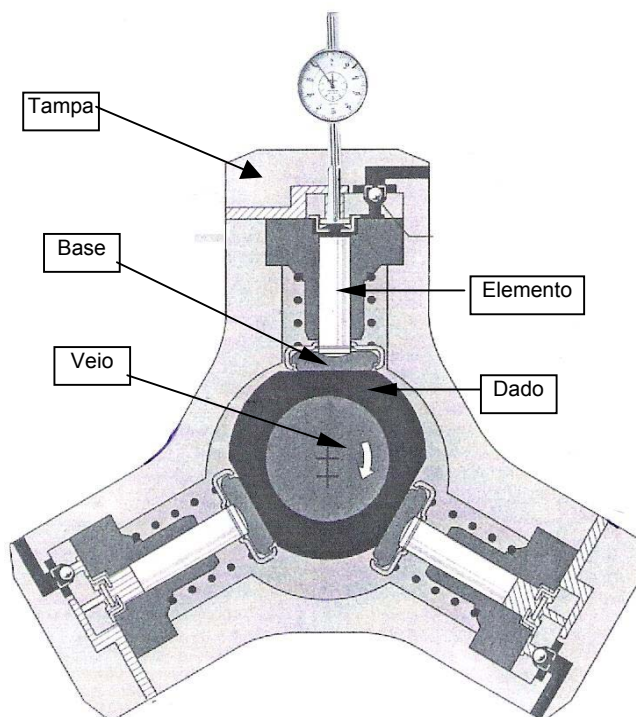


Fig. 4.5 – Verificação do deslocamento do elemento

Desmontou-se a bomba, substituiu-se o elemento por outro igual em latão, furou-se uma tampa, para que a ponta do comparador encostasse no topo do elemento e não se colocou a peça [TA] da figura 4.3. Esta operação, permitiu verificar o funcionamento e todo o processo de elevação de pressão do gasóleo.

No dado e na base do elemento em latão, foi colocada uma marca correspondente ao centro, para que se pudesse ver o deslocamento de um ponto em relação ao outro.

Colocou-se o elemento no ponto de máxima admissão de gasóleo, que corresponde à came na posição inferior e considera-se o ponto 0°.

Com a rotação do veio a ser feita manualmente, verificou-se que a elevação de pressão se processava de acordo com a figura seguinte.



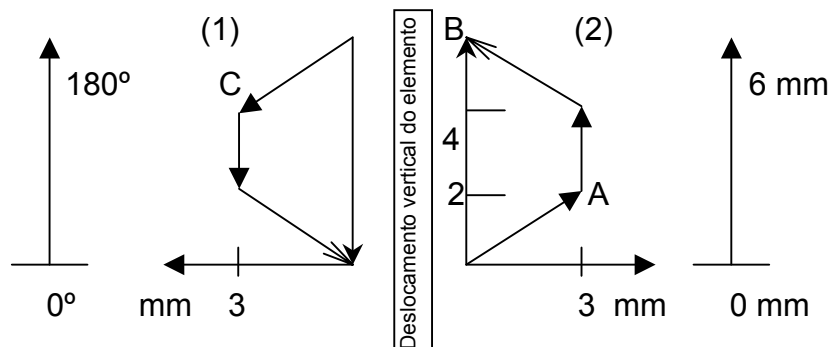


Fig. 4.6 - Deslocamento da base do elemento na face do dado

Fase de fornecimento de gásóleo a alta pressão (2).

Rodando o veio até aos  $60^\circ$ , que corresponde à compressão total do elemento que está na posição anterior (ver Fig 4.5), verifica-se que a base se desloca para a direita o equivalente à excentricidade da came, e eleva o elemento 2 milímetros.

Continuando a rotação até aos  $120^\circ$ , a base permaneceu no mesmo ponto (A) e o elemento subiu mais 2 milímetros. A partir dos  $120^\circ$ , a base começa a deslocar-se para o ponto de partida. Ao chegar a este ponto, está concluído o período de fornecimento de gásóleo a alta pressão, com o elemento a deslocar-se 6 milímetros em  $180^\circ$  (B).

Fase de aspiração de gásóleo a baixa pressão (1).

O movimento de rotação do veio continua da fase anterior, com o elemento na posição inicial de aspiração de gásóleo. Até se atingir os  $240^\circ$ , verifica-se que a base se desloca para a esquerda o equivalente à excentricidade da came, o elemento baixa 2 milímetros e o elemento seguinte está na posição de compressão máxima. Continuando a rotação até aos  $300^\circ$ , a base permanece no mesmo ponto (C), baixando o elemento mais 2 milímetros. A partir deste ponto, a base começa a deslocar-se para o ponto de partida. Conclui-se assim o período de aspiração do gásóleo, com o elemento a deslocar-se 6 milímetros, a que corresponde uma rotação de  $180^\circ$  do veio.

Análise sob o ponto de vista técnico, do tipo de contacto e do comportamento do material e lubrificação, durante o processo de elevação de pressão do gásóleo. Este aspecto só é tratado nesta fase, porque no processo de aspiração de gásóleo, não se

verifica o mesmo atrito de escorregamento, devido ao facto de a pressão ser muito baixa (ver 4.2.2)

No deslocamento da base, há um elevado atrito de escorregamento com uma lubrificação do tipo LEHD (ver 3.4.4) e um estado de tensão concentrado e tridimensional (ver 3.6.3). Neste deslocamento, existem velocidades muito grandes, originadas pelos elevados regimes do motor.

A película lubrificante interposta entre as duas superfícies em contacto, é sujeita a elevadas pressões. A existência de algum defeito devido à fadiga superficial (ver 3.6.2), acelera o processo de desgaste ou origina mesmo a gripagem.

O facto de a base permanecer 60° de rotação do veio no ponto A, levanta outro problema. Este ponto torna-se crítico, porque há uma menor interposição do gasóleo entre as superfícies em contacto, e, também devido à existência de elevadas pressões sobre as asperidades, que podem conduzir a deformações elásticas ou mesmo plásticas. Quando a base retorna ao ponto de partida, as deformações podem dar origem ao arrancamento de material ou a fenómenos de fadiga superficial.

O número de ciclos que a base efectua, pode ser visto a seguir no 4º ponto, já que se pode considerar igual ao calculado para a mola.

Em algumas reparações, na análise ao material, verifica-se que a zona onde se dá o contacto superficial, tem o aspecto de estar queimada.

2º - Quando o elemento inicia o curso de compressão do gasóleo, parte está fora da camisa. O dado, ao forçar o elemento, empurra a base deste no sentido tangencial da rotação e sai do seu eixo vertical. A força exercida, vai originar a um efeito de alavanca que se reflecte em duas zonas opostas em diâmetro e na extremidade, pelo que, o desgaste aqui é mais acentuado que nas outras e é neste ponto que se pode iniciar a fuga de gasóleo.

3º - É no conjunto camisa / elemento que se cria a condição da elevação da pressão do gasóleo, e, em simultâneo lubrificar as duas superfícies interactuantes.

Devido à posição da CP1 no bloco do motor, um destes conjuntos pode estar num plano mais elevado. Como a temperatura do gasóleo vai aumentando, induz neste conjunto uma temperatura maior, que pode levar à dilatação da camisa (aumenta a folga entre as duas peças).

Em situações de estacionamento prolongado da viatura (tempo decorrido entre a saída da fábrica e a entrega ao comprador), pode acontecer que o gasóleo deixe de fazer a separação das duas superfícies do conjunto tendo como consequência a adesão de material (ver ponto 3.6.1). No deslocamento da viatura em parque, por vezes o motor é submetido a elevados regimes. O facto de o motor ao estar frio e com pouco gasóleo no depósito, pode provocar o início de avarias que se vão reflectir mais tarde.

4º - A mola do conjunto elemento/camisa, tem a função de fazer deslocar o elemento durante o curso de aspiração e na posição de maior expansão já se encontra em carga. É submetida a um movimento oscilatório dependente do regime do motor, pelo que é importante ter em atenção o numero de ciclos a que pode estar sujeita. Uma deficiente expansão (mola pasmada), pode ter como consequência menos débito ou vazios de gasóleo, que podem originar falhas e diminuir o rendimento do motor. Uma mola partida, pode estar na origem de uma gripagem.

Como exemplo, consideremos a distancia de 120.000 Km percorridos por duas viaturas, com a mesma motorização e bomba CP1, utilizadas em condições de trabalho normal.

	Taxi	Viat. Distrib.
Velocidade média (Km/h)	30	60
Tempo de trabalho (horas)	4.000	2.000
Regime de ralenti (bomba)	450	450
Regime intermédio (bomba)	1.250	1.500
Regime máximo (bomba)	1.750	2.000
Tempo de trabalho em regime de ralenti (%)	50	10
Tempo de trabalho em regime intermédio (%)	30	30
Tempo de trabalho em regime máximo (%)	20	60
Rotações totais em regime de ralenti	$54 \cdot 10^6$	$5,4 \cdot 10^6$
Rotações totais em regime de intermédio	$90 \cdot 10^6$	$54 \cdot 10^6$
Rotações totais no regime máximo	$84 \cdot 10^6$	$144 \cdot 10^6$
Rotação total	$228 \cdot 10^6$	$203 \cdot 10^6$
Numero de ciclos da mola	$456 \cdot 10^6$	$406 \cdot 10^6$

Tabela 4.1 - Cálculo das solicitações nas molas da CP1

5º – A ligação do elemento com a base, é feita por uma mola em chapa, fixa, na aba da base e num freio montado no elemento, para facilitar a excentricidade do elemento. A excentricidade é provocada pelo atrito de escorregamento da base, evitando a rigidez.

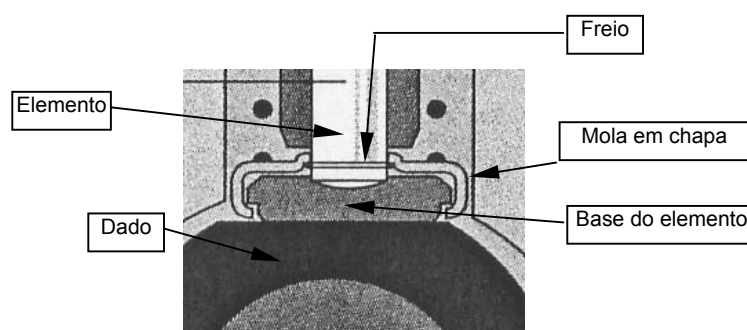


Fig. 4.7 – Fixação da base ao elemento

6º - Nos apoios do veio reflecte-se a pressão gerada pela compressão do gasóleo. Por cada compressão feita a cada 120º, na zona do veio oposta à compressão, surge desgaste, Embora haja lubrificação do tipo LHD (ver 3.5.4), verifica-se desgaste.

Havendo desgaste excessivo, podem aparecer ressaltos no apoio, tornando o funcionamento da CP1 defeituoso.

7º - O casquilho de apoio do veio (aberto e em teflon), fixo ao corpo da bomba pela sua própria elasticidade. Aumentando a carga mais que o indicado sobre o casquilho, este pode começar a ser arrastado e pode sofrer desgaste ou mesmo gripagem no diâmetro exterior ou interior, devido ao atrito de escorregamento que se verifica quando o veio exerce pressão ao rodar.

8º - O casquilho do dado (aberto e em teflon), é montado no seu diâmetro interior, e está sujeito a um elevado atrito de escorregamento, quando a came no seu movimento de rotação, provoca o movimento ascendente do elemento.

O calor gerado no atrito, associado ao aumento de temperatura que se vai verificando no gasóleo, leva a uma dilatação do casquilho superior que o diâmetro interior do dado.

9º - O retentor tem a função de vedar a saída do gasóleo, mantendo-o dentro do corpo a uma pressão aproximada de 3 a 4 bar, para que tenha a função lubrificante e refrigerante. Origina a um desgaste localizado na zona em que actua o lábio, com o risco de fugas.

#### **4.5 - Factores que influenciam a taxa de ocorrência de falhas nos pontos críticos**

Neste ponto, vão ser abordado os factores mais negativos que estão na origem de uma degradação rápida da CP1.

##### **4.5.1 RPM**

A rotação do motor, é uma condição de estado do mesmo, e deve ser o mais reduzida possível em todos os estados de funcionamento e satisfazendo as necessidades do condutor.

O motor, embora esteja construído para suportar grandes esforços de uma forma prolongada e disponha de lubrificantes que suportem esta condição, tem contudo órgãos que são sensíveis à rotação nos quais se inclui a bomba CP1, devido ao facto de ser lubrificada pelo próprio gasóleo.

O caudal de gasóleo comprimido é função da rotação do motor. Quando uma viatura está a circular num declive muito prolongado e o motor é utilizado como retardador da marcha (funciona como compressor, utilizando a massa de ar admitida em cada cilindro), não se dá injeção (corte de combustível feita pela ECU) e todo o gasóleo comprimido retorna ao depósito a temperaturas muito altas. Se o gasóleo existente no depósito é pouco, a temperatura vai aumentar rapidamente. Na condução citadina, fazem-se frequentes arranques e também existem largos intervalos de tempo em regime de ralenti. Este regime ao ter um baixo consumo de gasóleo, provoca um elevado caudal de retorno a elevada temperatura.

Em testes efectuados numa viatura ligeira (ver 4.7), verificou-se que, elevados regimes de trabalho do motor originam um sobreaquecimento do gasóleo.

#### 4.5.2 Pressão de injeção

A pressão é a força por unidade de superfície, assim se para a mesma pressão se a superfície for reduzida, aumenta o valor da força. Na bomba de alta pressão é gerada uma pressão máxima de 1.350 bar que se vai reflectir no contacto da base do elemento com a face do dado. A base do elemento ligeiramente convexa, promove uma área de contacto muito reduzida entre as asperidades das duas superfícies em contacto, que suportam uma força muito elevada e localizada.

Esta condição leva a que verifique um desgaste muito rápido ou até mesmo gripagem em toda a zona do dado onde se faz o escorregamento.

Como a velocidade de deslocação do dado é muito grande, em regimes elevados, o que também eleva a temperatura na área de contacto da base (devido ao atrito de escorregamento), por vezes esta, originando o aspecto de queimado, já referido.

#### 4.5.3 Temperatura do gasóleo

A temperatura ideal de trabalho do gasóleo é 40°. É a esta temperatura, que são feitos os testes por parte das companhias petrolíferas, na determinação da viscosidade.

A elevação de pressão do gasóleo, é obtida com a passagem da uma secção para outra mais reduzida. Esta diferença de secções, provoca uma elevada tensão de corte

superficial no gásóleo que associada à velocidade a que se verifica, leva a um aumento acentuado da temperatura (ver 4.7).

Na tabela abaixo, são considerados alguns regimes da CP1 na utilização típica da viatura, um curso de 6 milímetros do elemento (L), o tempo em segundos de uma rotação (período) do veio em  $180^\circ$  ( $T/180^\circ$ ) e a velocidade de deslocamento do elemento (V m/ seg), para cada um dos regimes considerados.

Rotação, CP1				Curso do elemento	Velocidade do elemento
Rpm	Rps	T/rot (s)	T /180°	(mm)	( m/s)
450	30	0,14	0,07	6	0,085
1.500	100	0,04	0,02	6	0,3
2.000	132	0,03	0,015	6	0,4
2.500	166	0,024	0,012	6	0,5

Tabela 4.2 – Velocidade de deslocação do elemento

A temperatura que é gerada na compressão do gásóleo, é função do tempo em que o mesmo caudal é escoado. Quanto menor é o tempo do escoamento total, maior é a temperatura que se verifica na massa de gásóleo que está a ser comprimida.

#### 4.6 Falhas na CP1

A partir dos índices de gravidade, frequência e detecção (ver 3.3), e aplicados ao caso em estudo, obtiveram-se os seguintes resultados baseados na experiência:

FUNÇÃO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL de FALHA	G	CAUSA POTENCIAL de FALHA	F	MODO de DETECÇÃO	D	IPR
1.Força motriz (Gasóleo)	1.1 Diferente (Uso inusitado de outro combustível)	Motor não trabalha	8	Falta de atenção no abastecimento	3	Inspeção visual ( Cor , Cheiro )	2	48
		Desgaste	8	Lubrificação deficiente	9	Inspeção visual	2	144
		Gripagem	8	Lubrificação deficiente	9	Inspeção visual	2	144
		Avaria Injectores	6	Desgaste nos furos do bico e queimados	9	Inspeção visual ( Cor , Cheiro )	2	144
		Motor com baixo rendimento.	6	Alteração índice cetano	7	Inspeção visual ( Cor , Cheiro )	2	84
	1.2 Adulterado ( Gasóleo de má qualidade)	Desgaste	6	Lubrificação deficiente	7	Inspeção visual	2	84
		Gripagem	6	Lubrificação deficiente	8	Inspeção visual	2	96
		Avaria Injectores	6	Desgaste nos furos do bico e queimados	8	Inspeção visual	2	96
		Motor trabalha mal	6	Líquido incompressível	7	Inspeção visual ( Cor )	2	84
		Desgaste	6	Lubrificação deficiente	7	Inspeção visual	2	84
	1.3 Água (Vestígios de água no gasóleo)	Gripagem	6	Lubrificação deficiente	7	Inspeção visual	2	84
		Avaria Injectores	6	Desgaste nos furos do bico e queimados	7	Inspeção visual	2	84

Tabela 4.3 – Avarias originadas pelo combustível

FUNÇÃO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL de FALHA	G	CAUSA POTENCIAL de FALHA	F	MODO de DETECÇÃO	D	IPR
2 Alimentação de gasóleo à CP1	2.1 Caudal insuficiente Pressão abaixo do valor	Motor não trabalha ou trabalha mal	5	Falta de gasóleo	3	Verificar pressão	2	30
				Entrada de ar	3	Bolhas de ar no tubo de alimentação gasóleo	2	30
				Pré-filtro	3	Inspeção visual	2	30
				Bomba eléctrica do tanque	3	Medir pressão à saída do depósito	1	15
				Tubos obstruídos ou com fugas	1	Medição da pressão à entrada do filtro Inspeção visual	1	5
				Filtro	5	Substituir	1	25

Tabela 4.4 – Avarias devido à deficiente alimentação de gasóleo



FUNÇÃO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL de FALHA	G	CAUSA POTENCIAL de FALHA	F	MODO de DETECÇÃO	D	IPR
3. Bomba CP1 fornece gasóleo a elevada pressão para o acumulador "Rail"	3.1 Deficiente aspiração de gasóleo pelos elementos	Menor pressão e volume de gasóleo no Rail	5	Canal alimentação obstruído. Válvula admissão presa	1	Inspeção visual	3	15
		Entrada de ar	5	Má vedação na ligação corpo tampa	3	Inspeção visual	2	30
		Válvula de lubrificação	5	Mola presa	3	Inspeção visual	3	45
	3.2 Desgaste no conjunto elemento camisa	Menor pressão e volume de gasóleo no Rail	6	Muita utilização ou frequente trabalho do motor em regimes elevados	3	Inspeção visual Controlo dimensional	4	72
		Aumento de pressão no interior CP1	6	Má vedação entre elemento e camisa	5	Inspeção visual	2	60
	3.3 Gripagem no conjunto elemento camisa	Menor pressão e volume de gasóleo no Rail	7	Gasóleo contaminado ou muita utilização	3	Inspeção visual	2	42
		Contaminar o sistema de injeção	7	Existência de partículas metálicas em suspensão	7	Inspeção visual	2	98
	3.4 Mola pasmada	Curso reduzido de aspiração de gasóleo	3	Elasticidade da mola	2	Pesagem da mola Inspeção visual	4	24
	3.5 Mola partida	Não há aspiração de gasóleo	7	Elemento não faz movimento descendente	9	Inspeção visual	2	128
		Possibilidade de Gripagem	7	Interposição de partículas da mola em suspensão	5	Inspeção visual	2	70
		Contaminar o sistema de injeção	7	Existência de partículas da mola em suspensão	7	Inspeção visual	2	98
	3.6 Desgaste na base do elemento e na face do dado	Menor pressão e volume de gasóleo no Rail	3	Dificuldade no deslocamento total do elemento	5	Inspeção visual	2	30
		Início de gripagem	6	Formação de pitting ou spalls	9	Inspeção visual	2	108
	3.7 Gripagem na base do elemento e face do dado	Menor pressão e volume de gasóleo no Rail	7	Muita dificuldade no deslocamento total do elemento. Arrancamento de partículas metálicas.	9	Inspeção visual	2	126
		Contaminar o sistema de injeção	7	Existência de partículas metálicas em suspensão	9	Inspeção visual	2	126
	3.8 Deficiente saída de gasóleo para o Rail	Menor pressão e volume de gasóleo no Rail	5	Canal de saída obstruído. Válvula de saída presa	1	Inspeção visual	3	15
		Fuga de gasóleo na ligação tampa corpo	5	Má vedação na ligação corpo tampa	1	Inspeção visual	1	5
		Maior caudal de gasóleo de retorno	5	Problema na electroválvula	3	Substituição da válvula	3	45

FUNÇÃO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL de FALHA	C	G	CAUSA POTENCIAL de FALHA	F	MODO de DETECÇÃO	D	IPR
	3.9 Fuga de gasóleo pelo veio	Aumento do consumo de gasóleo		5	Desgaste na zona de incidência do retentor	5	Inspeção visual E cheiro	2	50
	3.10 Desgaste nos casquilhos de apoio e excêntrico	Menor volume de gasóleo para o Rail		3	Muita utilização em regimes elevados Gasóleo contaminado	3	Inspeção visual Controlo dimensional	2	18
	3.11 Folga excessiva na ligação á distribuição	Funcionamento incorrecto do motor		5	Deficiente acopolamento do veio á distribuição	3	Inspeção visual	2	30

Tabela 4.5 – Avarias devido ao funcionamento da CP1

Tomando o valor limite do IPR como 100, verifica-se que os valores acima, estão relacionados com a qualidade do gasóleo, muito tempo de funcionamento que origina desgaste ou gripagem no conjunto camisa/elemento e na base do elemento face do dado ou também devido à fractura da mola.

Para a resolução de avarias a partir do diagnóstico, propõe-se um fluxograma.

Em cada estado de possível avaria, é apresentado um novo fluxograma com a respectiva sequência de acções a tomar.

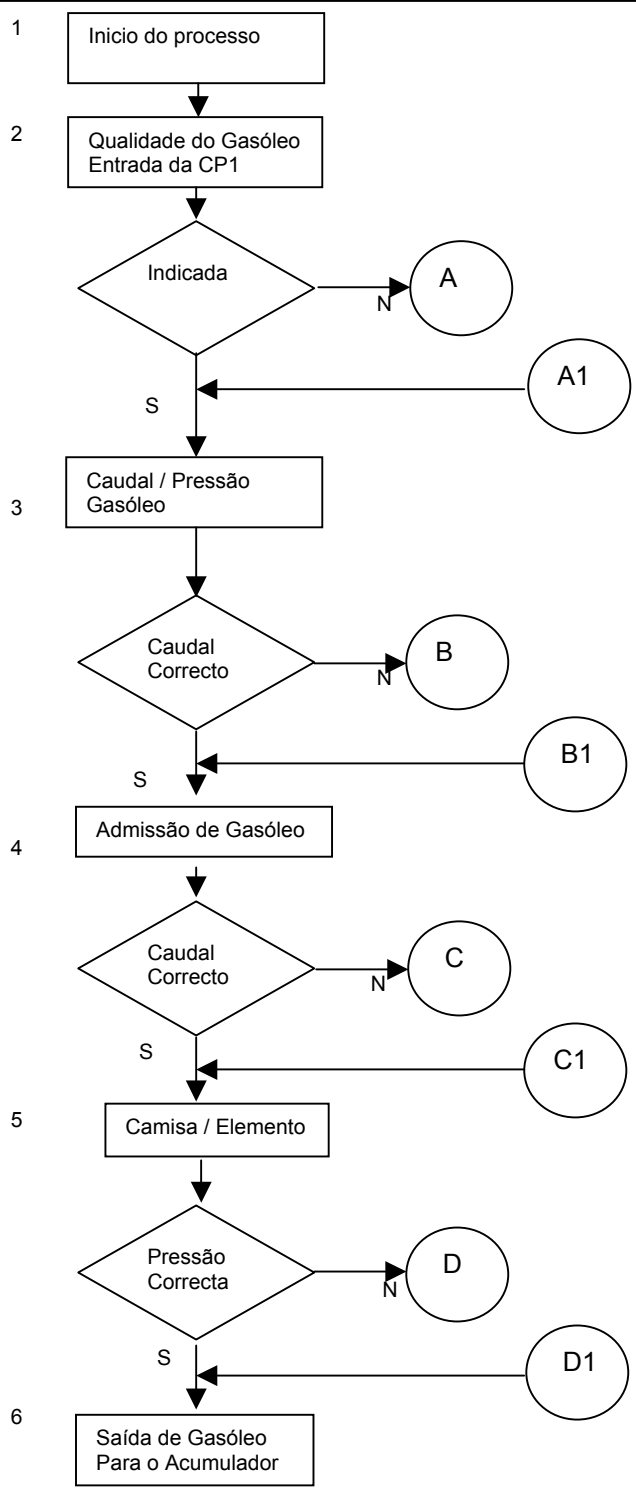


Fig. 4.8 – Fluxograma geral do circuito de gasóleo

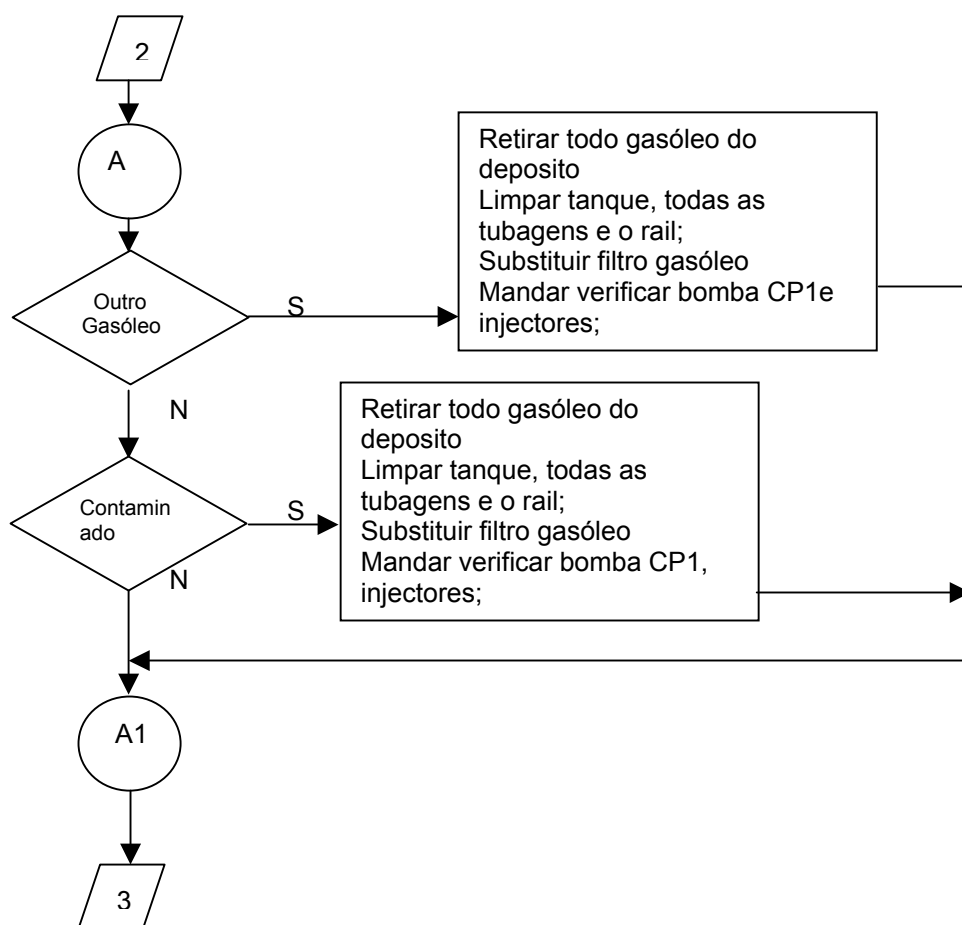


Fig. 4.9 – Fluxograma parcial para verificar falha provocada pela qualidade do combustível

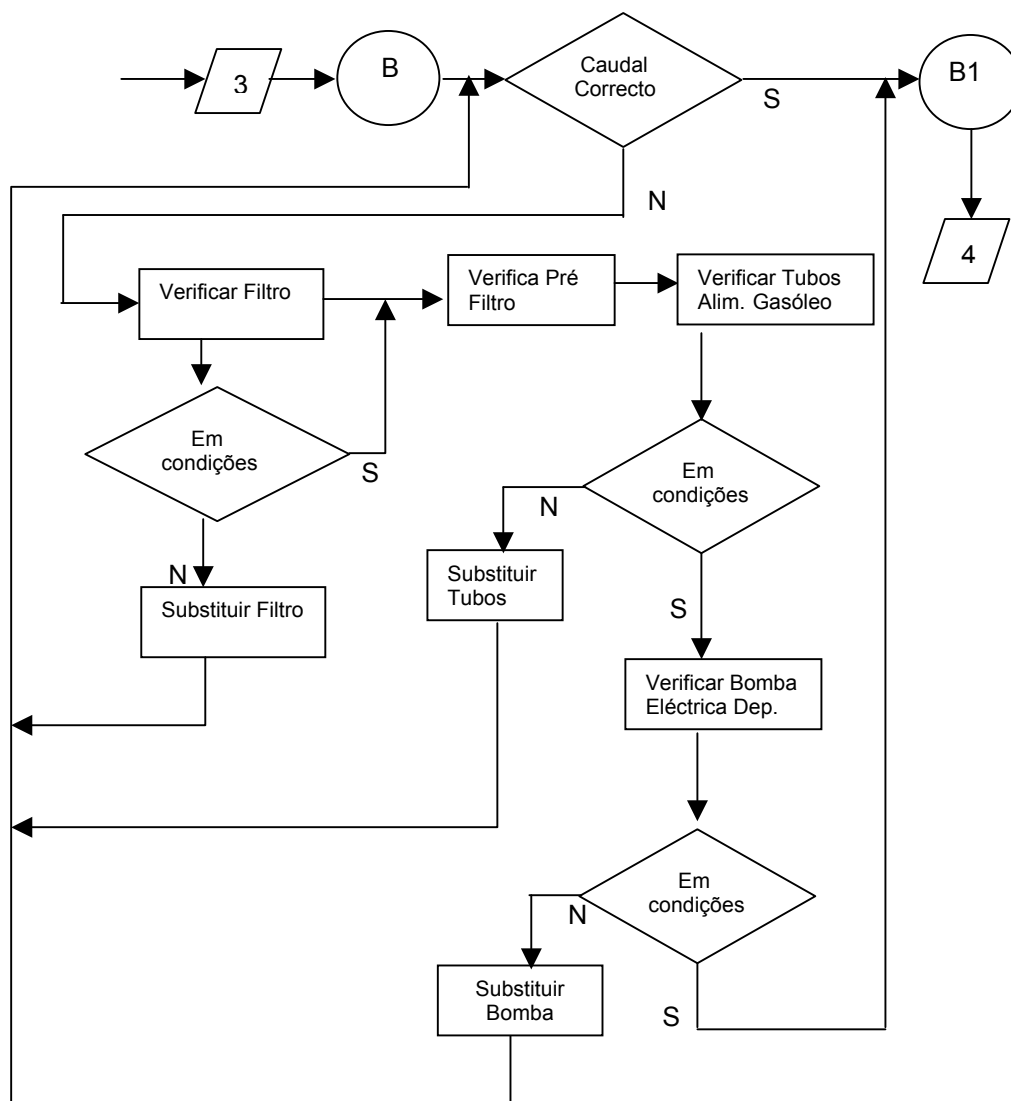


Fig. 4.10 – Fluxograma para verificar falha provocada pelo deficiente caudal e pressão na alimentação do gasóleo à CP1

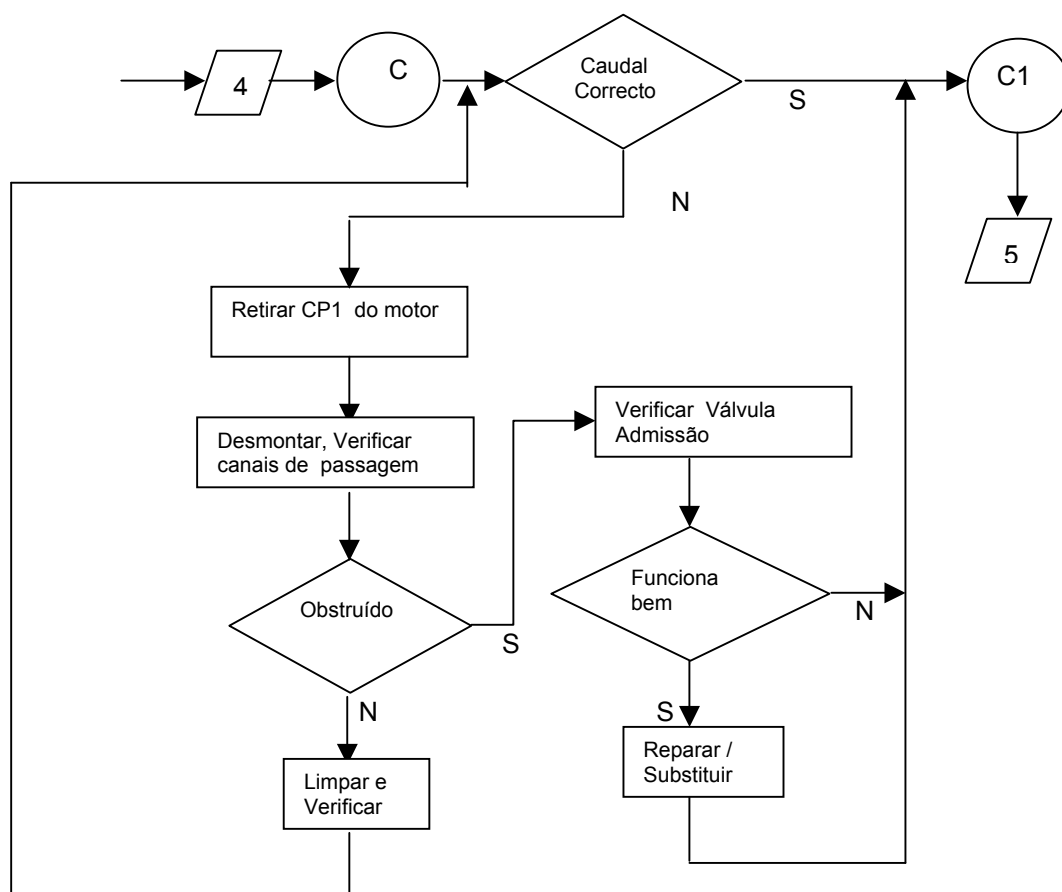


Fig. 4.11 – Fluxograma para verificar alimentação do gasóleo aos elementos

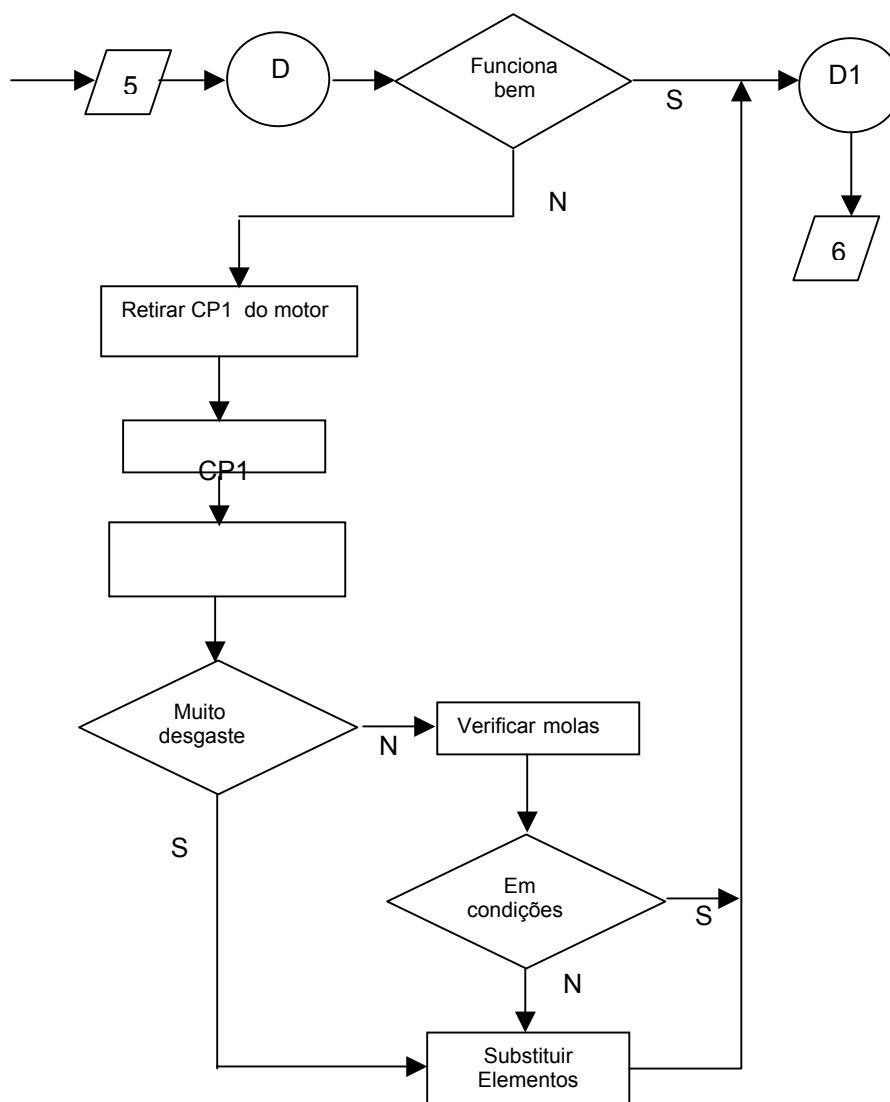


Fig. 4.12 – Fluxograma para verificar a saída a alta pressão do gasóleo, da CP1

#### 4.7 Teste numa viatura que tem aplicada a CP1, consumindo um depósito de gasóleo

Considerando a extrema importância da temperatura do gasóleo no funcionamento da bomba CP1, este teste teve como objectivo verificar a temperatura atingida pelo gasóleo, durante o consumo de um depósito, quando a viatura é submetida a elevados regimes de motor, durante longos intervalos de tempo.

Viatura	Asiática	
	Kms	17.680
	Data da Matricula	03/07

Data do teste (04/07/ 15)	Temperatura ambiente	≈35°	
	(04/07/ 16)	Temperatura ambiente	≈20°

Trajecto utilizado no consumo do depósito de gasóleo - auto-estrada.

Restante teste em IC's e EN, circulando a uma velocidade média de 90 Km/h.

Pontos de medição da temperatura, do sistema CR:

- Suporte do filtro de gasóleo;
- Acumulador;
- Corpo da CP1.

Condição de medição da temperatura:

- No arranque do motor;
- Com o motor à temperatura de trabalho;
- 3 / 4 do depósito de gasóleo;
- 1 / 2 do depósito de gasóleo;
- 1 / 4 do depósito de gasóleo;
- Início da reserva;
- Acontecimento imprevisto, entrada da ECU em programa de emergência.

Os dados recolhidos ao longo do teste constam nos anexos XI, XII, XIII, XIV.



	Nível do depósito					Emergência
	4 / 4	3 / 4	1 / 2	1 / 4	Res.	
Temperatura do Filtro, °C	60	82 ↗	60 ↘	60	70 ↗	76
Temperatura na CP1, °C	60	82 ↗	82	89 ↗	89	98
Temperatura no acumulador, °C	60	75 ↗	60 ↘	67 ↗	69 ↗	76
Espaço percorrido, Km	0	153	100	100	105	
Intervalo de tempo, h	0	1,5	1,0	1,0	1,0	

Tabela 4.6 – Quadro resumo dos valores obtidos no teste

	Nível do depósito	
	1 / 2	1 / 4
Temperatura do Filtro, °C	56	63 ↗
Temperatura na CP1, °C	64	83 ↗
Temperatura no acumulador, °C	62	60 ↘
Espaço percorrido, Km	0	180
Intervalo de tempo, h	0	2

Tabela 4.7– Registo a partir de meio depósito de gasóleo (após uma paragem de 2h)

	Nível do depósito	
	1 / 2	1 / 2
Temperatura do Filtro, °C	14	33 ↗
Temperatura na CP1, °C	16	44 ↗
Temperatura no acumulador, °C	16	42 ↗
Espaço percorrido, Km	0	0
Intervalo de tempo, min	0	30

Tabela 4.8 – Valores obtidos desde o arranque com o motor frio, até atingir a temperatura de trabalho, com ½ depósito de gasóleo.

Resultados do teste (não incluindo o estado de emergência)

Intervalo de temperatura do filtro, °C - 60 a 82 (média de 71).

Intervalo de temperatura da CP1, °C - 60 a 89 (média de 74,5).

Intervalo de temperatura do acumulador, °C - 60 a 75 (média de 67,5).

Subida de temperatura ( $\Delta T$ ), °C no filtro, aproximadamente 32.

Subida de temperatura ( $\Delta T$ ), °C na CP1, aproximadamente 40.

Subida de temperatura ( $\Delta T$ ), °C no acumulador, aproximadamente 25,5.

Resumo dos resultados da Tabela 4.6

Quando se iniciou o teste, o motor já estava na temperatura de trabalho.

Registos a 3 / 4 de gasóleo no depósito.

Subida de 22°C no filtro e CP1 e de 15°C no acumulador (em relação à anterior medida).

O motor trabalhou sempre em regimes elevados e variáveis, tanto em 4ª como em 5ª velocidade.

Registos a 1 / 2 de gasóleo no depósito:

- Descida de 22°C no filtro e de 15°C no acumulador mantendo a temperatura na CP1 (em relação a anterior medida);

- O motor trabalhou sempre em regimes elevados e variáveis (3.000 a 4.250 rpm).

Registos a 1 / 4 de gasóleo no depósito:

- Subida de 7°C na CP1 e acumulador, o filtro mantém a temperatura (em relação a anterior medida);

- O motor trabalhou sempre em regimes elevados e variáveis (3.000 a 4.250 rpm).

Resumo dos resultados no estado de emergência (aconteceu por duas vezes).

Subida de 16°C no filtro e de 9°C no acumulador e CP1(em relação a anterior medida).

A viatura rodava a velocidade elevada (4.200 rpm e 5ª velocidade).

O indicador de nível gasóleo, estava muito próximo de dar o sinal de entrada na reserva.

Na condição de emergência, o motor não passa das 3.000 rpm e não fica memorizado como erro na ECU. Esta condição de serviço, é difícil de ser explicada pelo utilizador da viatura ao técnico da oficina, uma vez que é temporária e há alguma dificuldade em repeti-la com o técnico.

Registos com gasóleo no início da reserva (indicativo luminoso).

Descida de 9°C na CP1, 7°C no acumulador, e 6°C no filtro ( em relação a anterior medida ).

O motor trabalhou sempre em regimes elevados e variáveis (3.000 a 4.250 rpm).

Resumo dos resultados da Tabela 4.7

O motor esteve parado 2 horas, com depósito a 1 / 2 de gasóleo.

Registos a 1 / 4 de gasóleo no depósito.

Subida de 7°C no filtro e 19°C na CP1 e de 2°C no acumulador (em relação a anterior medida).

O motor trabalhou sempre em regimes médios (3.000 rpm) em 5ª velocidade.

Resumo dos resultados da Tabela 4.8

Registos a 1 / 2 de gasóleo no depósito e temperatura ambiente 20° e viatura parada.

Subida de 19°C no filtro, 28°C na CP1 e de 26°C no acumulador (em relação a anterior medida).

O motor trabalhou sempre no regime de ralenti.

Conclusão teste

Embora o motor fosse submetido e elevados regimes durante o consumo do depósito de gasóleo, a repetição do estado de emergência, só se verificou quando o nível de gasóleo no depósito, estava entre 1 / 4 e a entrada na reserva.

Excluindo o estado de emergência em que a temperatura atingida foi de 98° C, verifica-se que a temperatura atingida pelo corpo da CP1, tem praticamente o mesmo valor de aproximadamente 74,5° C, quer o motor trabalhe a altos ou moderados regimes o que parece evidenciar que a temperatura atinge valores críticos, apenas quando o nível de gasóleo é inferior a 1 / 4 de depósito.

#### **4. 8 Manutenção da CP1 segundo a utilização da motorização diesel**

Neste ponto, é feita a análise crítica sobre a manutenção actual de viaturas com motorização diesel, que têm aplicada a bomba CP1, com o objectivo de propor uma manutenção específica para este órgão.

Evidenciam-se através de cálculos de casos exemplo, que os baixos custos estimados para a manutenção proposta, são plenamente justificados face aos elevados custos associados a uma falha grave na CP1.

Actualmente, no âmbito da manutenção preventiva de viaturas diesel, indicam-se intervalos de manutenção de 15.000, 20.000 ou 30.000 Kms.

É frequente a substituição do filtro de gasóleo e do filtro de óleo por cada duas mudas de óleo.

Não é recomendada qualquer manutenção da CP1, embora o fabricante disponibilize todas as peças.

Não existem dados disponíveis, dos construtores e fabricantes sobre as potenciais avarias passíveis de ocorrer nesta bomba. Por outro lado, as avarias reparadas nas empresas prestadoras de serviço da especialidade, não são alvo de um registo sistemático de dados, cujo tratamento estatístico permitisse concluir, sobre quais as avarias mais frequentes, e as condições de utilização da viatura que lhes estão associadas.

Esta informação, seria extremamente importante para conceber um plano de manutenção preventivo adequado.

#### 4.8.1 Custos de reparação da bomba injectora danificada por desgaste

Neste ponto, determinam-se os custos de associados à reparação de eventuais avarias por desgaste, com a finalidade de efectuar a comparação com os custos de substituição da CP1.

Pressupostos:

- Considere-se uma viatura de 2.500 cm<sup>3</sup> (BMW, 530d), que pode ter aplicada uma bomba rotativa com EDC ou um sistema CR com CP1, percorrendo 60.000 Kms / ano e uma vida útil de 6 anos;
- Verificação da bomba VE cada 180.000 Kms;
- Verificação da bomba CP1 cada 120.000 Kms.

## 4.8.1.1 Sistema convencional com EDC

A bomba rotativa com EDC, Bosch, referência VE/10E2400R300 –1, é constituída por uma parte mecânica e uma parte electrónica. Neste estudo, só vai ser considerado a parte mecânica e o material que é substituído com maior frequência.

Qt	Refª Bosch	Designação	PVP €
1	2467010003	Kit de reparação	5,38
1	1460283310	Anilha de retenção da árvore	3,91
1	1467030309	Bomba alimentadora	90,00
4	2463100002	Pino de mancal	15,86
4	2460300005	Rolete	12,36
4	2460120123	Anilha de fixação	,080
1	2466111009	Anel de ressaltos	54,00
1	1463461306	Bujão roscado	13,00
1	2467413025	Válvula ladrão	58,71
<b>Soma</b>			254,02
<b>Mão de obra</b>			150,00
<b>TOTAL1 €</b>			<b>404,02</b>

No teste de provas em banco de ensaio, considerou-se que a bomba satisfizes todos os valores indicados pelo fabricante.

Admitindo que seria necessário aplicar o corpo distribuidor, teríamos:

1	2468336012	Corpo distribuidor	377,00
<b>Soma</b>			254,02
<b>Mão de obra</b>			150,00
<b>TOTAL2 €</b>			<b>781,02</b>
1	0986440517	Bomba recondicionada	€ 921,85

Bomba VE recondicionada	921,85
Bomba VE reparada	<u>404,02</u>
<b>Diferença (1)</b>	€ 517,83

A reparação representa 56,1 % do valor de uma bomba recondicionada

Bomba VE recondicionada	921,85
Bomba VE reparada (c/ corpo distribuidor)	<u>781,02</u>
<b>Diferença (2)</b>	€ 140,83

A reparação representa 84,7 % do valor de uma bomba recondicionada

Mão de obra para desmontagem e montagem da bomba no motor	150 €
<b>TOTAL1 €</b>	554,02
<b>TOTAL2 €</b>	931,02

Para duas reparações em 360.000 Kms

<b>TOTAL1 €</b>	2 x 554,02 = 1.108,04
<b>TOTAL2 €</b>	2 x 931,02 = 1.862,04

Custo por Km, €

TOTAL1	<b>2,07.10<sup>-3</sup></b>
TOTAL2	<b>5,17.10<sup>-3</sup></b>

## 4.8.1.2 Sistema CR

## Bomba CP1, CR/CP1/S3/R70/10-1S

Qt	Refª Bosch	Designação	PVP €
1	F00R0P1733	Kit de reparação	33,00
1	F00R0P0253	Anilha de retenção da árvore	7,72
1	F00R0P1255	O´ring	2,00
6	F00R0P1186	O´ring	1,00
6	F00R0P0044	Anilha de apoio mola de pressão	0,50
1	F00R0P0183	Mola de pressão	1,50
1	F00R0P1143	Embolo	2,00
1	F00R0P1106	O´ring	2,00
1	F00R0P1245	Anel de vedação	1,00
1	F00R0P1246	Anel de vedação	1,50
1	F00R0P1729	Kit de casquilhos	32,00
1	F00R0P1118	Veio	58,00
<b>Soma</b>			142,22
<b>Mão de obra</b>			100,00
<b>Total1 €</b>			<b>242,22</b>

Considerando a reparação com a aplicação de elementos e dado

			Total1	242,22
3	F00R0P1684	Elementos		91,50
3	F00R0P1684	Dado		30,50
			<b>Total2 €</b>	<b>364,22</b>

Bomba CP1 recondicionada 470,00

Bomba CP1 reparada 242,22

**Diferença (1) € 227,78**

A reparação representa 51,5 % do valor de uma bomba recondicionada

Bomba CP1 recondicionada	470,00
Bomba CP1 reparada com elementos e dado	<u>364,22</u>
<b>Diferença (2)</b>	€ 105,78

A reparação representa 77,5 % do valor de uma bomba recondicionada

Mão de obra para desmontagem e montagem da bomba no motor	50 €
<b>TOTAL 1 €</b>	292,22
<b>TOTAL 2 €</b>	414,22

Para três reparações em 360.000 Kms

<b>TOTAL1 €</b>	3 x 292,22 =	876,66
<b>TOTAL2 €</b>	3 x 414,22 =	1.242,66

Custo por Km, €

TOTAL 1	<b><math>2,4 \cdot 10^{-3}</math></b>
TOTAL 2	<b><math>3,4 \cdot 10^{-3}</math></b>

#### 4.8.2 Custos de reparação da bomba injectora, danificada por gripagem

Uma avaria devida a gripagem, tem diferentes consequências para os componentes que constituem o sistema convencional ou CR. Nos pontos seguintes, vão ser abordados os custos de reparação com a reposição da bomba em condições que garantam o bom funcionamento do motor.

##### 4.8.2.1 Sistema convencional com EDC

Quando ocorre uma gripagem na bomba de injectora, o efeito não é tão grave, uma vez que a bomba alimenta individualmente cada injector, que é essencialmente mecânico (excepto o de comando), e com possibilidade de ser reparado individualmente. A gripagem pode acontecer no conjunto came / roletes, ou no corpo distribuidor.

Para análise de custos ver ponto 4.8.1.1.

##### 4.8.2.2 Sistema CR

No sistema CR, quando ocorre uma gripagem, todos os componentes têm que ser substituídos, sob pena de alguma limalha ficar no sistema e causar nova avaria.



Avaliação de custos, para a substituição integral do sistema de injeção, CR:  
(valores das peças e mão de obra, facultado por um concessionário)

1	Bomba de alta pressão CP1	737,94
1	Acumulador	370,01
6	Injectores	1.560,00
1	Filtro de gasóleo	145,69
1	Radiador de arrefecimento do gasóleo	70,66
1	Bomba de gasóleo (depósito)	120,73
1	Sensor de nível	48,94
1	Bomba auxiliar de gasóleo	229,05
	Mão de obra (2 dias)	623,10
	<b>TOTAL €</b>	<b>3.905,52</b>

#### 4.9 Proposta de manutenção preventiva da CP1

Tendo em consideração a análise técnica efectuada e os custos associados às reparações, propõem-se recomendações e acções de manutenção, adicionais ao actual plano de manutenção preventiva aplicado às viaturas.

Recomenda-se ao utilizador da viatura, com o objectivo de minimizar os riscos que representam para a CP1:

- Submeter o motor ao menor regime possível, que satisfaça as necessidades;
- Abastecer em postos com boa rotação de stocks, e, da mesma marca.
- Não deixar atingir o nível de reserva, do gasóleo;
- Substituir o filtro de gasóleo em cada muda de óleo;
- Recorrer sempre à mesma oficina;

Recomendação às empresas prestadoras de serviço na área diesel.

Criação de uma base de dados de avarias, em que sejam lançados todos os dados relevantes para cada caso. Na base de dados, deveriam ser considerados os campos,

marca e modelo de viatura, quilómetros percorridos, tipo de utilização, marca do gasóleo e análise do estado da CP1.

Manutenção preventiva.

Na ausência de dados que permitam estabelecer o programa de manutenção preventiva adequado, propõe-se que seja feita a primeira inspecção à bomba, na intervenção de manutenção de rotina, em que o construtor propõe a substituição da correia de distribuição (tipicamente os 120.000 Kms - ver estudo para esta quilometragem em 4.4).

#### **4.10 Conclusões específicas**

Pelos pontos abordados ao longo deste capítulo, verificou-se que a CP1 é muito sensível tanto a factores endógenos como exógenos.

Os endógenos têm a ver como todo o mecanismo foi projectado. A CP1 embora tenha um mecanismo simples, torna-se contudo muito sensível, devido ao seu próprio funcionamento.

Como a elevação de pressão do gasóleo, é feita à custa de uma redução de secções, essa pressão vai reflectir-se sobre as superfícies em contacto, que estão sujeitas a um atrito de escorregamento, o que por vezes pode originar avarias muito graves.

Os exógenos resultam, principalmente, do gasóleo e do tipo de condução da viatura. A qualidade do gasóleo no sistema de injeção CR, é determinante para a vida útil da CP1. A existência de água ou de outros materiais em suspensão, levam à sua rápida degradação, e ao conseqüente baixo rendimento do motor.

Uma condução que sujeite o motor a elevados regimes de forma permanente, e, durante largos intervalos de tempo longos, contribui para que a vida útil sem falhas da CP1, seja substancialmente reduzida.

Não se poder alterar o funcionamento da CP1, contudo alguns factores exógenos podem ser controlados.

A escolha de uma marca de gasóleo fixa; o abastecimento em bombas com bastante rotação de stock; manter o nível de gasóleo superior a ¼ depósito; evitar os arranques

frequentes, ainda com a temperatura do gasóleo baixa; uma condução moderada, isto é, limitar o motor ao menor regime possível, que satisfaça as necessidades do condutor, e, não percorrer longas distâncias sem parar, são condições essenciais de uma utilização ideal da CP1 (ver 4.7).

Em relação aos custos de manutenção da CP1, pode dizer-se que os mesmos não representam um acréscimo substancial o preço por Km (ver 4.8.1.2).

Se considerarmos uma vida útil do motor 360.000 Kms, e, o intervalo de manutenção de 15.000 Kms, são executadas 24 operações de manutenção.

Na CP1, se forem considerados os custos de manutenção mais elevados, estes diluídos pelas operações de manutenção, representam um acréscimo de € 51,77 (Total € – 1.242,66).

Este acréscimo de custo, representa muito pouco para a situação em que possa ocorrer a gripagem (ver 4.8.2.2) devido á falta de manutenção (Total € 3.905,52).

## 5 CONCLUSÕES

Neste ponto, vão ser tecidas algumas considerações de uma forma resumida sobre o tema da trabalho, as conclusões sobre os problemas que foram surgindo com a utilização da CP1 e que podem ter levado o fabricante Bosch a ter constantes inovações, e ainda, sugestões para trabalhos que podem ser desenvolvidos neste âmbito.

### 5.1 Síntese do trabalho realizado

O trabalho foi desenvolvido ao longo de quatro capítulos e teve como objectivo final, descrever de uma forma detalhada todos os pormenores relacionados com a bomba de alta pressão do sistema de injeção CR, denominada por CP1.

Este sistema de injeção, foi a solução encontrada para dar cumprimento às imposições por parte da EU, de protecção do meio ambiente e também a um objectivo que desde sempre os construtores de motores perseguiram, a redução do consumo de gasóleo.

O sistema de injeção “Common Rail”, foi adoptado por todos os fabricantes do sistema convencional, a que também se juntou um novo (Siemens). Todas as soluções encontradas, têm alguns pontos comuns.

Com o intuito de dar a conhecer todos os sistemas, estes foram abordados de forma sucinta, com especial relevo para o modelo Bosch, que é tratado de forma exaustiva.

A urgente necessidade de disponibilizar um sistema que se ajustasse às necessidades dos construtores, levou a que a primeira versão da CP1, tivesse alguns pontos passíveis de sofrer alterações.

A descrição completa da CP1, os seus pontos mais críticos, a recomendação de utilização desta bomba e a sua manutenção, foi o objectivo deste trabalho.

### 5.2 Conclusões gerais

O facto dos órgãos periféricos do motor não serem incluídos no programa de manutenção do construtor da viatura, leva a que estes sejam vistos pelo detentor da

viatura ou pelo gestor de frota, como algo que não carece de manutenção. Também o fabricante da bomba de alta pressão CP1, ao não preconizar um programa de manutenção que se enquadre no da viatura, leva a que a bomba seja ignorada.

O sistema “Common Rail” ao surgir como uma nova designação no mundo automóvel, leva a que a maior parte dos técnicos do ramo automóvel, não faça distinção dos vários sistemas aplicados.

Como foi abordado no ponto 3.10, há vários fabricantes com distintos sistemas e várias versões.

A bomba CP1, provavelmente devido às avarias graves que foram surgindo, sofreu algumas alterações de melhoria. Na versão que serviu de estudo a este trabalho, não havia o controlo sobre o débito de gasóleo enviado para o acumulador. Com esta condição, havia muito retorno de gasóleo a elevada temperatura para o depósito, o que aumentava muito a temperatura global do gasóleo reduzindo - lhe a viscosidade.

Na segunda versão da CP1, o controlo do débito é feito através da abertura da válvula de admissão do elemento, durante o escoamento a alta pressão. Esta válvula é comandada pela ECU, e assim, o caudal de retorno para o depósito é reduzido.

O sistema de alimentação de gasóleo a baixa pressão à CP1, em ambas as versões, é feito a partir da bomba eléctrica instalada no depósito o que diminui a fiabilidade do sistema.

Para reduzir a probabilidade de falha do sistema CR, surgiu a terceira versão da bomba de alta pressão do fabricante Bosch, denominada por CP3 (anexo VI). Esta bomba, tem incorporada no próprio veio, uma bomba de carretos para a alimentação de gasóleo a baixa pressão, uma válvula para controlo do débito e as molas de expansão dos elementos no interior de uma cápsula que vai estar em contacto com a face do dado.

O elemento e a base, são uma única peça.

As camisas dos elementos, são o próprio corpo da bomba.

Quanto a aplicações, a CP1 está instalada em motores desde 800 cm<sup>3</sup> até 3.000 cm<sup>3</sup>, e a CP3 em motores desde 1.400 cm<sup>3</sup> até 18.270 cm<sup>3</sup>.

Só devido à elevada fiabilidade que a bomba CP3 apresenta, é que esta é aplicada em motores de viaturas pesadas, das quais se espera que façam longas quilometragens, sem terem paragens e com o motor a plena carga.

Em resumo, pode-se dizer que a CP3 apresenta significativas melhorias nos pontos em que os modelos anteriores eram mais sensíveis à avaria.

A grande desvantagem da bomba CP3, reside no facto do conjunto camisa / elemento não poder ser substituído o que, no caso de haver desgaste, torna a reparação muito cara.

### **5.3 Sugestões para trabalhos futuros**

A abordagem aos sistemas de injeção diesel “Common Rail”, poderia ser aprofundado, nos seguintes aspectos:

- Estudar as bombas de alta pressão de outros fabricantes, ou os restantes modelos do fabricante Bosch;
- Analisar o comportamento do material nos pontos mais críticos de cada bomba em que existem folgas muito reduzidas, como no caso do conjunto elemento/camisa, em que seria interessante analisar o comportamento a temperaturas baixas ou altas;
- Determinar o numero de ciclos ideal da mola do elemento, que garanta o seu bom desempenho, sem que atinja o estado considerado de pasmado ou de fractura;
- Estudar o comportamento do gasóleo durante a fase de compressão na bomba de alta pressão e como elemento interposto entre as superfícies interactuantes, em particular, em condições de temperatura elevada no depósito e face à composição do material do depósito;
- Estudar quando ocorrem condensações no depósito e em que quantidade;
- Determinar o numero de ciclos ideal, da mola do injector, que garanta o seu correcto funcionamento.

---

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**Berthe, D.**

Les effets hydrodynamiques sur la fatigue des surfaces dans le contact hertzians.

Le Grade de Docteur Es-Sciennces Physiques, INSA – Lyon, **1974**

**Cabral, José Saraiva**

Organização e Gestão da Manutenção

LIDEL – Edições Técnicas Lda, Março **1998**, ISBN 972-757-037-2

**Carinhas, Henrique**

Curso de Mestrado em Manutenção Industrial

Folhas de disciplina de Tribologia e Vibrações

FEUP / ISEL **2002**

**Diesel Machines**

McGraw – Hill 1989

ISBN 0-07-100605-2

**Farinha, J. M. Torres**

Manutenção das Instalações e Equipamentos Hospitalares

Livraria Minerva Editora, Coimbra, **1997**, ISBN 972-8318-16-2

**Ferreira, Luís Andrade Ferreira**

Tribologia, Notas de Curso, Lubrificação e Lubrificantes

Publindustria, Edições Técnicas, Porto, **1998**, ISBN 972-95794-5-8

**Ferreira, Luís Andrade Ferreira**

Avarias nos Sistemas Lubrificados

DEMEGI/FEUP, **2002**

**Gielespie, D. E outros**

Diesel Engines, Particulate control

1998, ISBN 186058 1641

**Guia do Automóvel**

Nº 234, Outubro 2004

**Hersey, Mayo D.**

Viscosity of Diesel Engine Fuel Oil Under Pressure

Technical Notes, nº 315, National Advisory Committee for Aeronautics

Washington, **1929**

**Innovazione Competitivita**

Centro Recerche Fiat

Boletim Nº 14, **2001**

**Lopes, Dias**

Curso de Mestrado em Manutenção Industrial

Folhas da disciplina de Engenharia de Superfícies

FEUP / ISEL, Lisboa, **2002**

**Massagardi, Mário Ângelo**

Bosch celebra 75 anos de Injecção Diesel

[www.jornauto.com.br/122/bosch.htm](http://www.jornauto.com.br/122/bosch.htm)

**Mendonça, Helder**

“Outsourcing” da Manutenção – da Subcontratação à Parceria

in 7º Congresso Nacional de Manutenção – Viseu, Abril **2002**

**Mirshawka, Victor**

Manutenção Preditiva

Brasilia, **1991**, 0-07-460772-3



**Mobil Oil Portuguesa**

Colecção Técnica 3 / 3ª Edição

Lisboa, **1980**

**Pêgas, Daniel dos Santos**

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

[www.cdt.br/sites/daniel.pegas/listex\\_6.htm](http://www.cdt.br/sites/daniel.pegas/listex_6.htm)

**Pinto, Victor M.**

Gestão da Manutenção

Edição IAPMEI, Lisboa, Julho **1994**, ISBN 972-9205-57-4

**Robert Bosch**

Sistema de inyección de acumulador Common Rail, Diesel

Instrução Técnica, Stuttgart, **1998**

**Robert Bosch**

Automotive Handbook 5th Edition

Stuttgart, **2000**

ISBN 0-7680-0669-4

**Roque, António Afonso**

Curso de Mestrado em Manutenção Industrial

Folhas da disciplina de Vibrações e Tribologia

FEUP / ISEL, Lisboa, **2002**

**Silva, F. A. Pina da**

Tribologia volume I

Fundação Calouste Gulbenkian

Janeiro, **1985**

**Souris, Jean-Paul**

La Maintenance, Source de Profits / Manutenção Industrial, Custo ou Benefício?

Original: Les Editions d'Organisation, **1990**

LIDEL – Edições Técnicas Lda, 1992, ISBN 972-9018-25-1

**Stamatis, D. H.**

Failure Mode and Effect Analysis. FMEA from Theory to Execution

**1947**, ISBN 0-87389-300-X

**Super Fuel Saver**

[www.buyduralt.com/cetane.html](http://www.buyduralt.com/cetane.html)

**UNIVERSIDADE DO PORTO**

**Faculdade de Engenharia**

# **ANEXOS**

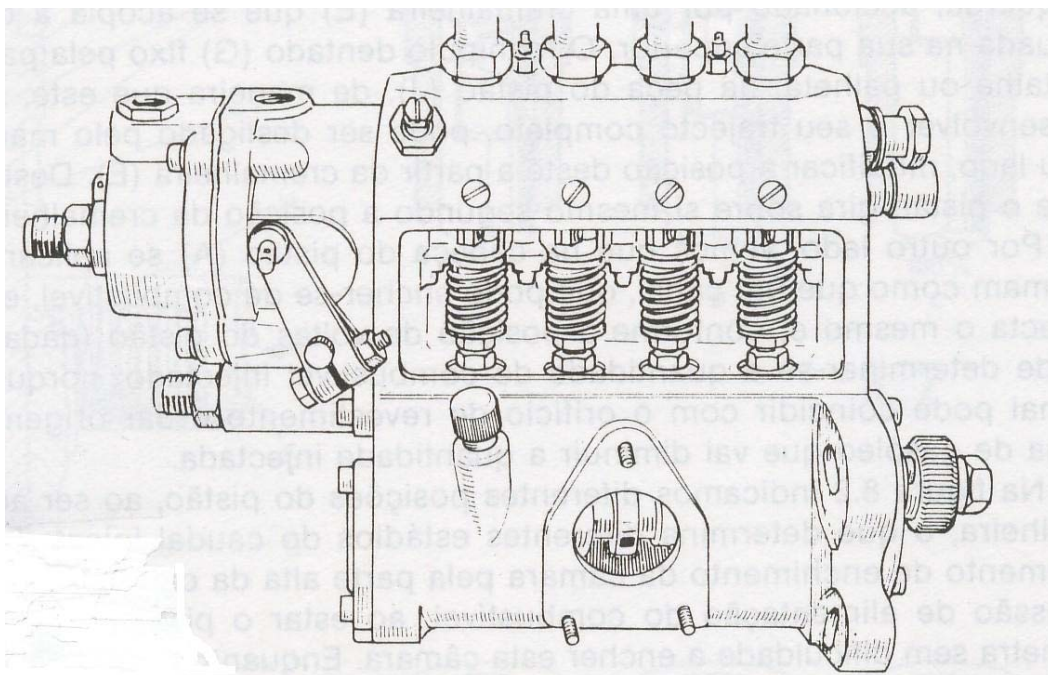
**Porto, 2004**



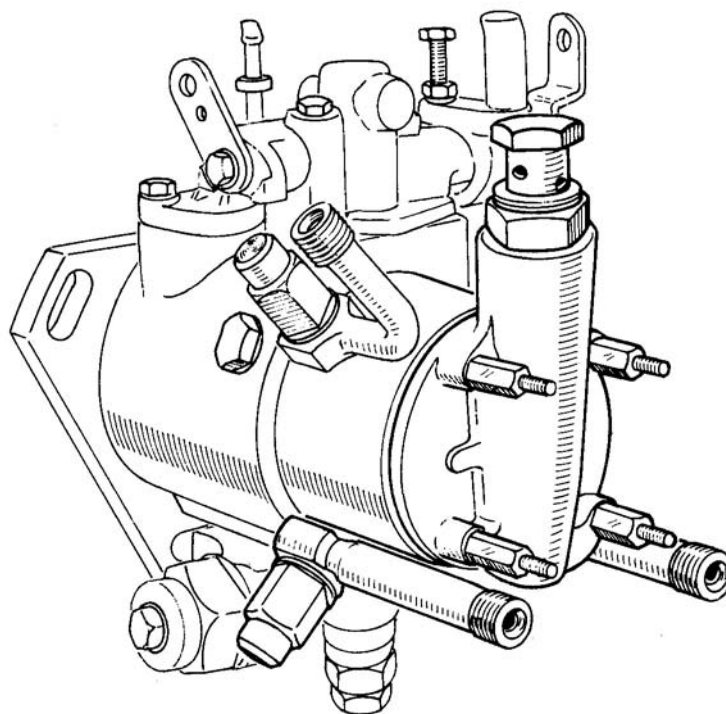
Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
**FEUP**



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA



Bomba em linha, tipo P



Bomba rotativa



quem somos

os nossos produtos

a nossa oferta

segurança

gasóleo



Gasóleo

Ficha Técnica

Normas Segurança

**Ficha Técnica - Gasóleo**

Produto: Gasóleo	Método de ensaio	Unidades	
Estado físico - Líquido			
Cor - Ambar Claro (*)			
Odor - Semelhante ao gasóleo			
Densidade a 15°C	ASTM D 1298	kg/m <sup>3</sup>	800 - 890
Ponto de ebulição/intervalo	ASTM D 86	°C	160 - 385
Viscosidade a 40°C	ASTM D 445	mm <sup>2</sup> /s	1 - 6
Ponto de inflamação (vaso fechado)	ASTM D 93	°C	>56
Limites de explosividade (superior e inferior)	%		0.6 - 6.5
Ponto de congelamento			-4 a 0°
Temperatura limite de filtragem			-4 a 0°
Agente anti-corrosão			protege os tanques e evita filtros
Anti-espuma			melhoria de performance
Índice de cetano			40
Solubilidade em água	g/l		<0.02
Coefficiente de partição	Log10Pow		>3

(\*): No caso do gasóleo colorido e marcado para aquecimento a cor é verde e utiliza-se marcador.

### Ficha técnica do gasóleo BP

Ensaio destinado a verificar temperatura do gasóleo

Data 04 /07/14

Hora Ini\_\_10h

Marca Asiática
Kms 17.680
Ano / M 03/07

Ident. da Bomba CP1
CR CP1K3/R6010S <b>0 445 010 005</b>
02.10.15B03874 4207032 S
33100 - 27500

### Instrumento de medição a utilizar

Termómetro com medição a Laser
Marca - FLUKE
Modelo - INFRA RED 65

### Fornecedor do gasóleo - GALP

Depósito a 4/4 - 45 litros

Tempo desde arranque até temperatura de trabalho, com motor ao ralenti -

#### Valores recolhidos no início do teste

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	Med Consum	Temp Amb
10h	60	60	60	00000			

#### Valores recolhidos com depósito a 3 / 4

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	Med Consum	Temp Amb
11h30	82	82	75	153	1h30		

#### Valores recolhidos com depósito a 1 / 2

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	Med Consum	Temp Amb
12h30	60	85	60	100	1h		

#### Valores recolhidos com depósito a 1 / 4

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	Med Consum	Temp Amb
13h30	60	89	67	100	1h		

#### Valores recolhidos com depósito na Reserva

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	Med Consum	Temp Amb
14h30	70	89	69	105	1h		

Tipo de percurso efectuado Auto Estrada

Tempo total gasto no teste 4h30m

T ambiente 35°

Kms percorridos --- 458

Média consumo \_\_\_\_\_

Resultados globais, obtidos com o consumo de um depósito de gasóleo

Ensaio destinado a verificar temperatura do gasóleo

Data 04 /07/14

Hora Ini\_\_

Marca Asiática Kms 17.680 Ano / M 03/07
---

Ident. da Bomba CP1 CR CP1K3/R6010S <b>0 445 010 05</b> 02.10.15B03874 4207032 S 33100 - 27500
---

#### Instrumento de medição a utilizar

Termómetro com medição a Laser Marca - FLUKE Modelo - INFRA RED 65
--

Fornecedor do gasóleo \_\_GALP

Depósito a 1/4 litros

Tempo desde arranque até temperatura de trabalho, com motor ao ralenti –

#### Valores recolhidos no estado de Emergência

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	T Corpo Inje.	T sensor. Rail
13h10	76	98	76	0000		105	

Circulava-se em auto estrada a 4.200 rpm 5ª velocidade e com temperatura ambiente elevada (35°), passado algum tempo voltou ao estado normal

Dados verificados quando a ECU entrou em programa de emergência.

Ensaio destinado a verificar temperatura do gasóleo

Data 04 /07/14

Hora Ini\_\_16h30

Marca Asiática
Kms 17.680
Ano / M 03/07

Ident. da Bomba CP1
CR CP1K3/R6010S <b>0 445 010 005</b>
02.10.15B03874 4207032 S
33100 - 27500

### Instrumento de medição a utilizar

Termómetro com medição a Laser
Marca - FLUKE
Modelo - INFRA RED 65

**Fornecedor do gasóleo** \_\_GALP

Depósito a 1/2 25 litros

Tempo desde arranque até temperatura de trabalho, com motor ao ralenti -

### Valores recolhidos no inicio do teste

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	Med Consum	Temp Amb

### Valores recolhidos com depósito a 3 / 4

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	Med Consum	Temp Amb

### Valores recolhidos com depósito a 1 / 2

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	Med Consum	Temp Amb
16h30	56	64	62	0000			

### Valores recolhidos com depósito a 1 / 4

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	T Corpo Inje.	Tsensor. Rail
18h40	63	83	60	180	2h10	85	75

### Valores recolhidos com depósito na Reserva

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	T Corpo Inje.	Tsensor. Rail

Tipo de percurso efectuado Auto Estrada, IP e EN

Tempo total gasto no teste 3h30m

T ambiente 35°

Kms percorridos --- 180

Média consumo \_\_\_\_\_

Dados recolhidos a partir de meio depósito de gasóleo



Ensaio destinado a verificar temperatura do gasóleo

Data 04 /07/15

Hora Ini\_\_8h10

Marca Asiática
Kms 17.680
Ano / M 03/07

Ident. da Bomba CP1
CR CP1K3/R6010S <b>0 445 010 005</b>
02.10.15B03874 4207032 S
33100 - 27500

### Instrumento de medição a utilizar

Termómetro com medição a Laser
Marca - FLUKE
Modelo - INFRA RED 65

**Fornecedor do gasóleo** \_\_GALP

Depósito a 1/2 22 litros

Tempo desde arranque até temperatura de trabalho, com motor ao ralenti - 30 min.

### Valores recolhidos no início do teste( frio)

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	T Corpo Inje.	Tsensor. Rail
8h10	14	16	16	0000			

### Valores recolhidos com motor temp de trabalho

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	T Corpo Inje.	Tsensor. Rail
8h40	33	44	42			38	44

### Valores recolhidos com depósito a 1 / 2

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	Med Consum	Temp Amb

### Valores recolhidos com depósito a 1 / 4

H Med	Temp Filtro	Temp Bomba	Temp Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	T Corpo Inje.	Tsensor. Rail

### Valores recolhidos com depósito na Reserva

H Med	T Filtro	T Bomba	T Rail	Kms Perc.	Tempo Gasto	T Corpo Inje.	Tsensor. Rail

Tipo de percurso efectuado

Tempo total gasto no teste

Kms percorridos ---

T ambiente 20°

Média consumo \_\_\_\_\_

Dados recolhidos após o motor ter atingido a temperatura de trabalho



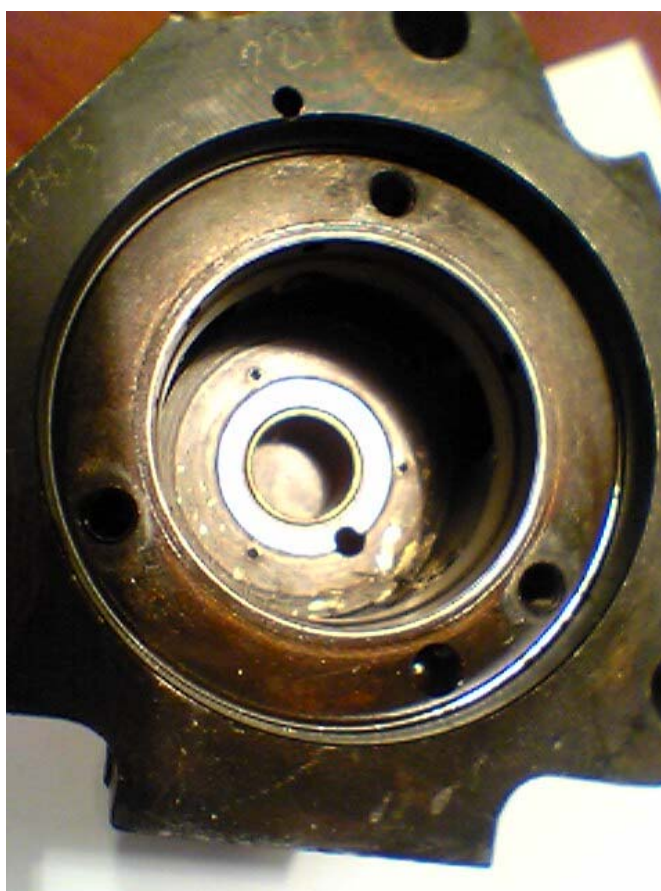
Tampa da CP1 gripada



Veio da CP1 gripado



Casquilho do dado gripado



Corpo da CP1 gripada



Veio da CP1 gripado



Conjunto elemento / camisa da CP1



Tampa da CP1 gripada



Dado da CP1 gripado





Base gripada



Zonas do elemento com desgaste



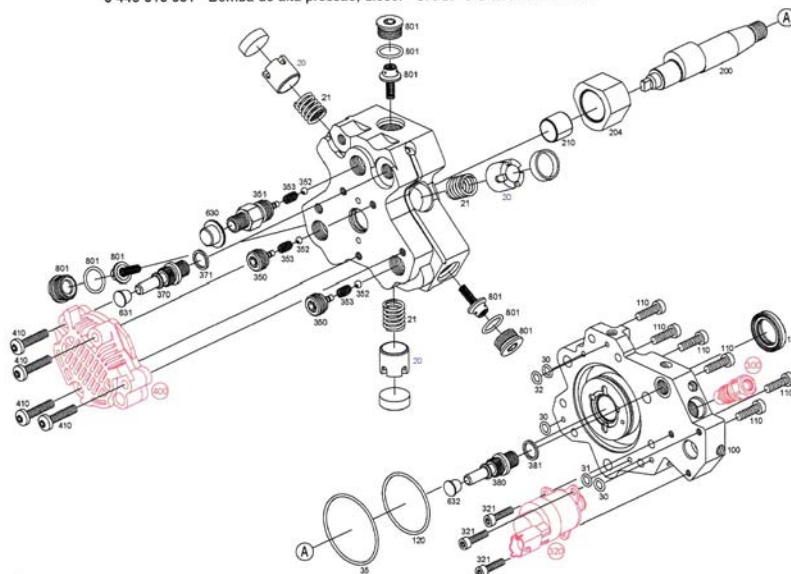
Zona central da base, queimada



Zona onde actua o pé do elemento (centro)

**Peças de reposição**

Produto 0 445 010 031 - Bomba de alta pressão, diesel - CR/CP 3 S 3/R 70/20-789 S



**Peças de reposição**

0 445 010 031 - Bomba de alta pressão, diesel - CR/CP 3 S 3/R 70/20-789 S

Posição	N.º de pedido	Infor	Quantida	Denominação
20	F 00R 0P0 810	B	3	(PILAO) TUCHO
21	F 00R 0P1 279	A	3	MOLA DE PRESSAO
30	F 00R 0P0 340	A	3	ANEL-O
31	F 00R 0P0 340	A	1	ANEL-O
32	F 00R 0P0 340	A	1	ANEL-O
35	F 00R 0P0 341	A	1	ANEL-O
100	F 00R 0P1 589	B	1	FLANGE
110	F 00R 0P0 351	B	6	PARAFUSO CABECA CILINDR.
120	F 00R 0P0 819	A	1	ANEL-O
130	F 00R 0P0 253	B	1	ANILHA RETENCAO ARVORE
200	F 00N 200 104	B	1	EIXO EXCENTRICO
204	F 00N 200 223	B	1	ROLDANA DADO
210	F 00N 200 545	B	1	BUCHA DE MANCAL
300	F 00R 0P0 776	B	1	VALVULA LADRAO
320		Z	1	UNIDADE MEDIDORA/DOSADORA
321	2 912 712 162	B	3	PARAFUSO CABECA CILINDR.
350	F 00N 200 542	A	2	PINO DA VÁLVULA
351	F 00N 200 495	A	1	TUBULADURA DE LIGACAO
352	1 903 230 009	A	3	ESFERA, DIN 5401 - 5 G28
353	F 00R 0P0 777	A	3	MOLA DE PRESSAO
370	F 00R 0P0 850	B	1	TUBULADURA DE LIGACAO
371	2 916 710 607	A	1	JUNTA ANULAR PLANA, DIN 7603 - A12x15,5-Cu
380	F 00R 0P0 850	B	1	TUBULADURA DE LIGACAO
381	2 916 710 607	A	1	JUNTA ANULAR PLANA, DIN 7603 - A12x15,5-Cu
400	0 440 020 038	B	1	BOMBA DE ENGRENAGENS
410	F 00R 0P0 556	B	4	PARAFUSO LONTICULAR TORX
630	1 900 508 009	B	1	CAPA PROTETORA
631	1 460 591 308	B	1	CAPA PROTETORA

**Peças de reposição**

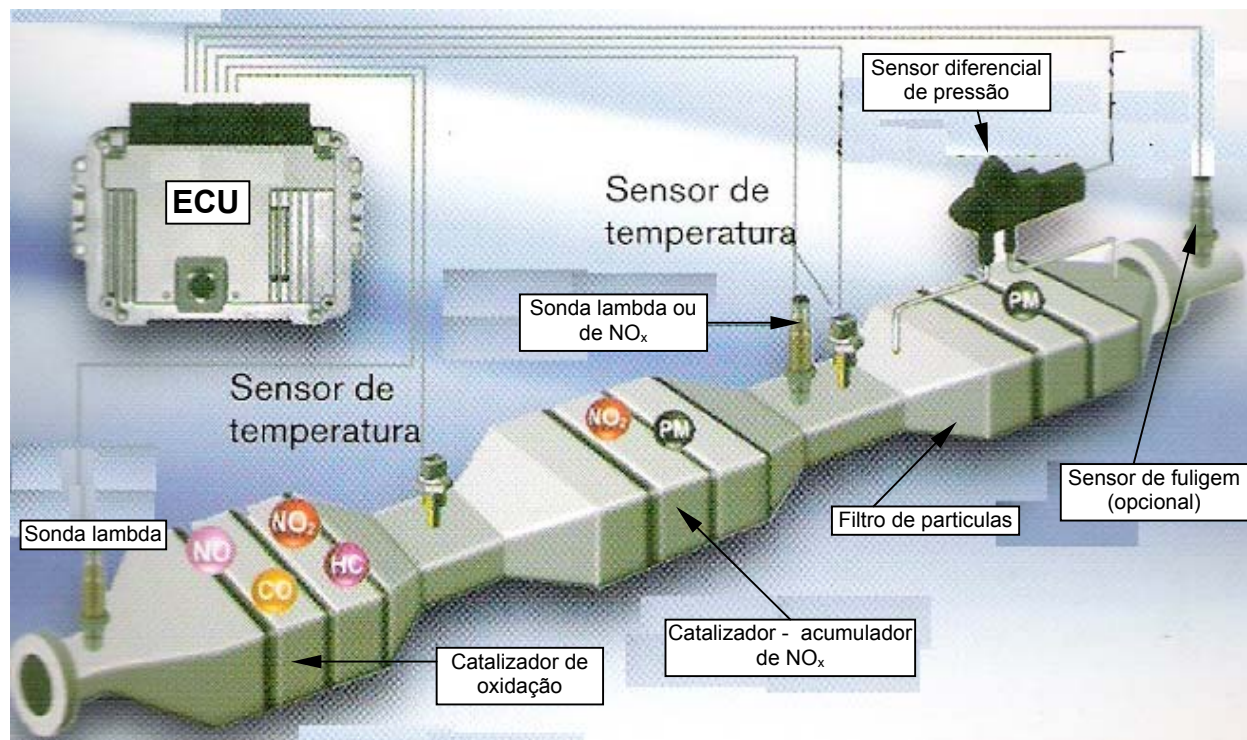
0 445 010 031 - Bomba de alta pressão, diesel - CR/CP 3 S 3/R 70/20-789 S

632	1 460 591 308	B	1	CAPA PROTETORA
801	F 00N 200 992	A	3	JOGO DE PECAS VÁLVULA DE ASPIRAÇÃO

**Explicações**

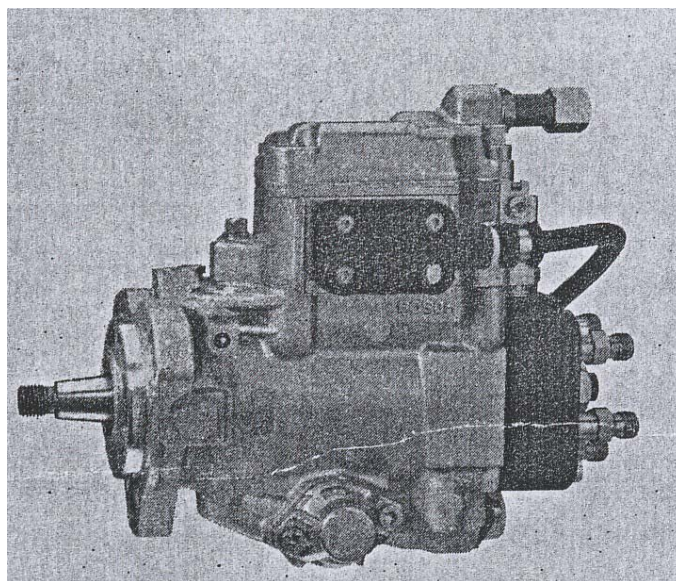
- A Peça de desgaste
- B Peça de reposição
- Z Não é peça de reposição

**Peças de reposição da bomba de alta pressão CP3**

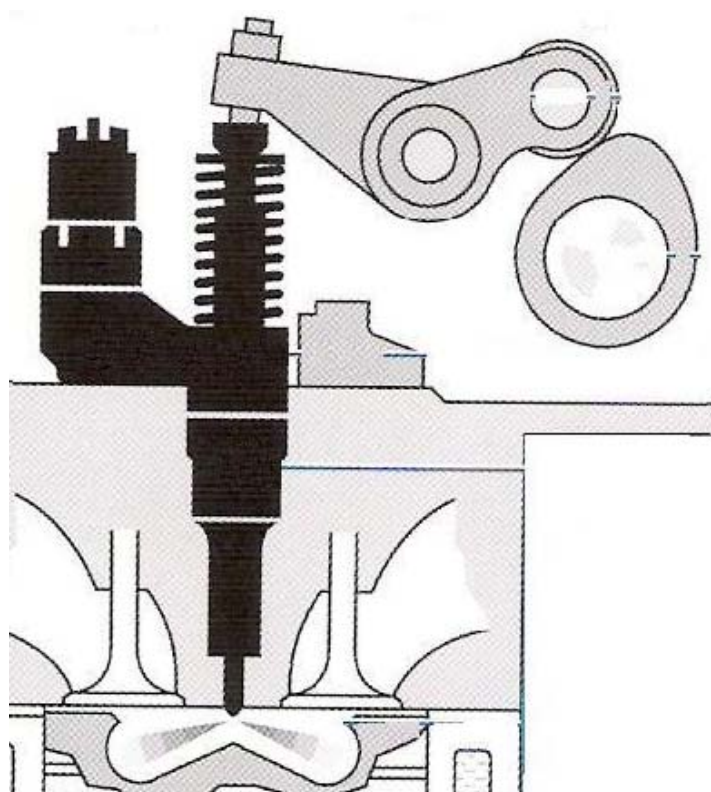


Tratamento dos gases de escape

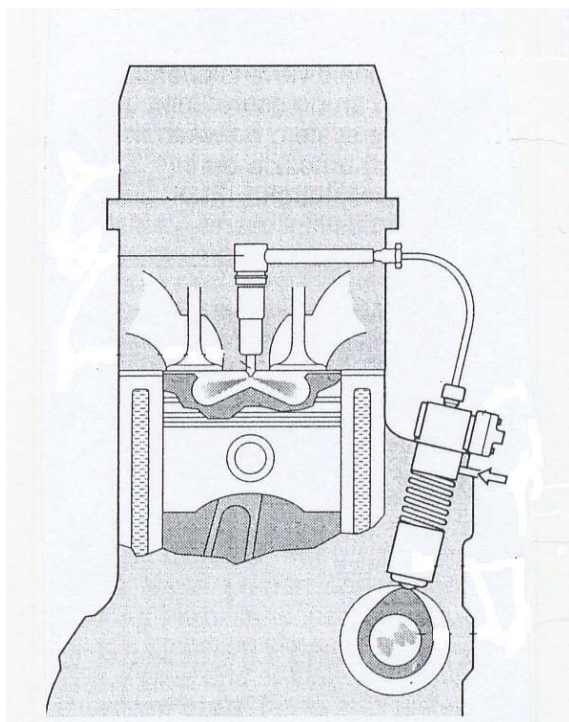




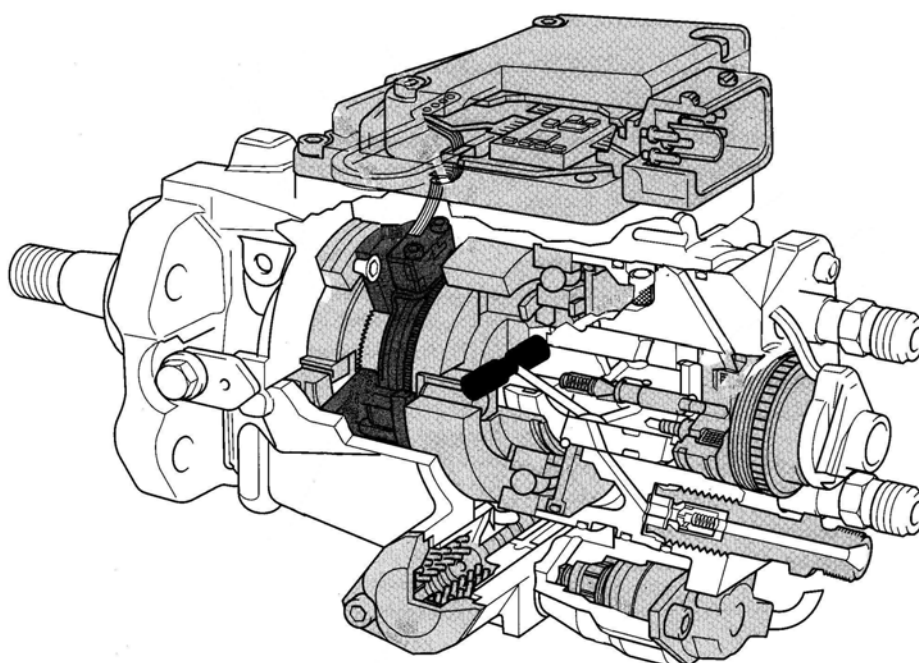
Bomba rotativa de êmbolo axial



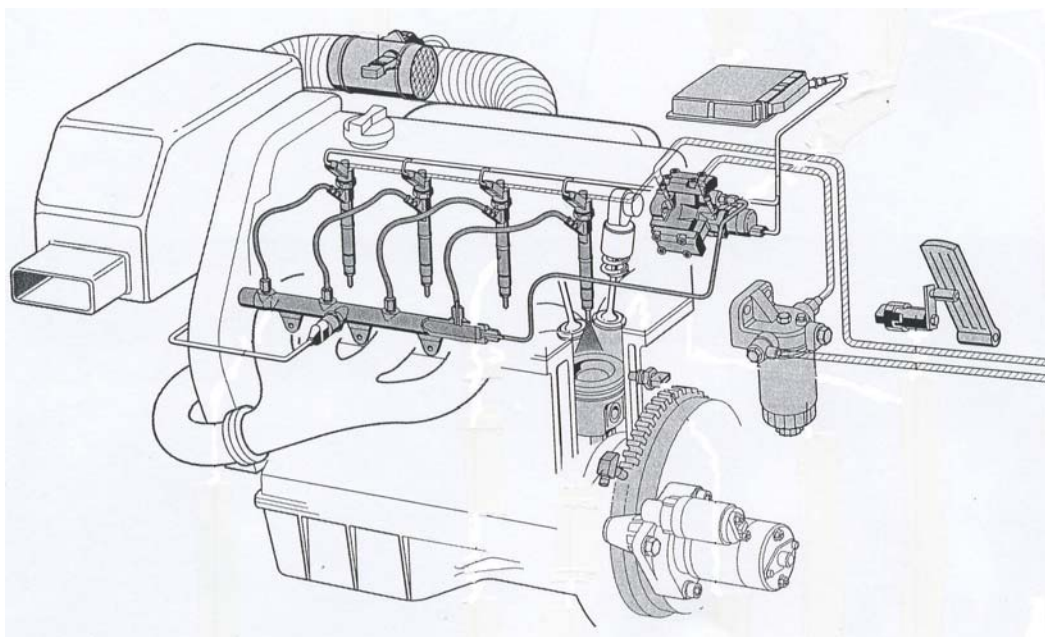
Sistema UIS, montado em motor industrial



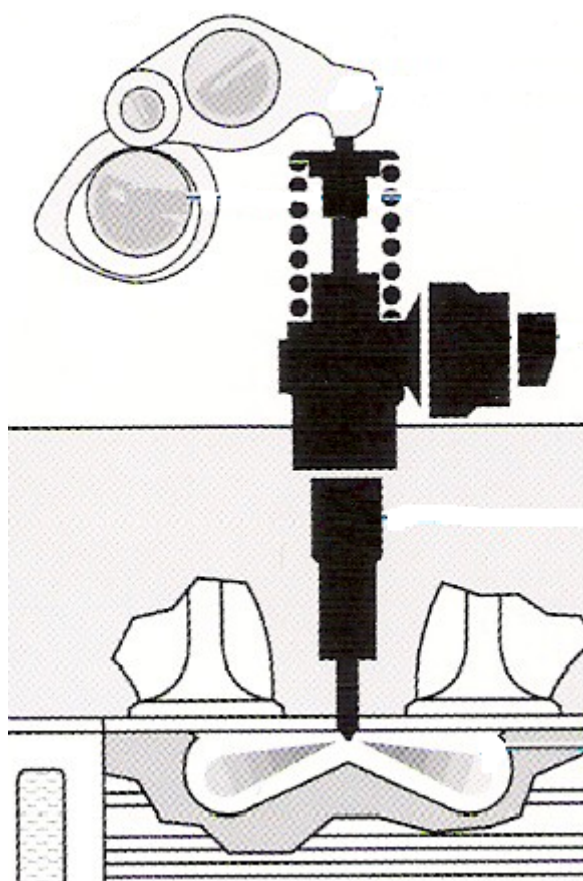
Sistema UPS, montado em motor industrial



Bomba rotativa de êmbolo radial

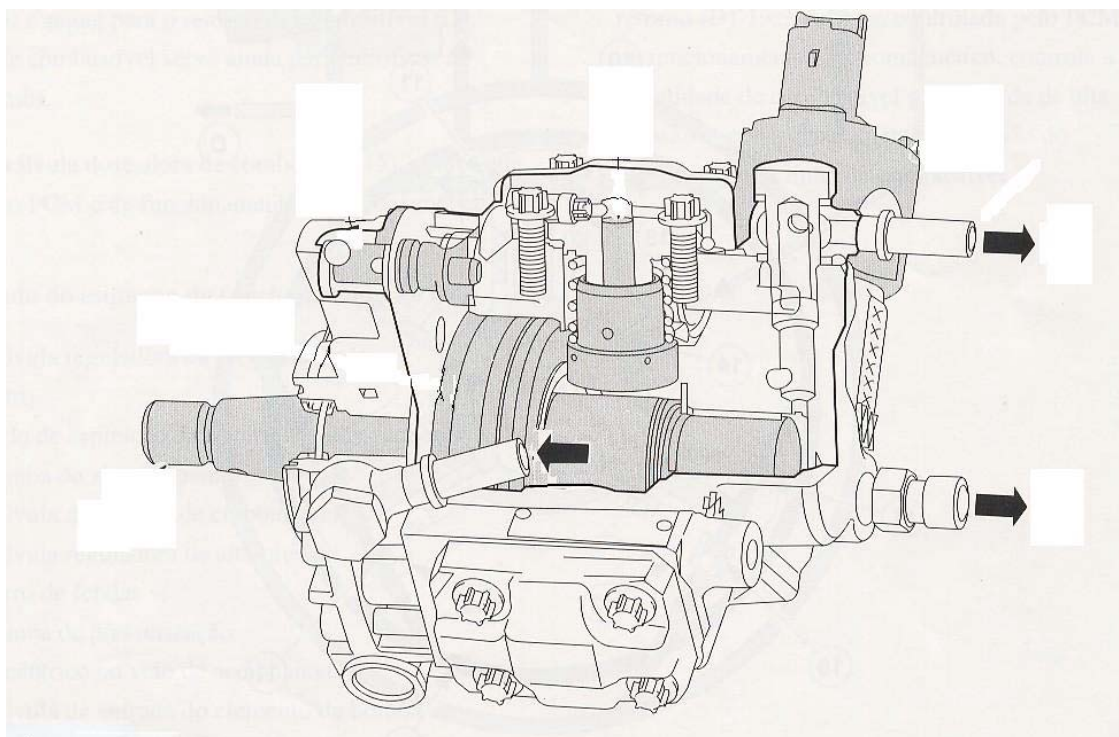


Sistema "Common Rail"

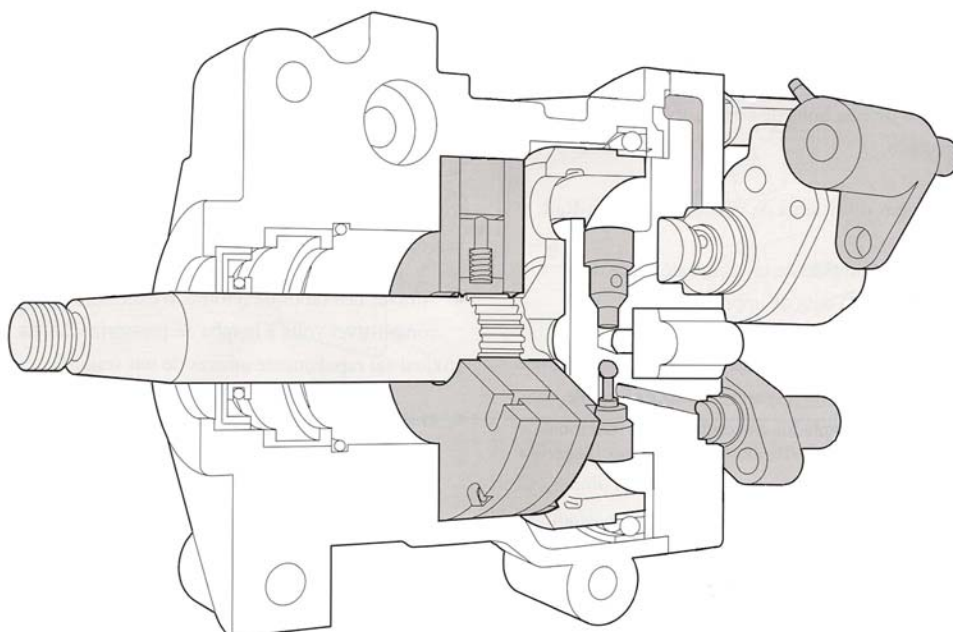


Sistema UIS, aplicado em motor de viatura ligeira

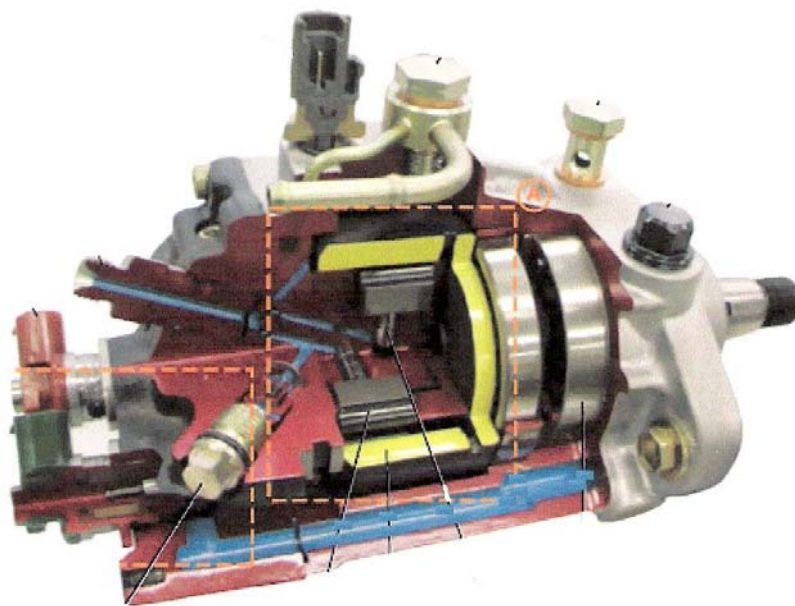




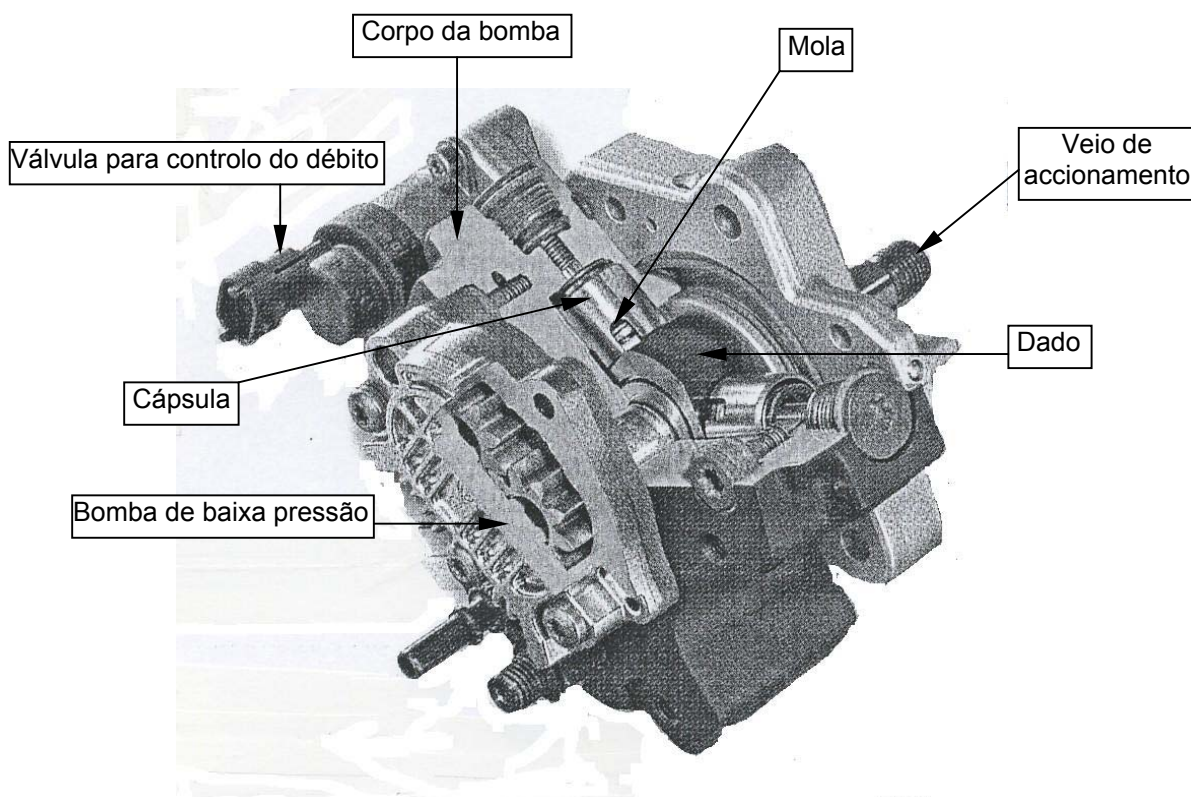
Bomba de alta pressão Siemens



Bomba de alta pressão Delphi



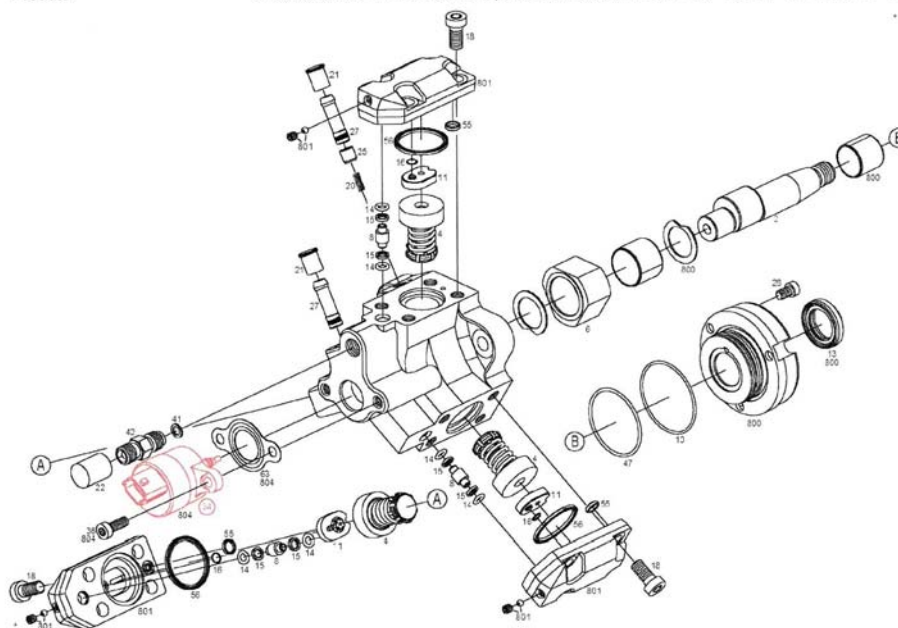
Bomba de alta pressão Denso



Bomba de alta pressão CP3, da Bosch

**Peças de reposição**

Produto 0 445 010 009 - Bomba de alta pressão, diesel (sistema CR) - CR/CP1/S3/R70/10-1S



Posição	N.º de pedido	Infor	Quantida	Denominação
2	F 00R 0P1 118	B	1	EIXO EXCENTRICO
4	F 00R 0P1 684	B	3	ELEMENTO DE BOMBA
6	F 00R 0P1 787	B	1	ROLDANA DADO
6	F 00R 0P1 790	B	1	ROLDANA DADO
6	F 00R 0P1 788	B	1	ROLDANA DADO
8	F 00R 0P0 141	B	3	CONETOR
10	F 00R 0P1 255	A	1	ANEL-O
11	F 00R 0P1 367	B	3	GRUPO INJETOR
13	F 00R 0P0 253	B	1	ANILHA RETENCAO ARVORE
14	F 00R 0P1 186	A	6	ANEL-O
15	F 00R 0P0 044	A	6	ANEL DE APOIO
16	F 00R 0P0 743	A	3	ANEL DE VEDACAO
18	F 00R 0P1 362	B	12	PARAFUSO CILINDR. TORX
20	F 00R 0P0 183	B	1	MOLA DE PRESSAO

1

**Peças de reposição**

0 445 010 009 - Bomba de alta pressão, diesel (sistema CR) - CR/CP1/S3/R70/10-1S

21	F 00R 000 422	B	2	CAPA PROTETORA
22	F 00R 0P0 407	B	1	CAPA PROTETORA
25	F 00R 0P1 143	B	1	EMBOLO
27	F 00R 0P0 592	B	2	TUBULADURA DE LIGACAO
28	F 00R 0P0 131	B	3	PARAFUSO CABECA CILINDR.
34	<b>0 281 002 480</b>	<b>B</b>	<b>1</b>	<b>VALVULA REGUL. PRESSAO</b>
36	2 912 732 197	B	2	PARAFUSO COM RODELA
41	F 00R 0P0 004	A	1	ARRUELA DE VEDACAO
42	F 00R 0P0 550	B	1	TUBULADURA DE LIGACAO
47	F 00R 0P1 106	A	1	ANEL-O
55	F 00R 0P1 245	A	3	ANEL DE VEDACAO
56	F 00R 0P1 246	A	3	ANEL DE VEDACAO
63	F 00R 0P1 466	A	1	GAXETA PLANA
800	F 00R 0P1 729	B	1	GRUPO PECAS DE REPOSICAO FLANGE
801	F 00R 0P1 733	B	1	GRUPO PECAS DE REPOSICAO CABECA DO CILINDRO
804	F 00R 0P1 370	B	1	JOGO DE PECAS VALVULA REGUL. PRESSAO

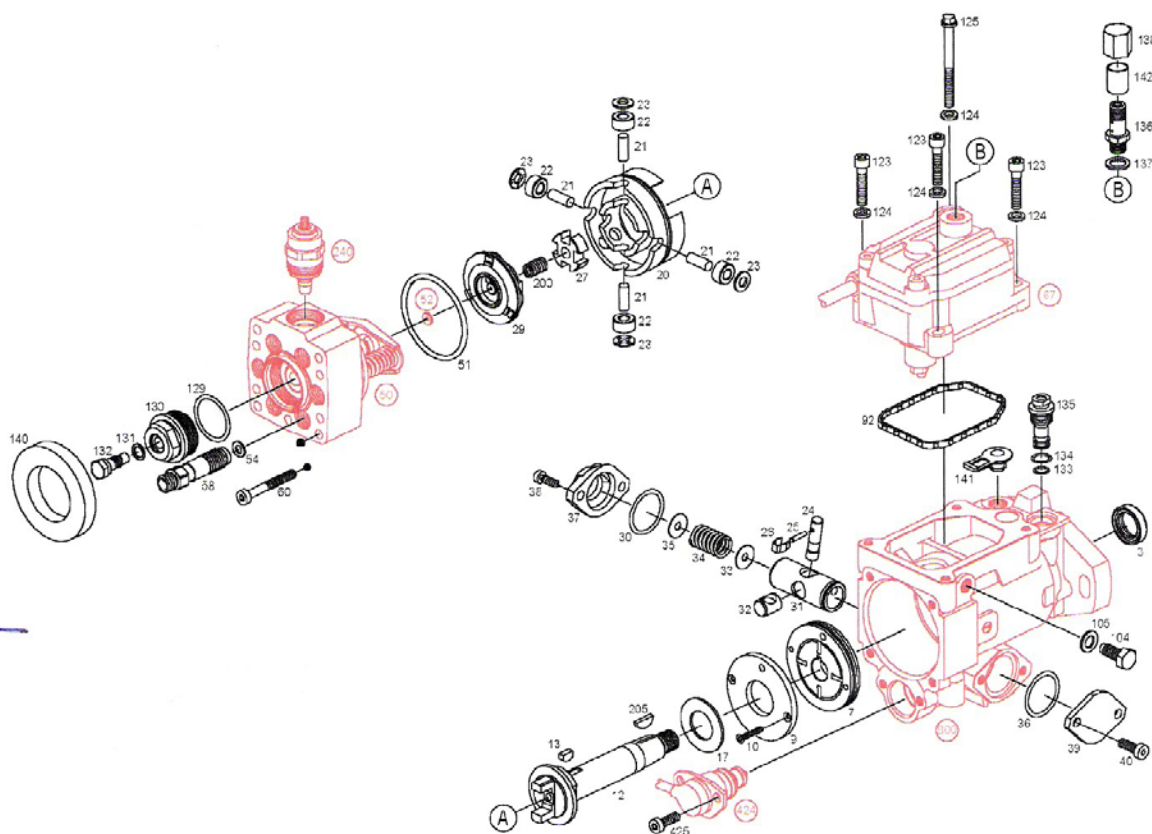
**Peças de reposição da CP1**



## Peças de reposição

Produto

0 460 406 995 - Bomba distribuidora - VE6/10E2400R300-1



Posição	N.º de pedido	Infor	Quantida	Denominação
---------	---------------	-------	----------	-------------

3	1 460 283 310	A	1	ANILHA RETENCAO ARVORE
7	1 467 030 309	A	1	BOMBA ALIMENTADORA
9	1 460 134 317	B	1	ANEL DE APOIO
10	1 463 429 300	B	2	PARAFUSO DE EMBUTIR TORX
12	2 466 100 005	B	1	EIXO DE ACIONAMENTO
13	1 460 023 302	B	1	CHAVETA SEMI-CIRCULAR
17	2 460 102 001	B	1	ARRUELA DESLIZANTE
20	1 460 232 330	B	1	ANEL DE ROLETE
21	2 463 100 002	B	4	PINO DE MANCAL
22	2 460 300 005	B	4	ROLDANA
23	2 460 120 013	B	4	ARRUELA DE FRICCAO
24	1 463 103 315	B	1	PINO DE REGULAGEM
25	1 463 120 359	B	1	PINO DE FIXACAO
26	1 461 310 300	B	1	BRACADEIRA DE FIXACAO

**Peças de reposição**

0 460 406 995 - Bomba distribuidora - VE6/10E2400R300-1

27	1 460 140 337	B	1	ARRUELA DE CRUZETA
29	2 466 111 009	A	1	DISCO DE RESSALTOS
30	1 460 210 300	A	1	ANEL DE VEDACAO
31	2 463 104 037	B	1	PISTAO VARIADOR DO AVANCO
32	1 463 218 312	B	1	PECA DESLIZANTE
<b>33</b>	<b>1 460 100 902</b>	<b>B</b>	<b>1</b>	<b>SORTIMENTO DE PECAS ARRUELA ESPACADORA</b>
34	1 464 619 615	A	1	MOLA DE PRESSAO
34	1 464 619 613	A	1	MOLA DE PRESSAO
34	1 464 619 625	A	1	MOLA DE PRESSAO, 35,40 MM
<b>35</b>	<b>1 460 100 902</b>	<b>B</b>	<b>1</b>	<b>SORTIMENTO DE PECAS ARRUELA ESPACADORA</b>
36	1 460 210 300	A	1	ANEL DE VEDACAO
37	1 465 530 301	B	1	COIFA DE VEDACAO
38	1 463 414 344	B	2	PARAFUSO CILINDR. TORX
39	1 461 074 302	B	1	PLACA DE COBERTURA
40	1 463 414 344	B	2	PARAFUSO CILINDR. TORX
<b>50</b>	<b>2 468 336 013</b>	<b>A</b>	<b>1</b>	<b>CORPO DO DISTRIBUIDOR</b>
51	1 900 210 154	B	1	ANEL-O
<b>52</b>		<b>Z</b>	<b>1</b>	<b>SORTIMENTO DE PECAS ARRUELA DE COMPENSACAO</b>
54	1 460 105 305	A	6	ARRUELA DE VEDACAO
58	2 463 370 006	B	6	TUBULADURA DE LIGACAO
60	1 463 414 312	B	4	PARAFUSO CILINDR. TORX
<b>67</b>	<b>2 467 135 141</b>	<b>B</b>	<b>1</b>	<b>MECANISMO DE REGULACAO</b>
92	2 460 206 009	B	1	GUARNICAO DE VEDACAO
104	2 463 452 003	B	1	PARAFUSO SEXTAVADO
105	1 460 105 307	B	1	ARRUELA DE VEDACAO
123	2 912 712 203	B	3	PARAFUSO CILINDR. TORX
124	2 916 022 012	B	4	ARRUELA
124	2 916 012 013	B	4	ARRUELA, DIN 433 - 6,4-160 HV
125	2 463 440 002	B	1	PARAFUSO SEXTAVADO
129	1 460 210 316	B	1	ANEL-O
130	1 463 461 306	B	1	BUJAO ROSCADO
131	1 460 105 306	B	1	JUNTA ANULAR PLANA
132	1 463 453 306	B	1	PARAFUSO DE SAIDA DE AR
133	1 460 210 325	B	1	ANEL-O
134	1 460 210 007	B	1	ANEL-O
135	1 460 362 378	B	1	VALVULA DE REGULAGEM
136	2 467 413 025	A	1	VALVULA LADRAO
137	1 460 105 312	B	1	JUNTA ANULAR PLANA
138	2 463 317 004	B	1	PORCA CEGA
140	1 460 591 315	B	1	CAPA PROTETORA
141	2 410 508 006	B	1	CAPA PROTETORA
142	1 410 407 004	B	1	LUVA DE PROTECAO
200	1 464 618 999	B	1	MOLA DE PRESSAO
205	1 510 023 000	B	1	CHAVETA SEMI-CIRCULAR
<b>240</b>	<b>0 330 001 040</b>	<b>B</b>	<b>1</b>	<b>ELETROIMA DE IMPUSOR</b>
<b>424</b>	<b>0 281 002 071</b>	<b>B</b>	<b>1</b>	<b>VALVULA DE ELETROIMA</b>



**Peças de reposição**

0 460 406 995 - Bomba distribuidora - VE6/10E2400R300-1

425	1 463 414 344	B	2	PARAFUSO CILINDR. TORX
800	2 465 130 918	B	1	<b>GRUPO PECAS DE REPOSICAO CARCACA DE BOMBA</b>

Explicações

A	Peça de desgaste
B	Peça de reposição
Z	Não é peça de reposição

Peças de reposição para a bomba rotativa de êmbolo axial, VE6



**Ficha de Segurança de Produto:** Gasóleo  
**Nº edição:** 10  
**Data:** 09-06-2003  
**Pág:** 6/10

## 9. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Propriedades	Limites e unidades
Estado físico a 20°C	Líquido
Cor	Amarelo claro quando não aditivado de corante Quando corado, pode ser: verde, azul, vermelho.
Aspecto	Límpido
Cheiro	Característico a hidrocarbonetos
Intervalo de destilação	ca 160-390°C
Ponto de inflamação	>55° C
Ponto de autoignição	260°C (valor de literatura)
Limites de inflamabilidade	0,6-7,0% (aprox.) (v/v) (valor de literatura)
Ponto de fusão	< -7° C (valor de literatura)
Propriedades comburentes	Não aplicável
Tensão de vapor a 37,8°C	ca 0,4 kPa
Massa volúmica a 15°C	820-900 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidade cinemática a 40°C	7 cSt (mm <sup>2</sup> /seg) máx
Solubilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hidrossolubilidade: praticamente imiscível.</li> <li>Lipossolubilidade: miscível na maior parte dos solventes orgânicos.</li> </ul>
Coeficiente de partição n-octanol/água	log Kow >3.5
Densidade do vapor em relação ao ar	ca 3 (valor da literatura)
Temperatura limite de filtrabilidade	-10°C a 0°C

Propriedades físico-químicas do gasóleo, GALP