

Influência do Biodiesel nas emissões poluentes de um motor turbo diesel

Sérgio Manuel dos Santos Reis Moreira

Relatório de Projecto Final

Orientador na FEUP:
Prof. José Ferreira Duarte



**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Fevereiro de 2008

À paixão automóvel...

Abstract

Biodiesel is an alternative to petroleum based fuels; its production rate has been increasing for the last years. In Portugal there are already five companies specialized in Biodiesel fuels production. Biodiesel has been seen, by the public, as an environmentally friendly fuel, since its production is based in Biomass (vegetable oils or animal fats). Biodiesel, however, is seen as a high potential fuel, in literature; there are only a few number of consistent studies about the combustion gas emissions and almost all of these studies are based on old diesel engine technologies.

The present work has studied the combustion gas emissions using different diesel fuels. To perform this study, it was defined a gas emissions test schedule using a Peugeot 107 HDi. This vehicle was prepared to receive Biodiesel fuel throughout an alternative fuel line using an additional tank. Commercial class 0 gas emission measurement equipment, Stargas 898, was used.

Five different fuels have been tested: conventional Diesel, B25, B50, B75 and B100 (100% Biodiesel). For these fuels the gas emissions, CO, CO₂, NO_x and HC were measured at different engine speeds, from 750 rpm up to 4000 rpm.

For this Turbo Charged Common Rail Diesel engine it has been observed a smaller NO_x emission for engine speeds up to 3000 rpm and a decrease of CO emissions when increasing the contents of biodiesel in the fuel. Besides that, the HC tends to be smaller with the increase of biodiesel contents. However, the CO₂ emissions increase with the increase of biodiesel contents in the fuel.

As a conclusion, it can be said that the biodiesel fuel tested in this work seems to be a very interesting alternative fuel to the fossil diesel when comparing the combustion gas emission of both fuels.

Resumo

O Biodiesel é um combustível alternativo aos combustíveis derivados de petróleo (Diesel). A sua produção tem vindo a aumentar ao longo dos últimos anos a um ritmo elevado. Em Portugal já existem cinco empresas especializadas na produção deste combustível. Visto pela opinião pública como um combustível amigo do ambiente, devido ao facto de na sua base estar a Biomassa (como óleos vegetais e gorduras animais), existem muitas certezas e poucos dados relativos às emissões gasosas de motores Diesel operando com Biodiesel.

Para a realização deste trabalho foi elaborada uma plataforma para realizar testes de emissões gasosas, usando combustíveis alternativos ao Diesel, preparando um Peugeot 107 HDi para receber Biodiesel e foi adquirido equipamento de medição de gases de escape.

Este veículo foi sujeito a testes de emissão gasosa operando com Diesel convencional, criando assim um padrão das emissões sob o uso de combustíveis derivados de petróleo (Diesel). Seguidamente foi introduzido o Biodiesel em sucessivas dosagens, ou seja, começando com 25% de Biodiesel (B25) até atingir Biodiesel puro (B100), passando pelo B50 e B75 de forma a conseguir caracterizar a evolução das emissões gasosas com o aumento de Biodiesel presente no combustível. As emissões de gases das várias combinações de Diesel com Biodiesel foram registadas para um conjunto de rotações do motor desde o regime de ralenti até às 4000 rotações por minuto. No final, o conjunto das emissões medidas foi analisado.

Como conclusão podemos referir que o uso de Biodiesel no Peugeot 107 HDi parece ter trazido mais vantagens do que era esperado pela consulta das referências e da bibliografia. Assim, o Biodiesel, aliado à mais recente tecnologia, presente no automóvel ensaiado, mostraram que este biocombustível é uma boa opção no que respeita às emissões poluentes derivadas do seu uso neste automóvel.

Agradecimentos

Ao meu orientador Eng.º José Ferreira Duarte por toda a sua disponibilidade e orientação durante todo o curso e em especial durante a realização deste trabalho.

Ao Eng.º Fonseca Almeida pela disponibilidade e pela produção do Biodiesel necessário para a realização deste trabalho.

Ao Eng.º Mário Pinto (INEGI) por toda a sua ajuda durante a pesquisa bibliográfica e durante a preparação dos ensaios.

Ao Sr. José e ao Sr. Albino (Oficinas da FEUP) por toda a sua ajuda durante a preparação dos ensaios.

Aos meus colegas Luís Costa, Luiz Esteves, Carlos Araújo, José Mimoso e amigo António Baptista pela ajuda na realização dos ensaios.

À GAMOBAR pela cedência do veículo testado, Peugeot 107 HDi.

A todas as outras pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste relatório.

Índice

Índice de tabelas	viii
Índice de figuras	ix
1. - Introdução	1
2. - Revisão Bibliográfica.....	3
2.1. - Dados relevantes acerca do funcionamento dos motores diesel.....	3
2.1.1. - Princípio de funcionamento de um motor Diesel	3
2.1.2. - Tipo de combustão.....	6
2.1.3. - Preparação da mistura.....	7
2.1.4. - Sistemas de injeção	8
2.1.5. - Injectores.....	11
2.1.6. - Atraso da inflamação	12
2.1.7. - Índice de cetano	12
2.2. - Emissões gasosas em motores Diesel.....	13
2.2.1. - CO ₂	15
2.2.2. - CO	15
2.2.3. - Hidrocarbonetos não queimados (HC).....	16
2.2.4. - NO _x	17
2.2.5. - Partículas.....	18
2.3. - Biocombustíveis	19
2.4. - Biodiesel.....	20
2.4.1. - O que é o Biodiesel.....	20
2.4.2. - Base da sua produção.....	22
2.4.3. - Propriedades e regulamentação.....	25
2.4.4. - Benefícios do seu uso	27

2.4.5. - Inconvenientes do uso de biodiesel.....	28
2.5. - Revisão de trabalhos efectuados.....	29
3. - Objectivos	32
4. - Procedimento experimental.....	33
4.1. - O automóvel ensaiado	33
4.1.1. - Dados do fabricante	34
4.1.2. - Alterações realizadas	36
4.2. - Equipamentos de análise de gases.....	39
4.2.1. - Stargas 898.....	39
4.2.2. - O opacímetro Tecnotest 495/02.....	40
4.2.3. - Tecnotest Reflex Plus 4130	40
4.3. - O Biodiesel ensaiado	41
5. - Ensaaios	42
6. - Resultados	45
6.1. - Diesel convencional.....	45
6.2. - B25	46
6.3. - B50	47
6.4. - B75	48
6.5. - B100	49
7. - Discussão dos resultados obtidos	50
7.1. - CO.....	50
7.2. - NO _x	52
7.3. - CO ₂	55
7.4. - HC.....	57
7.5. - O ₂	59
7.6. - Opacidade dos fumos.....	61

8. - Conclusão	63
9. - Proposta de trabalhos futuros	64
10. - Referências	65
11. - Anexos.....	68
11.1. - Tecnotest Stargas 898	
11.2. - Tecnotest Reflex Plus 4130	
11.3. - Tecnotest Gas Analysis 495/02	

Índice de tabelas

Tabela 1 - Normas europeias de emissão de gases para veículos ligeiros de passageiros	14
Tabela 2 - Comparação de algumas propriedades de Diesel e Biodiesel	26
Tabela 3 - Percentagem de variação na emissão de NO _x , CO e HC	31
Tabela 4 - Características do Peugeot 107 HDi	34
Tabela 5 - Listagem de alguns materiais e sua reacção com o Biodiesel	37
Tabela 6 - Características técnicas do analisador Stargas 898	39
Tabela 7 - Variação das condições ambientais durante a realização dos ensaios	42
Tabela 8 - Medição do caudal de retorno de combustível do veículo ensaiado.	43
Tabela 9 - Dados recolhidos utilizando Diesel convencional GALP no Peugeot 107 HDi	45
Tabela 10 - Dados recolhidos utilizando Diesel convencional GALP no Peugeot 107 HDi	45
Tabela 11 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 25 % (B25) no Peugeot 107 HDi	46
Tabela 12 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 25 % (B25) no Peugeot 107 HDi	46
Tabela 13 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 50 % (B50) no Peugeot 107 HDi	47
Tabela 14 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 50 % (B50) no Peugeot 107 HDi	47
Tabela 15 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 75 % (B75) no Peugeot 107 HDi	48
Tabela 16 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 75 % (B75) no Peugeot 107 HDi	48
Tabela 17 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 100 % (B100) no Peugeot 107 HDi	49
Tabela 18 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 100 % (B100) no Peugeot 107 HDi	49
Tabela 19 - Dados relativos às medições de CO	50
Tabela 20 - Dados relativos às medições de NO _x	52
Tabela 21 - Dados relativos às medições de CO ₂	55
Tabela 22 - Dados relativos às medições de HC	57
Tabela 23 - Dados relativos às medições de O ₂	59
Tabela 24 - Dados relativos às medições de opacidade	61

Índice de figuras

Figura 1 - Reservas Mundiais de petróleo.....	1
Figura 2 - Campo de cultivo em África de para a produção de Biodiesel.....	2
Figura 3 - Os 4 tempos do motor de ignição por compressão (Diesel)	4
Figura 4 - Bomba de injeção rotativa, tubagens e injectores.....	9
Figura 5 - Sistema de bomba-injector e seu accionamento através de veio de excêntrico.....	9
Figura 6 - Componentes de um sistema “common rail”	10
Figura 7 - Direita: Injecção directa. Esquerda: injeção indirecta	11
Figura 8 - Agulhas usadas em injectores.....	11
Figuras 9 , 10 - Processo de combustão num motor de combustão interna.....	13
Figura 11 - Conversor catalítico em corte	13
Figura 12 - Flor de girassol usado na produção de Biodiesel	20
Figura 13 - Representação esquemática das fases de produção de Biodiesel	22
Figura 14 - Reacção de transesterificação.....	23
Figura 15 - Variação das emissões com o aumento da percentagem de Biodiesel	29
Figura 16 - Variação da emissão de opacidade fumos com a potência gerada	30
Figura 17 - Variação da emissão de NO _x com a potência gerada	30
Figura 18 - Veículo utilizado nos ensaios realizados - Peugeot 107.....	33
Figura 19 - Curvas de binário e potência do motor 1.4 HDi ensaiado	35
Figura 20 - Contentor usado como depósito de Biodiesel.....	36
Figura 21 - Esquema das alterações introduzidas no sistema de alimentação.....	37
Figura 22 - Exemplo dos componentes utilizados.....	38
Figura 23 - Pormenor da alteração introduzida nas tubagens.....	38
Figura 24 - Equipamento de análise de gases Stargas 898.....	39
Figura 25 - Opacímetro Tecnotest usado nos ensaios	40
Figura 26 - Equipamento Tecnotest Reflex 4130.....	40

Figura 27 - Módulo de análise de gases	40
Figura 28 - Esquema das alterações finais introduzidas.....	43
Figura 29 - Veículo utilizado nos ensaios realizados - Peugeot 107.....	44
Figura 30 - Emissão de CO em função da rotação do motor.....	50
Figura 31 - Emissão de NO _x em função da rotação do motor	52
Figura 32 - Emissão de NO _x em função da rotação do motor	53
Figura 33 - Emissão de CO ₂ em função da rotação do motor.....	55
Figura 34 - Emissão de HC em função da rotação do motor.....	57
Figura 35 - Percentagem de O ₂ nos gases de escape em função da rotação do motor.....	59
Figura 36 - Opacidade dos fumos em função da rotação do motor.....	61

1. - Introdução

O Petróleo é considerado o sangue da civilização moderna. Estudos realizados ao longo dos últimos anos prevêem que a produção mundial de petróleo atingirá um máximo perto do ano de 2010, ano a partir do qual, segundo os peritos, o petróleo disponível começará a diminuir tornando-se cada vez mais escasso. Apesar destes factos, o consumo de petróleo continua a aumentar de ano para ano mesmo sabendo que hoje em dia existem poucas ou mesmo nenhuma reservas por explorar (Figura 1). [01, 02]

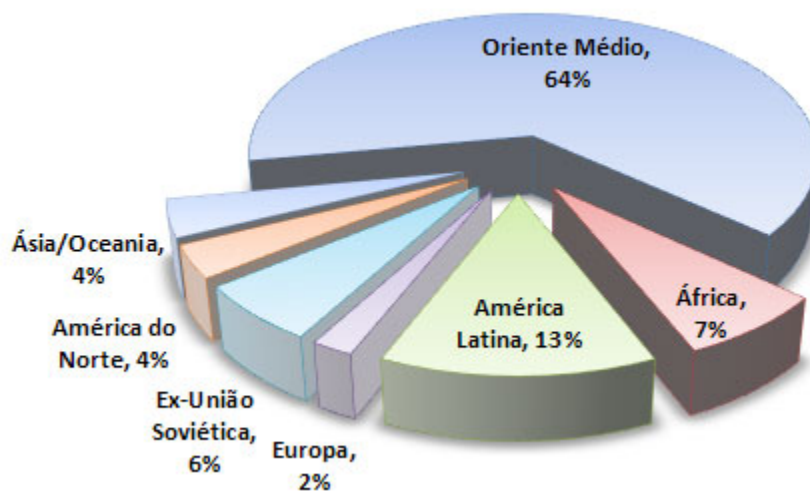


Figura 1 - Reservas Mundiais de petróleo. [03]

Durante o último século os combustíveis derivados do petróleo foram a maior fonte de energia mundial. No entanto, devido a questões ambientais, como por exemplo a descoberta da destruição da camada de ozono, devida em grande parte ao uso deste tipo de combustíveis, têm sido procurados outros tipos de energia alternativa dando particular atenção a fontes de energia renováveis. [01,02]

A busca por alternativas aos combustíveis derivados de petróleo deveu-se em grande parte à descoberta de problemas ambientais durante o século XX, devido ao seu uso. A inevitável subida dos preços dos combustíveis fósseis, bem como as suas reservas limitadas, provocaram esta procura. As projecções para o futuro indicam que a opção mais viável passa pela produção de combustíveis derivados de fontes não petrolíferas. [01,02,04]

Uma das formas de energia alternativa mais prometedora é a biomassa. A biomassa é renovável, a sua disponibilidade é grande e possui menos enxofre e azoto quando comparada com os combustíveis fósseis tornando-a mais amiga do ambiente. Dentro das inúmeras fontes de biomassa, os óleos vegetais e gorduras animais têm sido investigados ao longo dos últimos anos. Devido ao facto de os motores Diesel serem largamente utilizados, não só nos transportes como também na indústria, este tipo de combustível alternativo aos combustíveis fósseis começa a ser considerado como uma alternativa viável. [06,07,08]

Os óleos vegetais e gorduras animais devidamente tratados e transformados em Biodiesel têm desempenhado uma alternativa cada vez mais procurada em todo o mundo. Muitas indústrias já começam a usar este tipo de combustíveis bem como particulares que os produzem na sua própria casa.

Apesar de neste momento o Biodiesel ser uma alternativa real ao gasóleo convencional e de já ser possível mesmo comprar este tipo de combustível, existe pouca informação conhecida relativamente às suas verdadeiras vantagens. Naturalmente para o produtor caseiro, se a sua base de biomassa são óleos vegetais usados, a vantagem económica será óbvia, mas será que este tipo de biomassa disponível em todo o mundo será suficiente para satisfazer toda a procura de combustível da indústria e transportes? A resposta é claramente negativa, desta forma os recursos de biomassa terão de ser produzidos e esta é uma das questões mais discutidas nos últimos tempos. Estudos realizados por todo o mundo revelam que a produção mundial de recursos de biomassa está a aumentar a um ritmo elevado e alguns peritos afirmam que esta acarreta um nível de emissões poluentes superior à produção e utilização de combustíveis à base de petróleo. Infelizmente as respostas para esta questão só serão respondidas ao longo dos próximos anos. Como exemplo, em África, terrenos usados com objectivos alimentares, são neste momento usados para a produção de Biocombustíveis (Figura 2).



Figura 2 - Campo de cultivo em África de para a produção de Biodiesel. [21]

2. - Revisão Bibliográfica

2.1. - Dados relevantes acerca do funcionamento dos motores diesel

2.1.1. - Princípio de funcionamento de um motor Diesel

O motor de combustão interna aproveita o aumento de pressão resultante da combustão da mistura ar/combustível para imprimir um movimento de rotação ao veio motor. O motor é constituído por cilindros, dentro dos quais deslizam pistões ligados a uma manivela (veio motor, denominado cambota) pelas bielas. Se fizermos rodar a cambota, os pistões sobem e descem nos diversos cilindros. Inversamente, o pistão submetido a elevadas pressões, faz rodar a cambota. Para que o motor não pare quando um pistão estiver a comprimir ar num cilindro, ou para que não tenha um andamento muito irregular, uma extremidade da cambota é munida de um volante de inércia, que acumula energia cinética. [02]

O ponto mais alto que o pistão pode atingir dentro do cilindro denomina-se ponto morto superior ou PMS. Ao ponto mais baixo chama-se ponto morto inferior ou PMI. A distância percorrida pelo pistão entre os dois pontos mortos designa-se por curso. O raio da manivela é igual a metade do curso.

Quando se fala das características de um motor cita-se o diâmetro interior de cada cilindro, seguido do curso (ex: $D \times C = 80 \times 72$ mm), geralmente por esta ordem.

Num motor de explosão o curso pode ser maior ou menor que o diâmetro. Mantendo o volume do cilindro, pode-se aumentar ao diâmetro e diminuir ao curso, ou vice-versa. Diminuindo-se o curso, reduz-se a velocidade linear do pistão, se o motor rodar à mesma velocidade de rotação, ou conseguem-se maiores velocidades de rotação para a mesma velocidade linear do pistão. Assim, a relação curso/diâmetro é muito importante para as características de um motor. Por exemplo, um motor com cilindros de grande diâmetro apresenta maior espaço para colocação das válvulas à cabeça, facilitando o enchimento e descarga dos gases.

Por estas razões acima apontadas, há bastante interesse em reduzir o curso aos motores, chegando a valores iguais ou mesmo inferiores ao diâmetro. Nestes casos os motores denominam-se quadrados (curso = diâmetro) ou super-quadrados ($C < D$). O inconveniente dos motores excessivamente super-quadrados, é que as perdas de compressão são proporcionais ao perímetro dos pistões e as câmaras de combustão de elevado diâmetro não queimam bem e têm elevadas perdas térmicas. [01,02]

Quando o pistão desce desde PMS até PMI ele “varre” um volume correspondente a um cilindro cuja base é a sua secção e a altura é o curso do pistão, chamado volume varrido ou cilindrada. À soma dos volumes varridos de todos os cilindros dá-se o nome de cilindrada do motor. [02]

Quando o pistão se encontra no PMS, existe um espaço morto por cima da cabeça do pistão. É nesse volume que se inicia a combustão e por isso se denomina câmara de

combustão. Para se determinar o seu volume, basta enche-la de óleo (ou de outro líquido através do orifício da vela ou do injector), com a ajuda de uma proveta ou seringa graduada, quando o pistão se encontra no PMS.

Durante a compressão produz-se no cilindro, não somente um aumento de pressão motivado pela diminuição de volume, mas também uma elevação de temperatura, que elevará ainda mais a pressão. Assim a pressão dos gases no final da compressão é superior à calculada pelo quociente geométrico dos volumes.

Rudolf Diesel concebeu o motor de ignição por compressão. Este utiliza os mesmos componentes que o vulgar motor a gasolina mas o seu funcionamento difere sensivelmente deste último.

No motor de ignição comandada (gasolina), o combustível é geralmente misturado com o ar no exterior do cilindro e toda essa massa se inflama na câmara de combustão, por meio de uma faísca proporcionada pelo sistema de ignição. O motor de ignição por compressão (Diesel) não tem sistema de preparação da mistura exterior nem sistema de ignição. Aspira ar puro que, submetido à elevada pressão atingida no final da compressão, atinge uma temperatura suficiente para garantir a inflamação do combustível (gasóleo) à medida que é injectado no seio do ar.

Como o ar se encontra a elevada pressão, é necessário que o combustível seja introduzido a uma pressão ainda superior, para o qual é indispensável o uso de um sistema de injeção a alta pressão. Este sistema, comprime e fornece o gasóleo a cada cilindro na altura e com a quantidade exacta a fim de permitir uma combustão suave. De seguida apresentam-se as diferentes fases do ciclo (Figura 3).

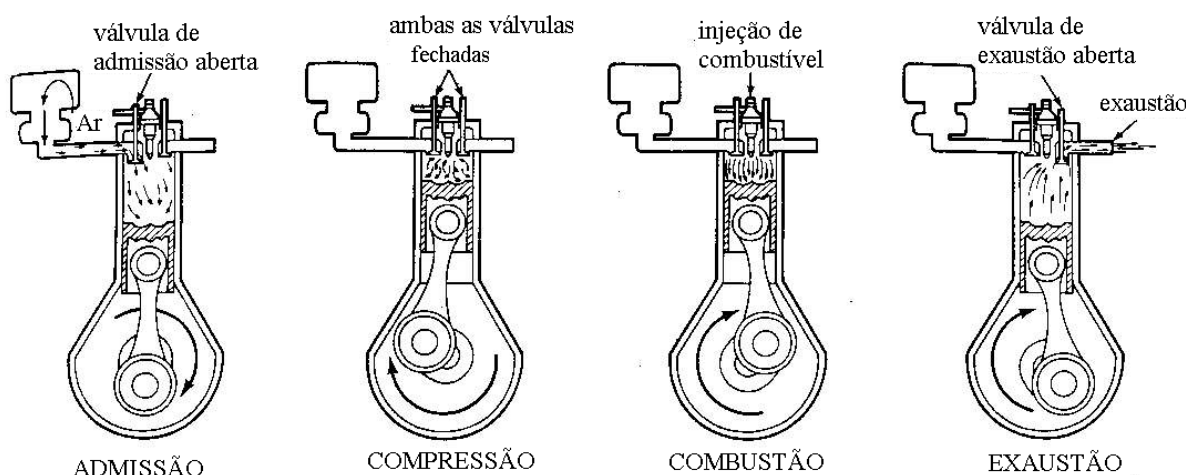


Figura 3 - Os 4 tempos do motor de ignição por compressão (Diesel). [22]

Admissão. O pistão parte do PMS, descendo até ao PMI. A válvula de admissão encontra-se aberta durante este período, admitindo ar puro dentro do cilindro, enchendo-o.

Compressão. Com ambas as válvulas fechadas, o pistão sobe até PMS, comprimindo o ar puro encerrado no cilindro.

Combustão-Expansão. Começando no PMS ou antes, o combustível é injectado no seio do ar quente, inflamando-se espontaneamente no contacto com este. A injeção (e a combustão) continua durante parte da descida do pistão, sendo este o tempo motor.

Escape ou exaustão. Quando o pistão chega a PMI a válvula de escape abre-se permitindo que os gases queimados sejam descarregados para a atmosfera, através do sistema de escape, durante a subida do pistão.

Este tipo de motores necessita de elevadas temperaturas no final da compressão, pelo que apresenta elevados valores de taxa de compressão, entre 15 e 22, quase o dobro dos motores a gasolina. [02]

2.1.2. - Tipo de combustão

A injeção de combustível num motor Diesel inicia-se antes de PMS e prossegue durante parte da descida do pistão. No início da injeção, como a temperatura e pressão do ar são superiores ao ponto de inflamação, dá-se a auto-ignição das porções de combustível que já estão misturadas com o ar, após um certo atraso. Como consequência, a pressão e temperatura do cilindro elevam-se ainda mais, reduzindo o atraso da inflamação da restante massa de combustível já injectada, que arde mais rapidamente. A injeção prossegue até que a quantidade necessária de combustível tenha sido fornecida. Os processos de mistura do combustível com o ar e sua combustão continuam durante a expansão, até todo o combustível ter sido consumido.

Como a injeção começa imediatamente antes da combustão não há restrições quanto ao “knock” e consequentemente a taxa de compressão não está limitada por ele. Desta maneira, os seus valores são bastante superiores aos dos motores a gasolina, sendo o seu rendimento aumentado. A combustão no motor Diesel é detonante. Em virtude deste tipo de combustão, o funcionamento do motor Diesel deveria ser duro e ruidoso e consequentemente impróprio para a utilização em automóveis. Nas últimas décadas tem-se dado uma grande evolução deste motor, havendo casos em que é difícil identificar este tipo de motor, pelo seu silêncio e suavidade. Este desenvolvimento deveu-se a modificações ao nível das câmaras de combustão, mas principalmente dos sistemas de injeção. Como a sua combustão é violenta, é fundamental não permitir que se dê em bloco. Para isso deve-se projectar o sistema de injeção de maneira a proporcionar gotas de diâmetros diferentes (que evaporem diferencialmente) e taxas de injeção variáveis de modo a que a taxa de aumento de pressão seja mantida relativamente baixa. Estes aspectos reduzem a dureza da combustão e com ela o ruído, proporcionando um motor suave. Medidas adicionais serão o uso de pré-injeções e um extenso isolamento do compartimento do motor.

É importante garantir-se uma velocidade óptima de combustão, ou seja, de oxidação do combustível. Uma boa pulverização e elevada turbulência garantem taxas de oxidação elevadas, sendo a combustão muito violenta. Uma velocidade baixa dá origem à formação de gomas dentro do cilindro, por combustão incompleta. Tem de se jogar com diferentes taxas de injeção e níveis de turbulência da mistura, de maneira a conseguir-se combustões rápidas mas suaves, em qualquer situação de velocidade e carga. [02]

2.1.3. - Preparação da mistura

Nas misturas heterogêneas (caso do motor Diesel), a riqueza varia entre muito elevada ($\lambda=\infty$) no centro do “spray” de combustível e muito baixa ($\lambda=0$) longe do “spray”, no seio do ar puro. A preparação da mistura faz-se pulverizando intensamente o combustível e injectando-o com grande velocidade no seio do ar, preferencialmente dotado de elevada turbulência e alta temperatura. Procura-se fazer afectar o combustível a toda a massa de ar. Idealmente, o “spray” de combustível deveria misturar-se com a globalidade da massa de ar, o que implicaria haver gotas com diferente penetração e dirigidas para as diferentes zonas da câmara. Tais requisitos não são possíveis de preencher globalmente, sendo a combustão penalizada. Assim, não é possível utilizar a globalidade do ar, sendo a combustão realizada sempre em excesso de ar. Uma outra particularidade deste tipo de combustão é a inexistência de variação (dispersão) cíclica, específica do motor a gasolina. Mesmo em cargas reduzidas (misturas excessivamente pobres), não há o problema da não combustão, pois todo o combustível injectado pode ser queimado. Na verdade, quanto mais pobre for a mistura (menor injeção de combustível), mais fácil se torna a sua total combustão. Tal acontece porque a energia para a inflamação é fornecida por transferência de calor entre o ar e o combustível e não a partir de uma fonte exterior de energia. A expansão da frente de chama é restringida pela existência (difusão) de oxigénio junto do combustível.

O maior problema na combustão no motor Diesel é conseguir-se suficiente mistura entre o “spray” de combustível e o ar, pois a taxa de mistura controla a taxa de combustão. Motores com cilindros muito largos (um motor de navio pode ter cilindros de diâmetro muito superior a um metro) rodam com velocidades muito lentas, pois o combustível tem de “viajar” desde o injectador até aos cantos mais remotos da câmara de combustão à “procura” de ar. Este tipo de motores requer grandes penetrações do combustível, tendo a injeção de se realizar a pressões muito elevadas. [02]

2.1.4. - Sistemas de injeção

A injeção do motor Diesel inicia-se antes do PMS e continua durante a descida do pistão, pelo que a pressão existente dentro do cilindro terá de ser em muito ultrapassada pela pressão do sistema de injeção. Actualmente os motores apresentam pressões de injeção aproximando-se dos 2000 bar (200 MPa), de modo a proporcionarem uma boa preparação da mistura. O sistema de injeção deverá satisfazer as seguintes condições: [01,02]

Pulverização. Quanto mais pequenas forem as gotas mais facilmente se dará a combustão, pois a área superficial da totalidade do combustível injectado será maior. O grau de pulverização é dependente da pressão de injeção e da dimensão do orifício (diâmetro e comprimento) por onde passa o combustível. Elevadas velocidades de injeção também resultarão em maior facilidade de vaporização.

Penetração. Se todas as gotas tiverem as mesmas dimensões, a sua penetração será semelhante, e não se conseguirá uma boa distribuição do “spray” do combustível por toda a câmara de combustão. Assim, convém que algumas gotas sejam maiores que outras, de modo a chegarem a regiões distintas da câmara. Gotas pequenas vaporizam perto do bico do injector enquanto gotas maiores terminarão a sua vaporização perto das paredes da câmara de combustão, usando o ar desta região.

Gradiente de injeção. Os recentes sistemas de injeção controlados electronicamente e com injectores de resposta rápida (piezo-eléctricos) permitem uma liberdade extrema dos gradientes de injeção, o que optimiza a combustão, reduzindo o ruído e a emissão de poluentes.

Actualmente existem três maneiras de injectar o combustível às elevadas pressões necessárias para promover uma combustão relativamente limpa e suave. [02]

Bomba de injeção (em linha ou rotativa) ligada aos injectores por meio de tubos metálicos. Este sistema é o convencional, e tem sido usado há quase um século com as bombas em linha que mais tarde foram substituídas pelas bombas rotativas. É um sistema barato, e fácil de implementar, com liberdade total de colocação da bomba e dos injectores. Foi igualmente usado nos motores de câmara auxiliar (baixa pressão) e de injeção directa. Os longos tubos de ligação apresentam problemas de controlo da injeção, pois as ondas de pressão que dentro deles evoluem podem alterar o seu funcionamento, pelo que não conseguem chegar às elevadíssimas pressões actualmente (e no futuro) necessárias. Este sistema é incapaz do sofisticado controlo exigido nos motores actuais que usam pré e pós injeções e modulação da injeção principal, mesmo que se possa controlar electronicamente ambos, a bomba e os injectores. Por esta razão tem sido preterido pelos outros sistemas, nomeadamente pelo “common rail”. O comando da bomba tem de ser efectuado a tempo e requer alguma potência. Geralmente está ligada à cambota por corrente ou correia (Figura 4).

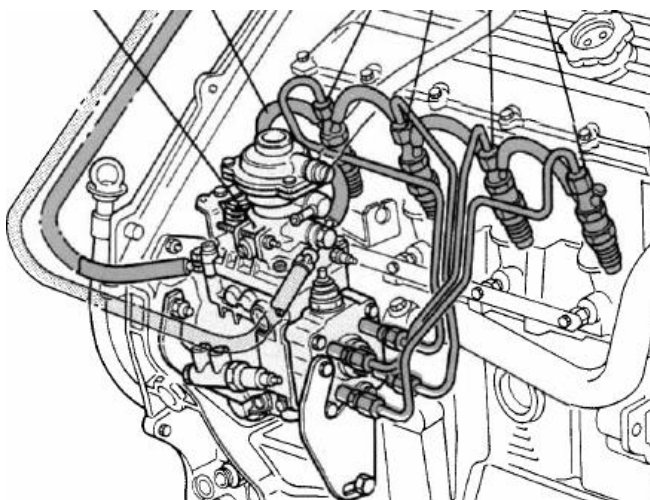


Figura 4 - Bomba de injeção rotativa, tubagens e injectores. [23]

Bomba-injector. Este sistema foi desenvolvido para elevar as pressões de injeção muito acima de 1500 bar em motores de injeção directa não automóvel. O sistema obriga à instalação de cada bomba-injector de modo a ser actuada pela árvore de cames, ou ao uso de balanceiros e hastes entre estes elementos, pois terá de haver uma bomba-injector por cada cilindro e cada terá de ser actuada por um came. Este sistema proporciona as mais elevadas pressões (> 2000 bar) pois o injector e a bomba estão no mesmo corpo. Foi neste sistema que se iniciou o controlo electrónico da injeção, tendo sido possível melhorar o arranque a frio e reduzir drasticamente emissão de fumos. As elevadas pressões que estes sistemas proporcionam melhoram a preparação da mistura (gotas mais finas), reduzindo drasticamente a produção de partículas (Figura 5).

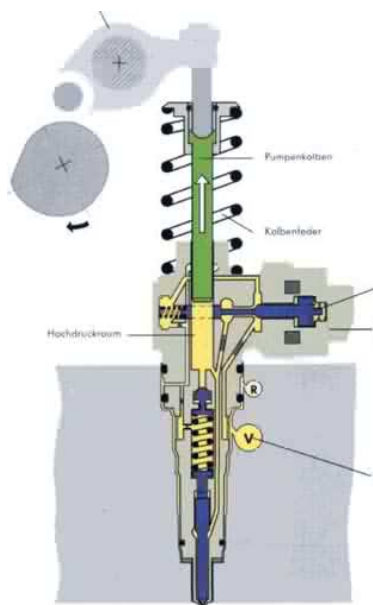


Figura 5 - Sistema de bomba-injector e seu accionamento através de veio de excêntrico. [24]

“**Common-rail**”. Neste sistema uma bomba eleva a pressão do combustível que é fornecido a todos os injectores por uma tubagem comum (daí a denominação). Assim, a pressão é contínua e independente da velocidade do motor. Cada injector possui um sofisticado controlo de abertura que lhe permite operar uma elevada quantidade de impulsos por ciclo (actualmente fala-se de injeção piloto e várias pré-injecções, injeções principais e pós-injecções em cada ciclo). Cada uma das injeções parcelares da frase anterior pode ter a curta duração de décimas de milissegundo (0,0001 s). Nos injectores controlados electronicamente as agulhas continuam a ser somente mecânicas (funcionamento por diferencial de pressão) e o controlo da injeção é feito por válvulas que abrem/fecham a passagem para a agulha. Para permitir o controlo de injeções a 0,1 ms (quantidades aproximando-se de 0,1 mm³) alguns construtores usam válvulas piezo-elétricas com esse potencial, pois permitem o dobro da velocidade de abertura que os sistemas electro-magnéticos (Figura 6).



Figura 6 - Componentes de um sistema “common rail”. [25]

2.1.5. - Injectores

Os injectores dos sistemas de bomba de injeção são totalmente mecânicos, abrindo com a pressão do combustível, que incide sobre a extremidade (bico) da agulha. Na outra extremidade da agulha existe uma mola que a mantém fechada sobre o bico do injector, com elevada pressão. Consoante as aplicações, usam-se dois tipos de agulha, a de bico saliente usada em motores de câmara auxiliar (injecção indirecta) e a de bico cónico usada em motores de injeção directa (Figura 7).

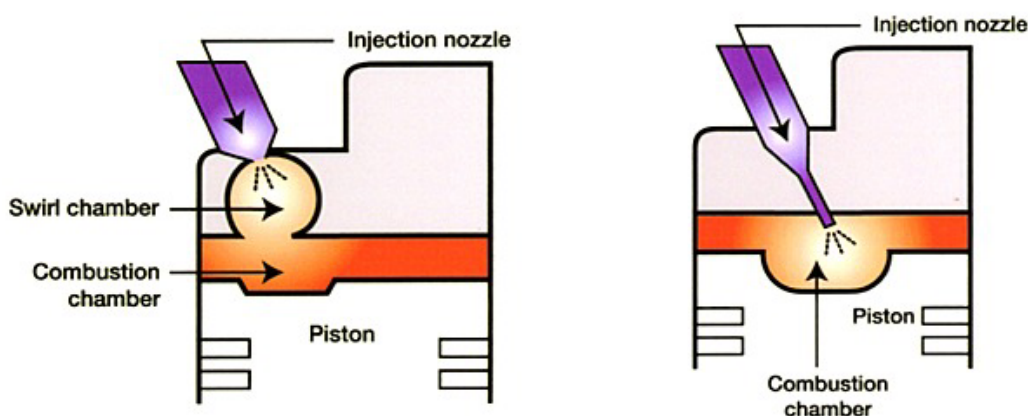


Figura 7 - Direita: Injecção directa. Esquerda: injeção indirecta [26]

A pulverização conseguida com os injectores com agulhas de bico cónico é muito superior à dos injectores de bico saliente, necessitando também de pressões muito mais elevadas para funcionarem eficazmente (Figura 8). Este tipo de injetor produz vários jactos (“sprays”) radialmente, pois deve injectar o combustível para toda a câmara de combustão. Por outro lado, os injectores de bico saliente injectam um só “spray” com menor pulverização, pois são usados em câmaras auxiliares, em que a preparação da mistura se faz pela elevada rotacionalidade do ar nessa câmara.

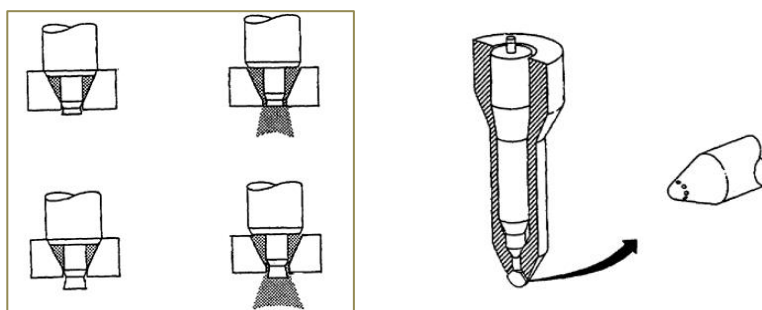


Figura 8 - Agulhas usadas em injectores. Esquerda -bico saliente. Direita - bico cónico. [27]

Nos injectores usados nos sistemas “common rail”, embora sejam mais simples exteriormente, o sistema interior de comando e de válvulas (geralmente servo-válvulas) necessário para a sua operação é extremamente complexo. Os mais recentes injectores apresentam bicos de injeção variável, ou seja, têm orifícios a duas alturas diferentes que abrem em ocasiões diferentes, por exemplo durante as pré e pós injeções e durante a injeção principal. Os primeiros orifícios a abrir são de menor diâmetro, originando “sprays” mais finos. [02]

2.1.6. - Atraso da inflamação

Quando se injecta o combustível, é necessário esperar que ele se evapore, misture com o ar circundante e reaja. Todo este processo leva um certo tempo a decorrer e por esta razão se denomina atraso. Somente depois deste lapso de tempo é que se iniciará a verdadeira combustão da mistura. Este atraso (medido em graus da cambota) decompõe-se em atraso físico (transferência de calor, vaporização das gotas e mistura) e atraso químico (reações químicas de oxidação lenta). O atraso da inflamação é bastante superior ao dos motores a gasolina, pois nestes a mistura já está preparada na altura da faísca eléctrica (ignição). [01,02]

2.1.7. - Índice de cetano

Contrariamente à gasolina, o combustível a usar no motor de ignição por compressão (Diesel) deve ser facilmente auto-inflamável, sendo esta uma das características mais importantes destes combustíveis, que se mede com o denominado índice de cetano (IC). Este índice mede o desempenho de um combustível relativamente à auto-inflamação. A lógica da sua medição é semelhante à do índice de octano, pela comparação com dois hidrocarbonetos de referência. Os valores correntes de índice de cetano situam-se abaixo do valor 50. Sabe-se que o aumento do índice de cetano implica uma diminuição do poder calorífico do combustível, pelo que não interessará aumentar o IC além de um certo valor, pois o consumo aumentaria. [02]

2.2. - Emissões gasosas em motores Diesel

A energia necessária para mover o automóvel é gerada através da queima de um combustível. A poluição produzida pelos automóveis é uma consequência do processo de combustão inerente ao uso de motores de combustão interna. Os combustíveis fósseis são uma mistura de hidrocarbonetos, compostos estes que possuem átomos de carbono. Num motor perfeito, o oxigénio presente no ar iria converter todo o hidrogénio presente no combustível em água e todo o carbono em dióxido de carbono. O azoto presente no ar não seria afectado. Na realidade o processo de combustão não é perfeito e, desta forma, os automóveis emitem vários tipos de poluentes (Figuras 9 e 10). [01,02,05]

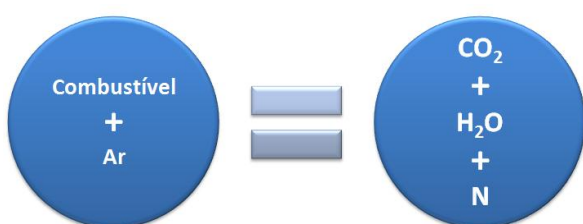


Figura 9 - Processo de combustão ideal num motor de combustão interna.

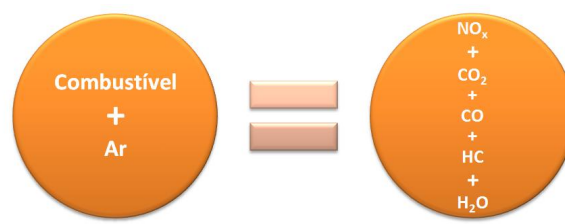


Figura 10 - Processo de combustão real num motor de combustão interna.

Desde os anos 70 que os governos a nível Mundial e a própria indústria têm dado especial atenção à redução das emissões dos veículos motorizados em geral. Além de mudanças a nível do design dos motores, foram introduzidos sistemas destinados a efectuar a recolha de vapores de hidrocarbonetos e sistemas de válvulas de recirculação de gases de escape para reduzirem os níveis de NO_x. A introdução do conversor catalítico nos anos setenta bem como a gasolina sem chumbo veio reforçar o combate às emissões gasosas (Figura 11). [01]

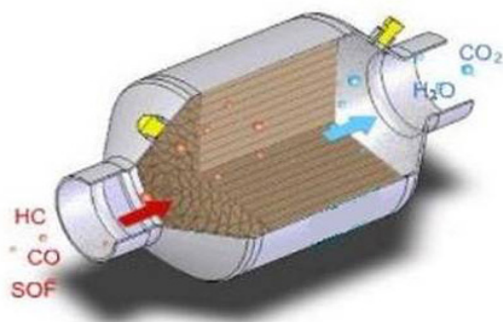


Figura 11 - Conversor catalítico em corte. [28]

Contudo, ao longo dos anos, o número de quilómetros percorridos com estes veículos aumentou drasticamente, consequentemente, apesar das reduções impostas nas emissões, o processo de redução não foi controlado devidamente. O resultado foi uma redução modesta do volume de emissões de cada veículo sendo que a única redução significativa (cerca de 95%) se deve ao chumbo que foi banido dos combustíveis fósseis no final do século passado.

Com a camada de ozono a apresentar cada vez mais preocupações a nível ambiental estima-se que os programas de redução de emissões vão reduzir ainda mais os hidrocarbonetos e óxidos de azoto permitidos.

As normas Europeias de emissões são um conjunto de requisitos que definem os níveis limite aceitáveis para as emissões de veículos novos vendidos nos países membros da União Europeia. Estas normas estão definidas num conjunto de directivas da União Europeia que visam uma introdução progressiva de normas cada vez mais rigorosas.

Actualmente, as emissões de NO_x, HC, CO e fuligem estão regulamentadas para a maior parte dos veículos, incluindo automóveis, camiões, comboios, tractores, maquinaria diversa, barcos de pequena dimensão, mas excluindo navios e aviões. Para cada categoria de veículo existem diferentes normas limite. A concordância do veículo é testada através de ciclos de testes realizados ao motor. Os veículos que ultrapassam os valores máximos normalizados não podem ser vendidos na União Europeia, mas as normas não se aplicam a veículos que já se encontrem em circulação, portanto os veículos novos têm de obedecer à norma em vigor na altura da sua introdução no mercado. [01,02,06,14,16,17]

As emissões normalizadas para veículos ligeiros de passageiros com motorização Diesel estão sumarizadas na tabela seguinte:

Tabela 1 - Normas europeias de emissão de gases para veículos ligeiros de passageiros com motorização diesel (valores em g/km). [18]

Norma	Data	CO	HC	HC + NO_x	NO_x	Partículas
Euro I	Julho, 1992	2,72	-	0,97	-	0,14
Euro II, idi	Janeiro, 1996	1,00	-	0,70	-	0,08
Euro II, Di	Janeiro, 1996	1,00	-	0,90	-	0,10
Euro III	Janeiro, 2000	0,64	-	0,56	0,50	0,05
Euro IV	Janeiro, 2005	0,50	-	0,30	0,25	0,025
Euro V	Setembro, 2009	0,50	-	0,23	0,18	0,005
Euro VI	Setembro, 2014	0,50	-	0,17	0,08	0,005

Desde o estágio EURO2, os regulamentos da UE introduziram diferentes limites de emissão para os veículos a gasolina e a diesel. Os veículos a Diesel estão sujeitos a níveis de CO mais rigorosos mas o nível de NO_x permitido é superior aos movidos a gasolina devido às diferenças entre os dois ciclos motores. [02]

Neste momento ainda não existem limites impostos pela União Europeia para a emissão de CO₂, estes limites são impostos apenas pelos fabricantes de automóveis mas no futuro deverá ser regulamentado um limite para estas emissões. Actualmente o objectivo dos fabricantes é atingir emissões de CO₂ de 140 g/km até ao final de 2008 com uma redução até às 120 g/km nos próximos cinco anos. Esta emissão de CO₂ é directamente proporcional à cilindrada dos veículos, assim sendo, a União Europeia espera que esta regulamentação favoreça a produção de automóveis mais pequenos e económicos, apesar da discórdia dos construtores de automóveis de grande cilindrada.

Seguidamente apresentem-se as principais emissões gasosas poluentes inerentes à utilização de motores operando sob o ciclo diesel.

2.2.1. - CO₂

O dióxido de carbono (CO₂) existe livre na atmosfera e é um produto da combustão. Idealmente o fenómeno de combustão deveria produzir apenas dióxido de carbono e água (H₂O). A proporção relativa destes dois depende da razão carbono/hidrogénio do combustível, cerca de 1:1,75 para o gasóleo tradicional. As emissões de CO₂ de um motor Diesel podem ser reduzidas ao reduzir o conteúdo de carbono por unidade de energia ou melhorando a eficiência de combustível do motor. A elevada eficiência do combustível nos motores Diesel confere uma vantagem ambiental em relação aos outros combustíveis fósseis como a gasolina, apesar do facto do processamento de crude em Diesel apresentar elevadas emissões de CO₂.

Apesar de ser considerada benigna, a emissão de CO₂, derivada do uso de combustíveis fósseis, tem despertado a atenção nos últimos anos. O vapor de água e o CO₂ (juntamente com outros gases) permitem que a energia solar chegue à terra, mas isolam alguma radiação térmica emitida pela terra. Este efeito de estufa torna a terra mais quente e é vital para a sobrevivência na terra. No entanto os níveis atmosféricos de CO₂ têm vindo a aumentar desde o início da Revolução Industrial, aparentemente devido ao uso intensivo e crescente de combustíveis fósseis. Ao observar as medições da temperatura média na terra existem indícios que o clima global está a ser afectado e a temperatura tem vindo a subir de uma forma constante, é o fenómeno de aquecimento global. [01,02,05,07,10]

2.2.2. - CO

O monóxido de carbono (CO) é tóxico. É um produto intermédio na combustão de combustíveis à base de hidrocarbonetos, desta forma a sua emissão resulta de uma combustão incompleta. Desta forma a emissão de CO depende directamente da razão ar/combustível em relação à proporção estequiométrica. Uma combustão rica em combustível irá produzir CO e a sua emissão aumenta quase linearmente com o desvio da razão estequiométrica.

Visto que os motores Diesel operam com misturas pobres, as emissões de CO estão normalmente abaixo dos valores limite legislados, não sendo motivo de atenção especial.

Todo o CO emitido por um motor Diesel provém de mistura incompleta: a combustão toma lugar em condições locais ricas. Um catalisador de oxidação colocado na linha de escape poderá baixar os níveis de emissão de CO e hidrocarbonetos não queimados. Este processo é melhorado com o excesso de ar nos gases de escape. [01,02,05,07,10]

2.2.3. - Hidrocarbonetos não queimados (HC)

A emissão de hidrocarbonetos não queimados (HC) consiste em combustível que não foi queimado ou apenas queimado parcialmente durante a combustão. O termo HC representa compostos orgânicos no estado gasoso, os hidrocarbonetos no estado sólido fazem parte das partículas em suspensão. Visto que a combustão, nos motores Diesel, não é homogênea, a emissão de HC resulta de problemas na mistura ar/combustível. A emissão de HC não é afectada pela razão ar/combustível. Existem dois mecanismos principais pelos quais o combustível se escapa da combustão principal: o facto de se formarem regiões mais ricas e regiões mais pobres antes da ignição e o combustível que sofre uma mistura deficiente injectado a velocidade baixa perto do final da combustão.

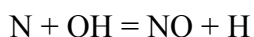
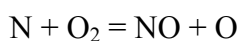
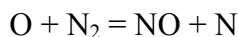
No ciclo Diesel o combustível é injectado no ar quente e comprimido durante a fase final de subida do pistão (perto do ponto morto superior). Após um curto período de atraso (durante o qual o combustível e o ar se misturam, o combustível é aquecido pelo ar e iniciam-se reacções químicas), dá-se a ignição espontânea do combustível. Apenas as misturas ar/combustível dentro de certos limites irão ser queimadas, o que implica que o combustível injectado mais recentemente que ainda está demasiado rico (defeito de ar) terá de se misturar com ar suficiente para se poder dar a sua combustão. No entanto, algum combustível injectado antes de se dar a ignição já se misturou com excesso de ar (mistura pobre) e não será queimado. Mesmo com o facto de se darem, constantemente, misturas dentro do cilindro estas não conseguem inverter o facto de algum combustível já ter excesso de ar, facto pelo qual não será queimado. O combustível injectado após a ignição não poderá ter excesso de ar pois a mistura a passar pela razão ar/combustível ideal irá queimar. Assim as misturas de combustível injectado durante o período de atraso da ignição são uma fonte significativa de combustível não queimado. Qualquer factor que aumente o atraso da ignição vai naturalmente aumentar as emissões de HC.

A segunda maior fonte de emissões de HC nos motores Diesel é a mistura deficiente injectada perto do final da combustão. À medida que a injeção de combustível ocorre, a sua taxa de mistura com o ar depende do movimento relativo dos dois. Após o final da injeção podem ocorrer injeções secundárias, ou o combustível residual na ponta do injector pode entrar na câmara de combustão. Em qualquer uma das duas hipóteses acima o combustível entra na câmara de combustão, que se encontra em fase de arrefecimento rápido, a uma velocidade relativamente baixa. Este combustível não se mistura eficientemente com o ar e algum dele deixa o cilindro sem ser queimado ou apenas queimado parcialmente. Esta fonte de HC pode ser controlada desenhando sistemas de injeção que possuam finais do ciclo rápidos e limpos (à prova de salpicos) bem como criando injectores que não possuam zonas onde criem reservas indesejáveis de combustível (por exemplo num injector tipo VCO a agulha fecha por cima dos furos, eliminando assim em grande parte este problema). [01,02,05,07,10]

2.2.4. - NO_x

Os óxidos de azoto (NO_x) podem ser divididos em dois tipos, o óxido nítrico (NO) e o dióxido de nitrogénio (NO₂), sendo o NO responsável por 70-90% das emissões de NO_x provenientes do ciclo Diesel.

O NO_x, ao contrário de outros poluentes, é um efeito colateral da combustão e não uma consequência directa desta. O azoto (N) atmosférico representa praticamente todo o azoto presente no NO_x pois os combustíveis possuem níveis de azoto desprezáveis relativamente ao ar (79%). A formação de NO dá-se através do mecanismo de *Zeldovich*:



O dióxido de azoto (NO₂) forma-se a partir do NO. A formação de NO depende da quantidade de oxigénio disponível e da temperatura. Combustíveis que queimam antes de ser atingida a pressão máxima no cilindro são problemáticos. Após queimarem a sua pressão é elevada, bem como a sua temperatura. Desta forma a fase inicial da combustão é importante para o NO_x, quase todo o NO_x é formado durante os primeiros 20 graus de rotação da cambota após o início da combustão. As técnicas de controlo de NO_x operam neste estágio do ciclo de combustão. A maioria das técnicas reduz a temperatura da combustão obtendo desvantagens na emissão de hidrocarbonetos, emissão de partículas e consumo de combustível. É portanto necessário encontrar um compromisso entre as emissões de NO_x e a emissão de partículas bem como o consumo de combustível.

Os factores que influenciam a libertação de calor vão, inevitavelmente, influenciar a formação de NO_x. A quantidade de combustível queimado durante a fase de queima da pré-mistura pode ser reduzida recorrendo a uma menor taxa de injeção durante o período inicial de injeção ou recorrendo a uma injeção piloto, na qual é usada uma injeção de combustível separada para iniciar a combustão, usando uma quantidade de combustível mínima. [01,02,05,07,10]

2.2.5. - Partículas

As partículas em suspensão são uma das emissões mais preocupantes nos motores diesel. Estas são compostas por fuligem e compostos inorgânicos (sulfatos, água e cinzas).

A fuligem forma-se no cilindro, deriva dos HC's na fase gasosa que condensam em regiões com deficiência de oxigénio. A fuligem forma-se através de reacções de pirólise, estas dão-se em condições de temperatura elevada e de mistura rica (excesso de combustível). Ajustando a relação entre a mistura combustível/ar e o aumento de temperatura é possível interferir na formação de fuligem. Uma mistura mais rápida a temperaturas mais baixas irá inevitavelmente baixar os níveis de fuligem emitidos. Após a sua formação, a fuligem mistura-se com oxigénio e é queimada se a temperatura for suficientemente alta. O pico de fuligem dentro do cilindro é consideravelmente mais elevado do que a fuligem apresentada nos gases de escape. Cerca de 90% é oxidado dentro do cilindro.

As principais estratégias de redução das fuligens num motor Diesel passam pelo aumento da taxa de mistura ar/combustível requerendo sistemas de injeção mais evoluídos, e pela optimização das câmaras de combustão. [01,02,05,07,10]

2.3. - Biocombustíveis

Segundo a directiva n.º 2003/30/CE de 08-05-2003 do Parlamento Europeu relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes entende-se por: [29]

Biocombustível, o combustível líquido ou gasoso para transportes produzido a partir de biomassa.

Biomassa, a fracção biodegradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

Os seguintes produtos são considerados biocombustíveis:

Bioetanol. Etanol produzido a partir de biomassa e/ou da fracção biodegradável de resíduos, para utilização como biocombustível;

Biodiesel. Éster metílico produzido a partir de óleos vegetais ou animais, com qualidade de combustível para motores diesel, para utilização como biocombustível;

Biogás. Gás combustível produzido a partir de biomassa e/ou da fracção biodegradável de resíduos, que pode ser purificado até à qualidade do gás natural, para utilização como biocombustível, ou gás de madeira;

Biometanol. Metanol produzido a partir de biomassa, para utilização como biocombustível;

Bioéter dimetílico. Éter dimetílico produzido a partir de biomassa, para utilização como biocombustível;

Bio-ETBE (Bioéter etil-ter-butílico). ETBE produzido a partir do Bioetanol; A percentagem volumétrica de bio-ETBE calculada como biocombustível é de 47 %;

Bio-MTBE (Bioéter etil-ter-metílico). Combustível produzido com base no Biometanol. A percentagem volumétrica de bio-MTBE calculada como biocombustível é de 36 %;

Biocombustíveis sintéticos. Hidrocarbonetos sintéticos ou misturas de hidrocarbonetos sintéticos produzidos a partir de biomassa;

Biohidrogénio. Hidrogénio produzido a partir de biomassa e/ou da fracção biodegradável de resíduos, para utilização como biocombustível;

Óleo vegetal puro produzido a partir de plantas oleaginosas. Óleo produzido por pressão, extracção ou métodos comparáveis, a partir de plantas oleaginosas, em bruto ou refinado, mas quimicamente inalterado, quando a sua utilização for compatível com o tipo de motores e os respectivos requisitos relativos a emissões.

2.4. - Biodiesel

2.4.1. - O que é o Biodiesel

O Biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis. Obtido a partir de óleos vegetais, gorduras animais ou óleos alimentares usados através de um processo de esterificação ou transesterificação. O biodiesel pode ser considerado de 1ª ou 2ª geração mediante a fonte de óleo ou gordura usada na sua produção. Se na produção de Biodiesel são usados óleos ou gorduras virgens, o produto é considerado de 1ª geração, pelo contrário, se estão a ser aproveitados os óleos e gorduras usados, derivados por exemplo de processos de fritura de alimentos, o Biodiesel é considerado de 2ª geração.

Devido ao facto das plantas produzirem naturalmente óleos ano após ano, colheita após colheita, esta fonte de combustível é considerada renovável (Figura 12). As gorduras animais são produzidas quando os animais consomem os óleos produzidos pelas plantas bem como outras gorduras, logo estas gorduras animais também podem ser consideradas renováveis. Os óleos alimentares usados são em grande parte constituídos por óleos vegetais, podendo conter também algumas gorduras animais. Estes óleos alimentares usados são portanto considerados fontes recicláveis e renováveis. [04,13,20]



Figura 12 - Flor de girassol usado na produção de Biodiesel [30]

O biodiesel pode substituir total ou parcialmente o combustível diesel derivado de petróleo nos motores que operam com ciclo Diesel (camiões, tractores, autocarros, automóveis, etc.) ou motores que operem em regimes estacionários (geradores de electricidade, calor, etc.). Pode ser usado puro ou misturado com o diesel tradicional em diversas proporções (Bx). Uma mistura de 2% de biodiesel em diesel tem a designação de B2 e assim sucessivamente, até o biodiesel puro, denominado B100.

As primeiras experiências com biodiesel datam da década de 1850, na altura da invenção do motor de compressão por Rudolf Diesel. Este motor era movido a óleo de

amendoim. No ano de 1912 Rudolf Diesel afirmou num discurso ‘o uso de óleos vegetais pode parecer insignificante hoje, mas o uso deste tipo de óleos poderá, ao longo do tempo, ser tão importante quanto o uso do petróleo e do carvão são nos dias de hoje’.[01]

Os construtores de motores Diesel alteraram o design dos motores por volta de 1920 de forma a funcionarem com as viscosidades menores do Diesel proveniente de petróleo. Quando comparado com o óleo vegetal, o diesel tinha um custo inferior e, desta forma, o uso de óleo vegetal terminou. Apesar deste facto, o biodiesel continuou a ser utilizado pela indústria agrícola um pouco por todo o mundo mas apenas durante a década de 1990 começou novamente a suscitar o interesse quando na Europa começaram a abrir unidades de transformação em alguns países com França, Alemanha, Republica Checa, Suécia e Áustria. Hoje em dia a Alemanha é o líder Europeu na produção e uso de Biodiesel.[01]

As metas indicativas nacionais para a colocação no mercado de biocombustíveis e outros combustíveis renováveis, no domínio dos transportes, são definidas pelo Governo. Na Resolução do Conselho de Ministros nº119/2004 de 31 de Julho que aprovou o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC-2004) foi publicado como meta para 2010, o valor de 5,75%. No entanto, o Governo definiu recentemente para 2010 uma meta mais ambiciosa, 10%, para a penetração dos biocombustíveis no sector dos transportes. [32].

Em Portugal durante o ano de 2006 entraram em funcionamento cinco unidades industriais (duas grandes e três pequenas) de produção de Biodiesel com capacidade de produção total de cerca de 200.000 ton/ano. Estima-se que no final de 2007 a capacidade instalada seja de 350.000 ton/ano. [32].

2.4.2. - Base da sua produção

Biodiesel é o nome atribuído a todos os combustíveis produzidos pelo processo de esterificação ou transesterificação de óleos, gorduras e ácidos gordos. Para produzir Biodiesel podemos usar vários tipos de óleos vegetais derivados de várias plantas como por exemplo o girassol, palma, colza ou a soja. O processo de produção de Biodiesel baseia-se em converter óleos e gorduras em químicos apelidados alquilésteres de ácidos gordos, biodiesel. Para que o processo de transformação ocorra são necessárias 10 partes de óleo, ou gordura, e uma parte de um álcool de cadeia curta (geralmente metanol) na presença de um catalisador (normalmente hidróxido de sódio ou potássio) para produzir 10 partes de biodiesel e uma parte de glicerina. A glicerina é um açúcar, e é um sub produto da produção de Biodiesel. A Figura 13 representa o processo de produção de Biodiesel.

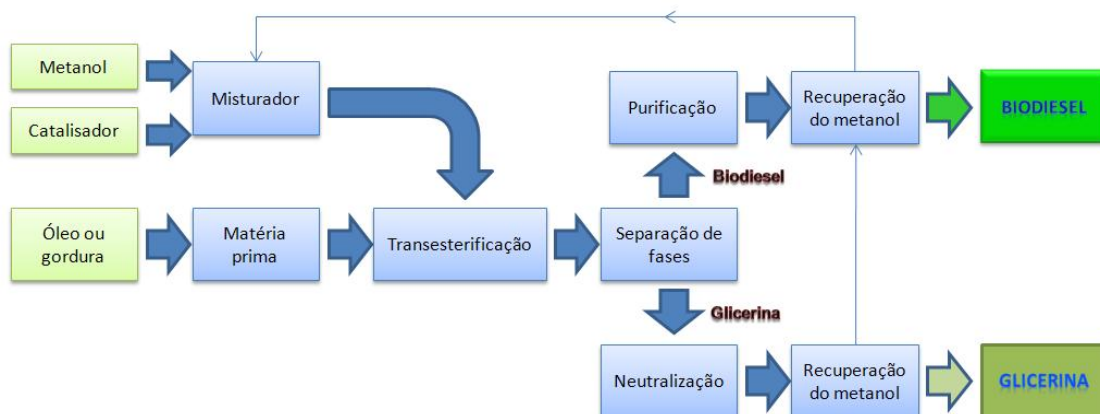


Figura 13 - Representação esquemática das fases de produção de Biodiesel

A tecnologia de produção de biodiesel pode diferir em muitos aspectos nas várias etapas do processo de produção. São três as etapas do processo de produção do biodiesel:

Pré-tratamento das matérias-primas. As matérias-primas utilizadas no processo de produção de biodiesel podem ser de diversas origens. Contudo, a maioria das matérias-primas têm de sofrer um pré-tratamento antes de serem alimentadas à etapa que envolve a sua transformação em alquilésteres de ácidos gordos. Assim, por exemplo, os óleos e gorduras podem sofrer diversos tipos de tratamento, como sejam a remoção de gomas, a desodorização, a redução dos ácidos gordos livres e o branqueamento.

A remoção de gomas é muito comum para óleos e gorduras em bruto que contêm, normalmente, grandes quantidades de fosfatídeos. O processo utilizado consiste na precipitação das gomas após adição de ácido fosfórico e injeção de vapor de água.

A desodorização permite reduzir a quantidade de cetonas e aldeídos, aclarar o produto através da destruição de carotenoides, reduzir a quantidade de pesticidas, detergentes, metais, etc. Esta operação consiste numa destilação sob vácuo (2 a 5 mmHg) a 240 – 270° C, sendo por isso dispendiosa em termos energéticos.

A redução dos ácidos gordos livres pode ser efectuada por neutralização ou por extracção por solvente. A primeira consiste em adicionar uma base (NaOH, KOH) que leva à formação do sabão que pode ser removido antes de qualquer outro tratamento subsequente. O segundo processo consiste em utilizar um solvente para remover os ácidos gordos livres ou os triglicéridos. Assim, por exemplo, o etanol permite reduzir o conteúdo de ácidos gordos livres do azeite de 20% para menos de 3%. Outro exemplo é a utilização de propano líquido que, remove unicamente os triglicéridos, sendo por isso muito eficiente na redução da cor. Por último, o branqueamento é conseguido através da adição de carvão activado conseguindo-se a remoção de metais, água, insolúveis e pigmentos, reduzindo a cor e a possível turvação dos óleos e gorduras. [06]

Transesterificação. De um modo geral chama-se transesterificação à reacção de um lípido com um álcool para produzir um éster e um subproduto, o glicerol. O processo global de transesterificação de óleos vegetais e gorduras é uma sequência de três reacções reversíveis e consecutivas, em que os monoglicéridos e os diglicéridos são os intermediários. Nesta reacção, são necessárias 3 moles de álcool por cada mole de triglicérido. Na prática, é sempre utilizado um excesso de álcool de modo a aumentar o rendimento em ésteres (deslocar a reacção para o lado dos produtos) e permitir a separação do glicerol formado. Na maioria dos casos, é utilizado um catalisador (por exemplo, NaOH, NaOCH₃ ou KOH) de forma a acelerar a reacção. É importante referir que, apenas os álcoois simples tais como o metanol, etanol, propanol, butanol e o álcool amílico, podem ser utilizados na transesterificação (Figura 14). [06]

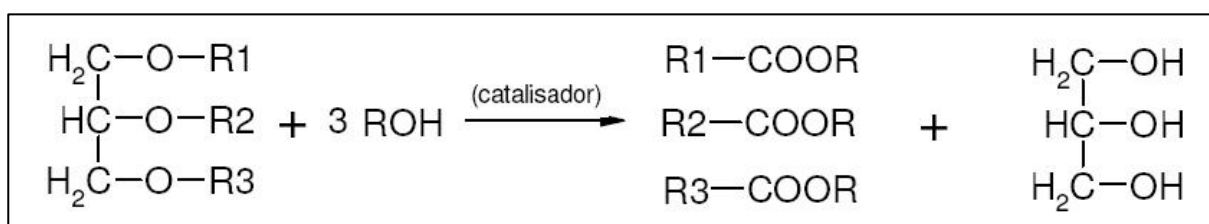


Figura 14 - Reacção de transesterificação [06]

Purificação do produto final. Dificilmente qualquer reacção química, incluindo a transesterificação, consegue ser completa e por isso os produtos da reacção pretendidos (os ésteres) encontram-se contaminados com outros compostos. Esses compostos podem ser os triglicéridos que não reagiram, metanol, catalisador, mono e diglicéridos, sabão e glicerol. Por esta razão, após a transesterificação é necessário a existência de um andar de purificação.

Pelo projecto de Norma Europeia, prEN14214, os ésteres têm de representar pelo menos 96.5% do produto final. É assim necessário utilizar um conjunto processos químicos e físicos de purificação do produto. Apesar dos processos que podem ser utilizados para efectuar a purificação serem muitos, em seguida faz-se a descrição de um dos processos mais simples e mais vulgares utilizados na purificação do biodiesel.

Como foi referido anteriormente, após a reacção existem dois produtos principais: a glicerina e os ésteres. Estes dois produtos têm densidades diferentes, pelo que a fase mais densa, a glicerina, pode ser separada por gravidade da fase menos densa, os ésteres, num decantador. Como alternativa à decantação pode ser utilizada uma centrifugação para separar estes dois compostos, sendo esta uma operação mais rápida mas bastante mais cara. A glicerina arrasta consigo a maior parte do sabão, do catalisador e do metanol.

Por último, os ésteres devem ainda ser lavados para remover vestígios de catalisador, de sabão e de glicerol livre e conjugado. O biodiesel sofre então para uma etapa de secagem antes de ser enviado para armazenagem. Em alguns sistemas, procede-se ainda à destilação do biodiesel com vista à obtenção de um produto de maior pureza. [06]

2.4.3. - Propriedades e regulamentação

As propriedades vantajosas do Biodiesel resultam do facto do deste ter propriedades físicas e químicas bastante diferentes do diesel derivado de petróleo. Cerca de 11% em peso do Biodiesel é oxigénio e este é responsável por uma combustão mais completa. O índice de cetano também é superior ao diesel, o que confere uma combustão mais suave e o motor menos ruidoso.

Por outro lado, o biodiesel possui valores mais elevados de viscosidade, densidade, módulo de “bulk” e velocidade do som (“speed of sound”) do que o diesel derivado de petróleo, o que pode causar anomalias nos sistemas de injeção e na própria combustão. Por exemplo a densidade, a viscosidade e a compressibilidade têm um efeito muito significativo nos sistemas de injeção dos motores. A quantidade de combustível, o “timing” de injeção e o padrão do spray injectado na câmara de combustão são directamente afectados por estas propriedades.

O poder calorífico do Biodiesel é cerca de 12% inferior ao Diesel e este facto provoca uma perda de potência que deverá ser compensada aumentando a quantidade de combustível injectada. De forma a realizar este aumento alguns sistemas de injeção começam o ciclo de injeção mais cedo e mantêm a injeção de combustível durante um intervalo de tempo maior, alterando o “timing” de injeção e o início do “timing” de combustão.

A propagação mais rápida das ondas de pressão causada pelo índice de velocidade do som (speed of sound) superior do Biodiesel e a rápida subida de pressão resultante do módulo de “bulk” mais elevado pode levar à alteração do “timing” de injeção, normalmente optimizado pelo fabricante para Diesel convencional, levando ao adiantamento do início da fase de combustão. Deste facto resultam temperaturas de combustão bem como pressões mais elevadas, levando à formação de óxidos de azoto (NO_x) nos gases de escape.

Uma outra razão para a alteração do “timing” de combustão é o índice de cetano mais elevado do Biodiesel. Se o índice de cetano é elevado o atraso (delay) de ignição, que é o tempo entre o início da injeção de combustível e o início da ignição, fica mais pequeno. O início da combustão virá mais cedo, o que tende a aumentar a emissão de NO_x , mas um atraso (delay) de ignição mais pequeno tende a diminuir a combustão da pré mistura, que normalmente faz diminuir a emissão destes gases. [01,05,07,08,09,14,15,19]

O Biodiesel foi standardizado pela ASTM em 1999 com a patente provisório PS121-99 e foi patenteado definitivamente, ASTM D6751, em 2002. Na Europa, a patente de Biodiesel em vigor é DIN V 51506 de 1994. [16,17]

A União Europeia lançou durante o ano de 2001 uma directiva sobre a promoção e uso de biocombustíveis entre outros combustíveis renováveis para o transporte, oficialmente 2000/30/EC, mais conhecida por directiva dos biocombustíveis. Esta directiva estipulou que todos os países pertencentes à Comunidade Europeia deveriam tomar as medidas necessárias de forma a implementar uma cota de 5,75% de biocombustíveis em todos os combustíveis fósseis (diesel e gasolina) destinados ao transporte até ao ano de 2010.

Esta directiva também estipulou uma meta intermédia de 2% até ao final do ano de 2005, sendo que a meta de 5,75% deverá ser atingida até 31 de Dezembro de 2010. [32]

Na Tabela 2 encontram-se referenciadas algumas propriedades patenteadas para o Diesel e Biodiesel

Tabela 2 - Comparação de algumas propriedades de Diesel e Biodiesel. [31]

Propriedade	Diesel	Biodiesel
Densidade a 15°C (g/cm ³)	0.82-0.86	0.86-0.9
Viscosidade a 40°C (mm ² /s)	2.0-4.5	3.5-5.0
Ponto de inflamação (°C)	>55	>101
Enxofre (% massa)	0.20	<0.01
Cinzas de enxofre (% massa)	0.01	0.02
Água (mg/kg)	200	<500
Resíduos de carbono (% peso)	0.30	<0.03
Índice de cetano	>45	>51

2.4.4. - Benefícios do seu uso

As principais vantagens, encontradas na bibliografia, durante a fase de pesquisa, para a utilização do Biodiesel como combustível substituto do Diesel convencional dividem-se essencialmente em três grupos:

Vantagens Técnicas:

- Não são necessárias modificações nos motores diesel convencionais para o seu uso, obtendo-se similares rendimentos;
- A sua utilização substituta não requer modificações na infra-estrutura de distribuição e venda de combustíveis líquidos instalada;
- Transporte e armazenamento mais seguros dado o alto ponto de inflamação “flash-point” do Biodiesel.

Vantagens ambientais:

- Alta biodegradabilidade;
- Redução das emissões de monóxido de carbono (CO);
- Redução das emissões de dióxido de enxofre (SO₂), uma vez que o biodiesel é um combustível que não contém enxofre;
- Redução das emissões de partículas;
- Não contém enxofre, logo permite o uso de catalisadores para melhorar a combustão e minimização de gases de escape.

Vantagens económicas:

- Viabiliza o auto abastecimento de combustível ao produtor agro-pecuário (em termos de micro economia);
- Confere alguma independência aos países agro produtores do abastecimento de combustíveis fósseis por parte dos países produtores de petróleo;
- Os projectos de produção em qualquer escala constituem uma fonte potencial de novos postos de trabalho.

2.4.5. - Inconvenientes do uso de biodiesel

Os principais inconvenientes, encontrados durante a fase de pesquisa, para a utilização do Biodiesel dividem-se essencialmente em dois grupos:

Inconvenientes económicos

- Alta dependência do custo das matérias-primas;
- Geração de um subproduto (glicerina) cuja purificação técnica só é viável para grandes produções;
- Custo elevado de produção do biodiesel torna-o pouco competitivo a menos que existam incentivos fiscais.

Inconvenientes técnicos

- Problema de fluidez a baixa temperatura (inferior a 0°C);
- Aumento nas emissões de óxidos de azoto (NO_x);
- Baixa estabilidade à oxidação (vida útil / período máximo de armazenamento inferior a seis meses);
- Pode causar a dissolução da pintura sendo necessário utilizar tintas resistentes;
- Pode também dissolver ou plastificar o Asfalto;
- Incompatível com uma série de polímeros e derivados naturais (eventual substituição de alguns componentes do motor: tubos, juntas, solos, diafragmas, partes de filtros e similares);
- Poder detergente superior ao gasóleo tradicional.

2.5. - Revisão de trabalhos efectuados

O uso de Biodiesel em motores de ciclo Diesel tem sido alvo de muitos testes e trabalhos de investigação. O seu processo de produção também tem suscitado muito interesse na área científica. Existem muitas publicações sobre a sua produção bem com estudos sobre o impacto ambiental da sua produção e utilização. No que respeita às emissões gasosas derivadas do seu uso existem apenas alguns estudos especialmente realizados nos Estados Unidos da América.

A Agência Governamental Americana de Protecção do Ambiente (United States Environmental Protection Agency) apresentou em Outubro de 2002 um documento sobre o impacto ambiental das emissões gasosas devido ao uso de Biodiesel. Neste documento encontram-se resumidas as variações de emissões gasosas derivadas do uso de Biodiesel em motores de camiões de longo curso. Esta variação está expressa sob a forma gráfica na Figura 15.

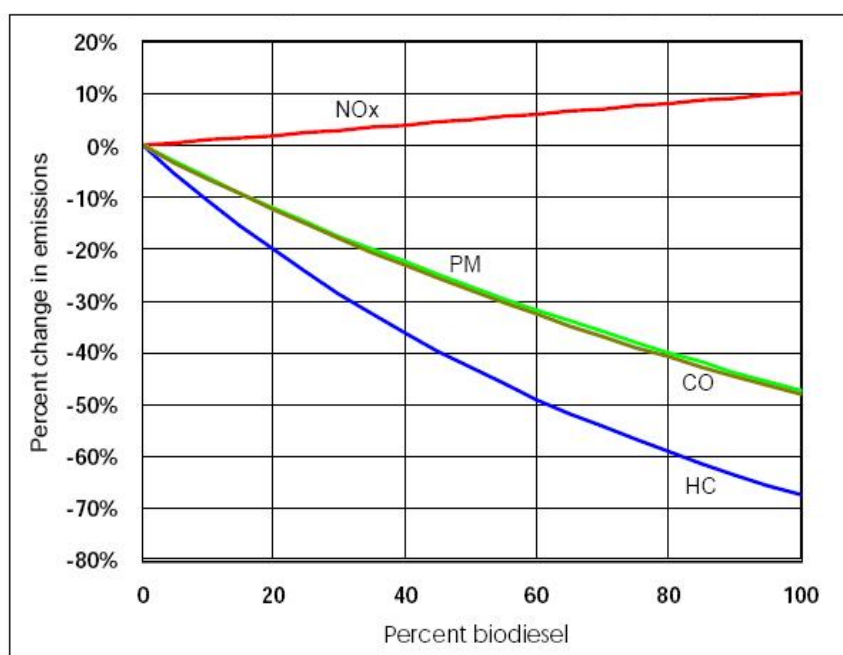


Figura 15 - Variação das emissões com o aumento da percentagem de Biodiesel [05]

De referir que nenhum dos veículos ensaiados possuía sistemas de recirculação de gases (EGR), filtros de partículas nem sistemas de adsorção de NO_x. Cerca de 98% dos veículos ensaiados estavam equipados com motorizações do ano de 1997 ou anteriores. Os autores tentaram estimar o impacto do sistema EGR nas emissões de NO_x, concluindo que a diferença relativamente aos resultados obtidos seria insignificante. De qualquer forma reconhecem a importância da realização de ensaios com motorizações de automóveis ligeiros com tecnologia mais avançada de forma a verificar a tendência encontrada nos ensaios publicados. Neste trabalho, os autores também referem a importância da caracterização do

Biodiesel ensaiado pois existem variações de algumas propriedades, devido às diferentes fontes possíveis (milho, girassol, soja, etc.), que influenciam as características da combustão bem como o funcionamento dos sistemas de injeção, afectando as emissões de forma que os resultados para cada tipo de Biodiesel poderão ser diferentes. [05]

O autor Jeffery Gail Rothermel no estudo “Investigation of transesterification reaction rates and engine exhaust emissions of biodiesel fuels” estudou as emissões dos gases de escape de um gerador movido a Diesel (a rotação constante). Realizou a medição da emissão de opacidade de fumos e de NO_x com a variação da potência gerada como mostram as figuras 16 e 17.

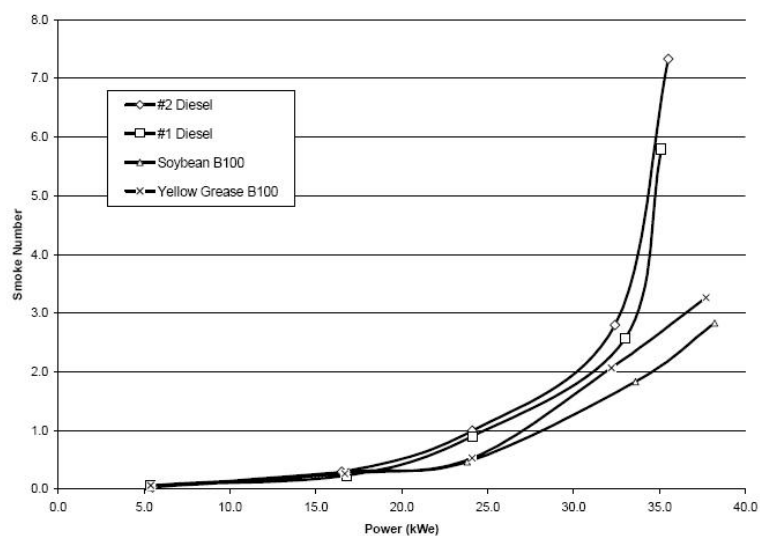


Figura 9 - Variação da emissão de opacidade fumos com a potência gerada. [08]

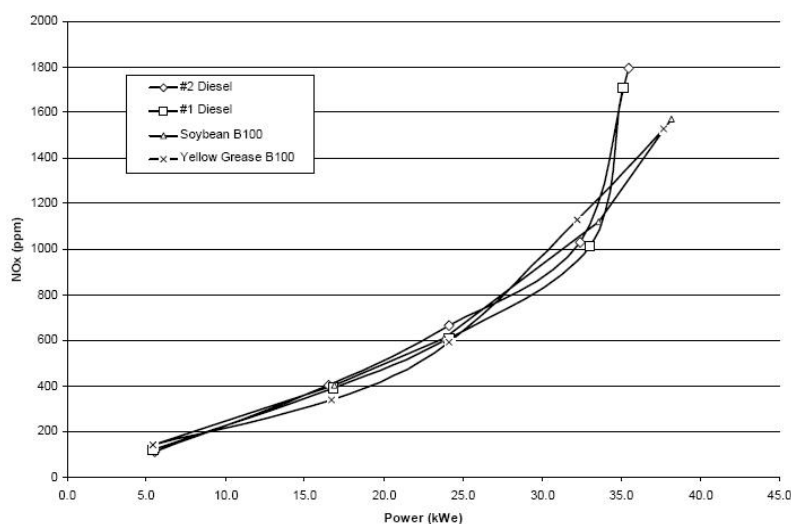


Figura 10 - Variação da emissão de NO_x com a potência gerada. [08]

O autor concluiu que a introdução de Biodiesel não aumentou a emissão de NO_x do gerador, quando comparado com Diesel. A introdução de Biodiesel reduziu

significativamente a emissão de fumos principalmente quando a carga sobre o motor aumentava. [08]

Joseph F. McDonald estudou a influência da utilização de B50 nas emissões de NO_x , CO e HC relativamente ao Diesel convencional. Este estudo foi realizado num motor GM aplicado em veículos pesados com um sistema de injeção indirecta e turbo compressor. Os resultados publicados estão ilustrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Percentagem de variação na emissão de NO_x , CO e HC. [09]

Emissão	% de variação relativa ao Diesel
NO_x	Insignificante
CO	-40%
HC	-50%

O autor concluiu que a introdução de B50 não afectou significativamente as emissões de NO_x , apesar de a sua pesquisa apontar uma propensão para o aumento da emissão deste gás. A redução de CO e HC era esperada devido às características químicas do Biodiesel. Neste trabalho também foi verificada uma redução da emissão de partículas. [09]

3. - Objectivos

Os objectivos iniciais da realização deste trabalho visam os seguintes pontos:

- **Análise das emissões gasosas de um automóvel usando diferentes percentagens de biodiesel;**
- **Análise da variação da emissão de gases com o regime do motor;**
- **Estudo da influência da percentagem de Biodiesel adicionada ao combustível nas emissões gasosas medidas.**

4. - Procedimento experimental

Nesta etapa da realização do projecto foram definidos alguns objectivos para que o trabalho bem como a montagem e alterações a efectuar no automóvel ensaiado possam servir de base para projectos futuros. Desta forma os objectivos do procedimento adoptado, tendo em vista a introdução de combustíveis alternativos como o Biodiesel no PEUGEOT 107 HDi, foram os seguintes:

- Estudo e compreensão do funcionamento do ciclo diesel;
- Estudo do automóvel testado (componentes e funcionamento);
- Estudo de uma solução física para o uso de biodiesel no automóvel a testar;
- Implementação da solução estudada para o uso de biodiesel no automóvel testado;

4.1. - O automóvel ensaiado

O automóvel escolhido para realizar este projecto foi um PEUGEOT 107 HDi. Este veículo foi entregue á FEUP, para investigação, através do protocolo recentemente realizado entre a FEUP e a Gamobar.



Figura 18 - Veículo utilizado nos ensaios realizados - Peugeot 107

Este acordo entre as duas instituições surge da necessidade de promover o reforço da cooperação técnico-científica entre as duas instituições, aproximando assim o meio universitário do meio empresarial.

4.1.1. - Dados do fabricante

Algumas das características relativas à motorização e caixa de velocidades do Peugeot 107 HDi estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características do Peugeot 107 HDi. [33]

Características	Peugeot 107 HDi
Motor	
Nº de cilindros	3
Cilindrada (cm ³)	1398
Potência máxima (kW-Rpm)	40 - 4000
Potência máxima (bhp-Rpm)	55 - 4000
Binário Máximo (Nm-Rpm)	130 - 1750
Caixa de velocidades	
1ª vel. (km/h para 1000 Rpm)	8.1
2ª vel. (km/h para 1000 Rpm)	15.01
3ª vel. (km/h para 1000 Rpm)	24.73
4ª vel. (km/h para 1000 Rpm)	34.63
5ª vel. (km/h para 1000 Rpm)	47.18
Performance	
0-400 m	19.5
0-1000 m	36.8
0-100 km/h	15.6
Velocidade máxima	154
Consumos (l/100 km)	
Urbano	5.3
Extra-urbano	3.4
Combinado	4.1
Emissão de CO ₂ (g/km)	109

A versão ensaiada encontra-se equipada com conversor catalítico e EGR (sistema de recirculação de gases de escape).

De seguida apresentam-se as curvas de potência e binário da motorização que equipa o Peugeot 107 HDi (Figura 19).

Moteur 1.4 HDi - 54 ch (DIN)
1.4 HDi engine - 54 hp (DIN)

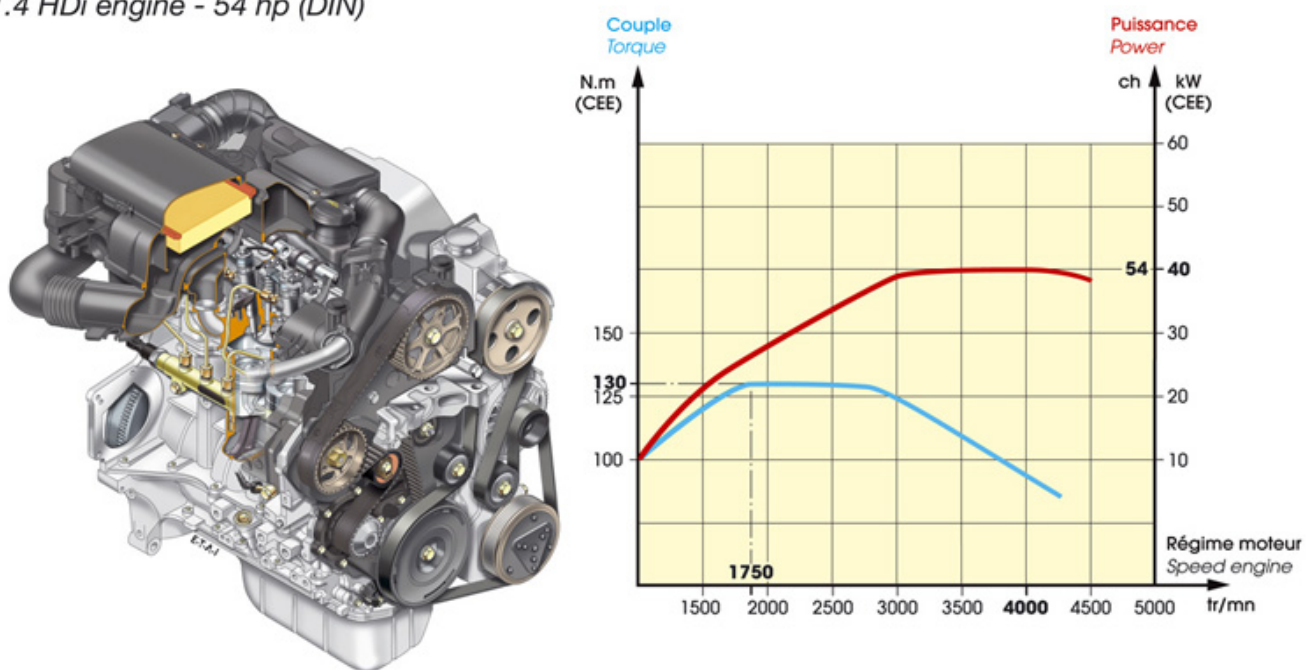


Figura 19 - Curvas de binário e potência do motor 1.4 HDi ensaiado. [34]

4.1.2. - Alterações realizadas

O veículo utilizado para realizar os ensaios encontra-se equipado com um depósito com a capacidade de 40 litros, no entanto devido ao número de testes a realizar, com diferentes tipos de biodiesel, foi necessário realizar algumas alterações. Estas alterações visam simplificar os testes, realizando a troca de combustíveis num espaço de tempo curto, bem como evitando a contaminação dos diferentes combustíveis testados. Desta forma o uso do depósito de combustível original não seria o mais conveniente visto que teria de ser retirado no final de cada ensaio para ser realizada a sua lavagem para o ensaio seguinte.

Assim, nesta etapa do trabalho, foram definidos os pressupostos para as alterações a realizar no automóvel:

- O automóvel deverá possuir um sistema de combustível secundário, independente;
- Este sistema deverá minimizar a contaminação do combustível a testar;
- Deverá permitir a fácil remoção de depósito de combustível para a sua lavagem;
- Deverá ser simples e económico;
- Deverá ser robusto e durável;

Nos automóveis movidos a gasóleo a bomba de combustível normalmente não se situa no depósito de combustível mas sim acoplada ao motor/bomba injectora. O depósito funciona com uma tomada de pressão atmosférica, uma saída de combustível e uma entrada de retorno de combustível. Assim sendo, a solução proposta visa a introdução de um segundo depósito de combustível situado na bagageira do automóvel. Devido aos requisitos de simplicidade e fácil remoção, a opção tomada foi a de realizar algumas alterações a um contentor de combustível metálico com 20 litros de capacidade (Figura 20). Assim foi introduzida uma saída para o combustível, um respiro, para garantir que no interior reina a pressão atmosférica, e um nível para visualizar a quantidade de combustível no depósito.



Figura 11 - Contentor usado como depósito de Biodiesel

Posteriormente foi introduzido um segundo depósito, idêntico ao primeiro, para servir de reservatório de retorno, visto que o retorno original introduz o excesso de combustível no depósito de série (Figura 21). Desta forma é possível colocar o retorno de combustível num reservatório separado evitando contaminação com restos de combustível que poderão estar presentes nas linhas.

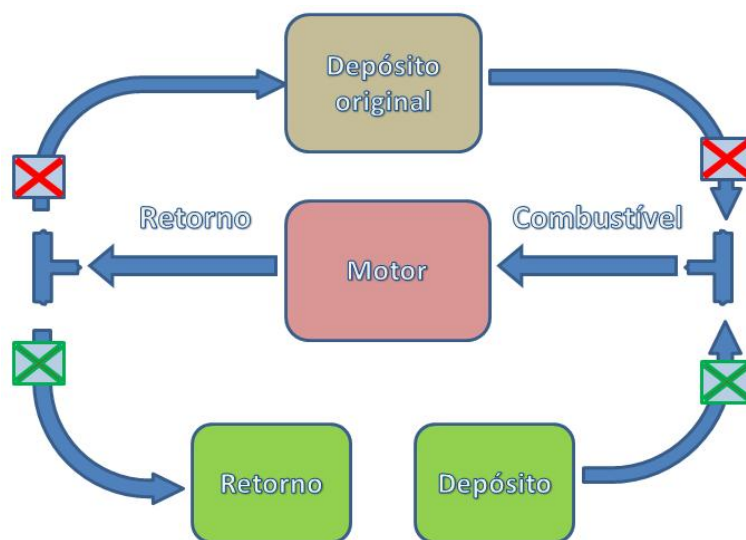


Figura 21 - Esquema das alterações introduzidas no sistema de alimentação e retorno de combustível do Peugeot 107 utilizado nos ensaios realizados

As tubagens de combustível foram estudadas recorrendo a uma listagem, fornecida pela Comissão Nacional de Biodiesel Americana, na qual estão presentes alguns tipos de materiais usados em tubagens, mais susceptíveis à perda de propriedades devido ao uso de Biodiesel (Tabela 5). Os materiais não referenciados não apresentam um risco de perda de propriedades.

Tabela 5 - Listagem de alguns materiais e sua reacção com o Biodiesel. [18]

Material	Observações
Teflon	Sem alteração de dureza nem aumento de volume
Nylon 6/6	Sem alteração de dureza nem aumento de volume
Nitrile	Redução da dureza em cerca de 20%; aumento de volume entre 17-18 %
Viton A401-C	Sem alteração de dureza nem aumento de volume
Viton GFLT	Sem alteração de dureza nem aumento de volume
Fluorosilicon	A dureza não é afectada; aumento do volume em cerca de 7%
Polyurethane	A dureza não é afectada; aumento do volume em cerca de 6%
Polypropylene	Redução da dureza em cerca de 10%; aumento de volume entre 8-15 %

Assim, as tubagens de combustível foram realizadas recorrendo a tubagens provenientes de circuitos pneumáticos devido à facilidade de montagem, disponibilidade, elevada resistência à corrosão bem como uma faixa de temperaturas de utilização bastante alargada. [35]

Desta forma as tubagens utilizadas bem como todos os ligadores, derivações e torneiras são da marca FESTO (Figura 22), um fornecedor de referência no ramo da pneumática. [36]



Figura 12 - Exemplo dos componentes utilizados na construção do circuito secundário de combustível.
[35,36]

A Figura 23 ilustra as alterações realizadas nas tubagens de combustível originais recorrendo a este tipo de componentes.

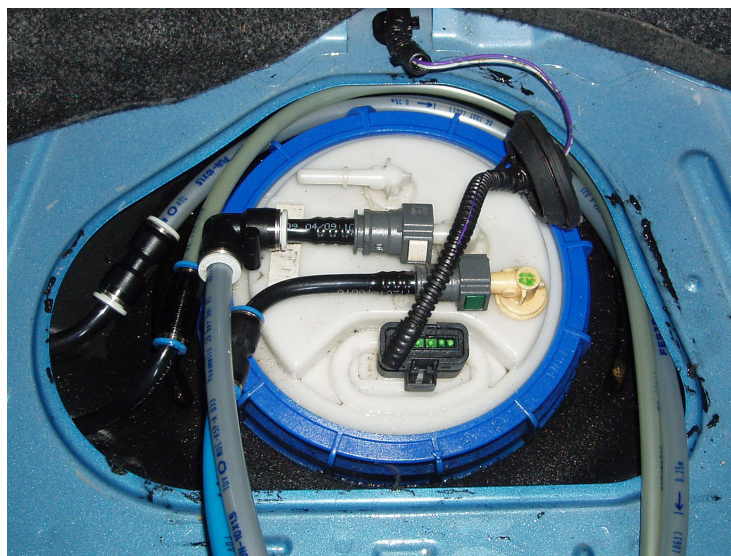


Figura 13 - Pormenor da alteração introduzida nas tubagens de combustível sobre o depósito de combustível original.

4.2. - Equipamentos de análise de gases

De forma a realizar os ensaios definidos foi necessário adquirir algum equipamento de medição. Os equipamentos usados durante os ensaios estão descritos nos pontos seguintes.

4.2.1. - Stargas 898

O Stargas 898 (Figura 24) é o primeiro analisador de gases de descarga homologado OIML (International Organization of Legal Metrology) Classe 0. A tecnologia aplicada permite-lhe estar preparado para as mudanças que prevêem vir a ser introduzidas no futuro pelas normas Europeias. Este aparelho efectua medições de:

- CO, CO₂, HC, NO_x, Lambda, RPM, Temperatura do motor;
- Leitura das rotações do motor por bateria;
- Medição das condições ambientais: temperatura, pressão atmosférica, humidade relativa;
- Teste de funcionamento da sonda Lambda (1V/5V).



Figura 14 - Equipamento de análise de gases Stargas 898.

O Stargas 898 é uma estação multi-operativa, modular, que não necessita de ser ligada a um PC. De facto, a sua unidade central, facilmente muda o teste de gases de escape de motores a gasolina, para as funções de opacímetro, autodiagnóstico, osciloscópio e base de dados técnica.

As características técnicas relevantes encontram-se especificadas na Tabela 6:

Tabela 6 - Características técnicas do analisador Stargas 898

Componente	Campo de medição	Unidades	Resolução
CO	0÷15,000	% Vol.	0,001
CO ₂	0÷20,00	% Vol.	0,01
HC	0÷30000	ppm Vol.	1
O ₂	0÷25,00	% Vol.	0,01
NO _x	0÷5000	ppm Vol.	1
Lambda	0,5÷2,000	-	0,001

As características deste equipamento estão presentes nos anexos deste relatório.

4.2.2. - O opacímetro Tecnotest 495/02

Para as medições de opacidade de gases foi necessário utilizar um dispositivo específico de medição deste tipo de emissões (Figura 25). Este aparelho opera como um módulo de complemento ao analisador de gases Stargas 898. Analisa o grau de opacidade dos gases de escape de motores Diesel. O seu funcionamento baseia-se na absorção de um feixe de luz pelos fumos emitidos pelo Diesel. Tal como o Stargas 898 é um equipamento reconhecido pela sua exactidão e fiabilidade. As características deste equipamento estão presentes nos anexos deste relatório.



Figura 15 - Opacímetro Tecnotest usado nos ensaios

4.2.3. - Tecnotest Reflex Plus 4130

Durante a fase de planeamento deste projecto não estava prevista a utilização deste equipamento. O equipamento Stargas 898 apresentou alguns problemas de calibração da sua sonda de NOx, sendo necessário o envio da respectiva sonda para o fabricante (Itália) de forma a realizar a calibragem. Esta operação inviabilizava o planeamento dos ensaios, desta forma a utilização do equipamento Reflex Plus 4130 (Figura 26), juntamente com o seu módulo de análise de gases (Figura 27) resolveu este problema, visto também ser um equipamento homologado OIML classe 0 para a medição de gases. As características deste equipamento estão presentes nos anexos deste relatório.



Figura 16 - Equipamento Tecnotest Reflex 4130



Figura 17 - Módulo de análise de gases para aplicação no equipamento Tecnotest Reflex 4130

4.3. - O Biodiesel ensaiado

O Biodiesel utilizado no presente trabalho foi elaborado nas instalações da FEUP, pelo Professor Manuel Afonso Magalhães da Fonseca Almeida, Professor associado, no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da FEUP. Este docente conta com vários anos de experiência na produção e testes de Biodiesel no Laboratório de Tratamento de Resíduos do Departamento em questão. Assim de forma a realizar os testes foram adquiridos 500 litros de óleo vegetal virgem (colza) que foram posteriormente transformados em Biodiesel pelo processo de transesterificação.

O Biodiesel produzido (cerca de 500 litros) está neste momento armazenado no Laboratório de Tratamento de Resíduos. Apesar de neste trabalho terem sido usados cerca de 40 litros deste Biodiesel, a quantidade de produção deve-se a um planeamento global de experiências que terão como base o mesmo combustível com propriedades bem definidas. Desta forma fica garantida a repetibilidade dos ensaios no futuro.

Até à realização deste relatório, não estava terminada a caracterização do Biodiesel produzido. Esta caracterização vai permitir estabelecer a sua conformidade ou não conformidade com as normas em vigor, apesar das garantias de qualidade atingidas pelo Laboratório.

5. - Ensaaios

Os ensaios necessários para a execução do presente trabalho foram realizados nas oficinas de Engenharia Mecânica. Durante várias semanas o veículo em estudo foi ensaiado com diferentes combustíveis a diferentes regimes de rotação.

Todos os ensaios foram realizados com a mesma quantidade de combustível no depósito utilizado, essa quantidade foi de 10 litros. Os ensaios visaram a introdução progressiva de biodiesel em cinco níveis no automóvel com a seguinte ordem:

1. Diesel convencional (estabelecimento de um padrão)
2. B25 (2,5 litros de biodiesel + 7,5 litros de Diesel convencional)
3. B50 (5 litros de biodiesel + 5 litros de Diesel convencional)
4. B75 (7,5 litros de biodiesel + 2,5 litros de Diesel convencional)
5. B100 (10 litros de biodiesel)

Todos os ensaios foram realizados sem carga, a sete regimes de rotação de forma a caracterizar as emissões ao longo de todo o regime de utilização do motor.

Com base nas curvas de potência e de binário fornecidas pelo fabricante do motor a testar foram definidas as seguintes rotações de leitura de gases:

- 750 Rpm (Ralenti do automóvel ensaiado)
- 1250 Rpm (Regime de subida de binário e potência)
- 2000 Rpm (Regime de binário máximo)
- 2500 Rpm (Regime de binário máximo com potência em subida)
- 3000 Rpm (Binário em queda e subida de potência)
- 3500 Rpm (Regime de potência máxima com queda de binário)
- 4000 Rpm (Regime a partir do qual ambas as curvas têm uma trajectória descendente)

Ao longo de todos os ensaios foi verificada a temperatura ambiente, pressão e humidade relativa e todas as leituras foram realizadas dentro de intervalos destas propriedades descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Variação das condições ambientais durante a realização dos ensaios.

Temperatura Ambiente	Humidade Relativa	Pressão atmosférica
15 °C - 18 °C	45 % - 55 %	101,3 KPa - 101,5 KPa

Após os primeiros ensaios ficou claro que a solução física de construção de dois depósitos no automóvel seria pouco realista. Devido ao facto do sistema de propulsão estar equipado com um sistema ‘common rail’. Neste tipo de sistemas, o caudal de combustível é constante e independente do regime de rotação a que o motor se encontra. Após o início dos ensaios rapidamente se esgotavam os 10 litros do depósito de combustível para o depósito de retorno.

O caudal de retorno medido às 750 rotações por minuto tem o valor aproximado de 49 litros/hora (Tabela 8).

Tabela 8 - Medição do caudal de retorno de combustível do veículo ensaiado.

Rpm	t (s)	Q (L)	Caudal L/h
750	74	1	48,6

Assim, a montagem inicial dos dois depósitos suplementares teve de ser alterada para uma versão de apenas um depósito (Figura 28).

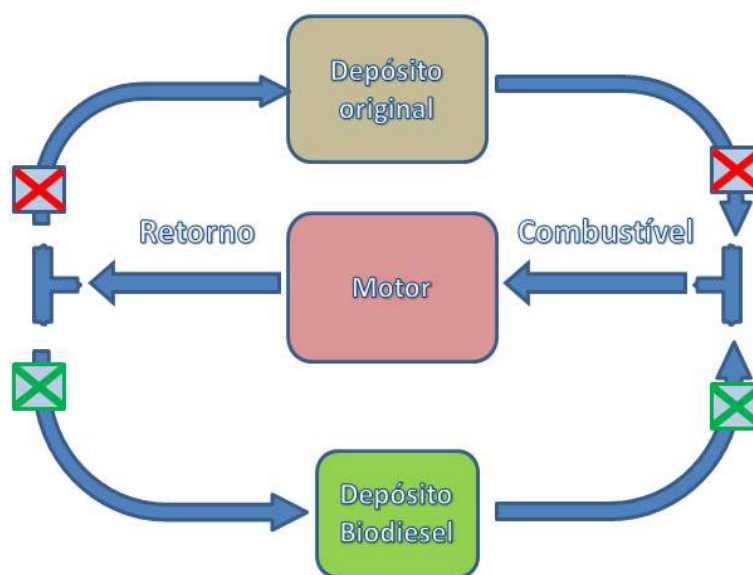


Figura 18 - Esquema das alterações finais introduzidas no sistema de alimentação e retorno de combustível do Peugeot 107 utilizado nos ensaios realizados.

Este problema inicial veio acrescentar uma variável às nossas medições que também necessitou de algum controlo, a temperatura do combustível no depósito. Devido ao facto do combustível disponível no depósito suplementar (10 litros) realizar o circuito Depósito→Motor (compressão na bomba do sistema common rail)→Depósito cerca de cinco vezes por hora, a temperatura do combustível aumenta consideravelmente. O mesmo acontece com o depósito original. Assim sendo, o combustível apenas se encontra á temperatura ambiente na fase inicial de funcionamento do motor sofrendo um gradiente de temperatura crescente até um patamar constante perto dos 55°C.

Foi necessário monitorizar esta temperatura para garantir que todos os ensaios eram realizados dentro das temperaturas de funcionamento a “quente”.

O mesmo tipo de controlo de temperatura foi aplicado ao motor do automóvel. Sabendo que este opera, em condições normais de funcionamento, entre duas temperaturas de referência, sendo a mínima regulada pelo termóstato que provoca a abertura do sistema de refrigeração aos 87°C e a máxima regulada por uma válvula que faz actuar a ventoinha de refrigeração do radiador aos 113°C (as temperaturas referem-se à temperatura do óleo do motor). Devido ao facto dos ensaios serem estáticos e nas oficinas não existir um sistema de ventilação para garantir um fluxo de ar que promova a refrigeração ideal do motor, foram retirados alguns elementos da carroçaria para facilitar os fenómenos de transferência de calor e garantir o funcionamento dentro das temperaturas previstas pelo fabricante (Figura 29).



Figura 19 - Veículo utilizado nos ensaios realizados - Peugeot 107. Pára-choques frontal e capot removidos.

6. - Resultados

Neste ponto apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados. Para cada regime do motor foram obtidas leituras para cada um dos gases a analisar. Os resultados foram organizados para cada tipo de combustível ensaiado. Os valores apresentados foram encontrados realizando a média das medições para cada emissão a uma dada rotação.

6.1. - Diesel convencional

Nas tabelas 9 e 10 estão representados os valores obtidos para o Diesel convencional.

Tabela 9 - Dados recolhidos utilizando Diesel convencional GALP no Peugeot 107 HDi

Rpm	CO (% Vol.)	CO ₂ (% Vol.)	HC (ppm Vol.)	O ₂ (% Vol.)
750	0,003	2,95	4	16,85
1250	0,004	3,16	6	16,51
2000	0,005	2,00	7	18,07
2500	0,022	2,31	8	17,63
3000	0,024	2,27	8	17,71
3500	0,020	2,47	7	17,34
4000	0,001	3,03	4	16,48

Tabela 10 - Dados recolhidos utilizando Diesel convencional GALP no Peugeot 107 HDi

Rpm	NO _x (ppm)	Opacidade (m ⁻¹)	T _{comb} (°C)
750	174	0,00	43
1250	91	0,02	45
2000	81	0,03	46
2500	64	0,03	47
3000	67	0,06	48
3500	76	0,07	48
4000	122	0,08	50

6.2. - B25

Nas tabelas 11 e 12 estão representados os valores obtidos para o B25.

Tabela 11 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 25 % (B25) no Peugeot 107 HDi

Rpm	CO (% Vol.)	CO ₂ (% Vol.)	HC (ppm Vol.)	O ₂ (% Vol.)
750	0,009	2,95	5	16,76
1250	0,006	3,10	7	16,62
2000	0,001	2,25	8	17,71
2500	0,009	2,50	9	17,46
3000	0,017	2,40	8	17,52
3500	0,014	2,54	8	17,32
4000	0,003	3,07	7	16,54

Tabela 12 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 25 % (B25) no Peugeot 107 HDi

Rpm	NO _x (ppm)	Opacidade (m ⁻¹)	T _{comb} (°C)
750	132	0,00	41
1250	57	0,00	42
2000	69	0,01	43
2500	57	0,02	44
3000	65	0,04	45
3500	77	0,06	45
4000	120	0,06	47

6.3. - B50

Nas tabelas 13 e 14 estão representados os valores obtidos para o B50.

Tabela 13 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 50 % (B50) no Peugeot 107 HDi

Rpm	CO (% Vol.)	CO ₂ (% Vol.)	HC (ppm Vol.)	O ₂ (% Vol.)
750	0,002	3,47	7	16,04
1250	0,000	3,12	6	16,49
2000	0,000	2,31	6	17,53
2500	0,001	2,52	6	17,31
3000	0,009	2,47	7	17,36
3500	0,008	2,58	7	17,21
4000	0,001	3,13	6	16,44

Tabela 14 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 50 % (B50) no Peugeot 107 HDi

Rpm	NO _x (ppm)	Opacidade (m ⁻¹)	T _{comb} (°C)
750	144	0,00	51
1250	42	0,00	50
2000	55	0,02	51
2500	57	0,02	47
3000	71	0,02	48
3500	93	0,04	49
4000	129	0,06	50

6.4. - B75

Nas tabelas 15 e 16 estão representados os valores obtidos para o B75.

Tabela 15 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 75 % (B75) no Peugeot 107 HDi

Rpm	CO (% Vol.)	CO ₂ (% Vol.)	HC (ppm Vol.)	O ₂ (% Vol.)
750	0,000	3,14	8	16,51
1250	0,000	3,50	6	16,03
2000	0,000	2,68	5	17,14
2500	0,004	2,77	6	17,02
3000	0,006	2,69	6	17,12
3500	0,006	2,64	5	17,17
4000	0,001	3,02	4	16,65

Tabela 16 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 75 % (B75) no Peugeot 107 HDi

Rpm	NO _x (ppm)	Opacidade (m ⁻¹)	T _{comb} (°C)
750	134	0,00	45
1250	32	0,00	45
2000	44	0,00	46
2500	49	0,01	46
3000	70	0,01	47
3500	102	0,03	47
4000	141	0,04	48

6.5. - B100

Nas tabelas 17 e 18 estão representados os valores obtidos para o B100.

Tabela 17 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 100 % (B100) no Peugeot 107 HDi

Rpm	CO (% Vol.)	CO ₂ (% Vol.)	HC (ppm Vol.)	O ₂ (% Vol.)
750	0,000	3,05	6	16,67
1250	0,000	3,68	6	15,90
2000	0,000	3,21	5	16,51
2500	0,000	2,95	4	16,87
3000	0,001	2,75	4	17,14
3500	0,001	2,75	5	17,11
4000	0,001	3,30	4	16,33

Tabela 18 - Dados recolhidos utilizando Biodiesel a 100 % (B100) no Peugeot 107 HDi

Rpm	NO _x (ppm)	Opacidade (m ⁻¹)	T _{comb} (°C)
750	92	0,00	49
1250	31	0,00	48
2000	36	0,01	48
2500	47	0,02	48
3000	78	0,03	48
3500	106	0,04	48
4000	146	0,04	49

7. - Discussão dos resultados obtidos

7.1. - CO

Os resultados dos ensaios realizados para a emissão de CO foram organizados numa tabela com as entradas de rotação do motor (Rpm) e nível de emissão de CO (% Vol.) (Tabela 19). Com base nestes resultados foi elaborado o gráfico representado na Figura 30.

Tabela 19 - Dados relativos às medições de CO

CO (% Vol.)					
Rpm	Diesel	B25	B50	B75	B100
750	0,003	0,009	0,002	0,000	0,000
1250	0,004	0,006	0,000	0,000	0,000
2000	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000
2500	0,022	0,009	0,001	0,004	0,000
3000	0,024	0,017	0,009	0,006	0,001
3500	0,020	0,014	0,008	0,006	0,001
4000	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001

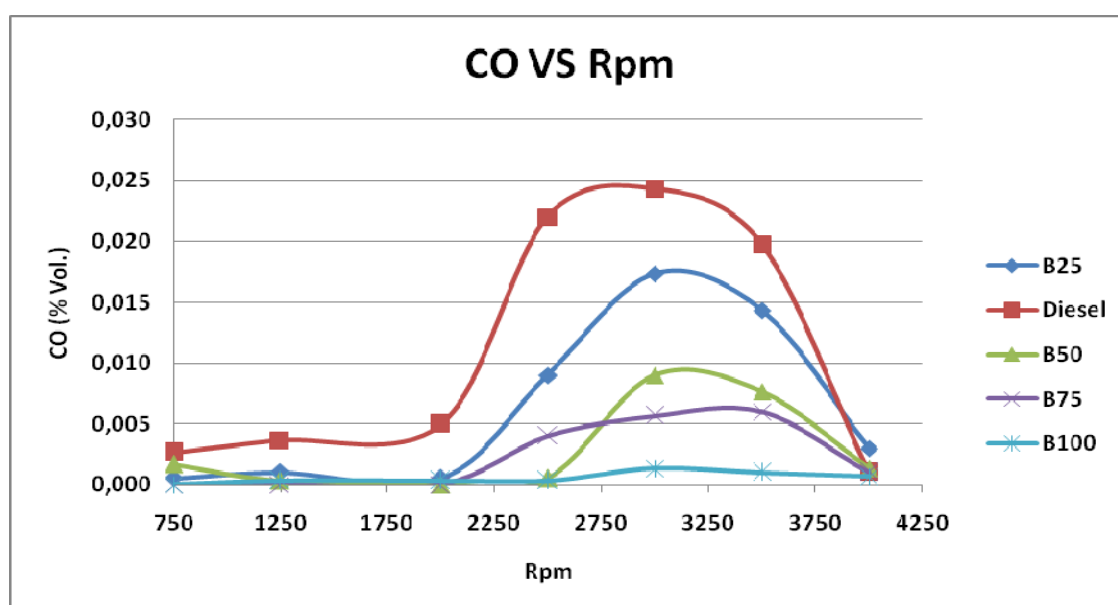


Figura 20 - Emissão de CO em função da rotação do motor para os combustíveis ensaiados.



Como se pode observar na Figura 30 a emissão de CO é constante desde as 750 rpm até cerca das 2000 rpm, rotação a partir da qual a emissão aumenta até ao seu valor máximo perto das 3000 rpm.

Acima das 3000 rpm observa-se uma diminuição da emissão de CO. Os ensaios mostram uma redução da emissão de CO com o aumento de percentagem de Biodiesel.

Estes resultados apresentam a tendência esperada para esta emissão, visto que o Biodiesel possui menos carbono que os combustíveis fósseis. Desta forma, sabendo que o monóxido de carbono é tóxico podemos afirmar que, nos testes realizados, o Biodiesel mostrou ser um combustível menos poluente do que o Diesel, no que respeita a esta emissão.

7.2. - NO_x

Os resultados dos ensaios realizados para a emissão de NO_x foram organizados numa tabela com as entradas de rotação do motor (Rpm) e nível de emissão de NO_x (ppm) (Tabela 20). Com base nos resultados obtidos realizado um gráfico que ilustra a variação desta emissão (Figura 31).

Tabela 20 - Dados relativos às medições de NO_x

NO _x (ppm)					
Rpm	Diesel	B25	B50	B75	B100
750	174	132	144	134	92
1250	91	57	42	32	31
2000	81	69	55	44	36
2500	64	57	57	49	47
3000	67	65	71	70	78
3500	76	77	93	102	106
4000	122	120	129	141	146

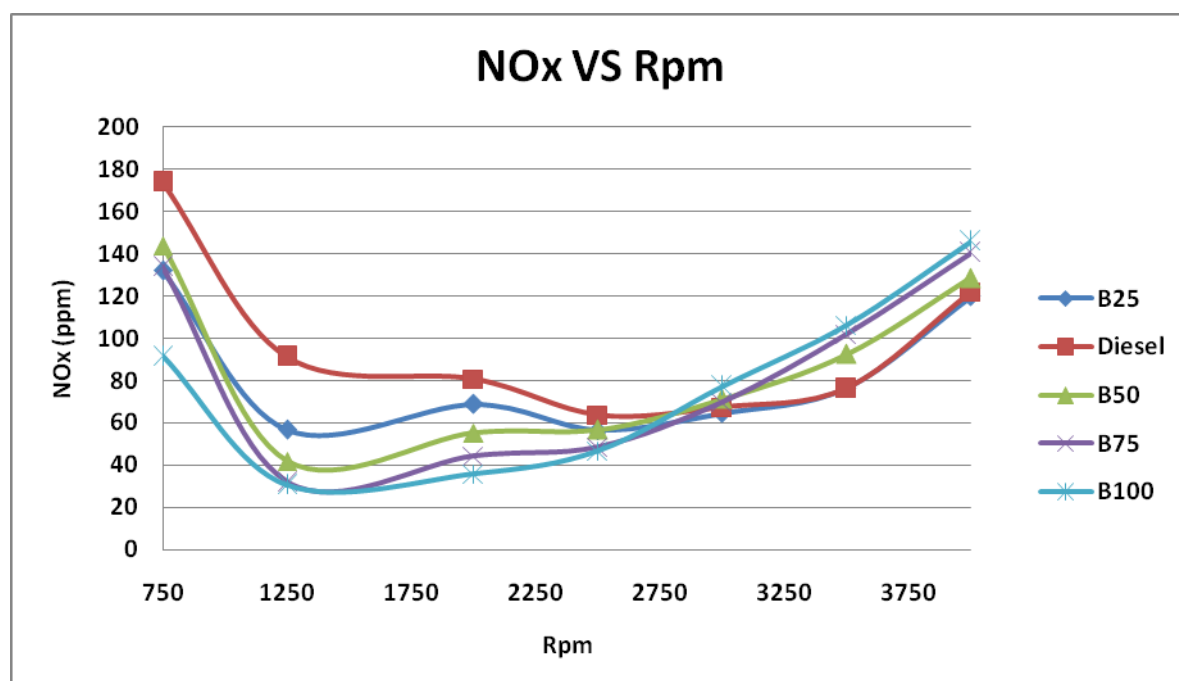


Figura 31 - Emissão de NO_x em função da rotação do motor para os combustíveis ensaiados.

A análise da Figura permite concluir que:

Até perto das 3000 rotações por minuto a emissão de NO_x é tanto mais baixa quanto maior a concentração de Biodiesel no combustível. A partir deste valor de rotação a situação inverte-se, passando o combustível com maior percentagem de Biodiesel a emitir uma concentração de NO_x superior.

As leituras de NO_x foram realizadas com o equipamento Reflex Plus da Tecnotest, este equipamento trouxe algumas dificuldades na leitura dos valores de emissão de NO_x a rotações baixas. A sua frequência de leitura é mais baixa do que a Stargas 898 bem como as tubagens da sua sonda de menores diâmetros. Estes factos aliados a uma bomba de sucção de dimensão reduzida levaram a que as leituras realizadas às 750 e 1250 Rpm trouxessem alguma dispersão nos resultados obrigando à realização de um maior número de ensaios. Na Figura 32 está representada a emissão de NO_x em função da rotação para os diversos combustíveis.

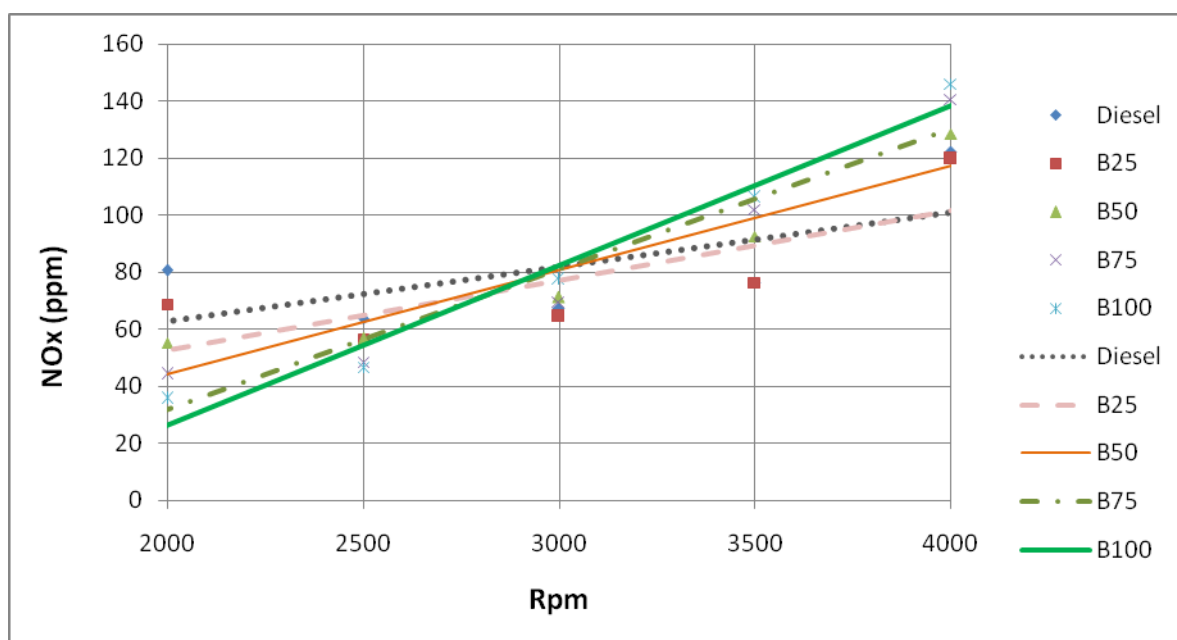


Figura 21 - Emissão de NO_x em função da rotação do motor para os combustíveis ensaiados - Aproximação linear dos pontos.

Da análise da figura podemos concluir que para as condições de ensaio existe um ponto, 3000 rpm, abaixo do qual as emissões de NO_x são tanto menores quanto maior a percentagem de Biodiesel. Para valores acima de 3000 rpm a tendência inverte-se e as emissões de NO_x são tanto mais elevadas quanto maior a percentagem de Biodiesel.

O fenómeno de produção de NO_x nos motores Diesel é um processo bastante complexo e influenciado por muitos factores, estes factores interagem entre si a diferentes níveis.

Basicamente a emissão de NO_x é função da temperatura atingida na câmara de combustão. Existem duas características principais que determinam a temperatura na câmara

de combustão, o atraso da inflamação e a preparação da mistura. Seria de esperar que o atraso da inflamação fosse afectado de forma que a combustão se desse mais perto do PMS, favorecendo o aumento da pressão, da temperatura e consequentemente a emissão de NO_x .

Por outro lado o atraso na inflamação é em grande parte afectado pelo índice de cetano do combustível. Sabendo à partida que o Biodiesel possui um índice de cetano superior ao Diesel, este facto terá sido responsável pelo encurtar do período de atraso da inflamação, reduzindo a quantidade de combustível envolvida na combustão da pré mistura, reduzindo a formação de NO_x .

O Biodiesel apresenta valores de poder calorífico inferior (PCI) inferiores ao Diesel pelo que a temperatura atingida na câmara de combustão deverá ser inferior usando Biodiesel, favorecendo a diminuição da emissão de NO_x .

Perto das 3000 Rpm a situação inverte-se pois a programação do sistema de injeção electrónica provavelmente faz variar o atraso na inflamação bem como a quantidade de combustível injectada favorecendo a formação de NO_x . Quando confrontado com o gráfico de potência (Figura 19) a emissão de NO_x coincide com o patamar de potência máxima, pelo que a subida desta emissão pode ser causada pelo aumento de pressão na admissão, induzido pelo turbocompressor, conduzindo a pressões superiores na câmara de combustão, tendo como consequência a subida das emissões deste gás. Infelizmente até a realização deste relatório não houve acesso à programação instalada no Peugeot 107 de forma a cruzar esta informação com a variação das emissões.

7.3. - CO₂

Os resultados dos ensaios realizados para a emissão de CO₂ foram organizados numa tabela com as entradas de rotação do motor (Rpm) e nível de emissão de CO₂ (% Vol.) (Tabela 21). Com base nos resultados obtidos foi realizado um gráfico que ilustra a variação desta emissão (Figura 33).

Tabela 21 - Dados relativos às medições de CO₂

CO ₂ (% Vol.)					
Rpm	Diesel	B25	B50	B75	B100
750	2,95	2,95	3,47	3,14	3,05
1250	3,16	3,10	3,12	3,50	3,68
2000	2,00	2,25	2,31	2,68	3,21
2500	2,31	2,50	2,52	2,77	2,95
3000	2,27	2,40	2,47	2,69	2,75
3500	2,47	2,54	2,58	2,64	2,75
4000	3,03	3,07	3,13	3,02	3,30

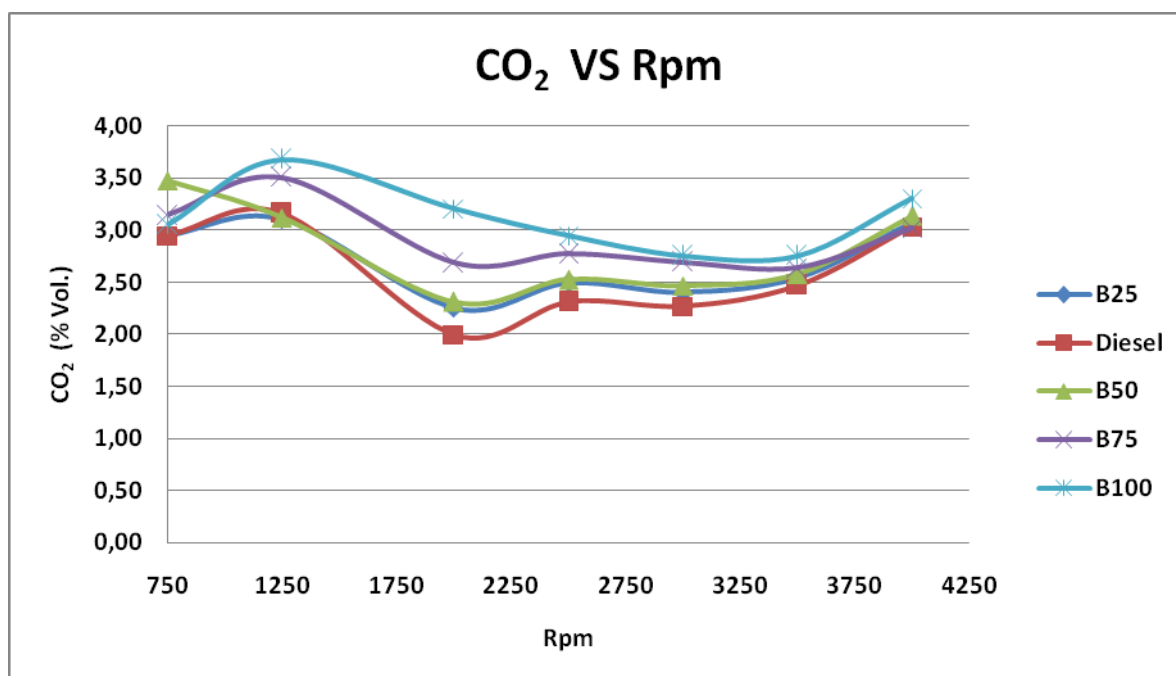


Figura 33 - Emissão de CO₂ em função da rotação do motor para os combustíveis ensaiados.

Observando a evolução dos valores de emissão de CO_2 com recurso ao gráfico traçado é perceptível que a introdução crescente de Biodiesel no combustível favoreceu a formação deste composto. Todas as curvas traçadas apresentam o mesmo comportamento à medida que a rotação do motor aumenta.

Este facto pode estar associado a uma gradual diminuição da eficiência do combustível à medida que a percentagem de Biodiesel aumenta.

Poderá também ser um indicativo de um processo de combustão mais completo, ou seja, mais perto do processo de combustão ideal.

Sabendo que o CO_2 é um dos gases responsáveis pelo efeito de estufa, o seu aumento aquando da utilização de Biodiesel é preocupante. Desta forma, apesar de este gás não ser nocivo (directamente) para a saúde nem tóxico podemos afirmar que, nos testes realizados, o Biodiesel mostrou ser um combustível mais poluente do que o Diesel, no que respeita à emissão de dióxido de carbono.

7.4. - HC

Os resultados dos ensaios realizados para a emissão de HC foram organizados numa tabela com as entradas de rotação do motor (Rpm) e nível de emissão de HC (ppm) (Tabela 22). Com base nos resultados obtidos foi realizado um gráfico que ilustra a variação desta emissão (Figura 34).

Tabela 22 - Dados relativos às medições de HC

HC (ppm Vol.)					
Rpm	Diesel	B25	B50	B75	B100
750	4	5	7	8	6
1250	6	7	6	6	6
2000	7	8	6	5	5
2500	8	9	6	6	4
3000	8	8	7	6	4
3500	7	8	7	5	5
4000	4	7	6	4	4

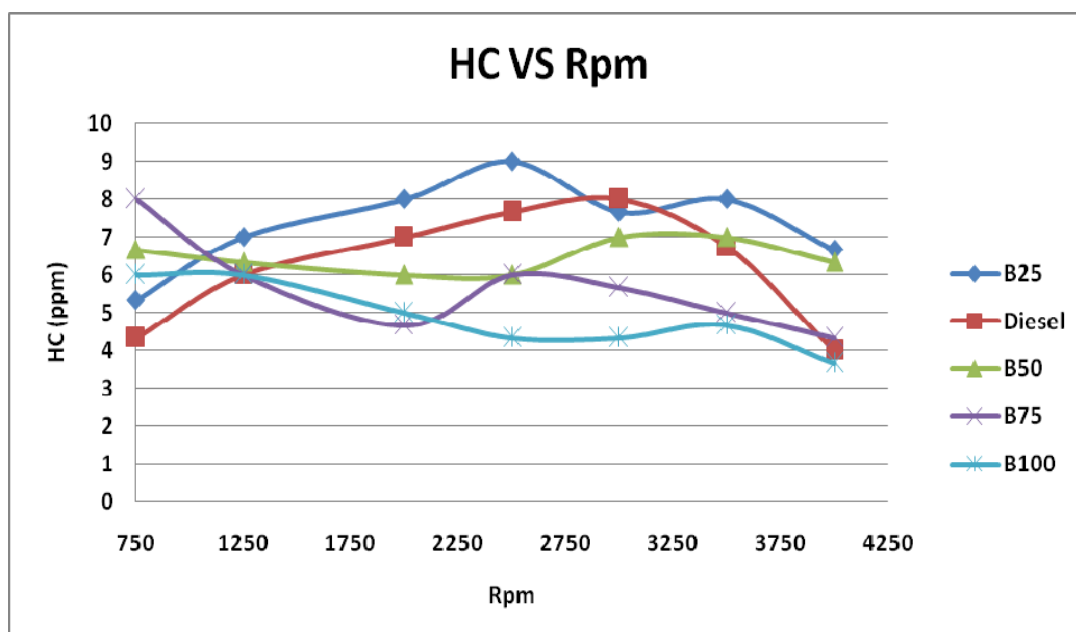


Figura 22 - Emissão de HC em função da rotação do motor para os combustíveis ensaiados.

Os resultados da emissão de hidrocarbonetos não queimados (HC) são consistentes. O gráfico indica uma tendência para a sua diminuição com o aumento da percentagem de Biodiesel apesar das medições para B25 encontrarem valores superiores ao Diesel.

O veículo encontra-se equipado com um conversor catalítico capaz de reduzir significativamente a emissão de HC.

As variações de valores encontradas durante os ensaios são bastante baixas, pelo que podemos afirmar que a introdução de Biodiesel, na pior das hipóteses, manteve constante a emissão de HC.

7.5. - O₂

Os resultados dos ensaios realizados para a emissão de O₂ foram organizados numa tabela com as entradas de rotação do motor (Rpm) e nível de emissão de O₂ (% Vol.) (Tabela 23). Com base nos resultados obtidos foi realizado um gráfico que ilustra a variação desta emissão (Figura 35).

Tabela 23 - Dados relativos às medições de O₂

O ₂ (% Vol.)					
Rpm	Diesel	B25	B50	B75	B100
750	16,85	16,76	16,04	16,51	16,67
1250	16,51	16,62	16,49	16,03	15,90
2000	18,07	17,71	17,53	17,14	16,51
2500	17,63	17,46	17,31	17,02	16,87
3000	17,71	17,52	17,36	17,12	17,14
3500	17,34	17,32	17,21	17,17	17,11
4000	16,48	16,54	16,44	16,65	16,33

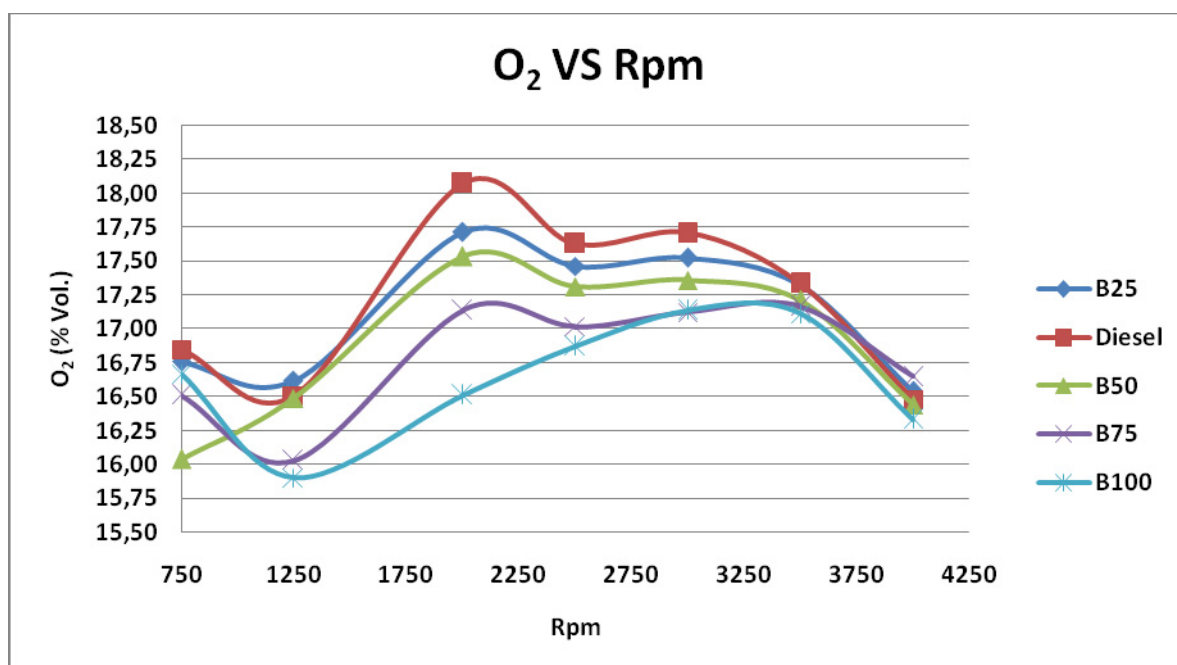


Figura 23 - Percentagem de O₂ nos gases de escape em função da rotação do motor para os combustíveis ensaiados.

Da análise do gráfico é perceptível que a percentagem de O_2 sofre uma redução com o aumento da quantidade de Biodiesel no combustível.

Por defeito o motor Diesel opera com excesso de ar, logo excesso de oxigénio. A diminuição indica que o processo de queima do combustível terá sido mais eficiente, usando uma quantidade maior de O_2 , conduzindo a valores de emissão inferiores.

Esta variação pode também ser devida ao facto dos combustíveis introduzidos serem gradualmente diferentes, sabendo que combustíveis diferentes necessitam de diferentes quantidades de oxigénio para se realizar a sua queima, significando que quanto maior a percentagem de Biodiesel, maior a quantidade de O_2 necessária para a combustão.

7.6. - Opacidade dos fumos

Os resultados dos ensaios realizados para a opacidade da emissão foram organizados numa tabela com as entradas de rotação do motor (Rpm) e nível de emissão de opacidade dos fumos (m^{-1}) (Tabela 24). A partir da análise desta tabela foi realizado um gráfico ilustrativo a variação desta emissão (Figura 36).

Tabela 24 - Dados relativos às medições de opacidade

Opacidade (m^{-1})					
Rpm	Diesel	B25	B50	B75	B100
750	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1250	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
2000	0,03	0,01	0,02	0,00	0,01
2500	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02
3000	0,06	0,04	0,02	0,01	0,03
3500	0,07	0,06	0,04	0,03	0,04
4000	0,08	0,06	0,06	0,04	0,04

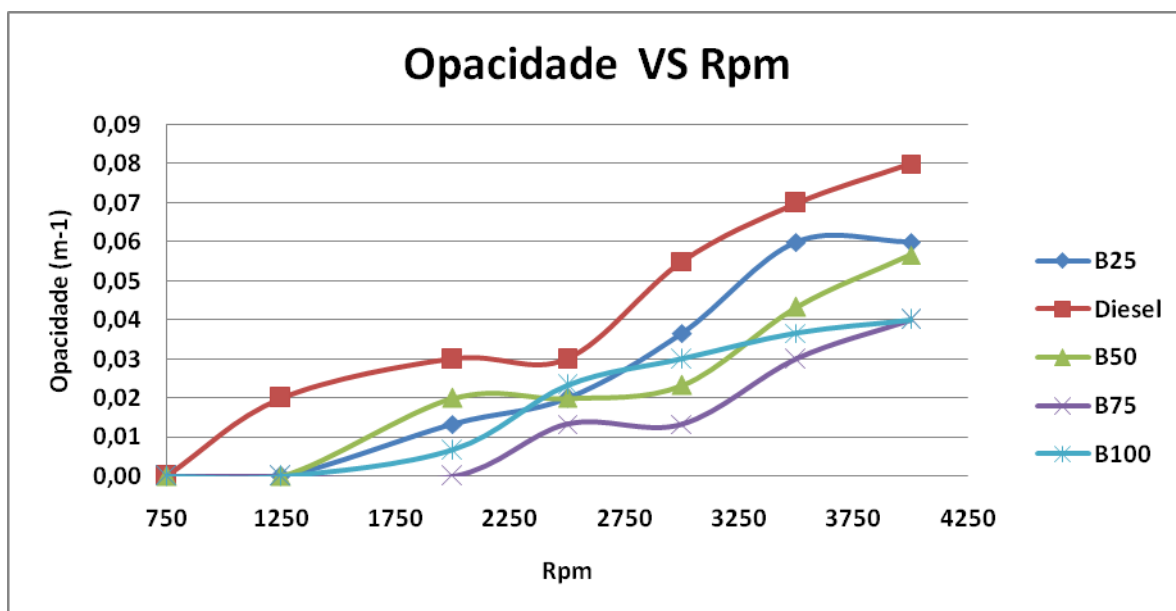


Figura 24 - Opacidade dos fumos em função da rotação do motor para os combustíveis ensaiados.

Da análise dos gráficos traçados podemos perceber que existe uma tendência decrescente na emissão de partículas, para valores de rotação constante, à medida que se aumenta a percentagem de Biodiesel no combustível. Esta diminuição está de acordo com a bibliografia consultada. Além das medições presentes na Tabela 24, à medida que os ensaios decorreram foram realizadas medições dos picos máximos de emissão de opacidade em alguns ensaios. Apesar de nem todos os valores terem sido registados estas medições indicam que o aumento de Biodiesel se traduz numa diminuição significativa desta emissão.

Esta diminuição pode ser atribuída a uma diminuição da temperatura dentro da câmara de combustão.

Em relação à opacidade dos gases podemos afirmar que o uso de Biodiesel induz uma diminuição da sua emissão. Desta forma o Biodiesel mostrou, em termos ambientais, ser um combustível mais limpo que o Diesel convencional.

8. - Conclusão

Após a finalização deste trabalho o veículo ensaiado encontra-se preparado para receber outros combustíveis mantendo o seu depósito original.

Foram adquiridos meios físicos suficientes, bem como “know how” no que diz respeito à medição de emissões gasosas para realizar este tipo de ensaios na FEUP.

Da análise de todos os testes realizados com o Biodiesel no Peugeot 107 HDi, podemos concluir que o uso de Biodiesel puro (B100), bem como o uso de fracções de Biodiesel diluídas em Diesel convencional, num automóvel sem qualquer tipo de alteração, trazem variações significativas nas emissões gasosas produzidas por este automóvel.

O uso de Biodiesel provoca uma melhoria considerável nas emissões de opacidade de fumos, hidrocarbonetos e monóxido de carbono do automóvel. Aquando da introdução crescente de Biodiesel, a análise de gases mostrou uma diminuição destes gases proporcional à quantidade de Biodiesel introduzida.

As emissões de NO_x são menores quanto maior a quantidade de Biodiesel presente no combustível, mas esta diminuição apenas se regista até um patamar de rotação (3000 Rpm), a partir do qual, a emissão de NO_x dos combustíveis possuindo mais Biodiesel é superior à emissão do mesmo poluente recorrendo ao Diesel convencional. Estes dados contrariam, até certo ponto, os dados encontrados na bibliografia consultada. Este facto poderá estar associado às diferenças tecnológicas dos veículos utilizados nos diferentes trabalhos.

É frequente encontrar, nas mais variadas fontes, indicações sobre o aumento de NO_x com a introdução de Biodiesel, tais autores baseiam-se em trabalhos realizados com veículos desactualizados para o padrão actual de tecnologia. Este trabalho mostra que mais investigação a este nível poderá inverter esta tendência bem como a opinião generalizada do aumento desta emissão.

Como conclusão podemos referir que o uso de Biodiesel no Peugeot 107 HDi parece ter trazido mais vantagens do que era esperado. Assim, o Biodiesel, aliado à mais recente tecnologia, presente no automóvel ensaiado, mostraram que este biocombustível é uma boa opção para a redução de emissões poluentes.

9. - Proposta de trabalhos futuros

Durante a realização deste trabalho foram surgindo questões que infelizmente não puderam ser respondidas, quer por falta de tempo para realizar mais medições e testes, quer por falta de meios de medição na FEUP. Assim gostaria de propor neste capítulo alguns trabalhos futuros que podem complementar este trabalho bem como “validar” os resultados obtidos.

Devido a problemas com a sonda de NO_x do equipamento Stargas 898 foi necessário recorrer a outro equipamento (Reflex Plus) para a medição deste gás. Assim seria importante realizar a medição desta emissão, às rotações mais baixas, com o equipamento Stargas devido às dificuldades sentidas, neste regime de rotação, medindo com o Reflex Plus.

Todas as análises de gases foram realizadas com o motor operando sem carga. Assim seria interessante comparar os resultados do presente relatório com medições da emissão de gases com o veículo em carga (com diferentes cargas) e analisar as diferenças para as medições realizadas sem carga.

À medida que a percentagem de Biodiesel aumentou foi notada uma diminuição da potência disponível. Seria do maior interesse realizar medições de potência e binário com a introdução rampeada de Biodiesel. As diferenças são evidentes quando conduzimos o automóvel, desta forma um banco de potência de rolos poderá ser suficiente para comprovar as diferenças.

Quando o automóvel funcionou com B100, pareceu mais silencioso. O nível de vibrações parece baixar com o Biodiesel. Uma medição interessante para complementar a caracterização do motor funcionando a Biodiesel será fazer um registo dos níveis de ruído produzido durante o funcionamento.

Foi sentida alguma irritação nasal e ocular aquando do uso de B100. Os gases expelidos pelo escape deveriam ser analisados de forma a determinar que produtos poderão estar na causa destes efeitos aparentemente alérgicos.

Convém referir que grande parte dos dados disponíveis sobre as emissões gasosas, derivadas ao uso de Biodiesel, referem-se a veículos de tecnologia ultrapassada. Todos os testes e análises deveriam ser realizados noutros veículos, aumentando a população de automóveis com tecnologia recente testados, de forma a criar uma boa base de dados.

10. - Referências

- [01] Bernard Challen, Rodica Baranescu (2003). *Diesel Engine Reference Book, second edition*. Elsevier.
- [02] Martins, Jorge (2006). *Motores de Combustão Interna, 2ª edição*. Publindústria.
- [03] www.biodieselbr.com/i/destaques/analise/reserva-mundial.jpg, consultado em 03/01/2008
- [04] Tyson, K. Shaine (2004). *Biodiesel Handling and Use Guidelines, second edition*. U.S. Department of Energy.
- [05] (2002). *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*, United States Environmental Protection Agency.
- [06] Felizardo, Pedro (2003). *Produção de Biodiesel a Partir de Óleos Usados de Fritura*. Instituto Superior Técnico
- [07] Tat, Mustafa Ertunc (2003). *Investigation of oxides of nitrogen emissions from biodiesel-fueled engines*. Iowa State University
- [08] Rothermel, Jeffery Gail (2003). *Investigation of transesterification reaction rates and engine exhaust emissions of biodiesel fuels*. Iowa State University
- [09] McDonald, Joseph F. (1997). *Evaluation of a Yellow Grease Methyl Ester and Petroleum Diesel Fuel Blend*. University of Minnesota Center for Diesel Research
- [10] W.G.Wang , D. W. Lyons, N. N. Clark , M. Gauta. *Emissions from Nine Heavy Trucks Fueled by Diesel and Biodiesel Blend without Engine Modification* . Environ. Sci. Technol.
- [11] Ryan, David (2004). *Biodiesel - A Primer*. National Sustainable Agriculture Information Service
- [12] Sheehan, John. Camobreco, Vince. Duffield, James. Graboski, Michael. Shapouri, Housein. *Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus*. U.S. Department of Agriculture.
- [13] Tyson, K. Shaine (2006). *Biodiesel Handling and Use Guidelines, third edition*. U.S. Department of Energy.
- [14] (2003). *Technical statement on the use of Biodiesel fuel in compression ignition engines*. Engine Manufacturers Association.
- [15] Schumacher, Leon G. (1996). *Fueling Direct Injected Diesel Engines With 100% Neat Biodiesel*. National Biodiesel Board.

- [16] Prankl, Heinrich. Wörgetter, Manfred (1997). *Standardisation of Biodiesel*. Federal Institute of Agricultural Engineering.
- [17] J. Connemann. J.Fischer (1998). *Biodiesel in Europe*. International Liquid Biofuels Congress.
- [18] E. Frame. R.L. McCormick (2005). *Elastomer Compatibility Testing of Renewable Diesel Fuels*. National Renewable Energy Laboratory.
- [19] C.R. Krishna (2001). *Biodiesel Blends in Space Heating Equipment*. National Renewable Energy Laboratory
- [20] Methanol Institute. International Fuel Quality Center (2006). *A Biodiesel Primer: Market & Public Policy Developments, Quality, Standards & Handling*.
- [21] <http://www.staroilco.net/Biofield.jpg>, consultado em 05/01/2008
- [22] http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/segunda_lei/motor6.gif, consultado em 12/01/2008
- [23] (1989). *FIAT UNO, Manual de assistência técnica*. Fiat Auto
- [24] http://www.bhpplus.co.uk/skin1/images/pd_fuellung1.jpg, consultado em 12/01/2008
- [25] http://delphi.com/images/ppd/pwrtrn/dsl_multec_spherical2.jpg, consultado em 12/01/2008
- [26] <http://www.jnlautomobile.com/isuzu-d-max/overview/isuzu-d-max/overview/images/Direct%20Injection.jpg>, consultado em 12/01/2008
- [27] <http://www.sweethaven02.com/MechTech/EngMech/od162070046.gif>, consultado em 12/01/2008
- [28] <http://www.clubedodiesel.com.br/?cat=4&paged=2>, consultado em 13/01/2008
- [29] - Directiva n.º 2003/30/CE de 08-05-2003
- [30] <http://protium.us/projects/biodiesel.jpg>, consultado em 20/01/2008
- [31] <http://www.biodieselfillingstations.co.uk/approvals.htm>, consultado em 21/01/2008
- [32] (2007). *4º Relatório nacional relativo à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes em Portugal - Directiva 2003/30/CE*. Direcção Geral de Energia e Geologia.
- [33] http://www.citroen.com/CWW/en-US/RANGE/PrivateCars/C1/default/C1_Motorisation.htm, consultado em 16/10/2007



[34] <http://www.citroen.com/NR/rdonlyres/6B103506-96B7-4E06-85DF-85974F96AD7F/60075/HDi75.jpg>, consultado em 16/10/2007

[35] https://xdki.festo.com/xdki/data/doc_ptbr/PDF/PT/TUBES_PT.PDF, consultado em 27/12/2007

[36] https://xdki.festo.com/xdki/data/doc_ptbr/PDF/PT/QS_PT.PDF, consultado em 27/12/2007



11. - Anexos



11.1. - Tecnotest Stargas 898

STARGAS
GLOBAL DIAGNOSTIC SYSTEM
898



tecnotest
TEST & MEASUREMENT SPX Corporation

SPX Corporation



Stargas is the first example of analyzer which works both as measuring unit and as multi-operative station without being connected to a PC. As a matter of fact its central unit easily switches from the exhaust gas test to the autodiagnosis oscilloscope functions and technical database.

- The instrument is equipped with a 256-color display unit. The program graphics can be further exalted by the connection with any monitor or TV Color.
- Stargas can also be remotely controlled through an alphanumeric keyboard with infrared rays remote control.

Stargas ist das erste Beispiel eines Analysator, der sowohl als Messungseinheit als auch als Mehrzweckzentrum funktioniert, ohne an einen PC angeschlossen zu werden. Seine Zentraleinheit geht in der Tat bequem vom Abgastest oder den Funktionen der Autodiagnose und Oszilloskop zur Verwaltung der peripherischen Messeinheiten (wie zum Beispiel die Rauchanalysenzelle) über.

- Die Gerätschaft verfügt über einen Display mit 256 Farben. Die Programmgrafik kann durch den Anschluss an irgendeinen Farbmonitor oder -fernseher hervorgehoben werden.
- Stargas kann, über eine alphanumerische Tastatur (auf Anfrage erhältlich) mit eingebauter Infrarotfernbedienung, auch über Entfernung gesteuert werden.

Stargas est un instrument « évolutif » : il peut élargir ses fonctions par l'application de nouveaux logiciels ou de mises à jour pouvant s'avérer nécessaires à l'avenir.

- L'instrument est équipé d'un afficheur LCD 256 couleurs. Le graphisme du programme peut être optimisé grâce à la possibilité de connecter tous types d'écran PC ou vidéo couleur TV.
- Le Stargas peut être également piloté à distance, grâce à un clavier alphanumérique à communication infrarouge.



GAS ANALYZER

Gasoline engines exhaust gas analysis

Stargas 898 is the first exhaust gas analyzer being OIML Class 0 type approved. The applied technology makes it already fit for the possible future changes that could be introduced by the European regulation.

Stargas can carry out the following measurements:

- CO, CO₂, HC, O₂, NO_x (optional), Lambda, RPM, Engine Temperature;
- Integrated RPM measuring from the battery;
- Environmental condition measurement: temperature, atmospheric pressure, relative humidity, Lambda Test (1V/5V)



Abgasanalyse für Benzinmotoren

Stargas 898 ist der erste Abgasanalysator mit der Zulassung OIML Klasse 0.

Durch seine eingesetzte Technologie steht er schon für Änderungen bereit, die in Zukunft von der europäischen Bestimmung eingeführt werden könnten.

Stargas führt folgende Messungen aus:

- CO, CO₂, HC, O₂, NO_x (freigestellt), Lambda, RPM, Motortemperatur;
- Erhebung Umdrehungen/Motor durch integrierte Batterie;
- Messung der Umgebungsbedingungen: Temperatur, Luftdruck, relative Feuchtigkeit.
- Lambdasonde Test (1V/5V).



Analyseur de gaz d'échappement de moteurs à essence

Stargas 898 est un analyseur de gaz d'échappement homologué OILM Classe 0 correspondant actuellement à la catégorie la plus Précise en matière de mesure anti-pollution.

La technologie utilisée permet certaines possibilités d'évolution en fonction des normes européennes à venir.

Le Stargas mesure :

- CO, CO₂, HC, O₂, NO_x (en option), Lambda, tr/mn, température moteur ;
- Mesure du régime moteur par signal basse tension ;
- Mesure des conditions ambiantes : température, pression atmosphérique, degré hygrométrique, lambda sonde test

Homologation

- OIML classe 0 • DM 628/96 MCTC-NET • AU-OBd (Germany) • MOT (United Kingdom)
- PCT-Gosstandart of Russia • BRML (Romania) • France • Poland • Austria

898 LIGHT



GLOBAL DIAGNOSTIC SYSTEM

CENTRAL UNIT 898 TECHNICAL FEATURES

Supply options
Mains 90 ÷ 270 V, 50 ÷ 60 Hz
Battery 10 ÷ 16 Volt

Maximum consumption
70W

Display (LCD color graphic)
Res. 320x240

Slot memory card
Pc card standard

Printer thermal bicolour
24 columns

Serial ports
- Com 1 – Com 2
- Smokemeter
- RS 232 / PC
- RS485

Printer port parallel for connection
80 columns printer

Video plug VGA or TV color
PAL-NTSC system

Measurement of Test Environment Parameters (automatically):
- Ambient temperature (°C)
- Ambient pressure (hPa)
- Ambient relative humidity (%)

Working temperature
+5 °C ÷ +40 °C

Size
400x180x450 mm

Weight
8,6 kg (approx)

TECHNISCHE DATEN STARGAS 898 ZENTRALEINHEIT

Speisung
Speisungsmöglichkeiten 90 ÷ 270 V, 50 ÷ 60Hz
Batterie 10 ÷ 16 V

Max. Verbrauch
70Watt

Visualisierer (LCD color graphisch)
320x240

Slot memory card
PCMCIA

Drucker
24 Kolonnen

Serielle Anschluss
- Com 1 – Com 2
- Smokemeter
- RS 232 / PC
- RS485

Druckeranschluss
80 Kolonnen standard

Bildschirmstecker
System PAL – NTSC

Messung der Testumgebungsparameter (automatisch werden gemessen):
- Umgebungsdruck (Kpa)
- Umgebungstemperatur (°C)
- Relative Umgebungsfeuchtigkeit (%)

Betriebstemperatur
+5°C ÷ +40°C

Dimensionen
400x180x450 mm

Gewicht
8,6 kg (zirka)

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA PLATE-FORME ANTI-POLLUTION 898

Alimentation
Alimentation du réseau 90 ÷ 270 V, 50 ÷ 60Hz
De batterie 10 ÷ 16 V

Puissance maximum
70 Watt

Afficheur (LCD en couleur graphique)
Rés. 320x240

Lecteur de cartes mémoire PCMCIA
Jusqu'à 64 Mo

Imprimante thermique bicolore
24 colonnes

Sortie série
- COM1-COM2
- Port pour OPACIMETRE
- RS232/PC
- RS485

Sortie imprimante PARALLELE
80 colonnes A4 standard

Prise vidéo VGA
Système PAL- NTSC

Mesure des paramètres ambiants d'essai:
- Température ambiante (°C)
- Pression ambiante (hPa)
- Degré hygrométrique ambiant (%)

Température de fonctionnement
+5°C ÷ +40°C

Dimensions
400x180x450 mm

Poids
8,6 kg (environ)



STARGAS 898

SL51160

GAS ANALYZER

TECHNICAL FEATURES GAS ANALYZER

Measurement range
– CO 0 ÷ 15,000 % Vol. res.0,001
– CO₂ 0 ÷ 20,00 %Vol. res.0,01
– HC 0 ÷ 30000 ppm Vol. res.1
– O₂ 0 ÷ 25,00 % Vol. res.0,01
– NOx 0 ÷ 5000ppm Vol. res.1 (option)
– Lambda 0,5 ÷ 2,000 res.0,001

Revolution counter
– 0 ÷ 10000 rev/min res. 10 (with battery connection)
– 0 ÷ 20000 rev/min res. 10 (with induction clamp-optional)

Pressure automatic calibration
From 750hPa to 1060 hPa

Measurement gas induction
10 l/min (approx)

Flow control
Internal and automatic

Leak test
Automatic

Condensate drain
Continuous and automatic

Response time
<10 sec (long.sonde 3 m)

Warm up time
Max. 30 sec.

Zero setting
Electronic and automatic

TECHNISCHE DATEN GAS ANALYZER

Messungsfeld
– CO 0÷15,000 % Vol. Aufl. 0,001
– CO₂ 0÷20,00 %Vol. Aufl.0,01
– HC 0÷30000 ppm Vol. Aufl.,1
– O₂ 0÷25,00 % Vol. Aufl.,0,01
– NOx 0÷5000 ppm Vol. Aufl.1 (option)
– Lambda 0,5÷2,000 Aufl. 0,001

Umdrehungszähler
– 0 ÷ 10000 rev/min Aufl. 10 (mit Batterienanschluss)
– 0 ÷ 20000 rev/min Aufl. 10 (mit Induktionszange)

Automatische Druckkompensation
Von 750hPa bis 1060 hPa

Ansaugung Messungsgas
10 l/m (zirka)

Flusskontrolle
Intern und automatisch

Dichtigkeitstest
Automatisch

Kondenswasserabfluss
Kontinuierlich und automatisch

Antwortzeit
<10 sek. Sondenlänge 3 mt.

Aufheizzeit
Max. 30 sek.

Nullung
Elektronisch und automatisch

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES ANALYSEUR DE GAS

Plage de mesure
– CO 0 ÷ 15,000% Vol. rés.0,001
– CO₂ 0 ÷ 20,00 %Vol. rés.0,01
– HC 0 ÷ 30000 ppm Vol. rés.1
– O₂ 0 ÷ 25,00 % Vol. rés.0,01
– NOx 0÷5000 ppm Vol. rés.1 (option)
– Lambda 0,5÷2,000 rés.0,001

Compte tours
– 0 ÷ 10000 trs/min rés. 10 (connexion basse tension)
– 0 ÷ 20000 trs/min rés. 10 (induction secondaire-optionelle)

Compensation barométrique automatique
De 750hPa à 1060 hPa

Débit pompe de prélèvement
10 l/m (environ)

Contrôle de débit réduit
Interne et automatique

Test d'étanchéité
Automatique

Purge de gaz
Continue et automatique

Temps de réponse
<10 sec. (Log. Sonde 3m.)

Durée de préchauffage
Max. 30 sec.

Mise à zéro
Electronique et automatique



SL51160 Kit gas analyzer for 898Light

SMOKEMETER

TECHNICAL SMOKEMETER 495/02

Measurement range
From 0 to 99,9% res. 0,1

OPACITY
From 0 to 9,99 km-1 res.0,01

Exhaust smoke temperature measurement
From 0 to 600 °C res.1°C

Zero setting
Automatic

Warm up time
5 minutes

Calibration
Automatic

Power supply
12-0-12 Volt in Volt Ac

Size
470x230x220 mm

Weight
6 kg

TECHNISCHE DATEN OPACIMETER 495/02

Messungsfeld
Von 0 bis 99,9% Aufl. 0,1

TRÜBUNG
Von 0 bis 9,99 km-1 Aufl. 0,01

Messung der Abgastemperatur
Von 0 bis 600°C Aufl. 1°C

Nullung
Automatische

Vorheizzeit
Maximal 5 Minuten

Eichung
Automatische

Speisung
12-0-12 Volt Wechselstrom

Ausmaße
470x230x220 mm

Gewicht
6 kg

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES CELLULE OPACIMETRE 495/02

Plage de mesure
0 à 99,9% rés. 0,1

OPACITE
0 à 9,99 km-1 rés. 0,01

Mesure de la température des fumées d'échappement
0 à 600 °C rés.1°C

Mise à zéro automatique et temps de préchauffage
Automatique

Durée de préchauffage
Max. 5 minutes

Etalonnage
Automatique

Alimentation
12-0-12 Volts AC

Dimensions
470x230x220 mm

Poids
6 kg



SMOKEMETER



Smokemeter – Gases and smokes combined analysis

When connected to the smokes measurement chamber, Stargas 898 can carry out opacity measurements for diesel engines.

Opazimeter – Kombinierte Analyse Abgas und Rauch

Wenn Stargas 898 an die Rauchmessungszelle angeschlossen wird führt er die Opazitätsmessung für Dieselmotoren durch.

OpacimŽtre – permettant l'analyse combinée Gaz et Fumes

Interfacé à l'opacimŽtre, le Stargas 898 mesure l'opacité des fumées de moteur diesel.

ECUreader® - CARS and Motorbikes

ECUreader® - EOBD

Autodiagnosis with the ECUreader® software

The connection with the the ECUreader® enables Stargas to dialogue with modern vehicles electronic central units, by verifying the functioning of the devices that are managed by the ECU. For instance: ignition, injection, ABS, air-bag, intelligent suspensions, etc.

Autodiagnosen mit der Software ECUreader®

Die Verbindung mit dem Autodiagnosensystem ECUreader® ermöglicht Stargas den Dialog mit den elektronischen Einheiten der modernen Autos, wobei der Betrieb der Vorrichtungen, die über die Einheiten gesteuert werden überprüft werden. Zum Beispiel: die Motorsteuerungsgeräte, ABS, Air-Bag, intelligente Aufhängungen, usw.

Auto Diagnostic OBD avec logiciel ECUreader®

La connexion au systŽme d'auto diagnostic ECUreader® permet au Stargas de dialoguer avec le module de gestion électronique des véhicules modernes, en vérifiant le fonctionnement des systŽmes gérés par celui ci. Par exemple : allumage, injection, ABS AirBag, suspensions actives, etc.



HELP ON LINE

Press "F1" to display any page for additional information on the tested component with Interactive display of technical Trouble Shooting Hints and diagnostic datas of tested car. ECUdat@car allows you to visualize on the screen any technical data of the examined electrical circuit. With the interactive consulting system, you can obtain graphical representation of electric circuit, information on the part to be control, localization, any explanations or help you need on the results.

HELP ON LINE

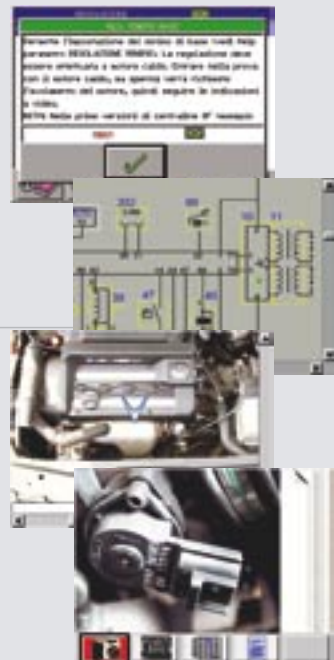
Mit "F1" werden in jeder Bildschirmseite zusätzliche Informationen über den zu prüfenden Bauteil aufgerufen mit Interaktive Visualisierung der Fehlersuche-Hinweise.

ECUdat@car gibt Ihnen die Möglichkeit alle technischen Daten eines Schaltplanes am Display darzustellen. Das interaktive Informationssystem stellt Ihnen alle Informationen über Schaltpläne, Verdrahtungsschemen, zu überprüfende Einbauteile und Lokalisation zur Verfügung. Alles was Sie für ein gutes Ergebnis benötigen

AIDE EN LIGNE

La touche « F1 » permet l'accŽs aux informations complémentaires concernant les organes testés. Affichage interactif des Fiches de Panne, spécifications des données de diagnostique du systŽme testé.

ECUdat@car permet de visualiser sur l'afficheur toutes les données techniques relatives au systŽme électrique testé. La banque de données interactive permet d'obtenir des schémas électriques ; des infos sur le systŽme controlé, la localisation des organes, des aide & explications nécessaires au diagnostique.



ECUreader® - EOBD



FOR THE MOST DEMANDING CUSTOMERS...

Multimeter and ammeter with graphic display with memory.

FÜR DEN ANSPRUCHSVOLLEN ANWENDER

Multimeter und Amperemeter mit grafischer Darstellung und zusätzlichem Speicher

POUR LES UTILISATEURS LES PLUS QUALIFIES...

Disponibilité de oscilloscope avec visualisation graphique et mémoire.

SL31205

Global Diagnostic System



Gas analyzer
Abgasanalysator
Analyseur de gas

Smokemeter
Opazimeter
Cellule OpacimŽtre

Autodiagnosis
Autodiagn osen
Autodiagnostic

EOBD
EOBD
EOBD

Ecudat@Car
Ecudat@Car
Ecudat@Car

Oscilloscope-Diagnosis
Oszilloskop-Diagnosen
Oscilloscope

Stargas mod. 898light whit:
Trolley mod. 930Plus
Smokemeter mod. 495/02
Keyboard cod. SL 31198
Autodiagnosis cables cod. 31174F



Trucks



Light Vehicles



Motorcycles



AZIENDA CON SISTEMA QUALITÀ
CERTIFICATO DA DNV
=UNI EN ISO 9001/2000=



11.2. - Tecnotest Reflex Plus 4130

REFLEX Plus

REFLEX PLUS 4130

ENHANCED AUTODIAGNOSIS SCAN TOOL

GB

D

F



TFT TECHNOLOGY
DISPLAY

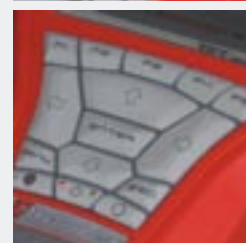


Reflex Plus is a Multi-functional and Multi-brand Scan Tool for motor vehicles autodiagnosics for professional service workshop.

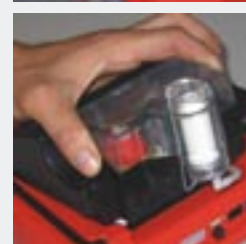
Reflex Plus ist ein Mehrzweck- und Multi-brand Scan Tool für die Autodiagnose an Kraftfahrzeugen in professionellen Service-Werkstätten.

Reflex Plus est un Appareil d'analyse Multi-fonction et Multi-marque pour le diagnostic des véhicules moteur des ateliers professionnels.

NEW ERGONOMIC
KEYBOARD



SCOPE AND GAS
MODULES



AUTODIAGNOSIS



tecnote
TEST & MEASUREMENT **SPX** Corporation

Key features

- Multitasking operating system (using several programs at a time)
- High rate of communication and data processing thanks to state-of-the-art development technology
- Slot for compact flash memory, storing capacity to be upgraded over time

Haupteigenschaften

- Multitasking-Betriebssystem (d.h. mit der Möglichkeit mehrere Programme gleichzeitig anzuwenden)
- Hohe Geschwindigkeit in der Datenkommunikation und Verarbeitung, dank der fortschrittlichen Entwicklungstechnologie
- Slot für Speicherkarte compact flash , mit später erweiterbarer Speicherkapazität

Caractéristiques principales

- Système d'exploitation multitâche (utilisation de plusieurs programmes à la fois)
- Haute vitesse de communication et traitement des données grâce aux technologies de développement de pointe
- Fente pour mémoire compact flash, avec capacité de mémorisation expansible dans le temps

Autodiagnostics with software Ecureader®

- Wide software coverage of any electronic system Cars, commercial vehicles, trucks and motorbikes Development on the circulating vehicles over the last 10-15 years Development of more recent and difficult to be repaired vehicles European, Korean, Japanese, American cars
- Diagnostic procedures:
 - Reading and Cancellation of Faults
 - Live reading of parameters (no limit in number)
 - Actuators Test
 - Regulations / Settings / Programming
- Complete diagnostics of electronic devices
 - Engine management – gasoline and diesel
 - Stability control – TCS, ESP, ASR...
 - Safety – Airbag, ABS...
 - Computer – Service, Quadro, Body...
 - Comfort – Clima, Gear, Steering, Immo, Tires pressure...
 - Network – CAN
 - EOBD/OBD-II diagnostics (European directive 98/69/CE)

Technical info

- ECUDat@car
- Fault sheet
- Help on line

Integrated Multimeter and Scope

- Voltmeter, Kvoltmeter (high voltage), Ohmmeter, Amperemeter
- Automotive Scope with Primary, secondary, ignition, and sensors/actuators analysis

Autodiagnose mit Software Ecureader®

- Umfangreiche Software für jedes elektronisches System Pkw, Nutzfahrzeug, Lastfahrzeuge und Motorräder umfasst alle Fahrzeuge der letzten 10-15 Jahre umfasst neueste und schwer zu reparierende Fahrzeuge europäische, koreanische, japanische, amerikanische Fahrzeuge
- Diagnose-Vorgehensweise:
 - Lesen und Löschen der Fehler
 - Lesen der Parameter in Echtzeit (ohne Anzahlbegrenzung)
 - Stellgliedtests
 - Einstellungen/ Vorgaben/ Programmierungen
- vollständige Diagnose aller elektronischer Geräte
 - Motorverwaltung – Benzin und Diesel
 - Stabilitätskontrolle – TCS, ESP, ASR...
 - Sicherheit – Airbag, ABS...
 - Computer – Service, Instrumententafel, Body...
 - Komfort – Klimaanlage, Schaltung, Lenkung, Immobilizer, Reifendruck ...
 - Network – CAN
 - Diagnose EOBD/OBD-II (Europäische Richtlinie 98/69/CE)

Technische Informationen

- ECUDat@car
- Blatt Störungen
- Online-Hilfe

Integriertes Multimeter und Oszilloskop

- Voltmeter, K-Voltmeter (Hochspannung), Ohmmeter, Amperemeter
- Oszilloskop Kraftfahrzeug mit Primär-, Sekundärdiagnose, Zündung und Sensoren/Stellglieder

Autodiagnostic avec logiciel Ecureader®

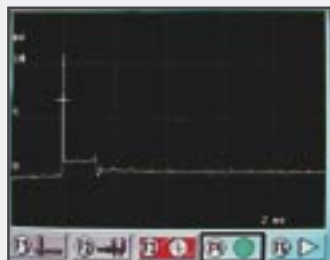
- Vaste couverture de logiciel de tout système électronique Voitures, véhicules commerciaux, camions et motos. Développement du parc véhicules des 10-15 dernières Développement des véhicules plus récents et difficiles à réparer Voitures européennes, coréennes, japonaises, américaines
- Procédures de diagnostic:
 - Lecture et effacement défauts
 - Lecture des paramètres en temps réel (sans de limite)
 - Essai actuateurs
 - Réglages / Paramètres / Programmmations
- Diagnostic complet des dispositifs électroniques
 - Gestion Moteur – essence et diesel
 - Contrôle stabilité – TCS, ESP, ASR...
 - Sécurité – Airbag, ABS...
 - Ordinateur – Service, Quadro, Body...
 - Confort – Clima, BDV, Direction, Immo, Pression pneus...
 - Network – CAN
 - Diagnostic EOBD/OBD-II (Directive européenne 98/69/CE)

Informations techniques

- ECUDat@car
- Fiche défaut
- Aide en ligne

Multimètre et oscilloscope intégrés

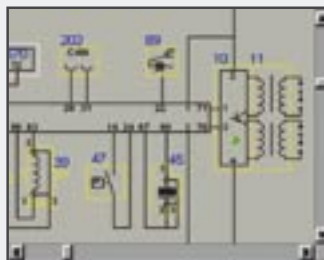
- Voltmètre, Kvoltmètre (haute tension), Ohmmètre, Ampèremètre
- Oscilloscope Automotive avec diagnostic du primaire, secondaire, allumage et capteurs/actuateurs



Scope



Multimeter



Ecuatacar



Ecureader®

KIT includes

- Reflex Plus 4130
- Anti-shock case with pockets for accessories
- Power cord from car battery
- Universal cable for ECUreader® extension cord 2mt
- Power supplier/battery charger 100+240VAC 50+60Hz
- Operating manual

PLUS

- Slot for hardware expansion for the fitting of modules– ex. Gas analysis module, 4 channel scope etc (opt.)
- Expansion slot for communication, for wireless connection (Bluetooth o WLAN Wi-Fi) to a computer, printers and other intelligent devices (opt)
- New ergonomic ultra-resistant rubber handles and shoulder strap
- LCD Display with TFT technology, dimensions 5.7", for data perfect visibility even in full sun

Das KIT inclusive

- Reflex Plus 4130
- stoßfester Koffer, mit Zubehörfächern
- Kabel für die Stromversorgung über die Autobatterie
- Universalkabel ECUreader® Verlängerung 2m
- Adapter/Batterieladegerät 100+240VAC 50+60Hz
- Betriebsanleitung

PLUS

- Slot für die Hardwareerweiterung, für Module per Bsp. Abgasanalysemodul, 4-Spur-Oszilloskop, usw... (opt.)
- Slot für die Kommunikationserweiterung, für Wireless-Verbindungen an Computer (Bluetooth oder WLAN Wi-Fi), Drucker und andere intelligente Geräte (opt.)
- Neue ergonomische, widerstandsfähige Gummigriffe und Tragriemen
- LCD-Display mit TFT-Technik, Maße 5.7", garantiert perfektes Lesen der Daten auch unter direktem Sonnenlicht

Le KIT inclus

- Reflex Plus 4130
- Mallette antichoc avec poches pour accessoires
- Câble alimentation de la batterie auto
- Câble universel ECUreader® rallonge 2mt
- Alimentateur/chargeur de batterie 100+240VAC 50+60Hz
- Manuel opérationnel

PLUS

- Fente expansion hardware, pour logement modules – ex. Module analyse gaz, oscilloscope 4 traces etc.(opt)
- Fente expansion pour communication, connexion wireless (Bluetooth ou WLAN Wi-Fi) à OP, imprimantes ou d'autres dispositifs intelligents (opt)
- Nouvelles poignées en caoutchouc ergonomiques ultra-résistantes et bandoulière
- Visuel LCD à technologie TFT, dimensions 5.7", pour une visibilité parfaite des données en cas de plein soleil aussi

Optionals

- Autodiagnosics cables kit for cars, motor cycles and commercial vehicles
- Autodiagnosics cables kit for commercial vehicles and heavy vehicles
- Integration cables kit for heavy vehicles (in case 31174/F is owned)
- Multimeter and Scope kit
- ECUdat@car technical data software
- 4 channel scope
- 5 Gas analysis module (OIML class 0)

Optionals

- Satz Autodiagnosekabel für PKW, Motorräder und Nutzfahrzeuge
- Satz Autodiagnosekabel für Nutzfahrzeuge und LKW
- Satz Integrationskabel für LKW (wenn 31174/F bereits vorhanden ist)
- Kit Multimeter und Oszilloskop
- Software Technische Daten ECUdat@car
- 4-Spur-Oszilloskop
- 5 Abgasanalysemodul

Optionals

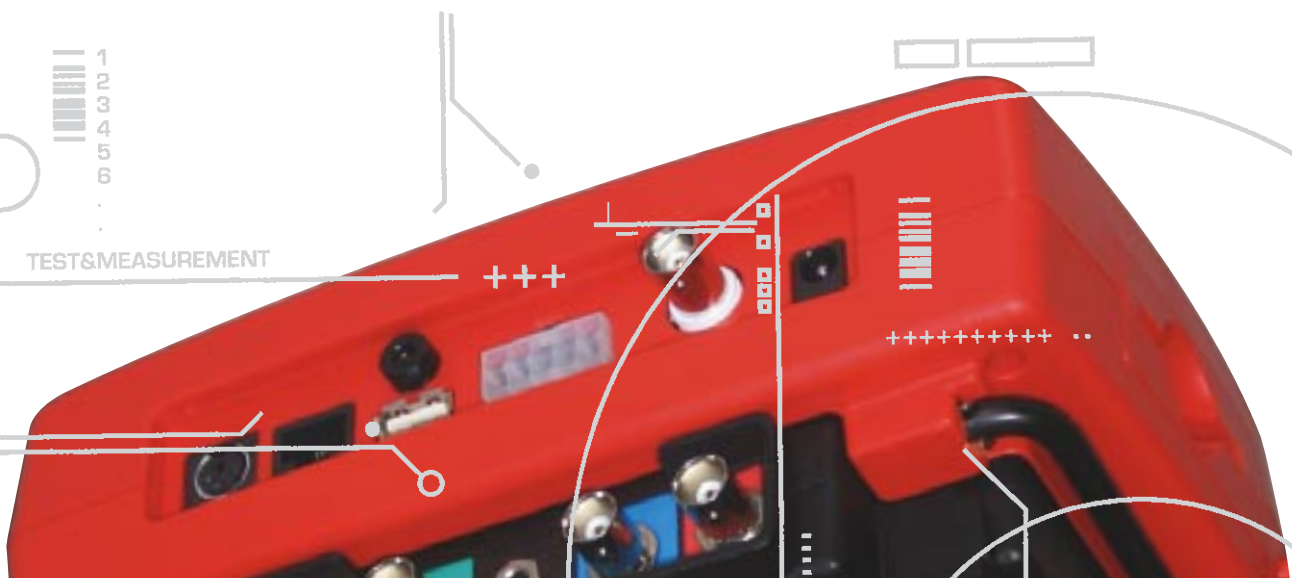
- Kit câbles autodiagnostic pour voitures, motos, et véhicules commerciaux
- Kit câbles autodiagnostic pour véhicules commerciaux et véhicules lourds
- Kit câbles intégration pour véhicules lourds (si on possède déjà 31174/F)
- Logiciel données techniques ECUdat@car
- module oscilloscope 4 traces
- 5 Module analyse gaz



TEST&MEASUREMENT

+++

+++++++ ..



Technical specifications

Power supply

- Supplier/battery charger 100÷240 Vac 50÷60 Hz
- Battery vehicle 12÷32Volt
- Battery NiMH 8.4 V2000mAh

Maximum consumption

- 8W

Display

- Colour graphic LCD (11.5 x 9 cm) resolution 320 x 240 pixel
- STN display, or with TFT technology display

Keyboard

- 15 keys, dust- water- and greaseproof

Input/Output

- ECUreader® cord connector
- Jack for external supplier/battery charger
- USB - HOST (ex: printer)
- USB - DEVICE (ex: PC)
- Standard RS-232 serial port (RJ45)
- Compact Flash Slot
- Smart Card Slot
- Expansion slot for communication
- Slot for hardware expansion

ECUreader®

- Annual subscription, with free upgrade
- Traditional version with unlimited use and purchase of each updates

Rules

- Equipment complies with manufacturers and rule ISO DIS 15031-4 and the following standards:
- ISO 9141
- ISO 14230 (KWP2000)
- ISO 15765 (CAN)
- ISO 11519 (SAE J1850)

Working temperature

- 0÷45°C
- Humidity 20÷55%

Size

- 195 x 275 x 65mm
- Shockproof rubber structure dust- water- and greaseproof

Weight

- 1.140 Kg (tool only)

Technische Spezifikationen

Speisung

- Durch Netzteil 100÷240 Vac 50÷60 Hz
- Durch 12÷32 Volt
- Durch Internen Akku NiMH 8,4 V 2000mAh

Max. Verbrauch

- 8W

Anzeigegerät

- Graphisches Farb-LCD (11.5 x 9 cm) Auflösung 320 x 240 pixel
- Display STN oder mit TFT- Technik

Tastatur

- 15 Tasten, staub-, wasser- und fettbeständig

Input/Output

- Verbinder für Kabel ECUreader®
- Anschluß externe Spannungsversorgung
- USB-HOST für Drucker
- RS232 + USB (z.B: PC)
- Serielle Schaltung RS232 auf Verbinder RJ45
- Slot compact flash
- Slot smart card
- Slot für die Kommunikationserweiterung
- Slot für die Hardwareerweiterung

ECUreader®

- Jahresabonnement mit kostenloser Datenerweiterung
- Traditionelle Version, mit unbeschränkter Benutzung der Software und Ankauf der Aktualisierungen

Normen

- Das Gerät erfüllt alle Merkmale und Vorschriften der Normen ISO DIS 15031-4 und den Standard-Modellen gemäß:
- ISO 9141
- ISO 14230 (KWP2000)
- ISO 15765 (CAN)
- ISO 11519 (SAE J1850)

Betriebstemperatur

- 0÷45°C
- Luftfeuchtigkeit 20÷55%

Abmessungen

- 195 x 275 x 65 mm
- Stossfeste Struktur aus Gummi, staub-, wasser- und fettbeständig

Gewicht

- 1.140 Kg (nur Gerät)

Caractéristiques techniques

Alimentation

- Secteur/Transformateur 100÷240 Vac 50÷60 Hz
- Batterie voitures 12÷32 Volt
- Batterie NiMH 8.4 V2000mAh

Absorption maximum

- 8W

Afficheur

- LCD graphique (11.5x9 cm) en couleurs résolution 320x240 pixel
- Visuel STN ou avec technologie TFT

Clavier

- 15 touches, anti-poussière, résistant à l'eau et à la graisse

Entrée/Sortie

- Connecteur pour câble ECUreader®
- Connecteur jack alimentation/chargeur de batterie externe
- USB-HOST (ex: imprimante)
- USB - Device (ex: PC)
- Port série standard RS232 sur connecteur RJ45
- Emplacement carte PCMCIA
- Emplacement carte à puce
- Fente expansion pour communication
- Fente expansion hardware

ECUreader®

- En abonnement annuel avec mises à jour disponibles
- En version traditionnelle avec utilisation illimitée du logiciel et achat des mises à jour

Normes

- L'instrument supporte l'auto diagnostic Constructeurs, conforme à la norme:
- ISO DIS 15031-4 et aux standards
- ISO 9141
- ISO 14230 (KWP2000)
- ISO 15765 (CAN)
- ISO 11519 (SAE J1850)

Température de fonctionnement

- 0÷45°C
- Humidité 20÷55%

Dimensions

- 195 x 275 x 65 mm
- Structure anti-choc en caoutchouc résistant à la poussière, à l'eau et à la graisse

Poids

- 1.140 Kg (outil seul)

REFLEX Plus



TECNOTEST S.r.l.

Via Provinciale, 12 - 43038 Sala Baganza Parma (Italy)

Tel. +39 0521 837311 • Fax +39 0521 837301

e-mail: vendite@tecnotest.com • export@tecnotest.com

per maggiori informazioni visita il sito www.tecnotest.com



11.3. - Tecnotest Gas Analysis 495/02


495/01

495/02

DESCRIPTION

495/01

Smoke meter chamber mod 495/01 analyses the degree of opacity in diesel engine exhaust gas. Base on absorption of a light beam by the smoke, the utilized technology guarantees both reliability and accuracy when it comes to results. The instruments is present for serial connection to the multi-operative centres of the Visa family and computer unit series.

495/02

This smoke meter chamber has the same characteristics of the 495/01, but has a special predisposition for the new multifunctional trolley 930 plus.

TECHNICAL SPECIFICATIONS

	495/01	495/02
Mains power supply	12-0-12V	12-0-12V
Measuring range	0÷99,9% (res0.1) opacity 0÷9,99 m-1 (res. 0.01)	0÷99,9% (res0.1) opacity 0÷9,99 m-1 (res. 0.01)
Induction rpm counter	0÷9990 rpm (res. 10)	0÷9990rpm (res.10)
Electronic Lambda test	---	---
Operating temperature (°C)	5÷40 (±2)	5÷40 (±2)
Measuring gas induction	Measuring chamber temperature	Measuring chamber temperature
Response time	---	---
Zero setting	Automatic	Automatic
Condensate drain	---	---
Warm up time	Max 5 min	Max 5 min
Serial output	RS232	RS232
Printer	---	---
Dimension	465x160x190 mm	470x230x220 mm
Weight	Approx 10 kg	6 kg

*495/01 - 495/02: Pressure variation check in measuring chamber ± 7 mbar, preventive slide anti-dirtying system, chamber fan block check automatic, dirty slide automatic.