



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

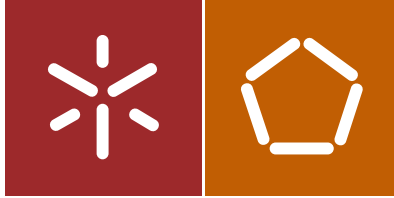
David Gonçalves

Avaliação do funcionamento de
um motor diesel com biodiesel

David Gonçalves | Avaliação do funcionamento de
um motor diesel com biodiesel

UMinho | 2016

março de 2016



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

David Gonçalves

Avaliação do funcionamento de
um motor diesel com biodiesel

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Jorge José Gomes Martins
Professor Doutor Francisco C. P. de Brito

DECLARAÇÃO

Nome: David Gonçalves

Endereço eletrónico: davidgoncalves.mlg@gmail.com Telefone: 939260999

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 13838592

Título da dissertação: Avaliação do funcionamento de um motor diesel com biodiesel

Orientador/a/es:

Professor Doutor Jorge José Gomes Martins

Professor Doutor Francisco Carrusca Pimenta de Brito

Ano de conclusão: 2016

Mestrado em Engenharia Mecânica

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ____ / ____ / _____

Assinatura:

*'The true sign of intelligence is
not knowledge but imagination.'*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Obrigado,

Aos meus pais e ao meu irmão por todo o apoio que me deram nesta fase do meu percurso académico.

Aos meus amigos que se disponibilizaram para me ajudar e me mantiveram sempre motivado quando as coisas não estavam a correr bem.

Ao Professor Doutor Jorge Martins e ao Professor Francisco Brito pelo apoio e dedicação que demonstraram a este projeto.

Ao Carlos Rodrigues, companheiro de laboratório, que durante este percurso me auxiliou quando precisei.

Muito obrigado por tudo!

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar o funcionamento de um motor com biodiesel. Para tal, testou-se gasóleo e biodiesel de duas proveniências diferentes num motor instalado numa bancada de testes, comparando-se os resultados obtidos segundo vários parâmetros. Foram eles o binário, potência, quantidade de injeção, quantidade de energia fornecida, rendimento e emissões de gases de escape.

Numa primeira instância, foi realizada uma análise à literatura, onde se estudou o funcionamento dos motores de combustão interna, mais precisamente o motor diesel, assim como os seus componentes, sistemas de injeção e parâmetros geométricos. Depois, abordaram-se os combustíveis utilizados nos ensaios, para os quais se apresentou alguma legislação e se referiu as propriedades mais importantes. Posto isso, mencionaram-se os poluentes inerentes ao uso dos motores diesel, principalmente a formação de NOx e também se fez uma revisão dos trabalhos e projetos já elaborados sobre o uso de biodiesel em motores deste tipo.

Posteriormente, no que toca à parte prática, foi apresentada a instalação experimental inerente à bancada de testes. Foram abordadas as modificações que foram efetuadas e foram descritos alguns dos componentes e sistemas mais importantes desta instalação.

Depois de escrever o procedimento experimental foram apresentados e discutidos os resultados experimentais dos testes com os combustíveis.

Palavras-chave: motores de combustão interna, motor diesel, biodiesel, NOx.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the performance of an engine with biodiesel. To this end, it was tested diesel and biodiesel of two different origins in an engine installed on a test bench by comparing the results obtained using various parameters. They were torque, power, amount of injection, the amount of energy supplied, performance and exhaust emissions.

In the first instance, a review of the literature was performed, where was studied the operation of internal combustion engines, specifically diesel engine, as its components, injection systems and geometric parameters. Then, addressed to the fuels used in the tests, it was introduced some legislation and referred the most important properties. That said, it was mentioned the pollutants inherent in the use of diesel engines, especially the formation of NO_x and also made a review of the work and projects already elaborated on the use of biodiesel in engines of this type.

Later, as regards the practical part, it was presented the experimental setup inherent to the test bench. The changes that were made were approached and were described some of the components and most important systems of this facility have been addressed.

After writing the experimental procedure were presented and discussed the experimental results of the tests with the fuels.

Keywords: internal combustion engines , diesel engine , biodiesel, NO_x

ÍNDICE

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Índice.....	v
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xvii
Glossário de símbolos e abreviaturas.....	xix
1. Introdução.....	1
1.1 Objetivo.....	3
2. Revisão bibliográfica e conceitos fundamentais.....	7
2.1 Motor de Combustão Interna.....	7
2.1.1 Motor Diesel.....	8
2.2 Principais constituintes de um motor.....	13
2.2.1 Bloco de cilindros, culassa e cárter.....	13
2.2.2 Sistema biela-manivela.....	15
2.2.3 Sistemas de injeção.....	19
2.3 Combustíveis.....	24
2.3.1 Gasóleo.....	24
2.3.2 Biodiesel.....	26
2.3.3 Propriedades dos combustíveis.....	29
2.4 Emissões poluentes.....	32
2.5 Revisão de trabalhos e pesquisa elaborados.....	35
3. Instalação experimental.....	41
3.1 Motor Diesel.....	41
3.2 EGR.....	42
3.3 Alteração do espaço laboratorial.....	43
3.3.1 Alteração do circuito de arrefecimento do motor.....	43
3.3.2 Depósito e fornecimento de combustível ao motor.....	45

3.3.3	Ligação do tubo de escape e acoplamento no teto	46
3.4	Recalibração da célula de carga.....	47
3.5	Percentagem de acelerador	50
3.6	Termopares	53
3.7	Saída dos gases de escape para medição	55
3.8	Intercooler.....	56
3.9	Arrefecedor do retorno do combustível.....	57
3.10	Circuito elétrico	58
4.	Procedimento experimental	65
4.1	Equipamentos para aquisição de dados	65
4.1.1	Opacímetro	66
4.1.2	Analisador de gases	67
4.1.3	Sistema de controlo e aquisição de dados do freio dinamométrico	69
4.1.4	Programa de aquisição e tratamento de dados (computador).....	70
5.	Resultados experimentais.....	75
5.1	Ensaio com 40 de carga de acelerador	75
5.2	Ensaio com 45 de carga de acelerador	86
5.3	Ensaio com 50 de carga de acelerador	96
6.	Considerações Finais e Trabalho Futuro.....	99
	Referências	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perspetivas de crescimento da procura mundial de energia primária (adaptado de [3])	1
Figura 2 - Primeiro veículo motorizado (adaptado de [7]).....	8
Figura 3 - Exemplo de uma pré-câmara de combustão, Bmw 525 tds (adaptado de).....	9
Figura 4 - 4 tempos de um motor diesel (adaptado de [7])	10
Figura 5 - Ciclo de Diesel [6].....	11
Figura 6 - Bloco de cilindros, Honda (adaptado de [9]).....	14
Figura 7 - Exemplo de uma camisa húmida e uma camisa seca (adaptado de [9]).....	14
Figura 8 - Culassa com 2 válvulas por cilindro (adaptdo de [9]).....	15
Figura 9 - Cárter de óleo, Renault Scenic (adaptado de [10]).....	15
Figura 10 - Sistema Biela-manivela [11]	16
Figura 11 - Exemplo de um pistão (adaptado de [9]).....	16
Figura 12 - Segmentos e pistão (adaptado de [9]).....	17
Figura 13 - Biela e seus constituintes(adaptado de [9])	18
Figura 14 - Cambota e seus constituintes (adaptado de [12])	19
Figura 15 - Sistema bomba de injeção (sistema mais antigo em corte) [13]	20
Figura 16 - Sistema Bomba-injetor (adaptado de [14]).....	21
Figura 17 - Sistema 'common-rail', Bosch (adaptado de [15]).....	21
Figura 18 - bomba injetora em linha (adaptado de [16]).....	22
Figura 19 - Vários tipos de injetores, Bosch (adaptado de [15]).....	23
Figura 20 - Injetor de um sistema "common-rail" (adaptado de [15])	24
Figura 21 - Destilação fracionada do petróleo bruto [17]	25
Figura 22 - Reação de transesterificação de obtenção do Biodiesel [19].....	27
Figura 23 - Esquema de um sistema EGR [23]	35
Figura 24 - Variação das emissões gasosas em função da percentagem de biodiesel [24].....	36
Figura 25 - Variação da opacidade dos fumos em função da potência gerada [25].....	37
Figura 26 - Variação da produção de NOx em função da potência gerada [25]	37
Figura 27 - Peugeot Partner [29]	41
Figura 28 - Motor ainda com o sistema EGR.....	42
Figura 29 - EGR cooler removido.....	42
Figura 30 - Junta original da válvula do EGR.....	42

Figura 31 - Desenho da parte exterior da junta numa lata de diluente para posterior uso	42
Figura 32 - Junta final	43
Figura 33 - Desativação de outra entrada para o sistema EGR	43
Figura 34 - Peça projetada e trabalhada para colocar na entrada do sistema EGR	43
Figura 35 - Antiga instalação do circuito de arrefecimento do motor	44
Figura 36 - Nova instalação do circuito de arrefecimento do motor	44
Figura 37 - Saída isolada	44
Figura 38 - Depósito de combustível no novo suporte	45
Figura 39 - Colocação do novo sistema de fornecimento	45
Figura 40 - Disposição do sistema de fornecimento de combustível	45
Figura 41 - Torneira passadora ON/OFF	46
Figura 42 - Furos relativos à antiga instalação da linha de escape	46
Figura 43 - Posição adotada para a linha de escape	46
Figura 44 - Posição em ângulo de 60° da linha de escape	47
Figura 45 - Conjunto 1 de polias	48
Figura 46 - Conjunto 2 de polias	48
Figura 47 - Suporte e barra colocados no freio	48
Figura 48 - Suporte, barra e pesos totais usados na calibração da célula de carga	48
Figura 49 - Reta de calibração obtida	50
Figura 50 - Ligação do display à placa	51
Figura 51 - Arduino conetado à outra placa necessária	52
Figura 52 - Arduino com as ligações verticais nas portas correspondentes	52
Figura 53 - Suporte para o Arduino na instalação	52
Figura 54 - Sistema em funcionamento	53
Figura 55 - Ligações e parte de trás do display de carga do acelerador	53
Figura 56 - Termopar colocado no tubo de entrada do líquido de arrefecimento	54
Figura 57 - Termopar colocado no tubo de saída do líquido de arrefecimento	54
Figura 58 - Antiga instalação dos displays dos termopares	54
Figura 59 - Nova disposição dos displays dos termopares no painel de instrumentos	54
Figura 60 - Sistema de arrefecimento dos gases de escape	56
Figura 61 - Ligações acopladas para análise das emissões dos gases de escape	56
Figura 62 - Intercooler do motor Peugeot 1.6 HDI	57
Figura 63 - Controlador do ventilador	57
Figura 64 - Arrefecedor do retorno do combustível	58

Figura 65 - Arrefecedor do retorno do combustível instalado no radiador	58
Figura 66 - Circuito de gestão eletrónica do motor (1- ECU, 2- Caixa de fusíveis (PSF)) ...	59
Figura 67 - Cablagem detrás do painel de instrumentos (1- acelerador, 2- Caixa de relé do ventilador do cárter)	59
Figura 68 - Caixa de fusíveis BSI	59
Figura 69 - Cabo USB OBD	60
Figura 70 - Ficha OBD-II.....	60
Figura 71 - Bobina do motor de arranque	61
Figura 72 - Bateria ligada ao motor	61
Figura 73 - Sistema de acelerador usado na bancada de testes	61
Figura 74 - Corta-corrente.....	62
Figura 75 - Opacímetro AVL Dismoke 4000 [30].....	66
Figura 76 - Analisador de gases AVL DIGAS 4000 Light [31]	68
Figura 77 - Display do sistema de controlo e aquisição de dados do freio dinanométrico	69
Figura 78 - Controlador de corrente fornecida ao freio (Variac)	70
Figura 79 - Janela do programa VS_LM.....	71
Figura 80 - Balança digital KERN	72
Figura 81 - Binário obtido com cada combustível em função da velocidade de rotação do motor	76
Figura 82 - Quantidade de combustível injetada por rotação da cambota	77
Figura 83 - Quantidade de energia fornecida por rotação da cambota do motor	78
Figura 84 - Potência útil obtida com os diferentes combustíveis.....	79
Figura 85 - Rendimento em função da velocidade de rotação do motor.....	79
Figura 86 - Opacidade dos gases de escape em função da velocidade de rotação do motor ...	80
Figura 87 - Pressão do turbo em função da velocidade de rotação do motor	81
Figura 88 - Produção de NOx em função da velocidade de rotação do motor	82
Figura 89 - Opacidade em função do lambda dos gases de escape.....	83
Figura 90 - Produção de NOx em função do lambda.....	84
Figura 91 - Binário em função da velocidade de rotação do motor	86
Figura 92 - Quantidade de combustível injetado por rotação da cambota	87
Figura 93 - Quantidade de energia fornecida por rotação da cambota.....	88
Figura 94 - Potência útil em função da velocidade de rotação do motor	89
Figura 95 - Rendimento em função da velocidade de rotação do motor.....	89
Figura 96 - Opacidade dos gases de escape em função da velocidade de rotação do motor ...	90

Figura 97 - Pressão do turbo em função da velocidade de rotação do motor	91
Figura 98 - Produção de NOx em função da velocidade de rotação do motor	92
Figura 99 - Opacidade em função do lambda dos gases de escape	93
Figura 100 - Formação de NOx em função do lambda	94
Figura 101 - Binário em função da velocidade de rotação do motor	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Reservas Mundiais de Petróleo e Gás natural (adaptado de [1])	1
Tabela 2 - Consumo de carvão, petróleo e gás natural (Portugal) (adaptado de [5]).....	2
Tabela 3-Standard de emissões em vigor na União Europeia [18]	25
Tabela 4- Especificações para o Diesel na União Europeia [18]	26
Tabela 5-Norma EN14214 [20].....	28
Tabela 6 - Índice de cetano para os combustíveis (adaptado de [6])	29
Tabela 7 - Massa volúmica dos combustíveis (adaptado de [6])	30
Tabela 8 – Poder calorífico do gasóleo e biodiesel (adaptado de [6])	30
Tabela 9 - Ponto de inflamação do gasóleo e biodiesel (adaptado de [6]).....	31
Tabela 10 - Viscosidade do biodiesel em função da temperatura (adaptado de [21]).....	31
Tabela 11 - Viscosidade cinemática do gasóleo e biodiesel (adaptado de [6]).....	32
Tabela 12 - Lubricidade do gasóleo e biodiesel (adaptado de [22])	32
Tabela 13 - Características técnicas do motor do veículo [28]	41
Tabela 14 - Valores de binário obtidos durante a calibração da célula de carga	49
Tabela 15 - Variáveis tidas em conta durante os ensaios	85
Tabela 16- Variáveis tidas em conta nestes ensaios.....	95

GLOSSÁRIO DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<i>Símbolos</i>	<i>Definição</i>	<i>Unidade</i>
<i>A</i>	<i>Ampere</i>	<i>(-)</i>
<i>B</i>	<i>Binário</i>	<i>N.m</i>
\dot{m}_{ar}	<i>Caudal mássico de ar</i>	<i>g/s</i>
\dot{m}_f	<i>Caudal de combustível</i>	<i>g/s</i>
<i>m</i>	<i>Massa</i>	<i>kg</i>
<i>N</i>	<i>Velocidade de rotação</i>	<i>rpm</i>
<i>p</i>	<i>Pressão</i>	<i>Pa</i>
<i>ppm</i>	<i>Partes por milhão</i>	<i>(-)</i>
<i>Q</i>	<i>Poder calorífico do combustível</i>	<i>J/g</i>
<i>v</i>	<i>Tensão</i>	<i>v</i>
<i>V</i>	<i>Volume</i>	<i>m³</i>
<i>wt</i>	<i>Weight</i>	<i>%</i>

<i>Símbolos</i>	<i>Definição</i>	<i>Unidade</i>
<i>Gregos</i>		
ρ	<i>Massa volúmica</i>	<i>kg/m³</i>
η	<i>Rendimento</i>	<i>%</i>
λ	<i>Coeficiente de excesso de ar</i>	<i>(-)</i>

Abreviaturas

<i>ECU</i>	<i>Engine Control Unit</i>
<i>EGR</i>	<i>Exhaust Gas Recirculation</i>
<i>FAME</i>	<i>Fatty acid methyl ester</i>
<i>HDI</i>	<i>High (Pressure) Diesel Injection</i>
<i>IC</i>	<i>Índice de Cetano</i>
<i>MPI</i>	<i>Multi Point Injection</i>
<i>OBD</i>	<i>On-board diagnostic</i>
<i>PC</i>	<i>Poder calorífico</i>
<i>PCI</i>	<i>Poder calorífico inferior</i>
<i>PCS</i>	<i>Poder calorífico superior</i>
<i>PMI</i>	<i>Ponto morto inferior</i>
<i>PMS</i>	<i>Ponto morto superior</i>
<i>RPM</i>	<i>Rotações por minuto</i>
<i>SCR</i>	<i>Selective Catalytic Reduction</i>

1 Introdução

1. INTRODUÇÃO

Hoje em dia, a energia é um tema fortemente discutido a nível mundial. Ela é necessária para a existência e funcionamento da sociedade. As fontes tradicionais de energia são o carvão, petróleo, gás natural. Seguidamente na Tabela 1 encontram-se alguns valores das reservas mundiais de petróleo e gás natural, desde 2007 até 2014. Aquando da queima dessas matérias, uma grande quantidade de gases é libertada para a atmosfera. Compostos como CO, CO₂, NO_x, HC's e partículas são expelidos para a atmosfera, provocando danos muito graves no ambiente.

Tabela 1 - Reservas Mundiais de Petróleo e Gás natural (adaptado de [1])

Fontes	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Petróleo (bilhões de barris)	1318	1334	1341	1357	1476	1528	1649	1656
Gás Natural (Trillion Cubic Feet)	6191	6214	6262	6638	6708	6809	6845	6973

A matriz energética de consumo mundial de energia primária é liderada pelo petróleo e os demais combustíveis fósseis (Figura 1). Os hidrocarbonetos [2] representam mais de metade da energia primária consumida, sendo que 31% do consumo energético primário global advém do petróleo. Estas estatísticas são provenientes da Agência Internacional de Energia (AIE).

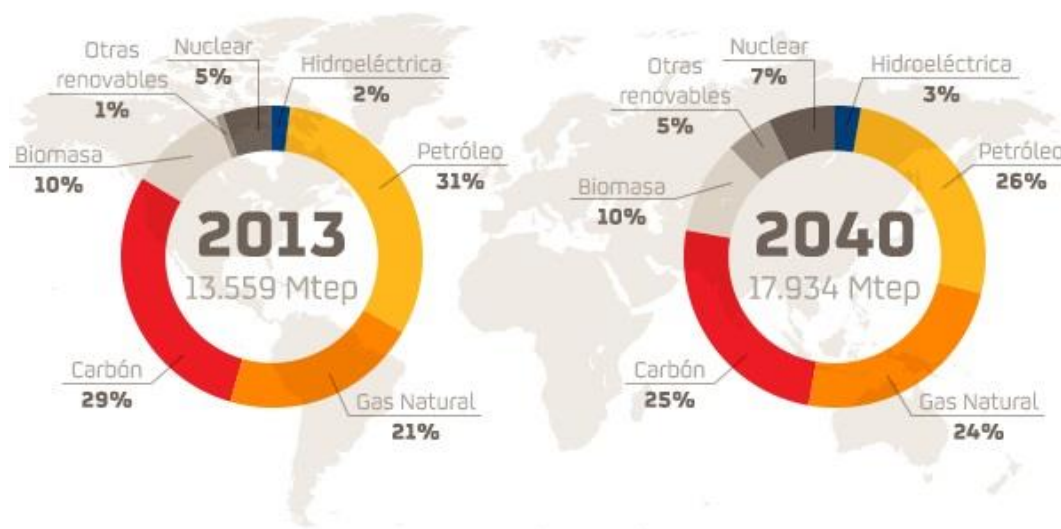


Figura 1 - Perspetivas de crescimento da procura mundial de energia primária (adaptado de [3])

Os transportes têm vindo a adquirir um papel importante na vida da sociedade moderna. Segundo o Relatório do Estado do Ambiente em Portugal [4], registou-se neste setor um aumento do consumo de energia de 90% entre 1990 e 2002. Em 2001, o setor dos transportes tornou-se responsável por 42% do consumo total de petróleo superando o setor da energia (29%) e o da indústria (17%). Na Tabela 2, encontram-se os dados relativos ao consumo de energia primária por tipo de fonte, em Portugal. Os valores encontram-se expressos em tep (tonelada equivalente de petróleo) – milhares.

Tabela 2 - Consumo de carvão, petróleo e gás natural (Portugal) (adaptado de [5])

Fonte	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Carvão	3375	3349	3310	2883	2526	2858	1657	2222	2915	2653
Petróleo	15411	15877	14305	13567	12365	11533	11241	10331	9297	9647
Gás natural	3317	3761	3595	3821	4157	4233	4507	4483	3950	3769

Com a variabilidade do preço do barril de petróleo (tanto se encontra com um preço elevado como com um preço baixo), incertezas políticas e a ameaça de alterações climáticas é necessário explorar novas alternativas aos combustíveis fósseis. Países como França, Alemanha, EUA e o Brasil têm vindo a produzir e utilizar biocombustíveis nos veículos. É neste contexto, que o biodiesel surge como opção ao uso de gasóleo, em motores de combustão interna.

O biodiesel é um biocombustível obtido através da transesterificação de triglicerídeos e é essencialmente de origem vegetal. Durante a sua reação de combustão, a quantidade de dióxido de carbono que é libertada para a atmosfera é muito menor que com o uso de combustíveis fósseis. Para além disso, trata-se de uma fonte de energia renovável.

Dado que o biodiesel é de origem vegetal, para a sua produção é necessário haver cultivo das suas matérias-primas (girassol, soja, etc). Estes cultivos proporcionam uma ótima absorção de CO₂ da atmosfera, uma vez que as plantas utilizam esses gases para realizar a fotossíntese.

Posto isto, o biodiesel apresenta-se como uma alternativa ao gasóleo nos motores de combustão interna, uma vez que é muito menos nocivo para o ambiente e é de origem renovável.

Embora se possam diminuir as emissões de poluentes para o nosso meio ambiente, todos os motores estão associados à produção de emissões devido aos gases de escape por eles emanados. Um dos principais constituintes presentes nessas emissões altamente prejudiciais para o ambiente, é o NOx. É o termo genérico para um grupo de gases muito reativos, que

contêm oxigênio e azoto em quantidades variadas, sendo por isso vulgarmente conhecidos como óxidos de azoto.

1.1 Objetivo

Este projeto pretende averiguar, se com a utilização de biodiesel em motores diesel, é possível obter as mesmas performances que com o uso de gasóleo produzindo menores emissões de gases de escape. O tema surgiu numa parceria com a empresa *EcoMovimento*, que forneceu biodiesel de duas referências diferentes, denominadas de biodiesel REF 1 e biodiesel REF 2. Posto isto, o propósito deste trabalho passa por comparar o funcionamento de um motor 1.6 HDI (Peugeot), utilizando gasóleo e as duas referências de biodiesel. De maneira a avaliar o funcionamento com estes combustíveis, comparam-se os resultados obtidos em termos de binário, potência, quantidade de injeção, quantidade de energia fornecida, rendimento e das emissões dos gases de escape.

2 Revisão Bibliográfica e Conceitos

Fundamentais

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Neste capítulo são abordadas várias temáticas que são importantes para o conhecimento e entendimento de conceitos adjacentes a este tema de dissertação. Os princípios de funcionamento do motor de combustão interna, os combustíveis associados aos motores diesel e as suas características são alguns dos temas que irão ser apresentados ao longo do capítulo. Serão ainda referenciadas algumas legislações e normas sobre o uso dos veículos com motor diesel, relativamente às emissões de gases poluentes e de efeito de estufa. São também evidenciadas algumas técnicas para a diminuição das emissões poluentes. Muita da informação descrita tem por base conhecimento contido no livro *Motores de Combustão Interna* (Quarta Edição), da autoria do Professor Dr. Jorge Martins [6].

2.1 Motor de Combustão Interna

Desde o século XVII que o homem tentou construir um mecanismo para gerar força de uma maneira autónoma, isto é, sem tração animal ou humana e que permitisse transportá-lo a grandes distâncias e a velocidades superiores aos seus passos.

No ano de 1860, surgiu a ideia de construir uma máquina que utilizasse o benzeno como combustível, porém só foi concretizada em 1866 por Nikolaus August Otto. Este, teve a ideia de construir um mecanismo, onde uma mistura de ar e combustível pudesse explodir e produzir força e movimento. Esse mecanismo foi concebido para funcionar num ciclo de quatro tempos e ficou conhecido como motor de combustão interna de ciclo de Otto, ou como é vulgarmente conhecido, motor a gasolina (ou motor a explosão).

Desde a invenção, continuaram-se os aperfeiçoamentos e como tal, em 1894, Rudolf Diesel, propôs uma alternativa funcionamento do motor a explosão. Anteriormente, era necessário um circuito elétrico relativamente complicado para iniciar a combustão da gasolina, mas Rudolf acabou com essa necessidade, criando assim o motor diesel.

O primeiro motor de combustão interna com capacidade de mover um veículo com alguma segurança e economia, foi inventado em 1886 pelo engenheiro Gottlieb Daimler (Figura 2).



Figura 2 - Primeiro veículo motorizado (adaptado de [7])

“O motor a diesel pode ser alimentado por óleos vegetais, e ajudará no desenvolvimento agrário dos países que vierem a utilizá-lo. O uso de óleos vegetais como combustível pode parecer insignificante hoje em dia. Mas com o tempo ir-se-á tornar tão importante quanto o petróleo e o carvão são atualmente.”, afirmação esta de Rudolf Diesel [7].

Depois da morte de Diesel em 1913, a indústria petrolífera criou um tipo de óleo denominado de ‘óleo diesel’, sendo este denominado hoje em dia de gasóleo, que tinha como grande vantagem o seu preço em relação aos outros combustíveis, sendo por isso muito utilizado. Posto isto, a ideia que levou à invenção deste motor, isto é, um motor que funcionasse com óleo vegetal e que ajudasse no desenvolvimento da agricultura dos países, foi colocada de lado.

2.1.1 Motor Diesel

Um motor Diesel é uma máquina que aproveita a energia térmica para transformar em energia mecânica. A energia térmica obtém-se através da queima do combustível dentro de cada cilindro do motor. Neste tipo de motor não existem velas de ignição, ao contrário dos motores a gasolina. A ignição é provocada pela compressão que faz elevar a temperatura do ar na câmara de combustão até que atinja o ponto de auto-inflamação do combustível. O gasóleo é injetado na câmara de combustão sob alta pressão através de um injetor perto do final do tempo de compressão. Na câmara de combustão, o gasóleo inflama-se ao entrar em contato com o ar aquecido devido ao efeito da forte compressão.

O processo de combustão no interior de um motor diesel evoluiu ao longo do tempo, sendo que antes era comum haver injeção de combustível para uma pré-câmara (injeção indireta), Figura 3. Nestes casos, como a combustão não decorria a pressões tão altas como na

injeção direta, as tolerâncias de fabrico dos componentes eram não eram tão apertadas, que, por conseguinte, tornavam menores os preços da produção dos injetores.

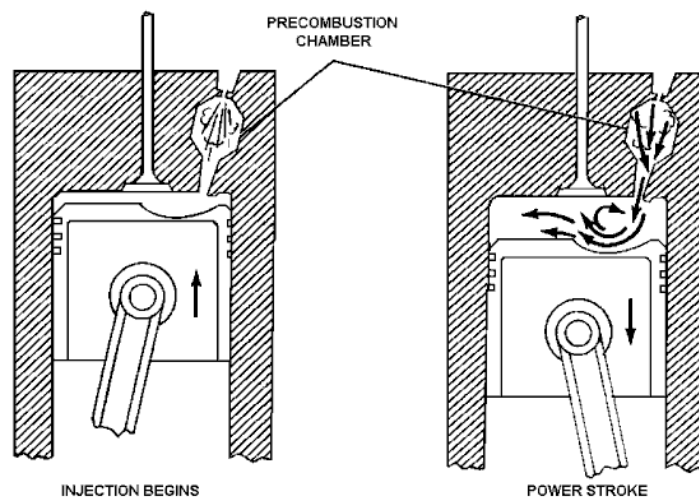


Figura 3 - Exemplo de uma pré-câmara de combustão, Bmw 525 tds (adaptado de [8])

Durante os últimos anos têm havido evoluções no que toca à forma como o combustível é injetado. Isto deve-se a vários fatores, tanto económicos como ambientais. Derivado dessa situação, tem-se revolucionado os componentes existentes no sistema de injeção. Mais adiante serão abordados os diferentes sistemas de injeção assim como os seus componentes principais.

Existem vários tipos de motores a gasóleo, podendo ser estes a dois ou quatro tempos. Um motor de 4 tempos a gasóleo é definido por ter 1 tempo para a admissão, para a compressão, combustão-expansão e escape. Seguidamente, na Figura 4 ilustra-se este processo.

Na admissão (1º tempo) a válvula de admissão é aberta e a válvula de escape permanece fechada, seguidamente o pistão, desce ao PMS (ponto-morto superior), aspira o ar do exterior e ocupa o cilindro a uma pressão igual à atmosférica (para motores sem turbo-compressor). Depois segue-se a compressão (2ºtempo), no qual a válvula de admissão e de escape se encontram fechadas, o pistão sobe do PMI (ponto-morto inferior) e comprime o ar na câmara de combustão até ao PMS, sendo que a temperatura do ar atinge aproximadamente 600°C. No 3º tempo (combustão-expansão), as válvulas de escape e de admissão continuam fechadas. Antes do pistão se encontrar no PMS, é injetado gasóleo através da bomba injetora. Como a temperatura do ar é muito elevada, devido à compressão, o gasóleo inflama-se. Os produtos da combustão empurram o pistão para baixo ao longo do tempo de expansão. O último tempo corresponde ao escape, no qual a válvula de admissão permanece fechada e a válvula de escape aberta. Antes do pistão alcançar o PMI, abre-se a válvula de escape e parte dos gases queimados

são descarregados para a atmosfera (denominado como escape espontâneo). Por fim o pistão sobe do PMI até ao PMS, completando-se o escape dos gases queimados (escape forçado).

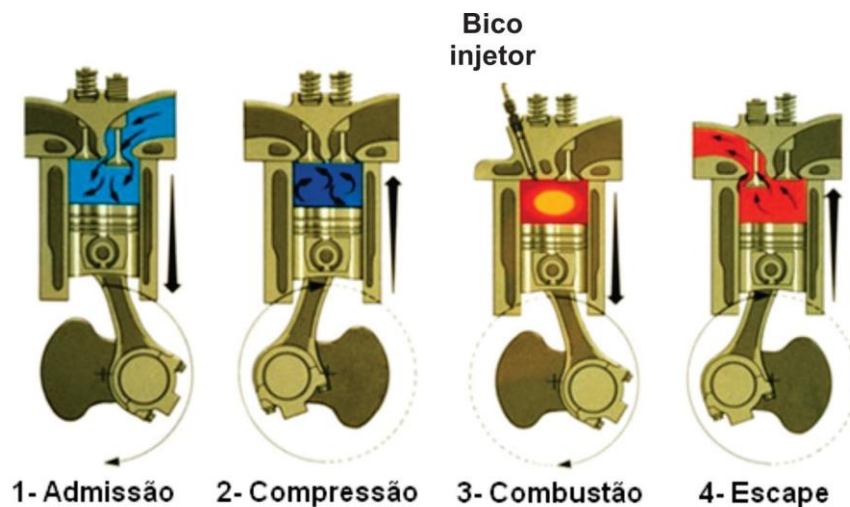


Figura 4 - 4 tempos de um motor diesel (adaptado de [8])

Os motores funcionam segundo ciclos e diferentes processos: admissão, compressão, fornecimento de calor, expansão, entre outros. Estes processos ideais podem ser agrupados de maneira a produzir-se o ciclo global de funcionamento do motor. Cada um pode ser próximo do processo físico, mas tendo em conta os ciclos teóricos, o funcionamento dos vários tipos de motores existentes pode-se englobar em:

- Ciclo de Otto ou de combustão a volume constante;
- Ciclo Diesel ou de combustão a pressão constante;
- Ciclo misto ou de pressão limitada.

Ciclo de Diesel

A principal diferença entre o ciclo Diesel e o de Otto encontra-se na fase de fornecimento de calor, em que este é fornecido a pressão constante ou a volume constantemente, respetivamente. Existe outra diferença, que reside na taxa de compressão, que é maior que a do ciclo de Otto. Tem de ser elevada para que no final da compressão a temperatura do ar seja alta de modo a produzir a ignição do combustível que é injetado. No caso do ciclo de Otto a compressão está limitada pela ocorrência de Knock. Como a injeção ocorre durante parte da descida do pistão, a combustão não é considerada instantânea, ao contrário do ciclo de Otto (Figura 5).

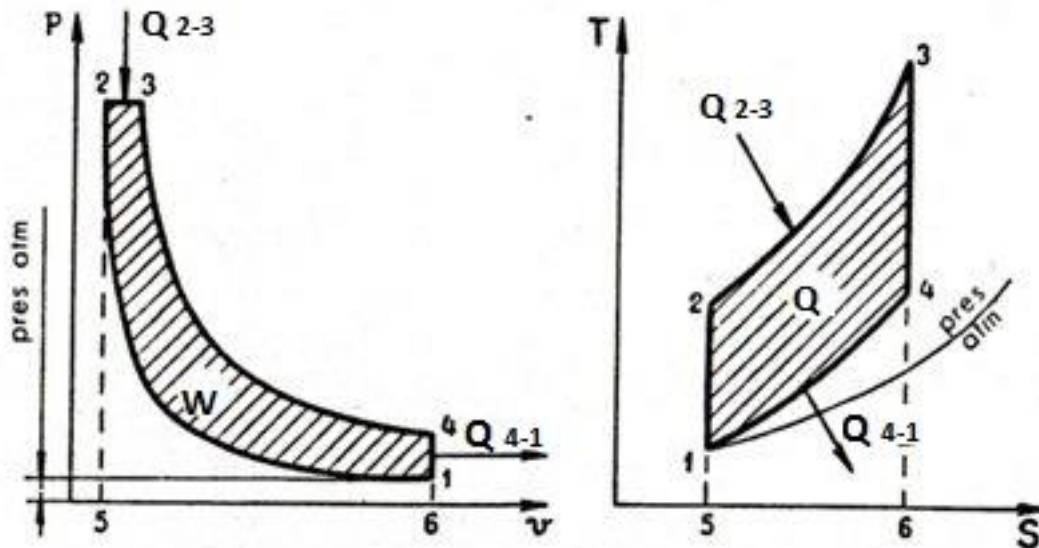


Figura 5 - Ciclo de Diesel teórico [6]

Na Figura 5 podem-se identificar as seguintes transformações:

1-2 Adiabática (isentrópica): Compressão do ar, fornecendo-se o trabalho W_{1-2} , que aumenta a energia interna.

2-3 Isobárica: O combustível é injetado e queimado durante o aumento de volume (combustão não instantânea), seguindo um processo de fornecimento de calor a pressão constante $Q_{2-3} = C_p \cdot (T_3 - T_2)$.

3-4 Adiabática: O fluido é expandido realizando o trabalho W_{3-4} devido à sua energia interna, sendo esse a área limitada superiormente pela linha 3-4, do diagrama p - V .

4-1 Isocórica: Corresponde à perda de calor $Q_{4-1} = C_v \cdot (T_4 - T_1)$.

Binário e potência, rendimento e consumo específico

Um motor é geralmente definido pelos valores de potência e binário máximos. Para se determinar o binário B (em N.m), utiliza-se um freio dinamométrico e do produto deste com a velocidade de rotação (N em rot/s) resulta a potência útil ou efetiva (em W).

$$\dot{W} = 2\pi NB \quad (1)$$

Em suma, o binário está relacionado com o trabalho produzido enquanto potência representa a taxa a que esse trabalho é produzido.

O rendimento total é um parâmetro que nos permite verificar como a energia do combustível é transformada em trabalho.

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_f \times Q} \quad (2)$$

onde, \dot{m}_f - caudal de combustível [g/s]

Q - poder calorífico do combustível [J/g].

Também é possível obter a massa de combustível por trabalho efetuado pelo motor (também conhecido como consumo específico), sendo este:

$$C_s = \frac{\dot{m}}{\dot{W}} \quad (3)$$

Parâmetros geométricos

Os parâmetros geométricos mais importantes de um motor são a taxa de compressão, a relação diâmetro-curso do pistão e a relação comprimento da biela-raio da cambota. Por isso é que motores com a mesma cilindrada têm valores diferentes de potência, devido a estes parâmetros.

Taxa de compressão: $\varepsilon = \frac{V_{PMI}}{V_{PMS}} = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_v + V_{CC}}{V_{CC}}$ (4)

Relação diâmetro-curso do pistão: $R_{DC} = \frac{D}{C}$ (5)

Relação comprimento da biela-raio da cambota: $R_{DC} = \frac{L}{R}$ (6)

nos quais V_V - volume varrido (cilindrada);

V_{CC} - volume da câmara de combustão;

D – diâmetro do cilindro;

C – curso do pistão;

L – comprimento da biela;

R – raio da cambota.

2.2 Principais constituintes de um motor

Neste subcapítulo serão abordados os principais constituintes de um motor, assim como as suas funções.

2.2.1 Bloco de cilindros, culassa e cárter

São os elementos estruturantes do motor, sobre os quais evoluem e se apoiam as peças em movimento.

Bloco de cilindros

São constituídos por ligas leves de modo a reduzir o peso e melhorar a transferência de calor. Antigamente eram fabricados em ferro fundido, porque este era um material resistente, económico e fácil de trabalhar. Dentro do bloco existem cavidades cilíndricas onde são colocadas camisas, onde funcionam os pistões (Figura 6). Estes não trabalham diretamente sobre o bloco uma vez que se as paredes sofrerem desgaste torna-se menos dispendioso trocar as camisas do que o bloco. Para além disso, as camisas apresentam um material mais resistente ao desgaste e com menor atrito.



Figura 6 - Bloco de cilindros, Honda (adaptado de [9])

As camisas podem ser arrefecidas por um fluido que contorna os cilindros que é normalmente um anticongelante misturado com água. Posto isto, denominam-se camisas húmidas ou camisas secas, consoante estiverem ou não em contato com o líquido de arrefecimento (Figura 7).



Figura 7 - Exemplo de uma camisa húmida e uma camisa seca (adaptado de [9])

Caso o bloco seja liso exteriormente, o seu arrefecimento é feito por líquido, quando é feito por ar, a parte externa tem alhetas de forma a aumentar a transferência de calor. Usualmente as alhetas mais utilizadas são provenientes de ligas de alumínio.

Cabeça do motor ou culassa

Os motores antigos usavam para o fabrico das culassas o ferro fundido, sendo que hoje em dia é usual serem constituídas por ligas de alumínio, uma vez que apresentam boa condutibilidade térmica, são leves e fáceis de trabalhar.

Os motores Diesel de injeção indireta têm a pré-câmara de combustão como posição. Seguidamente na Figura 8, encontra-se um exemplo de uma culassa de um motor.

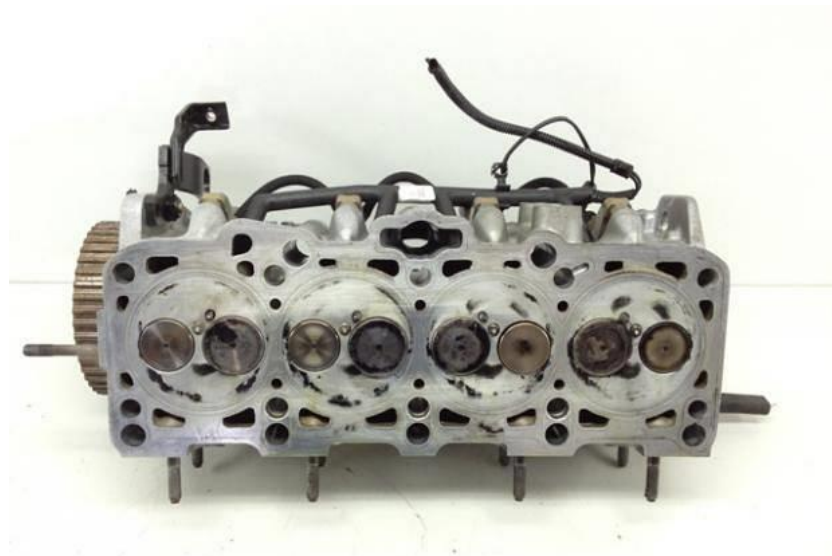


Figura 8 - Culassa com 2 válvulas por cilindro (adaptado de [9])

Cárter do óleo

O cárter (Figura 9), como é conhecido vulgarmente, é uma peça que serve para armazenar o óleo de lubrificação. Geralmente é de aço estampado, para apresentar uma boa resistência ao choque, mas pode ser fundida em alumínio. Pode apresentar alhetas exteriores para melhorar a transferência de calor com o ar exterior, uma vez que tem também a função de arrefecer o óleo.



Figura 9 - Cárter de óleo, Renault Scenic (adaptado de [10])

2.2.2 Sistema biela-manivela

A função deste sistema (Figura 10) é transformar a energia proveniente da combustão da mistura ar-combustível em energia mecânica útil. É constituído por pistões, bielas e cambota.

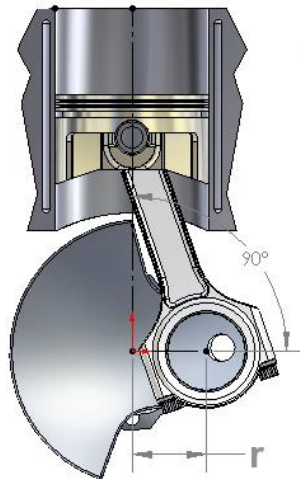


Figura 10 - Sistema Biela-manivela [11]

O pistão é um elemento que é muito esforçado no motor, uma vez que trabalha a altas velocidades em relação ao cilindro, resiste a grandes pressões, altas temperaturas provenientes da combustão e tem de transmitir a força resultante à biela. Deve também fornecer boa estanquicidade com o cilindro, ter bom guiamento e pouca massa, dissipar o calor gerado na combustão e moldar-se o melhor possível ao cilindro a quente ou a frio.

O pistão (Figura 11) é composto por cabeça e saia. A cabeça suporta a pressão dos gases de combustão e é constituída pela parte superior onde existem ranhuras porta-segmentos. A saia é caracterizada por ser a parte inferior do pistão e tem como função manter o alinhamento no cilindro e para transferir calor para as paredes. Se esta não existisse, haveria fundição do pistão.



Figura 11 - Exemplo de um pistão (adaptado de [9])

Segmentos

Os segmentos (Figura 12) são anéis circulares feitos de ferro macio que podem apresentar crómio para diminuir o atrito e aumentar a longevidade. Têm como função assegurar a estanquicidade entre o pistão e o cilindro, sendo alojados nas ranhuras do porta-segmentos. Os segmentos são cortados num ponto, apresentando um diâmetro superior ao do cilindro, de forma a assegurarem a vedação. Por conseguinte, quando introduzidos no cilindro, agem como uma mola, pressionando-se contra ele.



Figura 12 - Segmentos e pistão (adaptado de [9])

Biela

O objetivo deste componente (Figura 13) é transformar o movimento alternativo do pistão em movimento de rotação da cambota. É constituída por pé, corpo e cabeça. O pé da biela é ligado ao pistão e a cabeça ao pistão. Normalmente, a cabeça tem duas partes, uma é amovível de forma a tornar a montagem mais fácil, sendo esta denominada de chapéu. O plano de separação pode ser inclinado ou perpendicular ao eixo da biela.

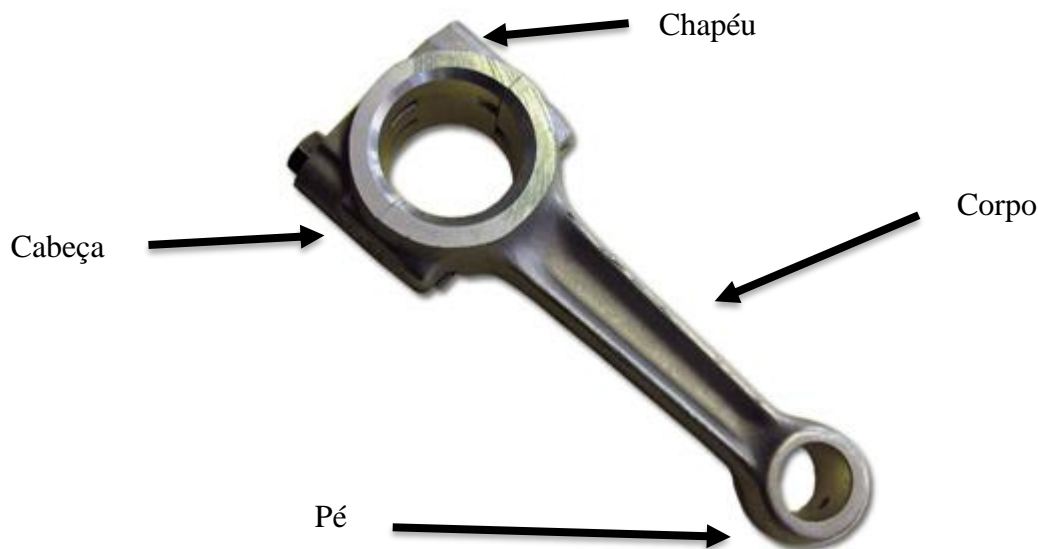


Figura 13 - Biela e seus constituintes (adaptado de [9])

Bielas longas são caracterizadas por terem bastante massa, mas bielas curtas produzem elevado atrito e desgaste, devido à sua maior inclinação, pelo que valores por volta de 2 para a relação de comprimento parece ser o ideal.

Cambota

A cambota (Figura 14) é a segunda peça da transformação do movimento alternativo do pistão em rotativo do eixo do motor. É formada por uma peça, sendo fabricada por fundição ou forjamento.

A potência é transmitida por uma das extremidades, onde se encontra acoplado o volante de inércia. Esta peça está sujeita a grandes esforços de torção e flexão como também de corte. Geralmente, a cambota, é o componente que comanda os sistemas de distribuição, injeção, arrefecimento e lubrificação através de engrenagens ou correntes e através de sensores eletrônicos de posição.

De maneira a minimizar a flexão, utiliza-se um número elevado de apoios (um entre cada cilindro) mais os das extremidades. Deve-se prestar atenção ao projeto dos moentes das bielas (peças que ligam a cambota à biela), dado que se tiverem um diâmetro excessivo, as perdas por atrito serão maiores. Contudo se o diâmetro for pequeno haverá falhas mecânicas. Caso a largura seja também demasiada, o motor será mais comprido e as perdas por atrito maiores. A cambota tem contra-pesos de modo a equilibrar as massas em movimento, tornando o motor mais suave. Geralmente esses contra-pesos são colocados nos braços das manivelas.

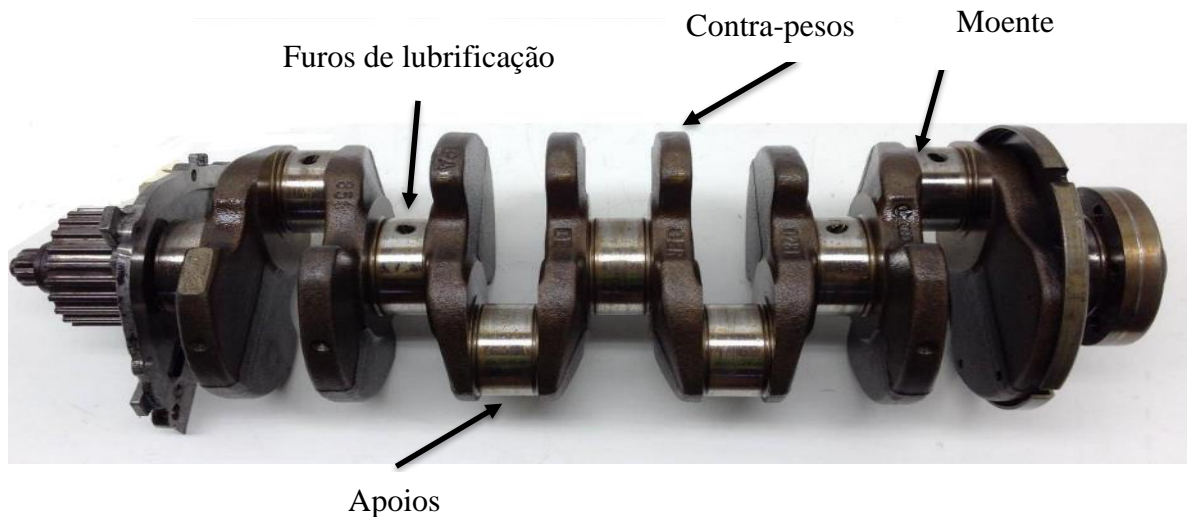


Figura 14 - Cambota e seus constituintes (adaptado de [12])

2.2.3 Sistemas de injeção

No motor diesel, a injeção ocorre antes do *PMS* e prossegue durante a descida do pistão. A pressão existente no sistema de injeção terá de ser muito maior que a pressão dentro do cilindro.

De modo a apresentarem uma boa preparação da mistura, atualmente os motores Diesel têm pressões de injeção que podem ultrapassar os 2000 bar.

Nos sistemas de injeção devem ser seguidas certas condições, sendo estas as seguintes:

-Pulverização: As gotas devem ser o mais pequenas possível, dado que isto facilita a combustão, uma vez que a área superficial da totalidade do combustível injetado será maior. O grau de pulverização é dependente da pressão de injeção e do diâmetro e comprimento do orifício por onde passa o combustível. Quanto maiores forem as velocidades de injeção maior será a velocidade de vaporização.

-Penetração: as gotas não deverão ser todas iguais de maneira a chegarem a zonas diferentes da câmara de combustão, havendo uma boa distribuição do 'spray'. As gotas maiores terminarão a vaporização próximas das paredes câmara, usando o ar dessa região, enquanto que as gotas pequenas vaporizam perto do bico do injetor.

-Gradiente de injeção: através dos novos sistemas de injeção controlados eletronicamente e graças aos injetores de rápida resposta (piezoelétricos), existe uma

liberdade extrema dos gradientes de injeção, proporcionando uma melhor combustão, diminuindo o ruído e a emissão de poluentes.

Existem 3 métodos distintos de injetar o combustível a elevadas pressões. De modo a promover uma combustão relativamente limpa e suave:

- 1º Bomba de injeção ligada aos injetores por tubos metálicos;
- 2º Bomba-injetor;
- 3º Sistema 'common-rail'.

O 1º sistema é o mais antigo (Figura 15), e foi usado praticamente quase desde há 1 século atrás, com as bombas em linha, sendo mais tarde substituídas pelas rotativas. É caracterizado como sendo barato, fácil de implementar e dando maior liberdade para colocar a bomba e os injetores. É utilizado nos motores de câmara auxiliar e de injeção direta. Este sistema não permite atingir grandes pressões na injeção devido aos longos tubos de ligação, o que é uma grande desvantagem hoje em dia. Para além disso, este sistema não permite o controlo exigido nos motores atuais que usam pré e pós-injeções e modulação da injeção principal. Por isto, o sistema common-rail tem sido preferido aos outros sistemas.

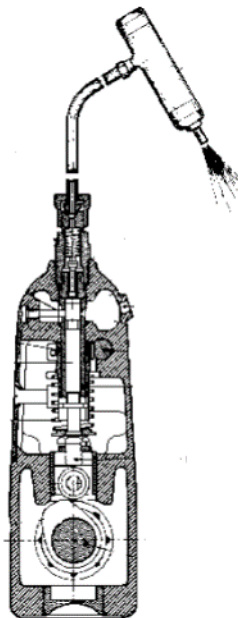


Figura 15 - Sistema bomba de injeção (sistema mais antigo em corte) [13]

O sistema da Figura 16 foi projetado para motores de injeção direta não automóvel com o intuito de elevar as pressões de injeção muito acima dos 1500 bar. Para o funcionamento deste, é necessário a instalação de várias bombas-injetor de modo a serem atuadas pela árvore

de cames, ou então balanceiros e hastes entre estes elementos, dado que terá de haver uma bomba-injetor por cilindro e cada uma deverá ser atuada por um came. O sistema proporciona pressões superiores a 2000 bar, dado que o injetor e a bomba estão no mesmo corpo. Na década de 80, começou-se o controlo eletrónico da injeção precisamente neste sistema, reduzindo-se as emissões de fumos e sendo possível melhorar o arranque a frio. A produção de partículas também diminuiu devido à preparação da mistura, as gotas são mais finas devido às elevadas pressões que proporcionam.



Figura 16 - Sistema Bomba-injetor (adaptado de [14])

O último sistema, 'common-rail' (Figura 17) é assim denominado devido ao combustível fornecido aos injetores estar pressurizado e ser fornecido por uma tubagem comum. Este sistema tem uma bomba com o intuito de elevar a pressão do combustível, semelhante aos sistemas MPI dos motores a gasolina.



Figura 17 - Sistema 'common-rail', Bosch (adaptado de [15])

Bomba de injeção em linha

Hoje em dia os sistemas são praticamente todos controlados eletronicamente, porém antes a realidade era outra, eram sistemas puramente mecânicos que nem precisavam de bateria para funcionarem. A bomba de injeção tinha vários conjuntos camisa-pistão que estavam ligados por tubos metálicos aos vários injetores colocados na cabeça do motor. Através de furos nas camisas e de rotação dos pistões permite um controle de carga simples. Os pistões trabalham com pressões altas (500 bar) mas não têm segmentos, o que os leva a serem fabricados com tolerâncias muito restritas e usam o gásóleo para lubrificar. A carga é controlada pelo curso útil do êmbolo, sendo este controlado pela sua posição angular.

Seguidamente apresenta-se um exemplo de uma bomba injetora em linha (Figura 18).



Figura 18 - bomba injetora em linha (adaptado de [16])

Para os motores Diesel rápidos com pré-câmara de combustão, usam-se as bombas rotativas que são também conhecidas como ‘bombas de distribuidor’. Neste tipo, não existe árvore de cames, dando lugar a um prato de perfil ondulado (tipo carrossel, com saliências) que roda e vai originar o movimento de vaivém do êmbolo. Apesar da bomba rotativa apenas possuir um cilindro, esta possui um distribuidor que a liga a cada injetor, sequencialmente.

Injetores

Estes mecanismos podem ser eletrônicos ou mecânicos. Os mecânicos abrem com a pressão do gásóleo quando este incide sobre o bico da agulha. Na extremidade oposta da agulha existe uma mola que a mantém fechada sobre o bico do injetor, com alta pressão. Há dois tipos de agulha: a de bico saliente que é usada em motores de câmara auxiliar e a de bico cônico, utilizada em motores de injeção direta.

A pulverização mais eficaz é protagonizada pelos injetores com agulhas de bico cônico, porém necessitam também de pressões muito mais elevadas para funcionarem eficazmente. Uma característica deste injetor é produzir vários ‘sprays’ radialmente, uma vez que deve injetar combustível para toda a câmara de combustão. Os injetores de bico saliente injetam apenas um ‘spray’ com menor pulverização, dado que são usados em câmaras auxiliares, onde a preparação da mistura se realiza através da elevada rotacionalidade do ar na câmara. Na Figura 19, apresentam-se alguns tipos de injetores da fabricante Bosch.



Figura 19 - Vários tipos de injetores, Bosch (adaptado de [15])

Nos sistemas ‘common-rail’, os injetores utilizados (Figura 20), embora pareçam simples exteriormente necessitam de um sistema interior de comando e válvulas que é bastante complexo. Os novos injetores têm bicos de injeção variável, isto é, têm orifícios a duas alturas distintas para abrirem durante a pré e pós-injeções e a injeção principal. Como os primeiros orifícios a abrir são os de menor diâmetro, estas originam ‘sprays’ mais finos.

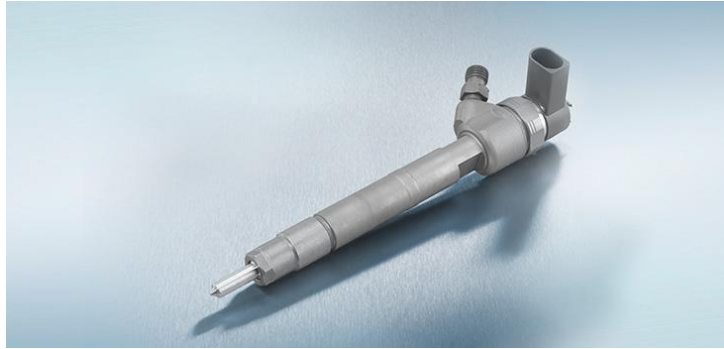


Figura 20 - Injetor de um sistema "common-rail" (adaptado de [15])

2.3 Combustíveis

Neste subcapítulo serão abordados os combustíveis usados para teste e estudo, os quais são o gasóleo e o biodiesel. O gasóleo e o biodiesel parecem semelhantes, contudo são diferentes em vários aspetos. O biodiesel é obtido a partir de óleos crus de origem animal ou vegetal (fonte renovável) e o gasóleo a partir de petróleo bruto (origem fóssil). Mais adiante, compara-se as qualidades dos dois combustíveis assim como a maneira como afetam a combustão num motor diesel.

2.3.1 Gasóleo

Por definição, o gasóleo é um derivado da destilação de petróleo e é constituído por uma mistura de hidrocarbonetos. É originado através da destilação fracionada do petróleo bruto, sendo composto por uma mistura de diversos hidrocarbonetos, mas também de outras substâncias em quantidades inferiores, como por exemplo, oxigénio, enxofre, azoto, entre outros (Figura 21).

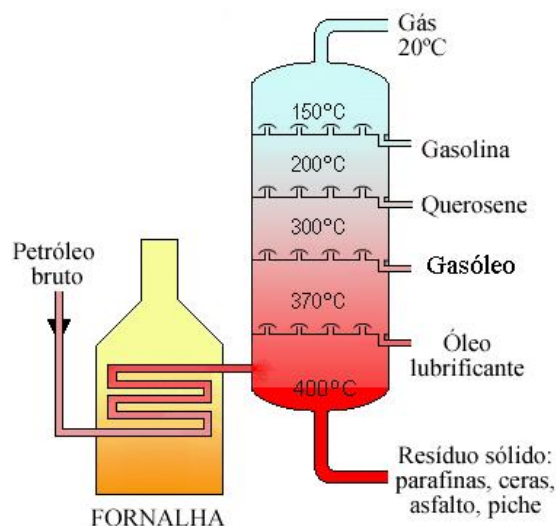


Figura 21 - Destilação fracionada do petróleo bruto [17]

Como se verifica pela figura anterior, vários são os produtos da destilação fracionada do petróleo bruto. O gasóleo é obtido num intervalo de ebulição entre 232 e 343 °C.

De modo a que as emissões dos veículos sejam asseguradas na União Europeia, existe um Comité Europeu de Normalização (CEN). As normas vão sendo modificadas ao longo do tempo, devido às necessidades ambientais se alterarem também. Um exemplo, é a norma de emissões que se encontra na Tabela 3, onde se verifica o progresso das normas ao longo dos anos.

Tabela 3-Normas de emissões regulamentadas na União Europeia (adaptado de [18])

Stage	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		g/km					#/km
Compression Ignition (Diesel)							
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)	-
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08	-
Euro 2, DI	1996.01 ^a	1.0	-	0.9	-	0.10	-
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
Euro 5a	2009.09 ^b	0.50	-	0.23	0.18	0.005 ^f	-
Euro 5b	2011.09 ^c	0.50	-	0.23	0.18	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹

Como se confirma com o decorrer dos anos, os valores permitidos para os diversos poluentes têm vindo a diminuir, o que demonstra a maior preocupação ambiental existente.

As especificações mais importantes para o gasóleo na UE encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4- Especificações para o Diesel na União Europeia (adaptado de [18])

Propriedades	Unidades	Especificação		Teste
		Min	Max	
Nº cetano		49	–	ISO 5165
Índice de cetano		46	–	ISO 4264
Massa Volúmica @15°C	kg/m ³	820	860	ISO 3675/ASTM D4052
Enxofre	% (wt.)	–	0.20	EN 24260/ISO 8754
Ponto de inflamação	°C	55	–	ISO 2719
Resíduos de Carbono (10% btms)	% (wt.)	–	0.30	ISO 10370
Cinza	% (wt.)	–	0.01	EN 26245
Conteúdo de água	mg/kg	–	200	ASTM D1744
Corrosão das fitas de cobre, 3h @50°C		–	Class 1	ISO 2160
Estabilidade da oxidação	g/m ³	–	25	ASTM D2247
Viscosidade @40°C	mm ² /s	2.00	4.50	ISO 3104

2.3.2 Biodiesel

Os motores diesel também podem utilizar outros combustíveis, para além do gasóleo. Esses podem ser combustíveis líquidos ou combustíveis gasosos (como o gás natural). Dentro dos líquidos englobam-se os éteres, ésteres ou óleos vegetais.

Biodiesel (ésteres)

O biodiesel é um biocombustível de origem renovável que normalmente resulta de uma reação entre um álcool e um ácido, por um processo denominado de esterificação. É um composto oxigenado, uma vez que possui cerca de 11% de oxigénio, o que leva a um conseqüente menor poder calorífico e uma menor relação estequiométrica quando comparado

com o gásóleo. Por outras palavras, para uma mesma massa de ar e para se fornecer a mesma quantidade de energia é necessário injetar uma maior quantidade de biodiesel do que gásóleo.

O processo mais vulgar na produção de ésteres é por transesterificação (Figura 22), no qual um triglicérido reage com um álcool produzindo um éster e glicerol.

Os ésteres dos vários óleos vegetais como colza, soja, amendoim, entre outros, são conhecidos como ‘biodiesel’ ou por FAME (‘fatty acid methyl ester’- éster metílico de ácidos gordos), sendo a definição usada para denominar óleos de origem vegetal e animal depois de sofrerem esterificação ou transesterificação.

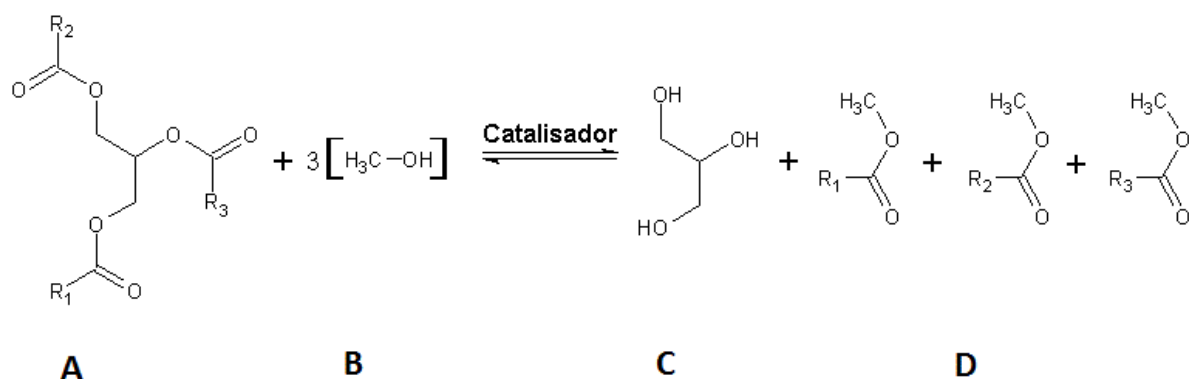


Figura 22 - Reação de transesterificação de obtenção do Biodiesel [19]

A Figura 22 corresponde à reação de transesterificação para obter biodiesel. Consiste em juntar um triglicérido (A) para reagir com um álcool metílico (B) a uma temperatura ligeiramente abaixo do ponto de ebulição do álcool utilizado. Dá-se graças a um catalisador que pode ser hidróxido de potássio ou sódio, resultando num FAME (C) e glicerol (D).

O uso do biodiesel tem vantagens e desvantagens. Começando pelas vantagens, este tem um índice de cetano superior ao gásóleo, propriedades lubrificantes, quase não tem enxofre e o dióxido de carbono produzido é do ciclo de carbono curto, isto é, essas emissões não são contabilizadas para o efeito estufa. Alguns poluentes (*HC*, *CO* e partículas) são produzidos em menor escala do que com o gásóleo e trata-se de um combustível biodegradável, porém a emissão de *NO_x* é maior. Apresenta menor viscosidade de que os óleos de que deriva, mas ainda é mais viscoso que o gásóleo.

Tem como contra, o processo de fabrico ser ineficiente, uma vez que durante a produção existem perdas de cerca de 20% do poder calorífico do óleo inicial. O custo final é superior ao

do gasóleo. Estes deterioram os polímeros e borrachas e o seu poder calorífico é cerca de 10% menor do que o do gasóleo.

A combustão dá-se mais cedo devido ao seu maior índice de cetano. Posto isto, a pressão elevar-se-á mais rapidamente no que toca ao biodiesel, originando temperaturas de combustão mais elevadas e uma maior produção de *NOx*. Por vezes, este aumento de pressão poderá acontecer antes do pistão atingir a *PMS*, o que leva a piores rendimentos e menores prestações, porém normalmente acontece o contrário.

Quanto às leis impostas pela União Europeia, estão subjacentes na norma EN14214 (Tabela 5) e permitem controlar e dar garantia aos produtores de automóveis para os seus veículos a biodiesel. Essa norma encontra-se exposta seguidamente.

Tabela 5-Norma EN14214 (adaptado de [20])

Propriedade	Unidades	Limite inferior	Limite superior	Método de teste
Conteúdo de éster	% (m/m)	96.5	-	EN 14103
Densidade a 15°C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 / EN ISO 12185 / EN12185.
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	3.5	5.0	EN ISO 3104 / EN 14105
Ponto de inflamação	°C	> 101	-	EN ISO 2719 / EN ISO 3679.
Enxofre	mg/kg	-	10	- EN ISO 20846 / EN ISO 20884.
Nº Cetano	-	51	-	EN ISO 5165
Cinza	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Água	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminação total	mg/kg	-	24	EN 12662
Corrosão das fitas de cobre (3 horas a 50 °C)	classificação	Class 1	Class 1	EN ISO 2160
Estabilidade da oxidação a 110°C	horas	8	-	EN 14112
Valor de ácido	mg KOH/g	-	0,5	EN 14104
Valor de iodo	-	-	120	EN 14111

2.3.3 Propriedades dos combustíveis

Existem várias propriedades subjacentes aos combustíveis anteriormente referidos. Neste subcapítulo, serão abordadas essas características, os valores que podem assumir e a influência na performance de um motor diesel.

Índice de cetano

A aptidão para um dado combustível se auto-inflamar pode ser determinada através do índice de cetano (IC). Este valor normalmente ronda o valor de 50 para o gasóleo, sendo que no caso do biodiesel é ligeiramente superior (Tabela 6).

Tabela 6 - Índice de cetano para os combustíveis (adaptado de [6])

	Gasóleo	Éster de Colza	Éster de Soja
Índice de Cetano (IC)	50-54	52	54-58

O IC é função inversa do atraso de ignição, ou seja, é o intervalo de tempo entre o início da injeção e o primeiro sinal de aumento de pressão, aquando da combustão do combustível. Por conseguinte, um combustível com maior IC terá um atraso menor, isto é, uma ignição mais rápida.

Densidade ou massa volúmica

Por definição, a massa volúmica (ρ) é calculada através da medição de uma massa por unidade de volume. O poder calorífico, que é outra propriedade dos combustíveis, é por esta medida, em base volúmica. Por exemplo, o gasóleo tem um valor de (ρ) superior ao da gasolina, ou seja, tem maior poder calorífico para um mesmo volume.

Posteriormente, apresenta-se na Tabela 7 os valores de densidade para o gasóleo e o biodiesel, na qual se pode constatar que o biodiesel possui maior densidade.

Tabela 7 - Massa volúmica dos combustíveis (adaptado de [6])

Tipo de combustível	Massa volúmica (ρ)
Gasolina	720-780
Gasóleo	830
Biodiesel	881

Poder calorífico

O poder calorífico (PC) é usado como medida para determinação do rendimento térmico de um motor. É definido como a energia química disponível num dado combustível. Pode aparecer em kWh/kg ou em MJ/kg. Para calcular esta propriedade, mede-se a quantidade de calor que é possível extrair durante a combustão. Esta medida tem dois limites. O limite superior é denominado de PCS- água condensada e o limite inferior é conhecido como PCI- vapor. O valor mais usado é o PCI, uma vez que durante a combustão num motor de combustão interna, não é possível expandir até ao ponto de a água (constituente dos gases de escape) entrar no estado líquido. Seguidamente expõe-se na Tabela 8 os valores de poder calorífico para os combustíveis.

Tabela 8 – Poder calorífico do gasóleo e biodiesel (adaptado de [6])

Tipo de combustível	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)
Gasóleo	46,1	43.2
Biodiesel	39.8	37.3

Como se verifica na Tabela 8, o gasóleo tem maior PC que o biodiesel, o que significa que um motor diesel alimentado por biodiesel terá prestações inferiores comparando com o uso de gasóleo. Isto deve-se ao facto da quantidade de energia do biodiesel aproveitar menos potência útil.

Ponto de inflamação

É o ponto onde a temperatura de um dado combustível é suficiente para produzir à pressão atmosférica, uma mistura estequiométrica entre o seu vapor e o ar envolvente. Neste ponto, a mistura resultante é facilmente inflamável quando exposta a uma fonte exterior de ignição. Por

vezes, esta característica é referida como 'Flash Point' e é, na verdade, a medida de volatilidade de um combustível.

Na Tabela 9 , verifica-se uma faz vantagens do biodiesel em relação ao gasóleo, que é o facto de ter um flash point superior, isto é, menor volatilidade, o que dá origem a menor perigo durante o seu transporte.

Tabela 9 - Ponto de inflamação do gasóleo e biodiesel (adaptado de [6])

Tipo de combustível	Flash point (°C)
Gasóleo	60-80
Biodiesel	150-180

Compressibilidade

Nos motores de combustão interna, o processo de injeção tem um papel preponderante. Um dos pontos que deve estar bem definido é o momento de injeção de combustível, que está relacionado com o módulo de compressibilidade, também conhecido como Bulk Modulus of compressibility. A função deste módulo é medir a capacidade de uma dada substância resistir à compressão através de uma razão entre a pressão e o volume, tendo como unidade o Pascal (Pa). Através desta medida, pode-se ajustar o timing da injeção para cada combustível a injetar, de maneira a ser obter as melhores performances.

Viscosidade

Esta propriedade é referida como a resistência que um fluido oferece à sua deformação, através de tensões de corte.

Com o aumento da viscosidade, a precisão da injeção diminui. O combustível injetado não é tao facilmente vaporizado, derivado do maior diâmetro das partículas. Na Tabela 10, é possível verificar o modo como a viscosidade do biodiesel varia com a temperatura.

Tabela 10 - Viscosidade do biodiesel em função da temperatura (adaptado de [21])

Temperatura (°C)	40	80	150
Viscosidade (mpa.s)	3.5	1.7	0.8

Uma vez que o biodiesel apresenta uma elevada viscosidade a baixas temperaturas, haverá dificuldades no seu fluxo a frio. Este facto pode ser prejudicial caso se use em climas

onde as temperaturas sejam baixas. A temperatura de solidificação do biodiesel é também um fator a ter em conta, uma vez que é superior à do gasóleo, pelo que pode ocorrer formação de cristais para baixas temperaturas, o que leva a dificuldades na alimentação do motor por causa de obstruções no sistema de alimentação e filtros.

Na Tabela 11, apresentam-se os valores de viscosidade cinemática a 40°C para o gasóleo e a 50°C para o biodiesel.

Tabela 11 - Viscosidade cinemática do gasóleo e biodiesel (adaptado de [6])

Tipo de combustível	Viscosidade cinemática (mm ² /s)
Biodiesel (50°C)	4.62-5.76
Gasóleo (40°C)	3.69

Lubricidade

No que diz respeito a esta propriedade, o desgaste é uma das formas de conseguir determinar a capacidade lubrificante de um dado combustível. A lubrificação do sistema de injeção dos motores diesel é protagonizada pelo combustível que se utiliza. Hoje em dia, devido a restrições no teor de enxofre no gasóleo (10ppm), foi necessário introduzir pequenas quantidades de aditivos. Estes aditivos são normalmente pequenas percentagens de biodiesel.

Na Tabela 12 encontram-se valores de lubricidade para o gasóleo e biodiesel, medidos através dos diferentes diâmetros das crateras resultantes em testes de 4 esferas. Este teste permite aferir o desgaste.

Tabela 12 - Lubricidade do gasóleo e biodiesel (adaptado de [22])

Tipo de combustível	Lubricidade (µm)
Gasóleo	237
Biodiesel	181

2.4 Emissões poluentes

Os motores Diesel são propícios à produção de partículas, sendo esta uma característica não existente nos motores a gasolina (exceto nos de injeção direta). Para uma menor emissão de partículas, a pressão de injeção deverá ser elevada (pode ser maior que 2000 bar) o que levará a um melhor processo de mistura dentro do cilindro e uma maior homogeneidade da

mistura. Caso a preparação da mistura melhore, a temperatura da chama eleva-se, havendo um aumento da produção de NO_x .

Os motores Diesel podem produzir 3 tipos de fumos pelo escape, o que pode demonstrar diferentes tipos de problemas:

-Fumo preto: mistura excessivamente rica ou combustível adulterado, que pode ser originado por filtro de ar sujo, injeção excessiva de combustível ou falta de pressão do turbo-compressor;

-Fumo azul: resulta da passagem de óleo para a câmara de combustão e queima do mesmo, sendo que pode ter origem no desgaste dos pistões, folga entre válvulas e guias, desgaste dos pistões e/ou segmentos ou problema de vedação do turbo-compressor;

-Fumo branco: geralmente acontece em arranques a frio e corresponde à saída de gasóleo atomizado não queimado, podendo dever-se à grave falta de compressão ou velas de aquecimento queimadas.

Como o motor Diesel funciona com excesso de ar, não é plausível utilizar catalisadores de triplo efeito, uma vez que estes só trabalham otimamente com misturas perfeitamente estequiométricas. Posto isto, só será possível reduzir uma baixa percentagem dos NO_x produzidos na combustão, dado que só se pode usar catalisadores de oxidação.

Com os catalisadores de oxidação consegue-se eliminar o CO e HC , mas também os hidrocarbonetos dissolvidos nas partículas, através das substâncias catalíticas depositadas nos filtros de partículas. Estes catalisadores têm um papel preponderante na eliminação dos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, sendo estes responsáveis pelo cheiro dos gases de escape dos motores e eliminando mais de 20% das partículas.

Os atuais catalisadores têm rendimentos de cerca de 50% na eliminação dos NO_x , valor baixo comparando com os catalisadores de triplo efeito que têm rendimentos de cerca de 98%.

Para reduzir os NO_x dos gases de escape existe um processo denominado como redução catalítica seletiva (SCR – ‘Selective Catalytic Reduction’), que consiste na mistura de amónia, ureia, ácido cianúrico ou metilamina. A remoção do NO dá-se através da reação com o NH_3 que é formado a partir daqueles compostos, normalmente usando um catalisador. A taxa de remoção dos NO_x poderá ser mais de 80%, nestes casos.

Outra técnica para eliminar estes gases poluentes é o uso de catalisadores que adsorvem estes compostos, conhecidos como DeNOx. Quando não podem adsorver mais, através do controlador do motor, é injetada uma mistura rica (estequiométrica) permitindo que os NOx sejam deadsorvidos e eliminados no catalisador, tomando assim vantagem do ambiente reductor desses gases de escape.

Estes catalisadores apresentam rendimentos por vezes superiores a 80%, porém são facilmente contaminados por enxofre, por isso só deverão ser usados em locais onde o combustível tenha um teor reduzido deste elemento, de maneira que o catalisador não perca a sua eficácia.

Para eliminar os compostos formados por moléculas de azoto e oxigénio (NO_x) existe outra técnica utilizada nos motores automóveis desde a década de 70, conhecida como a recirculação de gases de escape. Está aprovado que a recirculação dos gases de escape (entre 20 a 30%) na mistura admitida permite reduzir a pressão média a que o motor esta sujeita, dando origem a temperaturas menores dentro da câmara de combustão, reduzindo assim a formação destes poluentes.

Para que a percentagem dos gases de escape reintroduzidos na admissão seja a mais recomendada e não ultrapasse os valores referidos anteriormente (20 a 30%), é utilizada uma válvula conhecida como válvula EGR (*Exhaust Gas Recirculation*). A função desta válvula é limitar o fluxo dos meios complementares diretamente ligados ao sistema de gestão do motor.

Com a reintrodução dos gases de escape (Figura 23), está-se a reduzir o teor de oxigénio do ar introduzido nos cilindros do motor, uma vez que estes gases são pobres em oxigénio. Esses gases provenientes do EGR por vezes são combinados com os vapores de óleo que vêm do cárter, originando uma mistura muito espessa que poderá reduzir a passagem do ar desde a admissão até aos cilindros, diminuindo os rendimentos do motor. A grande desvantagem está alojada no facto de que como entra uma quantidade elevada de gases de escape na admissão, todo o coletor de admissão será afetado, diminuindo as prestações do motor.

A quantidade de gases de escape admitidos nos cilindros é inversamente proporcional à carga dada pelo acelerador, visto que o EGR tem o máximo de abertura ao ralenti e está fechada quando o pedal do acelerador se encontra completamente pressionado.

Seguidamente apresenta-se uma figura ilustrativa do funcionamento do sistema de recirculação de gases de escape.

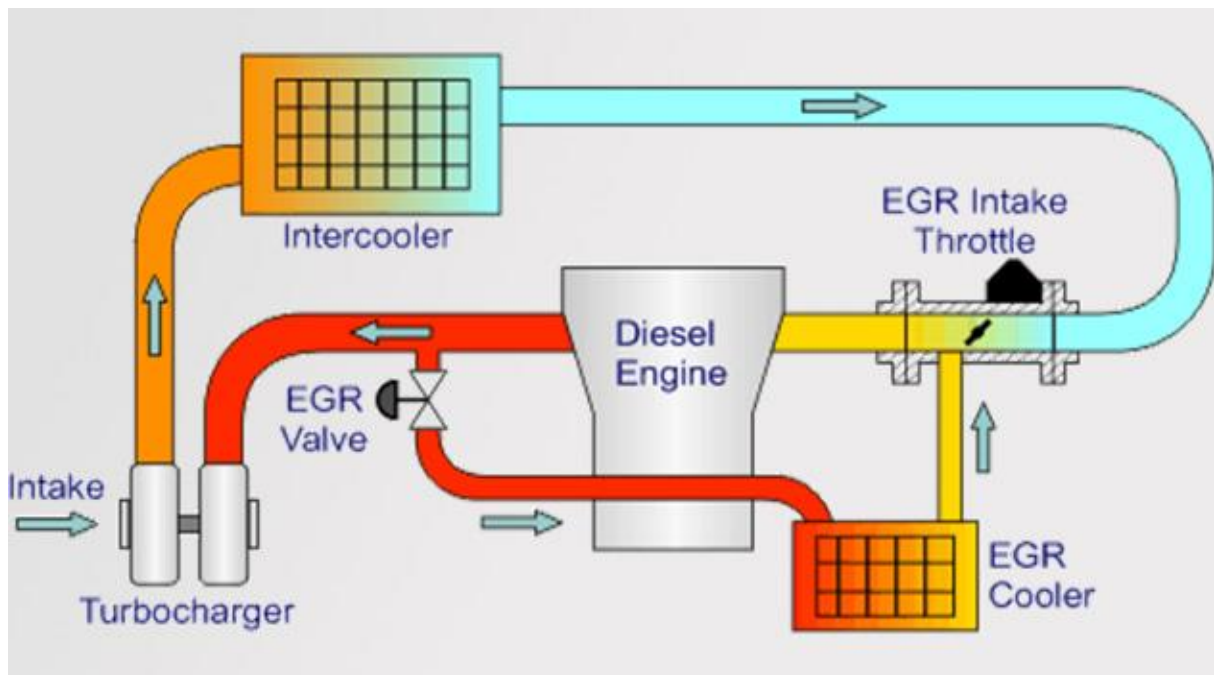


Figura 23 - Esquema de um sistema EGR [23]

O sistema EGR é composto por válvula EGR, circuito de controlo e dispositivos e métodos de avaliação da quantidade de gases de recirculação.

A válvula situa-se num tubo entre o coletor de escape e o coletor de admissão e o seu funcionamento é baseado no vácuo criado no lado da admissão. Existem vários tipos de válvulas, sendo que se diferenciam pela maneira como são controladas, isto é, podem ter controlo pneumático ou controlo eletrónico. Atualmente, as válvulas EGR mais usadas são as do tipo linear com controlo eletrónico. Neste sistema, a válvula EGR é acionada por um solenoide integrado no corpo da válvula EGR juntamente com o sensor de posição da válvula.

2.5 Revisão de trabalhos e pesquisa elaborados

O uso de biodiesel em motores diesel tem estado em foco nos últimos tempos. Neste subcapítulo, apresentam-se alguns dos testes e trabalhos de investigação efetuados neste domínio.

Em Outubro de 2002, foi apresentado um documento sobre o impacto ambiental das emissões gasosas devido ao uso de biodiesel. Esse estudo foi realizado pela Agência Governamental Americana de Proteção do Ambiente (United States Environmental Protection Agency) [24]. Nesse documento, está expressa a maneira como variam as emissões gasosas em motores de camiões de longo curso aquando do uso de biodiesel. Na Figura 24, encontra-se um

gráfico que demonstra o modo como variam as emissões de NO_x, PM, CO e HC com o aumento da percentagem de biodiesel.

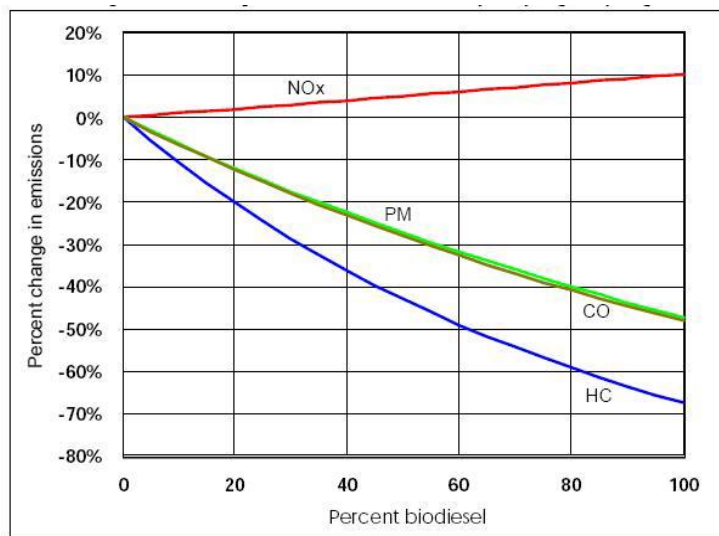


Figura 24 - Variação das emissões gasosas em função da percentagem de biodiesel [24]

É importante salientar que 98% dos veículos testados tinham motorizações do ano de 1997 ou anteriores a essa data. Não possuíam sistemas de recirculação de gases (EGR), sistemas de adsorção de NO_x nem filtro de partículas. Contudo, as pessoas que levaram a cabo este estudo, concluíram que com o uso de EGR os resultados obtidos em termos de emissões de NO_x seria o mesmo. Segundo os autores, as emissões para cada tipo de biodiesel também poderão ser diferentes. Biodiesel proveniente de girassol, milho, soja, entre outros, terão propriedades diferentes entre si, influenciando as características da combustão e os sistemas de injeção.

Foi realizado um estudo das emissões dos gases de escape de um gerador movido a Diesel por Jeffery Rothermel, intitulado 'Investigation of transesterification reaction rates and engine exhaust emissions of biodiesel fuels' [25]. Foram medidas as emissões de opacidade de fumos e verificadas as quantidades de NO_x produzidas com a variação da potência gerada, tal como representado na Figura 25 e na Figura 26.

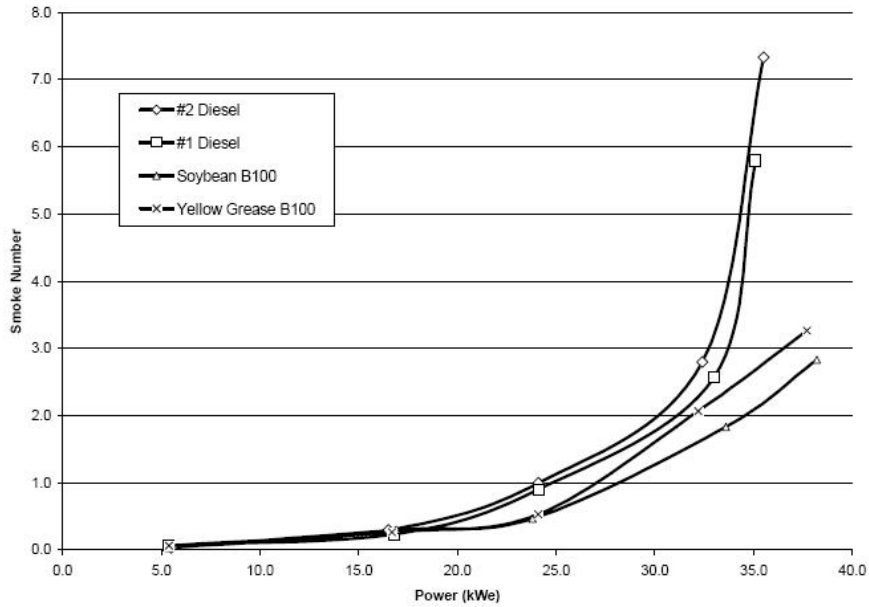


Figura 25 - Variação da opacidade dos fumos em função da potência gerada [25]

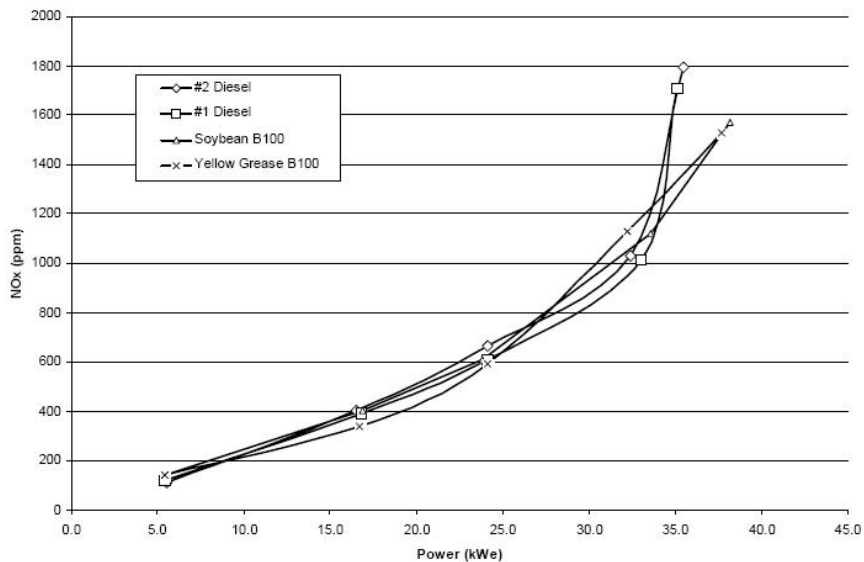


Figura 26 - Variação da produção de NOx em função da potência gerada [25]

Como conclusão, o autor, afirma que a adição de biodiesel não provocou um aumento na emissão de NOx do gerador, quando comparado com o gasóleo. A emissão de fumos reduziu significativamente com a introdução de biodiesel, principalmente com o aumento de carga do motor.

Özener [26] analisou as emissões de NOx num motor diesel utilizando gasóleo puro, biodiesel puro (100%) e misturas de gasóleo/biodiesel em proporções 10, 20 e 50% de biodiesel. Segundo o mesmo, as emissões deste poluente aumentaram com a concentração de biodiesel. Este facto pode ser justificado devido ao teor de oxigénio presente no biodiesel, que é maior que o do gasóleo. Isto é um fator preponderante na produção de NOx, uma vez que

provoca o aumento da temperatura por causa do excesso de locais com oxidação de hidrocarbonetos e conseqüentemente aumenta a temperatura máxima durante a combustão. Outra possível hipótese não descartada pelo mesmo, é que a formação de NO_x depende do sistema de injeção. Com o uso de biodiesel, existe uma extensão no tempo de combustão, o que resulta numa combustão mais completa levando a uma maior produção de óxidos de azoto.

Qi [27] realizou experiências com diesel (gasóleo) puro, biodiesel puro e misturas de diesel/biodiesel em proporções de 30, 50 e 80% de biodiesel. As suas conclusões são claras. Evidencia-se um aumento das emissões de NO_x quando se usa biodiesel em comparação com o gasóleo puro. Aponta como principal fator o aumento de temperatura na câmara de combustão e o maior teor de oxigénio presente no biodiesel, fatores que desencadeiam uma melhor combustão. Para o autor, deve-se ter em consideração o número de cetano. Quanto maior for este número, menor serão as emissões. A razão disto é que, um índice de Cetano mais elevado resulta num período de atraso de ignição menor, havendo assim menos tempo disponível para a mistura ar/combustível antes da fase de queima da pré-mistura. Por conseguinte, gera-se uma mistura pobre que vai ser queimada durante a fase de combustão pré-misturada, levando a diminuição da formação de óxidos de azoto.

Após a exposição destas pesquisas de diversas fontes e diferentes autores, em que se demonstram opiniões contrárias sobre as emissões de NO_x em função do uso de biodiesel, será possível demonstrar através deste trabalho de dissertação se as conclusões inerentes aos anteriores estavam de acordo ou não com os resultados obtidos.

3 Instalação Experimental

3. INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

Após o motor estar implementado na bancada de testes foi necessário proceder a algumas melhorias para assim otimizar os testes e suprimir as falhas existentes.

Neste capítulo abordam-se informações sobre o motor assim como as alterações realizadas na bancada de testes, no motor e sistema adjacente.

3.1 Motor Diesel

Para a parte prática foi usado um motor Diesel *common-rail*. Trata-se de um motor Peugeot 1.6 HDi de 75 cv pertencente a um veículo, Peugeot Partner de 2006 (Figura 27). As características técnicas do motor encontram-se expostas seguidamente na Tabela 13.



Figura 27 - Peugeot Partner [29]

Tabela 13 - Características técnicas do motor do veículo [28]

Motor	1.6 HDi (75cv)
Referência de motor	DV6 T162-PC (9HW)
Cilindrada	1560 cm ³
Número de cilindros	4
Potência	55 kW (75 cv) @ 4000 rpm
Binário	185 N.m @ 1750 rpm
Combustível	Gasóleo
Tipo de Injeção	Common-Rail de 2 ^a geração
Diâmetro x Curso	75,0 x 88,3 mm
Taxa de compressão	18:1
Sobrealimentação	Turbo (Mitsubishi 49173 – 07503)
Número de válvulas	16
Disposição	Transversal
Tração	Dianteira (FWD)
Caixa de velocidades	5 Velocidades manuais

3.2 EGR

De modo a não haver um número elevado de variáveis a ter em conta durante os ensaios, decidiu-se desativar o sistema EGR do motor (Figura 28 e Figura 29). Para além disso, quando o EGR tem um funcionamento defeituoso leva a um aumento do consumo e das emissões de gases de escape o que não é nada benéfico.



Figura 28 - Motor ainda com o sistema EGR



Figura 29 - EGR cooler removido

Como se pode reparar, o sistema EGR foi desativado, retirando-se as tubagens e tapando as saídas para a válvula. Posteriormente, seguem-se imagens do processo na Figura 30 e na Figura 31.



Figura 30 - Junta original da válvula do EGR



Figura 31 - Desenho da parte exterior da junta numa lata de diluente para posterior uso

Usou-se uma lata para fazer uma réplica da junta ligada à válvula EGR de maneira a fazer-se uma com o mesmo molde, mas fechada de maneira a não haver passagem de gases (Figura 32).



Figura 32 - Junta final

Por fim, eliminou-se a outra entrada por onde entravam os gases provenientes do permutador de calor do EGR (Figura 33), tendo que se projetar e trabalhar uma peça para colocar nessa entrada (Figura 34).



Figura 33 - Desativação de outra entrada para o sistema EGR



Figura 34 - Peça colocada na entrada do sistema EGR

3.3 Alteração do espaço laboratorial

De forma a tornar o laboratório de motores mais eficiente e seguro, decidiu-se fazer uma reestruturação da disposição dos motores de teste. Como tal, foi necessário proceder a várias alterações.

3.3.1 Alteração do circuito de arrefecimento do motor

Uma vez que se colocou o motor noutro lado, teve que se mudar o circuito de arrefecimento praticamente todo. O radiador ficou instalado no mesmo exaustor, apenas mudando de posição. Para além disso, mudou-se os tubos de ligação entre o motor e o radiador. Na Figura 35 e Figura 36 podem-se evidenciar as diferenças entre a antiga e nova instalação.

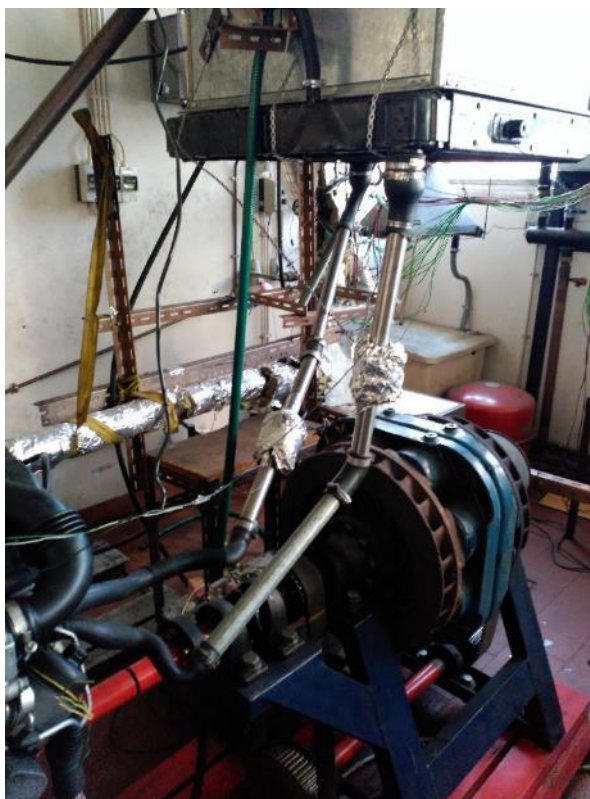


Figura 35 - Antiga instalação do circuito de arrefecimento do motor



Figura 36 - Nova instalação do circuito de arrefecimento do motor

Como se verifica nas Figura 35 e Figura 36, os tubos foram otimizados para haver boa movimentação de líquido no interior. No anterior sistema, havia dificuldade de movimentação do líquido, o que não era benéfico para o motor. Colocaram-se umas abraçadeiras novas, assim como tubos de plástico novos nos tubos de aço, de modo a eliminar o maior número possível de fugas, visto que era um problema inerente do anterior sistema. Também se colocou o depósito de líquido de arrefecimento noutra posição e ajustou-se para uma posição ligeiramente mais elevada para o escoamento ser mais rápido e preciso.

Eliminou-se também uma saída onde havia fuga de líquido de arrefecimento como se verifica na Figura 37.



Figura 37 - Saída isolada

3.3.2 Depósito e fornecimento de combustível ao motor

Colocou-se o depósito de combustível noutra sítio, tendo sido necessário adaptar na parede o novo suporte elaborado (Figura 38).



Figura 38 - Depósito de combustível no novo suporte

Adaptou-se uma nova tubagem de fornecimento de combustível ao motor, havendo duas cores diferentes para os tubos de maneira a distingui-los. O tubo azul corresponde ao fornecimento e o tubo transparente ao retorno do motor como se pode ver na Figura 39 e na Figura 40.



Figura 39 - Colocação do novo sistema de fornecimento



Figura 40 - Disposição do sistema de fornecimento de combustível

Existe uma torneira passadora ON/OFF (Figura 41) no canal de fornecimento de combustível que permite deixar ou não a passagem de combustível para o motor. Colocou-se o comprimento de tubo estritamente necessário para desta maneira o combustível fluir corretamente.



Figura 41 - Torneira passadora ON/OFF

3.3.3 Ligação do tubo de escape e acoplamento no teto

Com a mudança foi preciso adaptar a linha de escape existente para se conseguir fazer a exaustão dos gases de escape do laboratório.

Foi necessário desacoplar a linha de escape do teto para a reposicionar no ponto onde se situa agora, como se pode verificar na Figura 42 e na Figura 43. A linha de escape ficou posicionada em ângulo, visto ser a única maneira possível para a instalação ficar bem colocada (Figura 44).



Figura 42 - Furos relativos à antiga instalação da linha de escape



Figura 43 - Posição adotada para a linha de escape



Figura 44 - Posição em ângulo de 60° da linha de escape

3.4 Recalibração da célula de carga

Para os testes experimentais se realizarem em boas condições e o mais fidedignos possível calibrou-se novamente a célula de carga. Para a obtenção do binário do motor leu-se a tensão da célula de carga (em Volts, com a ajuda de um multímetro), utilizando-se uma reta de calibração para avaliar o valor do binário do freio. Após isso, dado que a relação de transmissão motor-freio é de 4 vezes (Figura 45 e Figura 46), apenas se aplicou a desmultiplicação do sistema, dividindo o resultado por quatro para se obter o binário do motor. Sabemos que o motor por especificação debita às 1750 rpm um binário de 185 Nm. A anterior reta de calibração auferida e usada na dissertação do Eng. David Lopes era:

$$y = 542.72 \times x + 13.043 \quad (7)$$

Em que, y – binário do freio

x – tensão (Volts) medida no multímetro



Figura 45 - Conjunto 1 de polias



Figura 46 - Conjunto 2 de polias

Usaram-se pesos circulares de modo a encaixarem num suporte de pesos (com 0,8m de comprimento) preso à barra de calibração do freio (Figura 47 e Figura 48).



Figura 47 - Suporte e barra colocados no freio



Figura 48 - Suporte, barra e pesos totais usados na calibração da célula de carga

Numa primeira instância, somente a barra de calibração estava no freio, tirando-se o valor de tensão. Depois colocou-se o suporte para os pesos, apontando-se de novo o valor de tensão. Seguidamente colocou-se um peso de cada vez repetindo-se o procedimento de apontar os valores de tensão. Na Tabela 14 apresentam-se os valores de binário obtidos durante a calibração da célula de carga.

Tabela 14 - Valores de binário obtidos durante a calibração da célula de carga

	Massa (somada à anterior)	Peso	Tensão	Binário
Unidades	kg	N	V	Nm
Só barra	0	0	-0,034	0
Barra + Suporte	0	0	-0,030	0
Suporte + Pesos	3,071	30	-0,001	24
	7,849	77	0,045	62
	12,586	123	0,091	99
	17,72	174	0,140	139
	22,43	220	0,186	176
	27,159	266	0,231	213
	31,979	314	0,277	251
	41,539	407	0,368	326
	51,205	502	0,462	402
	60,955	598	0,556	478
	71,07	697	0,653	558
	76,083	746	0,700	597
	83,718	821	0,773	657
	86,606	850	0,801	680
	95,704	939	0,889	751
	98,129	963	0,913	770
	100,519	986	0,935	789
101,825	999	0,948	799	
103,124	1012	0,960	809	

Como se verifica na tabela anterior, chegou-se a um valor máximo de 809 Nm com os pesos que se colocou. O binário obteve-se pela multiplicação do peso pelo comprimento (0,8m). Posto isto, gerou-se um gráfico com os valores de tensão obtidos e o binário gerado (Figura 49).



Figura 49 - Reta de calibração obtida

Depois da calibração da célula de carga, a nova reta de calibração para assim obter o binário do motor foi:

$$y = 816.68 \times x + 25.005$$

Esta nova reta de calibração foi então usada na programação do novo sistema de aquisição de dados do freio, como será explicado no subcapítulo 4.1.3.

3.5 Percentagem de acelerador

Por forma a poder controlar para os testes experimentais a percentagem de carga a que o motor está sujeito, decidiu-se criar um método para mostrar a percentagem correspondente ao número de voltas do acelerador.

O acelerador é capaz de realizar 9 voltas, porém a partir da 4,5 volta o motor não aumenta a carga. Assim, percebeu-se que 4,5 volta corresponde na realidade ao máximo de carga. Com o intuito de criar o método comentado anteriormente foi então necessário perceber a que valor de tensão (em volts) correspondia cada volta do acelerador. Com a ajuda de um multímetro verificou-se que a tensão varia entre 0,4 V e 3,7 V. Como tal, 0,4 V é equivalente a 0 de carga e 3,7 V a 100.

Após isto, montou-se um display da percentagem de carga. O material adquirido foi o seguinte:

- Arduino UNO R3;
- Cabo USB A-B 1m;
- Saco com interruptor, fichas de ligação à bateria e velcro;
- Cabo DC 0,2m de ficha recta 5,5/2,1 (9,5mm);
- Condutores com terminais para ligações entre placas e breadboards (pack de 40);
- 1 breadboard de 830 pontos;
- Módulo de display de 7 segmentos;
- Pente 25 pinos 2,54mm vertical;
- Placa circuito impresso perfurada face simples 160x115mm;
- 30 resistências de 220 Ohm;
- Fios elétricos para ligações;
- Conector de parafuso 3 pinos para PCB.

Seguidamente, instalou-se o programa de controlo do arduino para assim criar o algoritmo do programa no computador. Com a ajuda do Armando Alves, elaborou-se um algoritmo que depois de testado se mostrou capaz de realizar o que era pretendido. O algoritmo encontra-se presente no Anexo A.

Continuamente, fez-se a instalação experimental dos componentes. Primeiro, realizou-se uma abertura no painel de comando do motor com a largura do display e 2 furos para poder prender a placa de circuito ao painel de comando através de parafusos.

Efetuuou-se a ligação do display à placa de circuito juntamente com as resistências e o conector de parafuso de 3 pinos, soldando-se no laboratório de motores os componentes na placa, como se verifica na Figura 50.

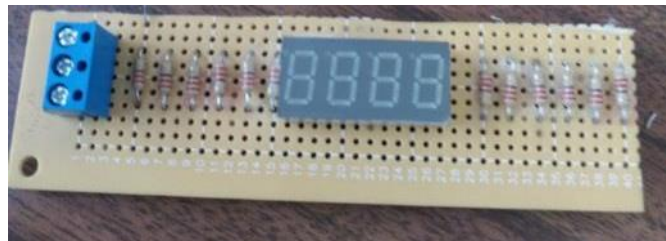


Figura 50 - Ligação do display à placa

Depois, tratou-se de juntar a placa de circuito com os pinos de 2,54mm verticais ao Arduino, soldando-se os pinos à placa para encaixarem nas entradas correspondentes ao Arduino (Figura 51).

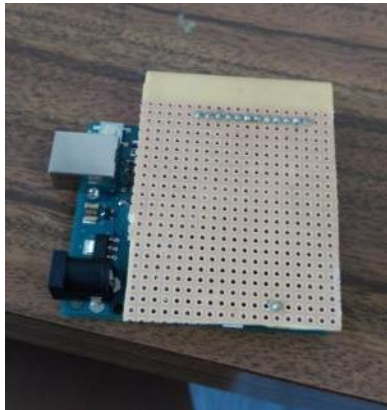


Figura 51 - Arduino conectado à outra placa necessária

Por fim, soldaram-se os fios elétricos entre a placa do display e a placa do Arduino, assim como se trataram das outras ligações, sendo neste caso a ligação do GND (Ground ou massa) e a ligação onde se recebe a tensão do motor que é ligada ao cabo DC que vai ao Arduino (Figura 52). Seguidamente, fez-se um suporte para colocar o arduino na instalação da bancada de testes (Figura 53).



Figura 52 - Arduino com as ligações verticais nas portas correspondentes



Figura 53 - Suporte para o Arduino na instalação

De notar, como se repara na Figura 54, a montagem final permite ver que o acelerador está a 6 de carga. Como referido anteriormente, o acelerador dá 9 voltas, mas às 4,5 voltas já está na carga máxima. Por conseguinte, o máximo que o display mostra é o valor de 50 que corresponde na verdade ao máximo alcançável. Na Figura 55, podem-se ver algumas das ligações conectadas ao display.



Figura 54 - Sistema em funcionamento



Figura 55 - Ligações e parte de trás do display de carga do acelerador

3.6 Termopares

Quando se está a utilizar o motor para testes é importante ter uma noção de algumas temperaturas. É o caso da temperatura do líquido de arrefecimento antes e depois do radiador. Estas temperaturas permitem-nos saber se o funcionamento dos componentes está a ser o correto, podendo até prevenir futuros problemas.

Com o surgimento de um novo circuito de arrefecimento como referido no subcapítulo 3.3.1, pareceu oportuno colocar outros termopares de modo a controlar a temperatura de entrada e saída do líquido de arrefecimento do motor. Estes termopares são sensores de temperatura com visores.

Colocaram-se os sensores nos tubos de entrada e saída, encostados aos tubos de aço e isolados, de maneira a se ter uma noção das temperaturas. Na Figura 56 e na Figura 57, dá para notar o modo como estes obtêm os valores de temperatura.



Figura 56 - Termopar colocado no tubo de entrada do líquido de arrefecimento



Figura 57 - Termopar colocado no tubo de saída do líquido de arrefecimento

No painel de comando, acabou por se alterar o modo como os termopares estavam dispostos, fazendo-se umas aberturas para os colocar de forma segura e que não fossem prejudicados pela vibração do motor quando está em funcionamento. Achou-se que não era preciso apurar a temperatura do ar à saída do intercooler, como tal optou-se por suprimir esse mesmo. Seguidamente, existe uma imagem ilustrativa da montagem anterior (Figura 58) e da montagem final no painel de comando (Figura 59).



Figura 58 - Antiga instalação dos displays dos termopares



Figura 59 - Nova disposição dos displays dos termopares no painel de instrumentos

3.7 Saída dos gases de escape para medição

A linha de escape possui uma saída com um tubo de pequeno diâmetro de aço inox que depois passa por um sistema de arrefecimento. A finalidade desse ‘canal’ é extrair uma parte dos gases provenientes da combustão dos combustíveis no motor para assim quantificar as emissões de poluentes do mesmo. Mais à frente no capítulo 5 será aprofundado mais minuciosamente o significado dessas emissões no enquadramento do tema desta tese de dissertação.

Uma vez que esta conduta provém do escape, mesmo depois de os seus gases serem arrefecidos num recipiente com água (Figura 60), apresentam condensados, como se verifica na Figura 61. Como para apurar as emissões são necessários aparelhos sofisticados e dispendiosos e estes condensados poderiam atravessar para as máquinas foi preciso arranjar uma solução. Numa primeira fase, esta saída de gases era única, como tal, instalou-se mais duas saídas. Soldou-se duas partes de aço inox, depois de serem devidamente trabalhadas ao sistema inicial, ficando uma na vertical para cima e outra a 45° para a direita, de maneira a se ligarem aos aparelhos. Os condensados ficaram direcionados para uma garrafa que foi projetada para os acolher, assim como resíduos que por vezes são expelidos. Após este aperfeiçoamento colou-se o motor em funcionamento e validou-se que tudo estava como pretendido, isto é, os condensados só saíam pelo canal direcionado na vertical para baixo, não afetando os outros novos instalados.



Figura 60 - Sistema de arrefecimento dos gases de escape



Figura 61 - Ligações acopladas para análise das emissões dos gases de escape

3.8 Intercooler

Hoje em dia, são utilizados turbo-compressores de forma a sobrealimentar os motores diesel. Estes têm como função aumentar o binário e potência do motor, sendo que alcançam esse propósito através do aumento de massa de ar que entra em cada cilindro, por ciclo. Devido à compressão do ar da admissão durante o processo de sobrealimentação, a temperatura do ar aumenta. De maneira a reduzir a temperatura do ar admitido, são usados permutadores de calor intermédios, podendo ser ar-ar ou ar-água. Este equipamento é denominado de intercooler.

O intercooler montado na instalação do motor diesel Peugeot é do tipo ar-ar. Para que o processo de arrefecimento do ar comprimido seja eficaz é necessário um grande fluxo de ar. Esse fluxo é conseguido em situações reais durante a deslocação dos veículos. Porém, isto não acontece em laboratório. Como tal, na bancada de testes, instalou-se um ventilador elétrico que durante os testes está sempre em funcionamento. Na Figura 62, denota-se a instalação do intercooler e a sua geometria.



Figura 62 - Intercooler do motor Peugeot 1.6 HDI

O controlador do ventilador do intercooler foi introduzido no painel de instrumentos da bancada de testes de forma tal como se verifica na Figura 63.



Figura 63 - Controlador do ventilador

3.9 Arrefecedor do retorno do combustível

Por vezes, o combustível é comprimido em excesso e não é utilizado no ciclo de injeção. Esse mesmo, volta para o depósito de combustível a temperaturas bastante elevadas. Como tal, na bancada de testes, optou-se por colocar um arrefecedor do retorno do combustível (Figura 64). O seu propósito é baixar as temperaturas do combustível e de maneira a tornar o processo

de arrefecimento mais eficaz, montou-se o mesmo debaixo do radiador. Na Figura 65, pode-se averiguar a forma como está instalado este dispositivo.



Figura 64 - Arrefecedor do retorno do combustível



Figura 65 - Arrefecedor do retorno do combustível instalado no radiador

3.10 Circuito elétrico

O motor Peugeot usado na bancada de testes é comandado por uma unidade de controlo do motor (também conhecida como ECU – Engine Control Unit). A função da ECU ou centralina, é controlar e comandar os parâmetros de funcionamento do motor. Através de sensores existentes no motor, a centralina consegue por exemplo, influenciar fatores como a injeção de combustível ou a ignição. De modo a que a centralina obtenha todas as informações necessárias para o seu funcionamento correto, existe um conjunto de cablagens elétricas ligadas à mesma. Na Figura 66, pode-se verificar algumas das cablagens envolvidas assim como a ECU e a caixa de fusíveis (PSF) do motor.



Figura 66 - Circuito de gestão eletrónica do motor (1- ECU, 2- Caixa de fusíveis (PSF))

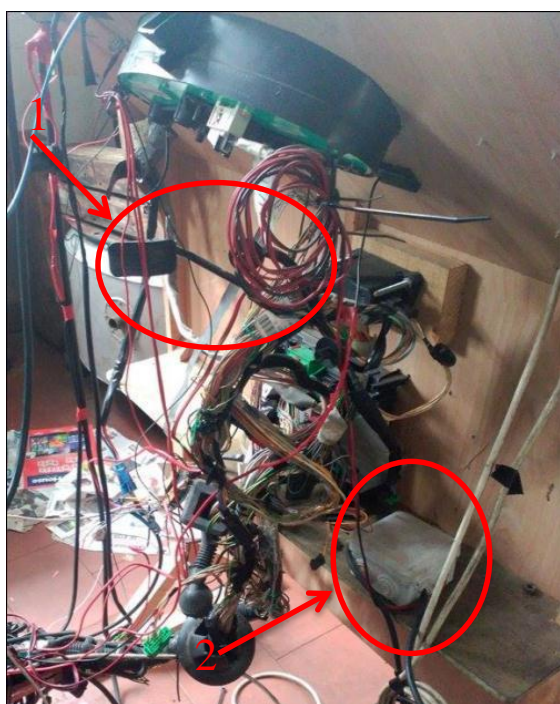


Figura 67 - Cablagem detrás do painel de instrumentos (1- acelerador, 2- Caixa de relé do ventilador do cárter)



Figura 68 - Caixa de fusíveis BSI

De forma a se controlarem as emissões poluentes dos veículos durante a sua vida útil e não só durante os testes de homologação, foram criados equipamentos para as autoridades terem controlo desse efeito. Com a introdução destes sistemas, teve-se a necessidade de criar um processo que torna-se mais fácil o chamado auto-diagnóstico. A chave para esse fim, foi a criação do sistema *on board diagnosis* ou OBD. No motor 1.6 HDI existe este sistema, neste caso, OBD-II, que é o mais recente e permite um controlo de diversos parâmetros importantes.

Através da ligação entre a ficha OBD-II (Figura 70) e o cabo OBD (Figura 69) a um computador dotado de um programa específico de monitorização, consegue-se ter um diagnóstico do que está ou não a funcionar corretamente e assegura-se desta maneira a menor emissão de gases poluentes possível.



Figura 69 - Cabo USB OBD

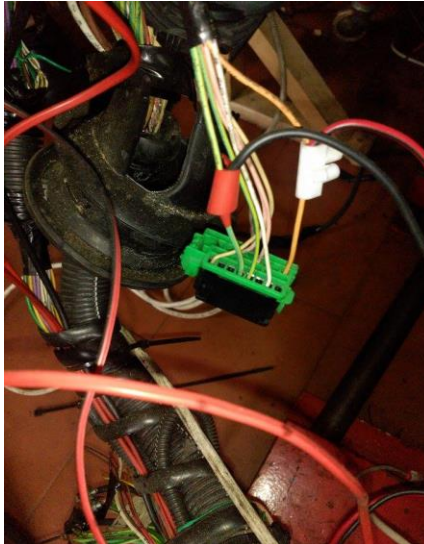


Figura 70 - Ficha OBD-II

De modo a colocar o motor em funcionamento existe um dispositivo chamado de motor de arranque que tem como função acionar o motor do veículo até que tenha condições de funcionar sozinho. A sua função é transformar a energia elétrica proveniente da bateria (Figura 72) em energia mecânica. Deve ser potente o suficiente para retirar os pistões no interior dos cilindros da inércia e realizar a compressão do motor. O motor usado nos testes também utiliza um motor de arranque e na Figura 71, verifica-se a bobina colocada no motor de arranque.



Figura 71 - Bobina do motor de arranque



Figura 72 - Bateria ligada ao motor

Para efetuar os testes com o motor é preciso um mecanismo que acione o pedal do acelerador. O pedal não é mais do que um método usado para controlar a velocidade de rotação do motor, através do controlo da quantidade de combustível injetada durante o funcionamento. Para que os testes sejam realizados com cargas de acelerador definidas, existe no painel de instrumentos, um mecanismo constituído por um sistema de manivela, onde há um parafuso fixado com a ajuda de chapas perfuradas soldadas a uma porca, que efetua um movimento de translação movendo assim o pedal (Figura 73).



Figura 73 - Sistema de acelerador usado na bancada de testes

Num ambiente de testes em laboratório convém sempre ter em conta a segurança. Com esse intuito e de maneira a proteger tanto quem usa os equipamentos como os equipamentos

em si, está instalado na bancada de testes um mecanismo de corta-corrente. Na Figura 74, apresenta-se o dispositivo utilizado.



Figura 74 - Corta-corrente

4 Procedimento Experimental

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Após demonstrar as alterações que ocorreram no motor e sistema adjacente, este capítulo apresentará alguns dos equipamentos e rotinas necessárias para execução dos ensaios com o motor. Será ainda referido os procedimentos referentes aos outros ensaios e a sua finalidade para a dissertação.

Procedimento geral para a execução de testes experimentais:

- ✓ Verificar o nível de combustível no depósito;
- ✓ Averiguar o nível do líquido de arrefecimento no seu respetivo depósito;
- ✓ Abrir a torneira passadora ON/OFF que permite a passagem de combustível para o motor;
- ✓ Verificar as ligações do ventilador do cárter, intercooler e bateria;
- ✓ Verificar que não esteja nada entre a ligação freio-motor que permita obstruir o movimento e possivelmente criar danos;
- ✓ Desligar o corta-corrente;
- ✓ Ligar os exaustores do laboratório, de forma a remover os gases produzidos e para permitir o arrefecimento do líquido de arrefecimento no radiador;
- ✓ Ligar o motor e deixar aquecer até à temperatura do líquido de arrefecimento atingir cerca de 85°C, de modo a ativar a válvula que permite fazer circular o líquido de arrefecimento através do radiador.

4.1 Equipamentos para aquisição de dados

De modo a obter os dados pretendidos nos ensaios assim como denotar se tudo funciona da maneira correta foi criado um programa e um sistema para controlar o freio dinamométrico. Para além disso, também são utilizados mais dois aparelhos, sendo estes o opacímetro e o analisador de gases.

4.1.1 Opacómetro

É um aparelho destinado a medir o grau de opacidade dos gases de escape emitido pelos motores diesel. Opacidade, é a maior ou menor dificuldade que um dado volume de gases de escape de um motor diesel, tem em ser atravessado por uma fonte luminosa de origem conhecida.

Através da medida de opacidade pode-se avaliar qual o nível ou grau de ‘fumos negros’ expelidos para o exterior resultantes de uma má combustão ou combustão incompleta do gasóleo.

Segundo a legislação em vigor, desde Janeiro de 1993, o limite de fumos na União Europeia é de $2,5 \text{ m}^{-1}$ para veículos sem turbo e 3 m^{-1} para veículos com turbo, facto a ter em conta.

O opacómetro que foi utilizado para os ensaios do motor é um AVL DiSmoke 4000, como representado na Figura 75. No apêndice A mostram-se algumas características técnicas retiradas do website da fabricante AVL.



Figura 75 - Opacómetro AVL Dismoke 4000 [30]

Para a realização dos ensaios deve-se verificar que o tubo ligado à câmara de aquecimento está corretamente acoplado a uma das saídas do tubo que provém do escape como referido no subcapítulo 3.7. Os procedimentos relativos ao uso deste são enumerados a seguir, sendo que no anexo B estão presentes figuras ilustrativas dos passos mencionados:

1. Ligar o opacímetro, antes de ligar o motor;
2. Irá aparecer uma mensagem com o título 'Autoteste', sendo que se deve esperar até aparecer o menu principal (imagem nº 1);
3. No menu principal, escolher a opção do Dies, correspondente à tecla F3 (imagem nº 2);
4. Selecionar a medição standard, pressionando de novo o botão F3 (imagem nº 3);
5. Esperar que a câmara de medição esteja à temperatura ideal (imagem nº 4);
6. Quando a sua temperatura atingir os 50°C, aparecerá uma nova janela onde se poderá verificar os valores da percentagem de opacidade e o seu valor absoluto K. Neste ponto já se pode utilizar corretamente o opacímetro (imagem nº 5);
7. Neste momento pode-se ligar o motor.

4.1.2 Analisador de gases

Tal como o opacímetro, este aparelho (Figura 76) apresenta uma grande relevância nos ensaios do motor uma vez que é um equipamento que permite efetuar a medição direta da quantidade de determinados compostos químicos resultantes da combustão que são libertados no sistema de escape. Os compostos analisados por este são:

- CO – monóxido de carbono medido em %;
- HC – hidrocarbonetos medido em p.p.m;
- CO_2 – dióxido de carbono medido em %;
- O_2 – oxigénio medido em %;
- Valor de lambda (λ);
- Valor dos NO_x em p.p.m.

Os mais importantes dos acima referidos na análise dos ensaios são os NO_x e o lambda.

O lambda é um valor adimensional que mostra a relação ar/combustível nos gases de escape. Esse valor é determinado através de uma fórmula normalizada de referência.

Seguem-se os procedimentos para o uso deste equipamento para os ensaios, estando no anexo B as imagens correspondentes aos passos enumerados e o seu manual no apêndice A.

Deve-se verificar que o tubo proveniente do analisador está corretamente acoplado a uma das saídas do tubo que provém do escape tal como apresentado no subcapítulo 3.7.

1. Ligar o analisador de gases, antes de ligar o motor;
2. Na janela inicial, escolher a opção >>, clicando no botão F6 (imagem nº 6);
3. Deixar proceder ao 'Self Test' (imagem nº 7) até que apareça o Menu (imagem nº 8);
4. Escolher a opção NOx pressionando o botão F4;
5. Seguidamente irá aparecer uma mensagem que o analisador está na fase de aquecimento, o que demorará aproximadamente 12 min (imagem nº 9);
6. Quando estiver devidamente quente, o analisador estará pronto para as medições e nesse momento, pode-se ligar o motor.

Dever-se-á ter especial cuidado com os filtros presentes no analisador de gases, porque caso estes estejam entupidos irá aparecer constantemente uma mensagem de erro de calibração não podendo funcionar corretamente com o equipamento, uma vez que o medidor não apresentará resultados. Estes devem ser trocados de preferência ou então limpos.



Figura 76 - Analisador de gases AVL DIGAS 4000 Light [31]

4.1.3 Sistema de controlo e aquisição de dados do freio dinamométrico

De forma a se retirarem valores essenciais para os testes com o motor diesel foi necessário proceder a algumas melhorias na maneira como se adquiriam os dados. Anteriormente, era preciso ligar um sistema de diagnóstico através de uma ficha OBD às ligações elétricas do veículo; utilizar um multímetro para medir a tensão da célula de carga instalada no freio dinamométrico e após isso ainda tinham que se fazer os cálculos com a reta de calibração para assim obter o valor de binário que o motor debitava. Posto isto, também não era possível fixar o motor a funcionar numa rotação fixa ou o mais próximo possível da pretendida no ensaio.

Foi elaborado um sistema que torna possível o controlo da rotação pretendida para os testes assim como permite obter os valores de binário gerados pelo motor e através de uma ligação USB transmití-los para um dispositivo ou computador pretendido (Figura 77).

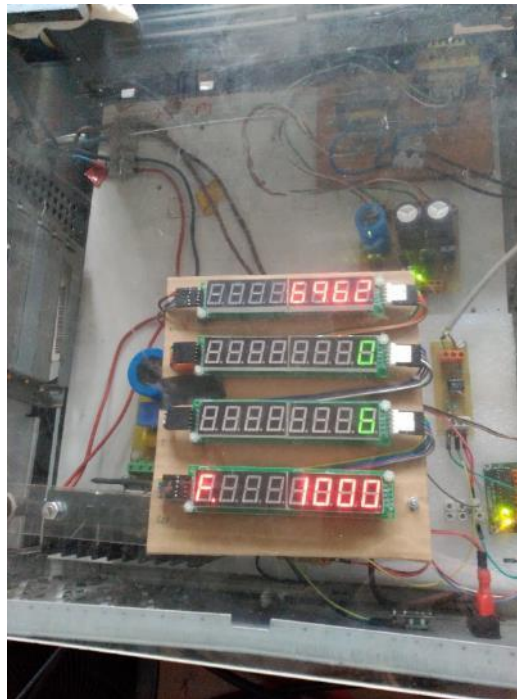


Figura 77 - Display do sistema de controlo e aquisição de dados do freio dinamométrico

Este sistema, tendo uma posição de acelerador definida, permite-nos ajustar a rotação à qual queremos que o motor funcione. Para o sistema funcionar, devemos utilizar um Variac para controlar a corrente fornecida ao freio (Figura 78).



Figura 78 - Controlador de corrente fornecida ao freio (Variac)

Para utilizar este sistema nos ensaios enumeram-se uma lista de passos necessários para o seu uso correto:

1. Assegurar que o Variac está desligado antes de ligar o sistema à corrente;
2. Depois de o motor estar a funcionar, ligar o sistema no botão existente no lado esquerdo, sendo que vai aparecer ao lado do display da rotação, a letra F, sinal que não está a receber dados, tal como se verifica na Figura 77;
3. Ajustar para a rotação pretendida, através do botão ao lado de ligar e desligar (imagem nº 15, anexo B);
4. Por fim, ligar o Variac colocando-o nos 190 V (imagem nº 16, anexo B);

4.1.4 Programa de aquisição e tratamento de dados (computador)

Com o objetivo de auferir todos os dados possíveis relativamente aos ensaios com o motor, foi criado pelo Armando Alves um programa (VS_LM) para ser usado durante os testes. Trata-se de um programa que recebe as leituras dos vários equipamentos conectados e permite guardar esses dados para posterior tratamento dos resultados. As imagens referidas posteriormente nos passos a seguir estão colocadas no anexo B.

Através do VS_LM é possível de uma maneira simplista, controlar 5 variáveis ao mesmo tempo. Pode-se verificar a percentagem de carga (acelerador) que está a ser usada no

ensaio, as emissões de gases (opacímetro e analisador de gases), o consumo (balança digital), binário e rotação (freio dinamométrico) do motor (Figura 79).

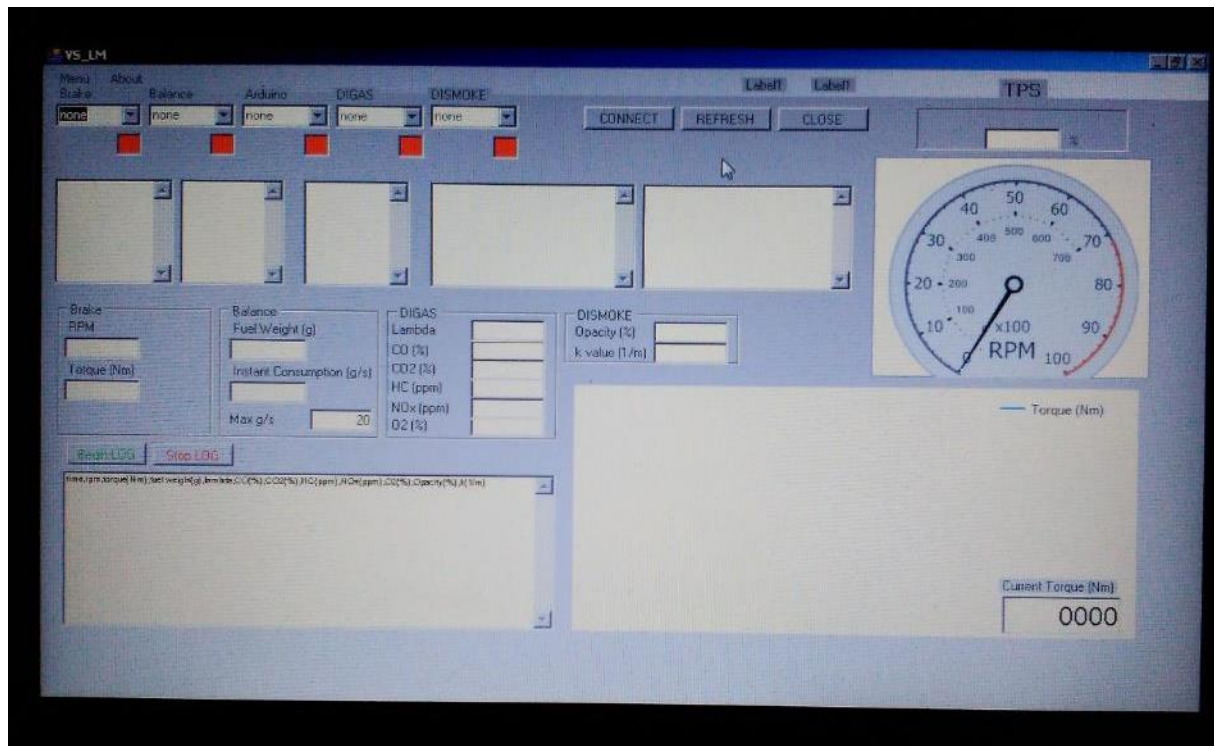


Figura 79 - Janela do programa VS_LM

Para usar este programa, seguidamente são expostos os principais passos a seguir:

- Ligar os respetivos equipamentos ao computador:
 - Opacímetro, analisador de gases e balança digital através de uma ficha RS 232 (imagem nº 19);
 - Arduino e sistema de aquisição de dados do freio dinamométrico por cabo USB.
- Verificar que os aparelhos estão a funcionar e os procedimentos para o seu correto funcionamento foram seguidos como explicado nos subcapítulos 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3;
- No caso da balança digital (Figura 80), dado que não foi referida anteriormente, esta serve para pesar o combustível ao longo do tempo e enviar esses dados para o programa de modo a determinarmos os consumos. O programa atualiza os valores provenientes da balança todos os segundos. Deve-se ter no máximo 12 kg de combustível no bidão, visto que é o máximo que a balança suporta para as leituras. Depois de conectada a

balança ao computador, pode-se ligar a balança no botão 'ON/OFF', devendo-se esperar uns 10 segundos para que esteja operacional;

- Após todas as ligações ao computador estarem operacionais, verifica-se no gestor de dispositivos do computador qual a porta COM correspondente a cada equipamento;
- Na interface do programa seleciona-se a porta COM para cada equipamento (imagem nº 10);
- Seguidamente, clica-se na opção 'CONNECT' (imagem nº 11), os quadrados em baixo de cada porta COM ficam preenchidos a verde e vão começar a aparecer valores nos diferentes campos (RPM, torque, etc), o que é sinal que tudo está a operar corretamente;
- Para que o programa grave os dados de um ensaio, seleciona-se a opção 'Begin LOG' e quando terminar a opção 'Stop LOG' (imagem nº 12 e imagem nº 13, repetivamente);
- Continuamente, seleciona-se no 'Menu' a opção 'Save' para guardar os dados num ficheiro, por exemplo, do tipo .txt (imagem nº 14);
- Para voltar a receber os dados no programa há que seleccionar de novo a opção 'CONNECT', uma vez que ao premir 'Stop LOG' o programa deixa de receber dados



Figura 80 - Balança digital KERN

5 Resultados experimentais

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios com o motor HDI 1.6 utilizando gasóleo e biodiesel (Biodiesel REF 1, Biodiesel REF 2) como combustíveis. Os ensaios foram realizados com condições semelhantes para ambos os combustíveis de modo a se obter resultados o mais plausíveis possível.

Para a realização dos ensaios com o motor é necessário seguir um conjunto de passos metódicos. De início, realizam-se os procedimentos referidos nos subcapítulos 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4, sendo que seguidamente se executam os procedimentos gerais de execução de testes experimentais referidos no capítulo 4.

O objetivo destes ensaios passa por testar o motor para as diferentes cargas a que está sujeito. Assim para cada carga, fizeram-se medições de binário, consumos, opacidade, potências, pressão do turbo e emissões de gases de escape para cada gama de rotação. Em cada teste, deixou-se o motor estabilizar cerca de um minuto, realizando-se medições de 20 s. As posições de carga testadas foram 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50. As velocidades de motor usadas foram 1200, 1500, 1800, 2000, 2200, 2500, 2800, 3000, 3200, 3500, 3800, 4000, 4200 e 4500 rpm. Por vezes, baixa carga de acelerador não permite chegar às velocidades pretendidas para os ensaios. Embora se tenha testado o motor desde as posições de acelerador 10 a 50, por motivos de simplificação, só vão ser apresentadas e discutidas as posições de 40, 45 e 50 de carga, estando os resultados das outras cargas no anexo C.

Nos resultados dos ensaios (divididos em 40, 45 e 50 de posição de acelerador) mostram-se os valores de binário, emissões, consumo de combustível, rendimento e potência, para os ensaios com Gasóleo, Biodiesel REF 1 e Biodiesel REF 2.

5.1 Ensaio com 40 de carga de acelerador

De maneira a se apurarem alguns resultados destes ensaios foi necessário ter em conta algumas variáveis, como por exemplo o poder calorífico do gasóleo e de ambos os biodieseis testados. Para o gasóleo foi considerado um poder calorífico de 43,2 MJ/kg (12 kWh/kg) e para

o biodiesel REF 1 e biodiesel REF 2, 37,2 MJ/kg (10,33 kWh/kg). Os valores de pressão do turbo foram obtidos manualmente através da observação do manómetro.

Durante os ensaios para esta carga de acelerador, como era de esperar, o gasóleo proporcionou um binário superior do que o biodiesel. Na Figura 81, verifica-se entre as 1200 e 1800 rpm, o motor gerou menor binário com gasóleo do que com o biodiesel REF 2. Porém tal só acontece nesse intervalo. Das 2200 rpm às 4500 rpm o gasóleo apresenta em média mais 5 N.m de binário que o biodiesel REF 1 e biodiesel REF 2. O biodiesel REF 2 e o gasóleo atingem o binário máximo (161 N.m) às 2000 rpm e 2200 rpm respetivamente. O biodiesel REF 1 atinge 155 N.m às 2200 rpm.

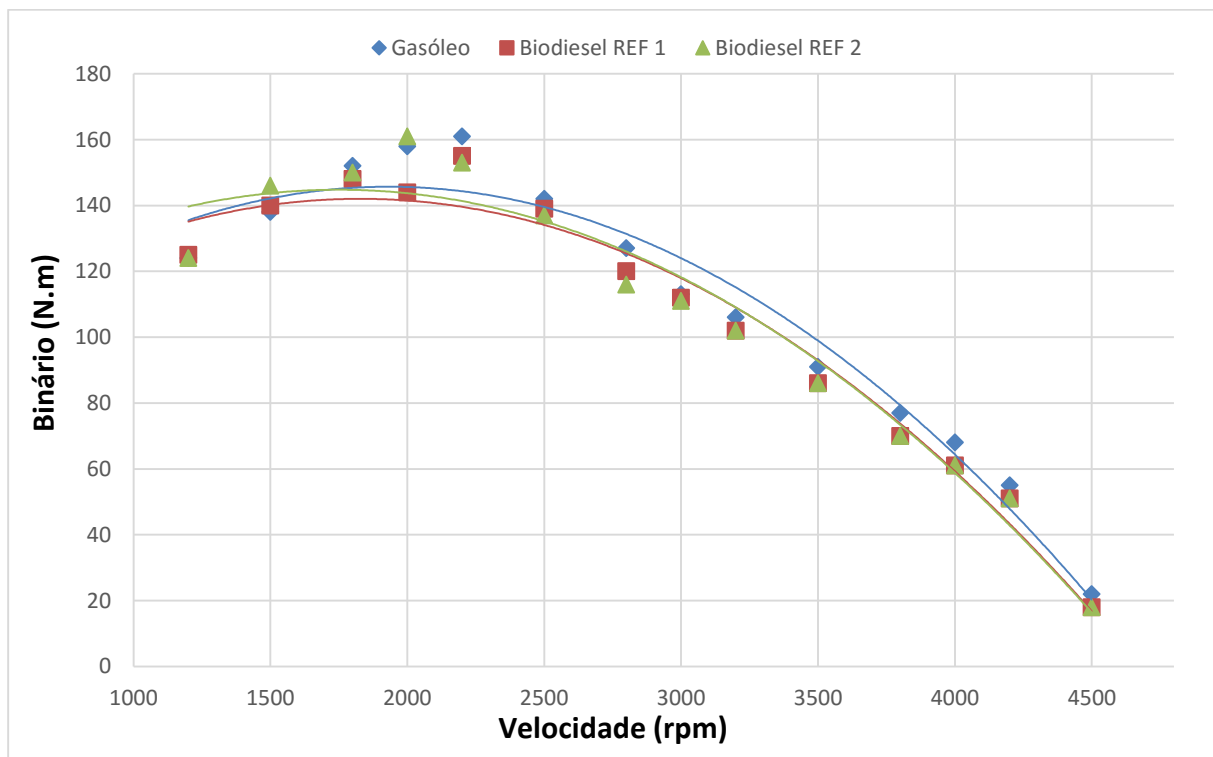


Figura 81 - Binário obtido com cada combustível em função da velocidade de rotação do motor

Como se verifica no gráfico da Figura 82, o gasóleo apresenta menores valores de combustível injetado. O biodiesel REF 1 e biodiesel REF 2 apresentam quantidades de combustível injetado semelhante ao longo das várias velocidades de rotação a que o motor

esteve sujeito. A maior diferença de injeção ocorre entre o gasóleo e ambos os biodieseis entre as 1200 rpm e as 2200 rpm.

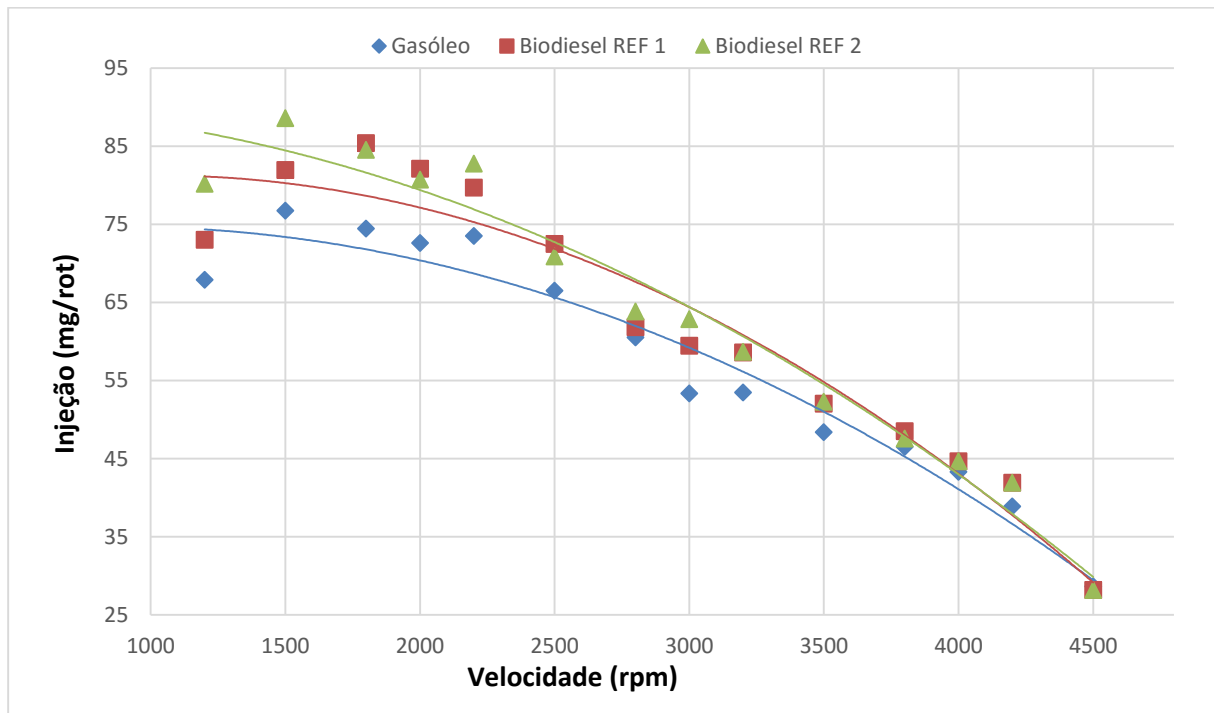


Figura 82 - Quantidade de combustível injetada por rotação da cambota

Através da quantidade de combustível injetada e sabendo o poder calorífico de cada combustível é possível obter a energia fornecida ao motor, como é evidenciado na Figura 83.

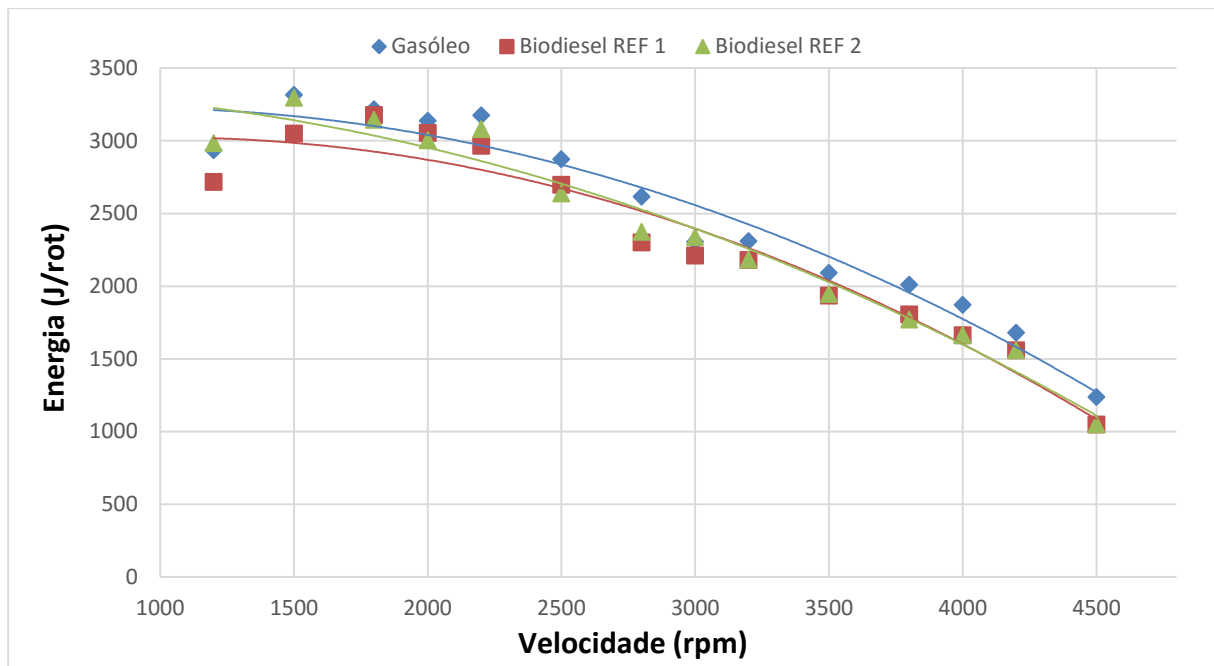


Figura 83 - Quantidade de energia fornecida por rotação da cambota do motor

Apesar de haver diferenças significativas na injeção de gasóleo para com os biodieseis, a energia gerada pelo gasóleo desde as 1500 rpm é sempre superior.

No motor Peugeot existe um controlador que executa um ajuste ao tipo de combustível que está a ser utilizado. Esse ajuste é realizado quando o motor está ao ralenti, sendo nesse momento que a centralina averigua qual é a quantidade de combustível necessária a injetar para manter a velocidade exigida de ralenti, alterando assim todo o mapa. Uma vez que o biodiesel tem menor poder calorífico que o gasóleo, a energia gerada pela mesma quantidade de combustível injetada é menor. Isto significa, que o motor necessita de injetar mais biodiesel para obter uma potência útil semelhante. Contudo, estes combustíveis apresentam características diferentes como, por exemplo a viscosidade, o que ocasiona desproporcionalidade nas injeções. Por conseguinte, em cargas diferentes, por vezes há grandes diferenças de quantidade injetada entre os combustíveis.

A potência máxima atingida pelos combustíveis foi de 51 cv para o gasóleo, 47 cv para o biodiesel REF 1 e 49 cv para o biodiesel REF 2, como é possível ver na Figura 84. De notar, que o biodiesel REF 2 apresenta a praticamente todos os regimes, exceto 2800 rpm, maior potência que o biodiesel REF 1. Como esperado, com gasóleo gera-se uma maior potência, dado que também se gera maior binário.

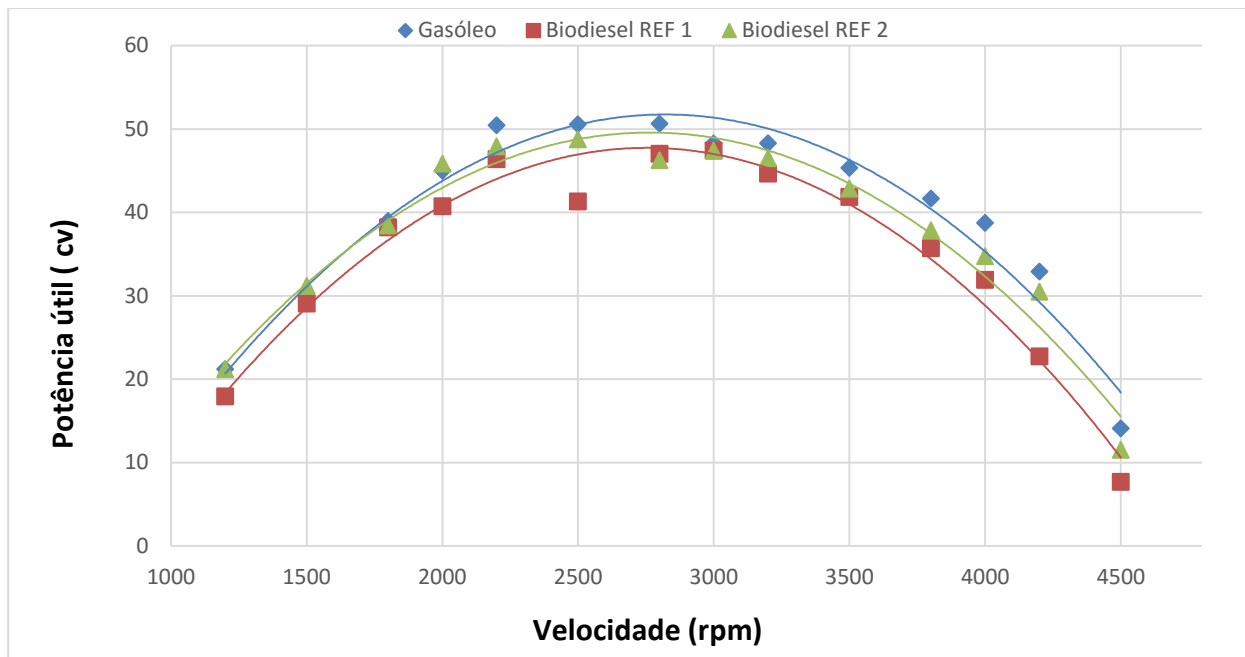


Figura 84 - Potência útil obtida com os diferentes combustíveis

Quanto ao rendimento (Figura 85), o biodiesel REF 1 é o que apresenta melhor rendimento de todos. Pelo contrário, o gasóleo é o que apresenta pior rendimento, tal como era de esperar, uma vez que o biodiesel apresenta uma combustão mais completa devido às moléculas de oxigénio que fazem parte da sua constituição. O valor máximo de rendimento é alcançado pelo biodiesel REF 2 às 2000 rpm, sendo de aproximadamente 34%.

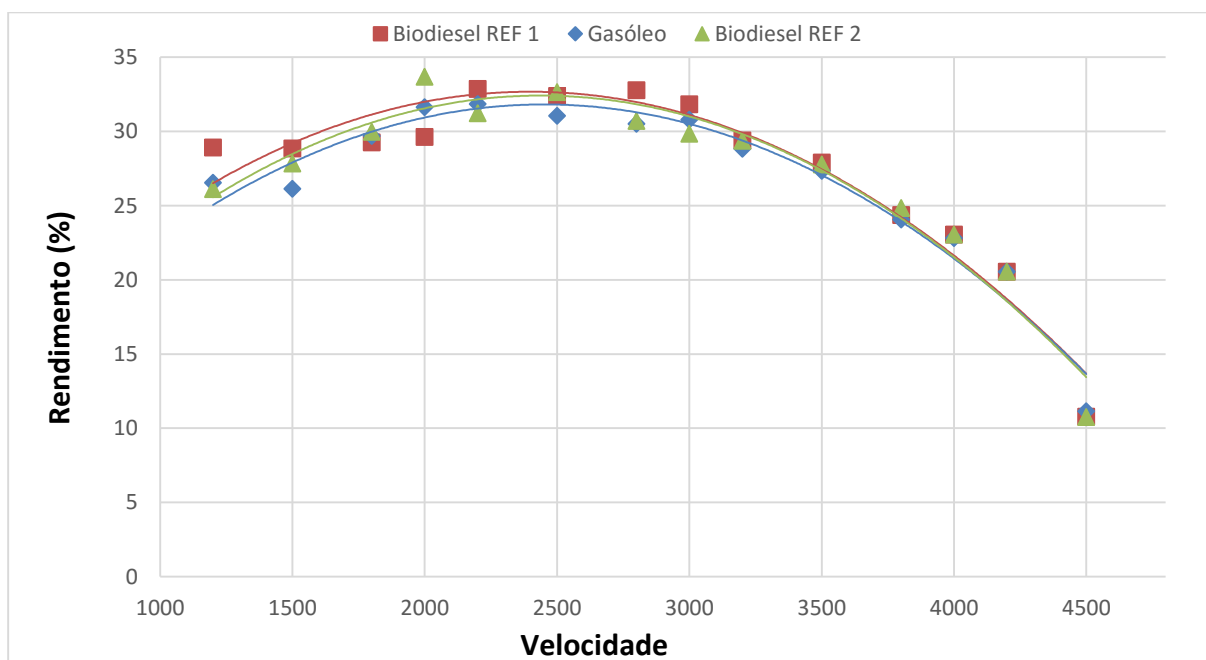


Figura 85 - Rendimento em função da velocidade de rotação do motor

Como apresentado na Figura 86, durante os ensaios, mediu-se a opacidade dos gases de escape resultantes da combustão. De notar que o controlador do turbo deste motor foi programado para que a pressão do turbo não ultrapasse os 0,5 bar. Verifica-se que entre 1200 e 2000 rpm, com o gasóleo, os gases de escape libertados apresentam valores de opacidade muito elevados (acima de 70%). Das 2200 às 3000 rpm, o biodiesel REF 2 exibe os valores mais elevados, cerca de 40%. Excetuando essa gama de rotações, o gasóleo apresenta sempre valores superiores de opacidade em relação aos biodieseis. O combustível que demonstra melhor ‘queima’ é o biodiesel REF 1, uma vez que ao longo deste espetro de rotações é o que produz menores percentagens de opacidade. Se tivermos em conta a legislação em vigor, como referido em 4.1.1, o valor de 3 m^{-1} (K) que é o limite legal de fumos, corresponde a aproximadamente 72% de opacidade. A parte sombreada de azul no gráfico corresponde à zona onde existe excesso legal de opacidade. Posto isto, somente o biodiesel REF 1 seria aprovado numa inspeção.

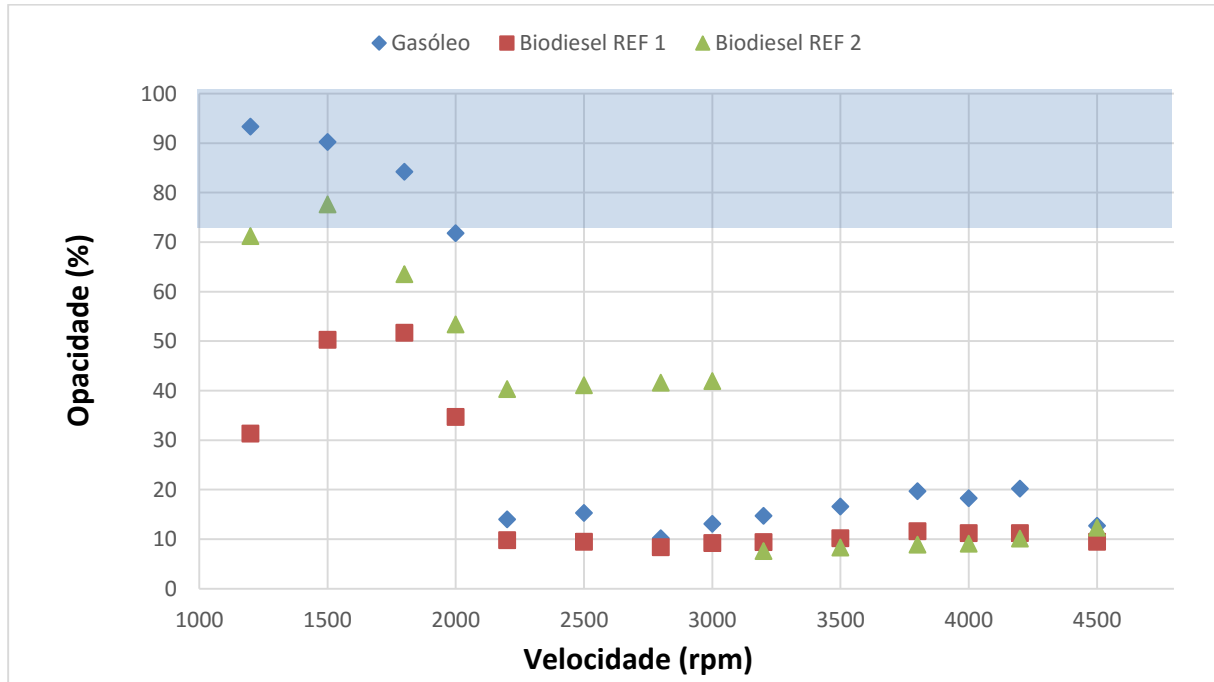


Figura 86 - Opacidade dos gases de escape em função da velocidade de rotação do motor

Na Figura 87, encontram-se os valores de pressão do turbo registados durante o ensaio em função da velocidade de rotação do motor. Como se evidencia, os valores apontados são durante o funcionamento muito superiores ao esperado.

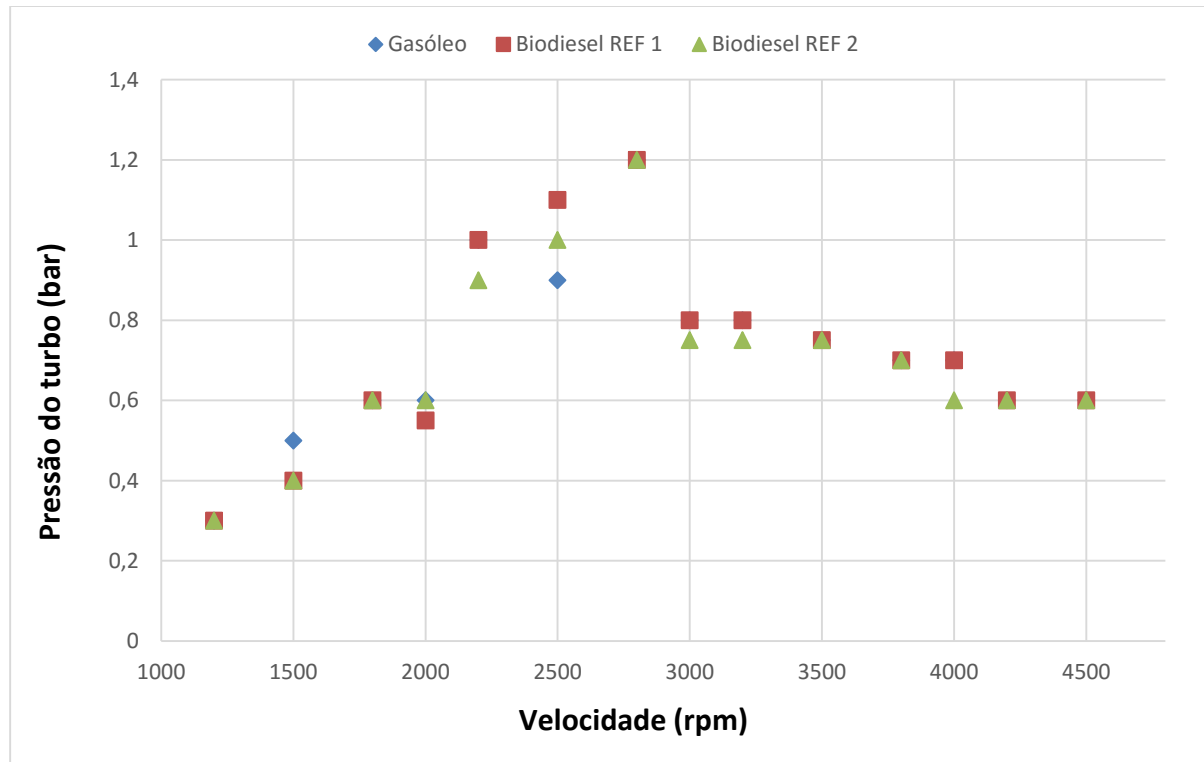


Figura 87 - Pressão do turbo em função da velocidade de rotação do motor

Como abordado no subcapítulo 2.5, a produção dos óxidos de azoto está associada principalmente aos motores Diesel. Até as 2000 rpm o biodiesel REF 1 e biodiesel REF 2 produzem mais NOx que o gasóleo (Figura 88). Contudo, desde as 2200 até às 3500 rpm o gasóleo é praticamente superior aos outros. Em média, houve maior produção de NOx com o uso de biodieseis do que com o gasóleo, o que era completamente de esperar, visto que uma das grandes desvantagens do biodiesel é a tendência para maior formação de óxidos de azoto.

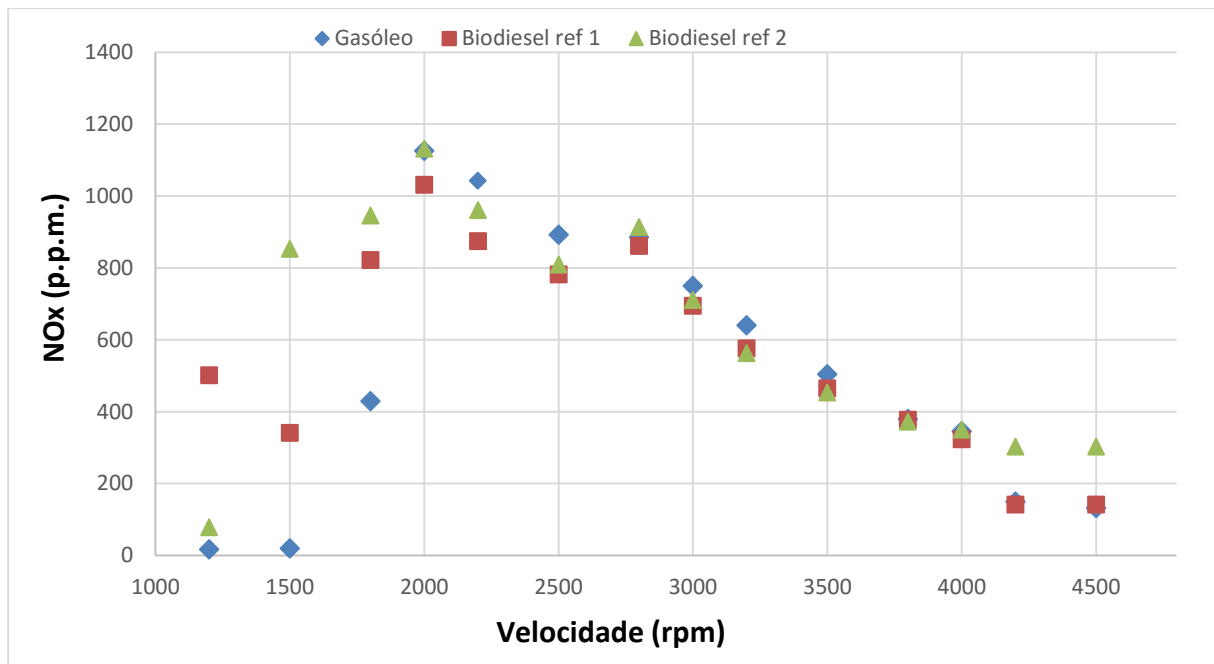


Figura 88 - Produção de NOx em função da velocidade de rotação do motor

O valor mais elevado obtido neste ensaio foi de 1132 ppm. às 2000 rpm com o biodiesel REF 2. Esse mesmo combustível, só demonstra um regime (às 1200 rpm) em que gera menor quantidade de NO_x que o biodiesel REF 1. Nas outras gamas é igual (aproximadamente) ou superior ao biodiesel REF 1. Posto isto, o biodiesel REF 2 é o pior combustível no que toca a esta temática.

Através do analisador de gases foram retirados os valores do lambda. Estes correspondem à riqueza da mistura ar-combustível como explicado no capítulo 4.1.2, sendo que o valor 1 significa a relação estequiométrica. Um valor inferior a 1 demonstra que a mistura é rica, superior a 1, a mistura tende a ser pobre.

De modo a se relacionar a opacidade com a queima dos combustíveis, colocaram-se os valores do lambda e opacidade no mesmo gráfico, Figura 89. Observando o mesmo, verifica-se uma relação evidente entre ambas as variáveis, isto é, com a diminuição da opacidade há um aumento do valor de lambda. O gasóleo, às 1200 e 1500 rpm apresenta uma mistura rica, dado que o valor do lambda é inferior a 1. Isto significa que existe excesso de gasóleo em relação às partes de ar constituintes da mistura. Resultante dessa mistura, ocorre uma queima do combustível que não é a normal, levando assim à expulsão de gases de escape mais ‘negros’ e provocando um aumento de opacidade, tal como é evidenciado pelos valores elevados.

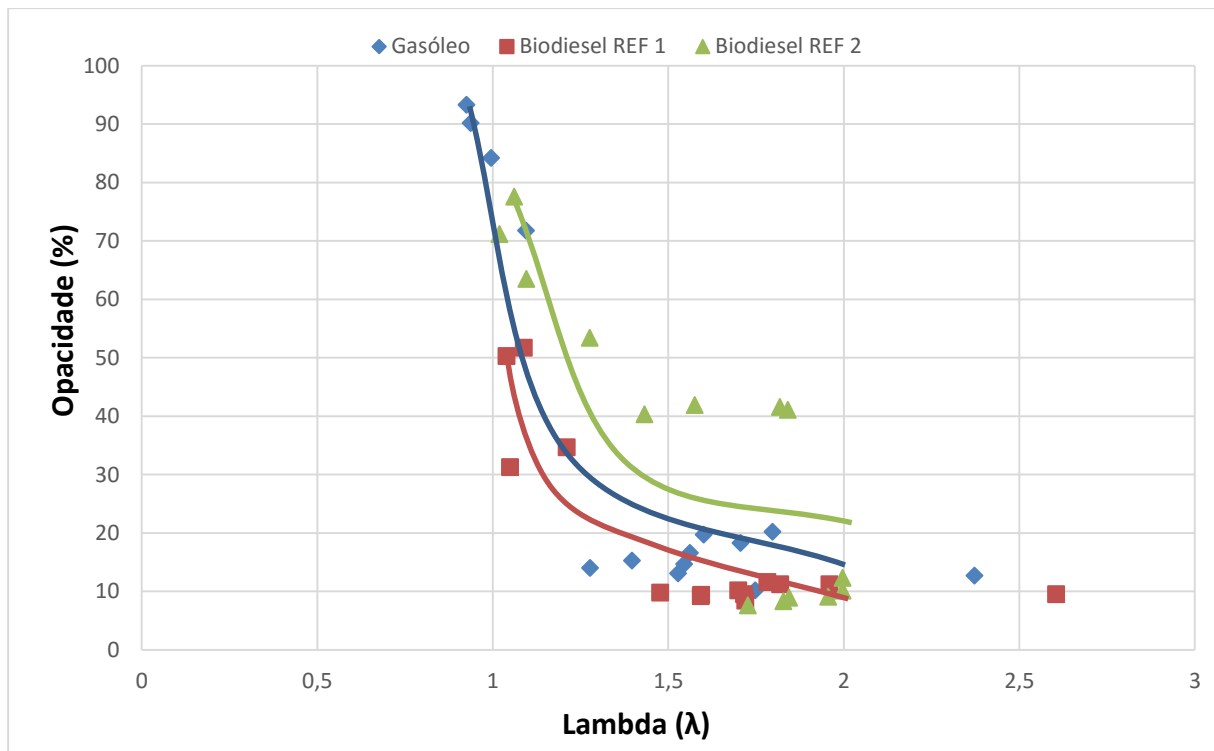


Figura 89 - Opacidade em função do lambda dos gases de escape

Tanto o gasóleo, biodiesel REF 1 e biodiesel REF 2 apresentam uma boa relação de mistura às 1800 rpm, 1200 e 1500 rpm, 1200, 1500 e 1800 rpm, respetivamente.

Para este ensaio e esta gama de rotações, a mistura dos combustíveis tende a estar principalmente no intervalo de valores entre 1,5-2 (λ), o que é resultante de um excesso de ar, sendo assim uma mistura pobre. Considerando os opostos, a mistura foi muito pobre com o biodiesel REF 1 atingindo o valor de 2,605 (4500 rpm) e foi uma mistura rica com o gasóleo alcançando 0,925 (1200 rpm).

Relacionou-se a produção de NOx com o lambda dos gases de escape, Figura 90. Traçaram-se curvas no gráfico para cada combustível. Estas curvas correspondem à zona de funcionamento do motor durante os ensaios. Os resultados indicam que os combustíveis têm uma zona de funcionamento semelhante, embora os biodieseis tenham uma zona mais alargada, significando que o motor utiliza uma mistura mais pobre nesse caso.

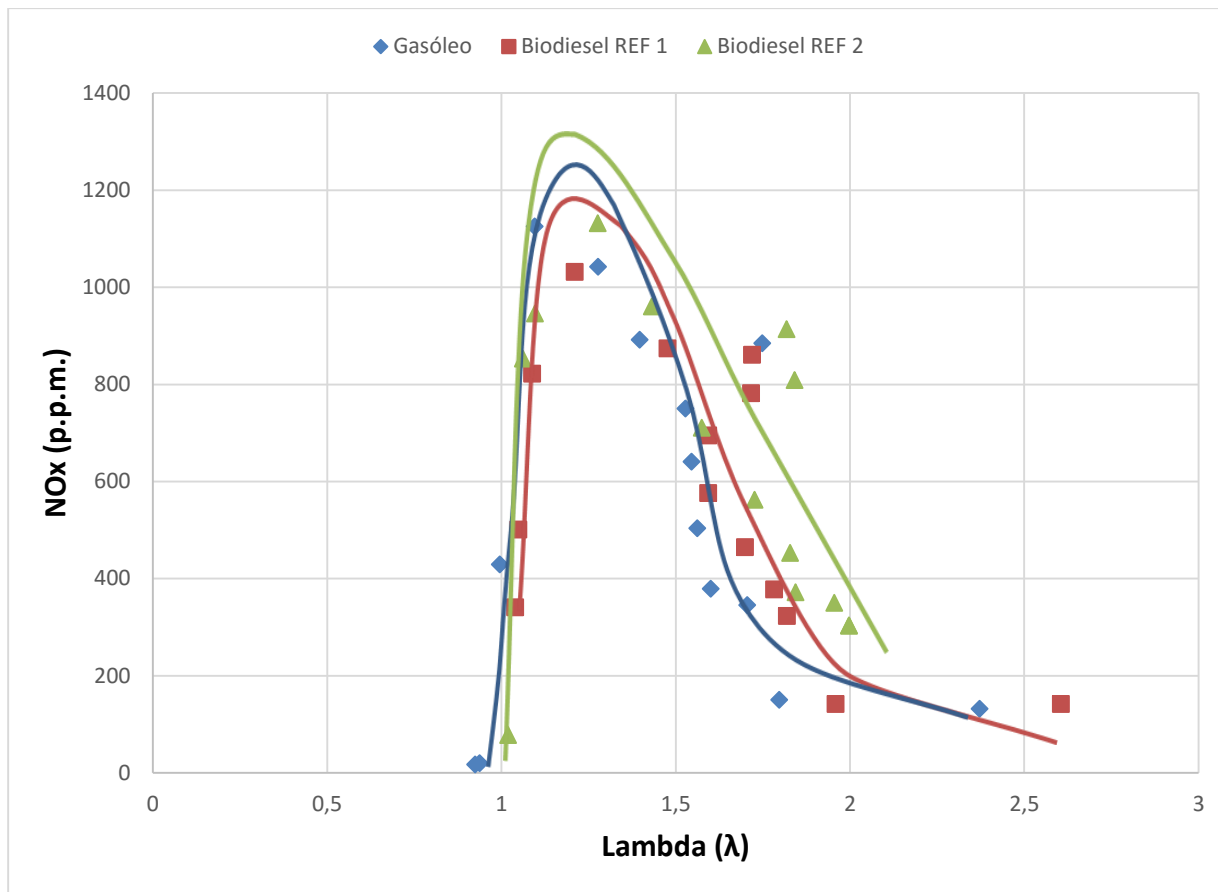


Figura 90 - Produção de NOx em função do lambda

Discussão dos resultados

Para os ensaios com 40 de carga de acelerador, os resultados obtidos são bastante plausíveis. Em termos de binário, o gasóleo é o que produz melhores valores, sendo que o biodiesel REF 2 é melhor que o biodiesel REF 1.

É injetada maior quantidade de biodiesel do que gasóleo, embora a energia cedida ao motor, excetuando as 1200 rpm, seja mais elevada com o gasóleo. O biodiesel REF 2 fornece igual ou superior quantidade de energia em praticamente toda a gama de velocidades. É provavelmente, derivado a esse fator, que o biodiesel REF 2 gera valores de binário superiores ao biodiesel REF 1.

Quanto à potência, o gasóleo como esperado, demonstrou a produção de valores superiores, sendo que com o biodiesel REF 1 o motor debita menor potência.

Os biodieseis evidenciam rendimentos superiores ao gasóleo, o que já se esperava, dado o seu maior índice de cetano. O biodiesel REF 1 foi o que obteve melhores rendimentos.

Até às 2000 rpm o gasóleo produz muitas partículas (fumo). Todos os combustíveis apresentam valores de opacidade relativamente baixos a partir das 2200 rpm (inferiores a 43%). O biodiesel REF 1 é sem dúvidas o ‘mais limpo’ dos 3 testados.

O turbo não funcionou devidamente com o uso dos combustíveis estando quase sempre acima da pressão para o qual está programado (0,5 bar). Para além disso, durante os ensaios de 20s, a pressão não ficava fixa, o que quer dizer que a massa de ar admitida pelo motor variava. Isto levou a valores de opacidade que por vezes variavam muito.

Com o gasóleo, o motor usufruiu de misturas ricas o que resulta em valores de opacidade elevados quando isso acontecia. Os valores obtidos para esta carga de acelerador estão condensados entre 1,5-2 (λ). Significa que o motor privilegiou uma mistura pobre durante os testes.

Foi comprovado que há maior produção de óxidos de azoto com o uso de biodieseis do que com gasóleo, excetuando alguns pontos. A baixas velocidades de rotação denota-se uma grande diferença na formação de NOx entre o biodiesel e o gasóleo.

Comparando o biodiesel REF 1 e biodiesel REF 2, caso se tivesse escolher um dos dois para o uso num veículo, poderíamos seleccioná-los segundo duas vertentes. Se desejar um combustível com boas prestações a nível mecânico, o biodiesel REF 2 é o melhor. Se preferir um combustível que gera menores emissões de gases poluentes o biodiesel REF 1 é o adequado. Seguidamente apresenta-se na Tabela 15 as variáveis tidas em conta assim como o lugar ocupado por cada combustível, sendo 1º correspondente ao melhor e 3º ao pior.

Tabela 15 - Variáveis tidas em conta durante os ensaios

Variáveis	Gasóleo	Biodiesel REF 1	Biodiesel REF 2
Binário	1º	3º	2º
Injeção	1º	2º	3º
Energia	1º	3º	2º
Potência	1º	3º	2º
Rendimento	3º	1º	2º
Opacidade	3º	1º	2º
NO_x	1º	2º	3º
Lambda	3º	2º	1º

5.2 Ensaio com 45 de carga de acelerador

Os dados apresentados neste subcapítulo, seguem o mesmo procedimento dos analisados no subcapítulo anterior.

Começando pelo binário obtido (Figura 91), até às 2200 rpm, o gasóleo produz ligeiramente menor ou igual binário que ambos os biodieseis. A partir daí, produz valores iguais ou superiores (exceto às 3200 rpm). O biodiesel REF 2 é o que apresenta maior binário às 1200 rpm (123 N.m), porém os seus valores são bastante similares aos do biodiesel REF 1, tal como se verifica pelas linhas de tendência polinomiais.

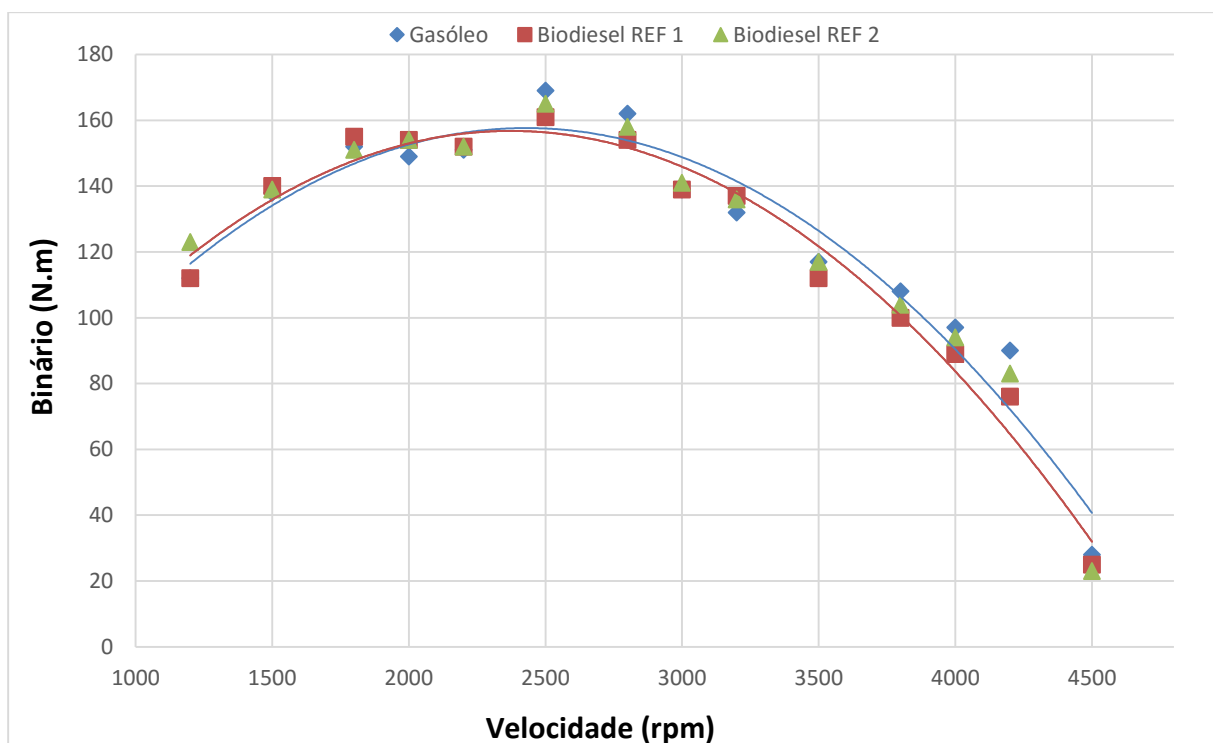


Figura 91 - Binário em função da velocidade de rotação do motor

O valor máximo obtido pelos combustíveis foi de 169 N.m às 2500 rpm para o gasóleo, 161 N.m às 2500 rpm com o biodiesel REF 1 e 165 N.m também às 2500 rpm usando o biodiesel REF 2. Isto significa que o motor atingiu o binário máximo a essa mesma velocidade de rotação do motor. O binário médio calculado neste ensaio é de 124,6 N.m (gasóleo), 121,86 N.m (biodiesel REF 1) e 124,3 N.m (biodiesel REF 2), o que demonstra que o gasóleo é o que proporciona maior binário, embora o biodiesel REF 2 tenha valores muito próximos. Pelo contrário, o biodiesel REF 1 é o que possui pior comportamento.

As quantidades de combustível injetado (Figura 92) estão de acordo com a curva de binário, isto é, o intervalo onde o motor injeta maior quantidade dos 3 combustíveis corresponde ao intervalo onde é gerado maior binário. Essa gama de rotações é situada entre as 1200 e 3500 rpm. Com o uso de gasóleo houve menor injeção de combustível o que é plausível como foi explicado no subcapítulo anterior. Testando o motor com biodiesel REF 2, este tem tendência para injetar valores mais elevados de combustível do que comparativamente com o biodiesel REF 1. Essa pode ser uma das razões pelo qual se produz mais binário biodiesel REF 1 do que com o biodiesel REF 2. Pode se comprovar essa situação pelo gráfico da Figura 93 referente à energia cedida ao motor.

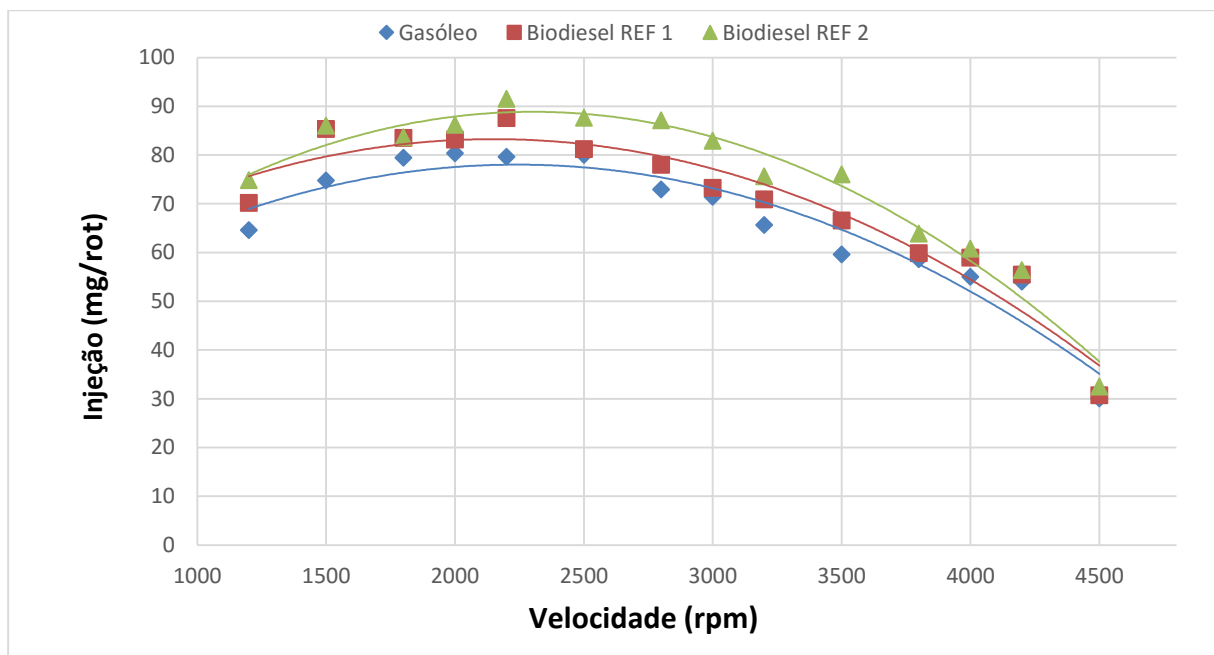


Figura 92 - Quantidade de combustível injetado por rotação da cambota

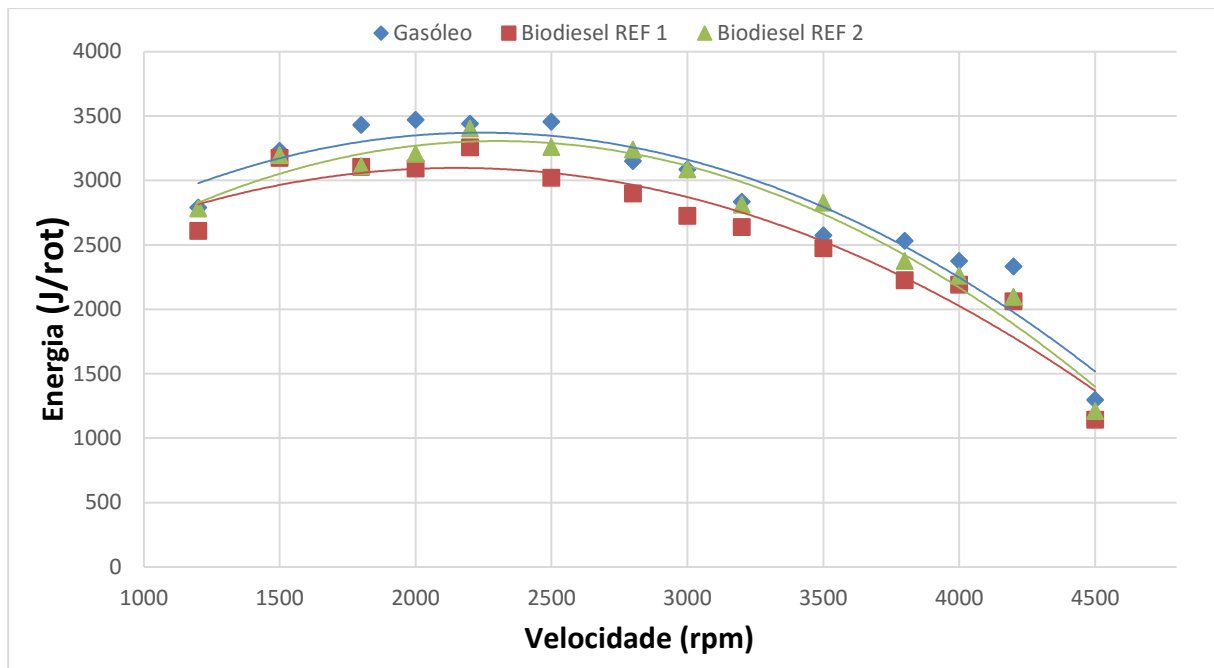


Figura 93 - Quantidade de energia fornecida por rotação da cambota

Verifica-se através das linhas de tendência polinomiais que o biodiesel REF 2 se aproxima dos valores do gasóleo para a energia cedida ao motor. O biodiesel REF 1 é o que tem pior comportamento dos 3 combustíveis. Este gráfico apresenta concordância com o mapa de binário, visto que os valores mais elevados de energia estão situados no intervalo entre 1200 e 3500 rpm.

A potência máxima atingida (Figura 94) foi de 65 cv às 2800 rpm (gasóleo), 62 cv às 3200 rpm (biodiesel REF 1) e 63 cv às 2800 rpm (biodiesel REF 2). A potência útil atingida pelos combustíveis é muito semelhante em praticamente todos os regimes até às 2200 rpm. Desde as 2500 rpm às 4500 rpm o gasóleo é igual ou superior aos outros, com exceção das 3200 rpm, em que é ligeiramente inferior. Em suma, o gasóleo apresenta maior potência a altas rotações que os restantes.

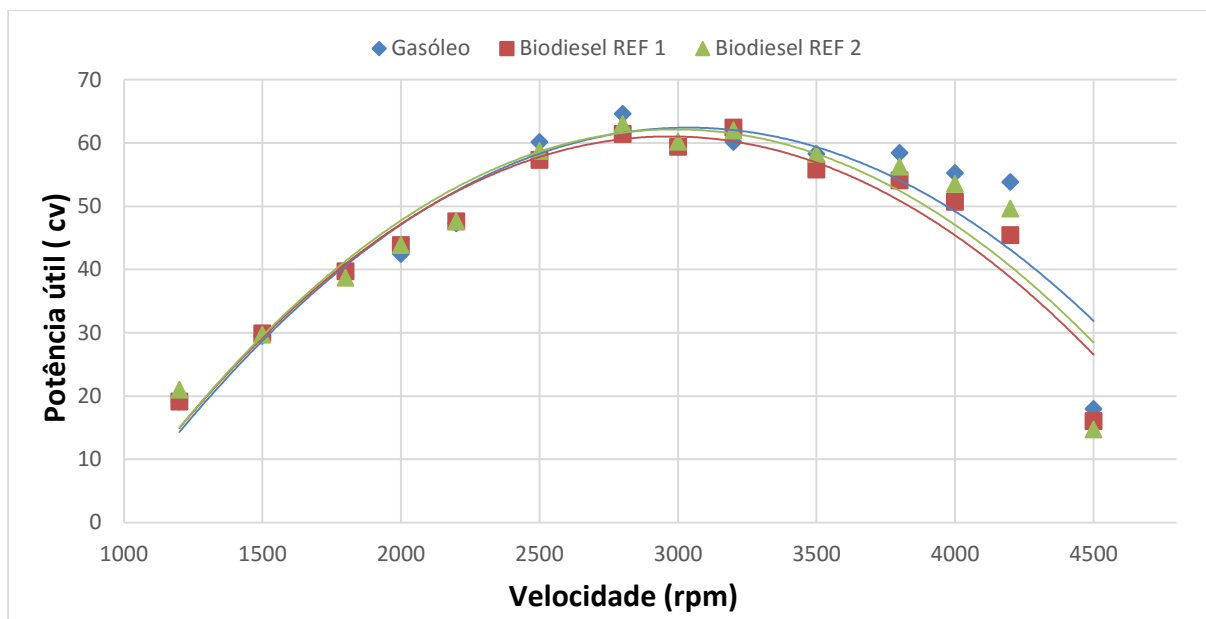


Figura 94 - Potência útil em função da velocidade de rotação do motor

Tal como evidenciado no ensaio com 40 de carga de acelerador, também neste ensaio (carga 45) o biodiesel REF 1 comporta-se como o melhor em termos de rendimento (Figura 95). Pelo contrário, o gasóleo é o pior. O rendimento máximo atingido é de 34%, às 2500 rpm, com o biodiesel REF 1.

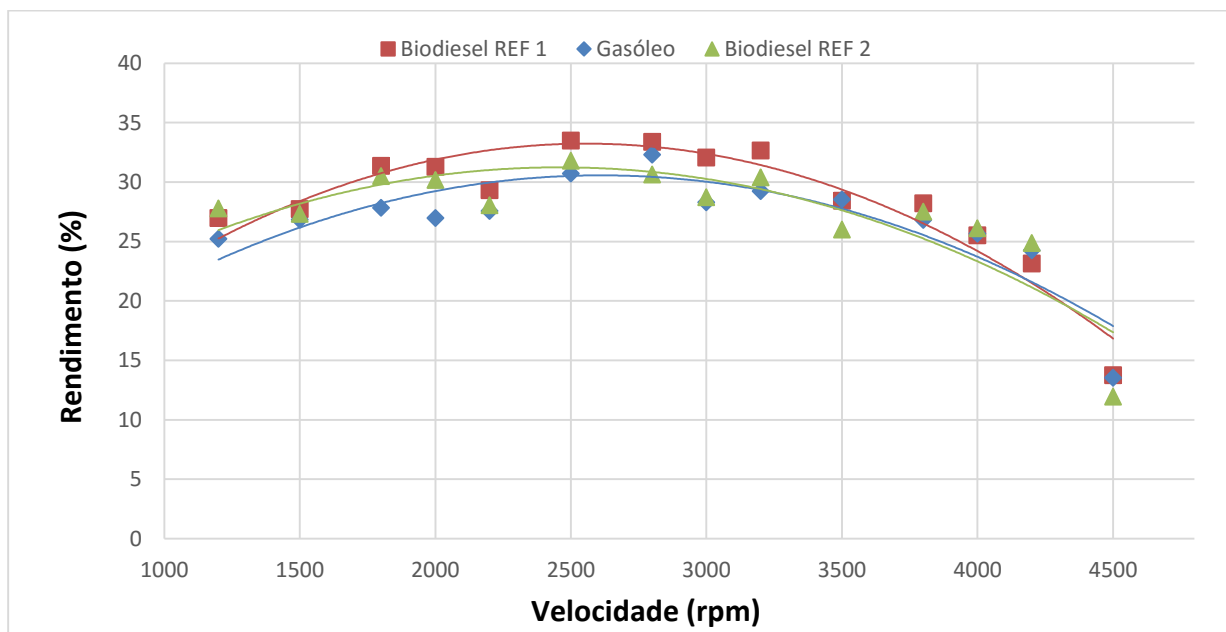


Figura 95 - Rendimento em função da velocidade de rotação do motor

Para esta carga, o gasóleo apresentou valores de opacidade (Figura 96) muito elevados até às 2200 rpm. Atingiu os 97,6% de opacidade às 1200 rpm, sendo este o valor mais alto registado em todos os ensaios com o motor. Isto pode significar que a queima não foi feita corretamente e que a mistura estava rica. O biodiesel REF 2 desde as 1500 às 2200 rpm e às 3000 rpm, produz maior emissão de gases de escape ‘negros’ do que o biodiesel REF 1. Contudo, é o combustível que tem melhor desempenho no que toca a esta temática, dado que apresenta vários valores abaixo dos outros e também exibe o menor montante de opacidade deste teste, 2,9% de opacidade.

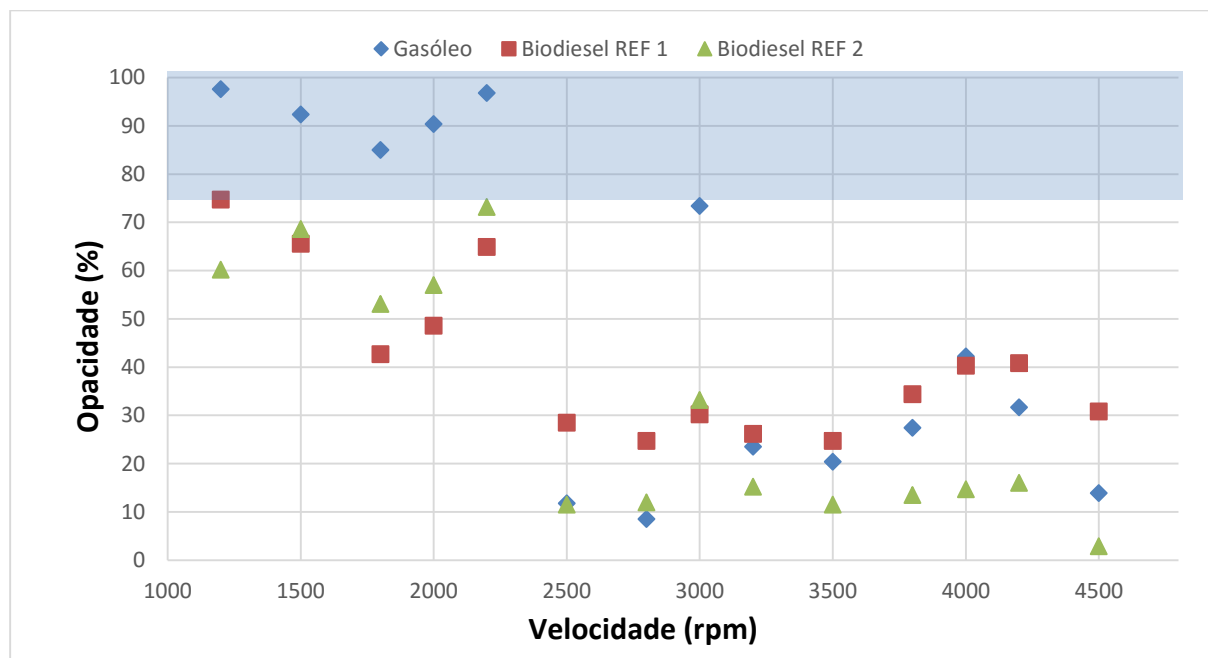


Figura 96 - Opacidade dos gases de escape em função da velocidade de rotação do motor

Através da Figura 97, referente aos dados adquiridos pela observação do manómetro, chega-se à conclusão que os valores de pressão do turbo mais anormais se encontram às 2500 rpm e 2800 rpm. Este é igual ou superior a 1 bar. Tendo em conta a opacidade, nestes pontos os valores baixam drasticamente em relação ao seu percurso desde as 1200 rpm, o que aprova a relação existente entre a quantidade de ar ‘aspirada’ pelo turbo e a emissão de gases.

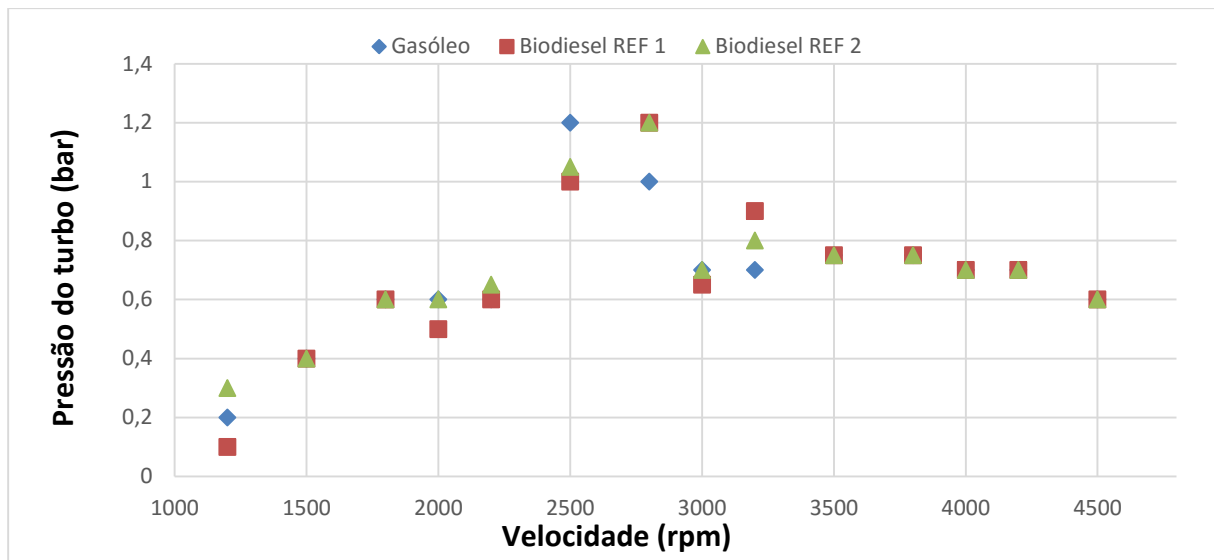


Figura 97 - Pressão do turbo em função da velocidade de rotação do motor

Comprovou-se a maior produção de NO_x por parte dos biodieseis, embora às 2800 rpm o gasóleo tenha produzido maior quantidade que os restantes. Por vezes, veículos que emitem poucos gases negros são rotulados como ecologicamente aptos para circular. Pois na Figura 98, pode-se obter uma boa justificação para provar o contrário. Às 2500 rpm, todos os combustíveis geram quantias elevadas de NO_x e se notarmos a emissão de gases opacos na Figura 96, denotamos que estes se encontram dentro dos limites legais. Porém os limites de NO_x tal como se evidencia no estado de arte, na Tabela 3, são ultrapassados numa larga escala. Nesse ponto registam-se valores na gama dos 1300 ppm, que para g/km, traduz-se em 37,128 g/km, valor este 74 vezes maior que o permitido pelas diretivas da União Europeia para veículos produzidos após o ano 2000. Isto era de esperar uma vez que se retirou o sistema EGR e tal como explicado no subcapítulo 2.4 há maior produção de NO_x derivado do maior teor de oxigénio que é admitido nos cilindros.

O gasóleo revela um bom comportamento até às 2000 rpm, mas para as restantes rotações aproxima-se dos biodieseis. O biodiesel REF 2 é o combustível com maior produção de óxidos de azoto.

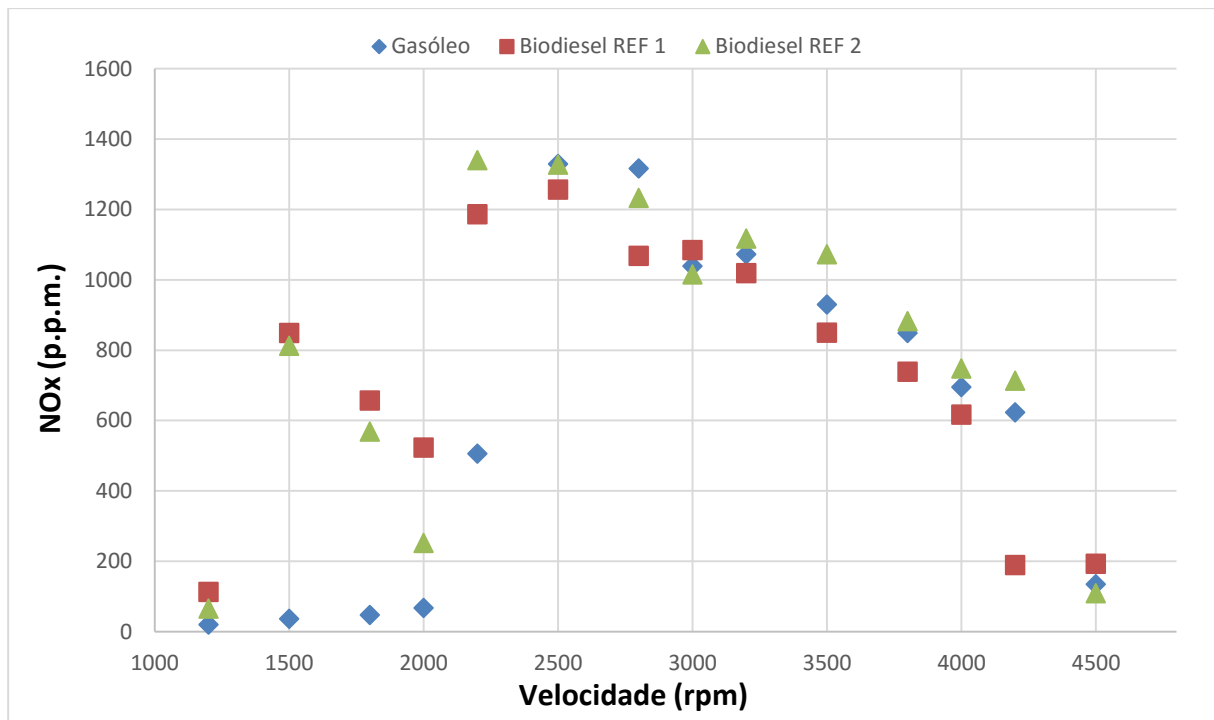


Figura 98 - Produção de NOx em função da velocidade de rotação do motor

O lambda das emissões dos gases de escape (Figura 99) situa-se principalmente no intervalo de 0,9 a 1,4, o que significa que a mistura injetada durante os ensaios foi em maior parte dos casos a tender para mistura pobre. Não obstante, existem pontos onde a relação estequiométrica foi igual a 1, sendo estes para o biodiesel REF 1 às 1200 rpm e para o biodiesel REF 2 às 1200 rpm e 2000 rpm. Os valores bastante elevados de opacidade atingidos com a utilização de gasóleo, conclui-se pela análise da Figura 99 que se deve ao facto de a mistura ser rica, uma vez que o lambda é inferior a 1. Sendo assim, a queima do combustível não foi suficientemente eficaz devido ao excesso de partes de gasóleo em comparação com as partes de ar. Às 4500 rpm o biodiesel REF 2 atingiu quase 2,5 (lambda), correspondendo esta rotação ao mínimo de opacidade do ensaio com os combustíveis.

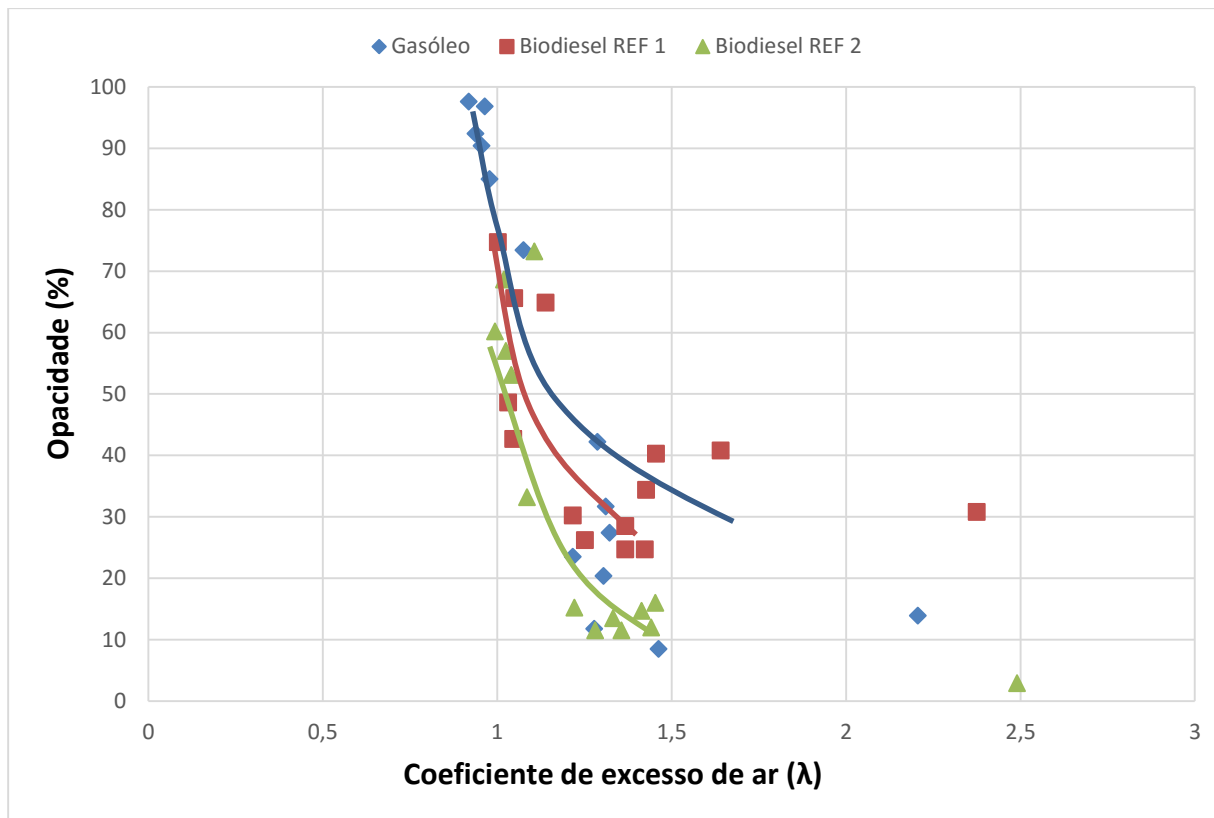


Figura 99 - Opacidade em função do lambda dos gases de escape

Comparando os resultados em termos de formação de NO_x e o lambda, traçaram-se as zonas de funcionamento para cada combustível (Figura 100). Verificou-se que com o gasóleo, a zona de funcionamento situou-se principalmente no intervalo entre 0,9-2,2 (λ). O biodiesel REF 1, privilegiou a zona entre 1-2,4 (λ) e o biodiesel REF 2 a zona entre 1-2,5 (λ). Uma relação que se pode adquirir através da análise do gráfico, tomando como referência o intervalo 0,9-1,5 (λ), onde estão condensados maior parte dos pontos, é que a formação de NO_x é consequência de uma mistura pobre. Outra relação, são os pontos com valores mais elevados de NO_x, corresponderem aos pontos onde o motor produz maior binário.

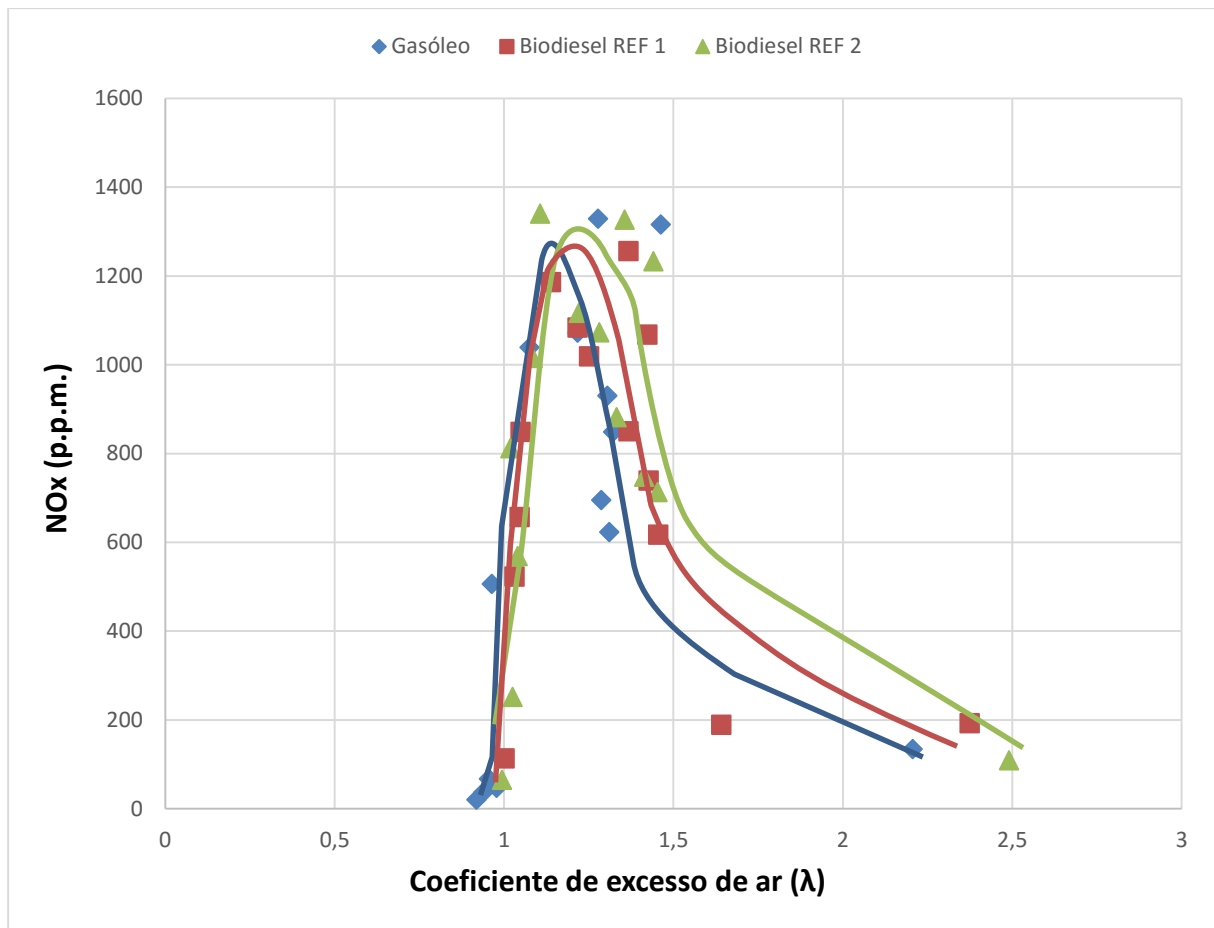


Figura 100 - Formação de NOx em função do lambda

Discussão dos resultados

Nestes 45 de carga de acelerador, os biodieseis produziram maior binário em baixas velocidades de rotação do motor, embora a partir das 2200 rpm, o gasóleo, foi o que proporcionou maior binário.

Em termos de injeção, os biodieseis injetaram maior quantidade de combustível no motor, como era de esperar. A quantidade de energia fornecida pelo biodiesel REF 2, a partir das 2200 rpm é muito próxima da quantidade cedida pelo gasóleo. O biodiesel REF 1 apresenta bastante diferença em relação aos outros. Por conseguinte, o biodiesel REF 1 é o que produz menor potência útil. Só a partir das 2500 rpm é que se refletem diferenças entre as potências geradas pelos combustíveis.

O biodiesel REF 1 destacou-se pelo elevado rendimento que obteve em relação aos outros combustíveis. Por sua vez, com o gasóleo, os rendimentos diminuíram significativamente.

A pressão do turbo durante estes ensaios também não se manteve na zona de funcionamento, tendo vários picos e não ficando uniforme durante os ensaios de 20s.

Os valores de opacidade dos gases de escape, até às 2200 rpm, foram elevados com a utilização de todos os combustíveis, apesar de que com gasóleo, os valores são mais altos. Ao longo dos ensaios, notou-se essa tendência que é explicada pelos valores do lambda das emissões dos gases de escape. Ao contrário do que aconteceu no ensaio de 40 de carga de acelerador, com 45 de carga de acelerador, o motor utilizou por vezes misturas ricas tanto de gasóleo como de biodiesel REF 1 e biodiesel REF 2.

Verificou-se a maior produção de NO_x com o uso de biodieseis, exceto às 2800 rpm onde o gasóleo foi superior. A partir das 2500 rpm todos os combustíveis produzem níveis de óxidos de azoto dentro da mesma escala. Mais díspares foram os valores de NO_x entre as 1500 rpm e 2200 rpm, com o uso de gasóleo em relação ao uso de biodiesel.

O lambda dos combustíveis admitidos pelo motor situou-se principalmente no intervalo entre 0,9-1,4 (λ). Fato este que resultou numa mistura a tender para rica, originando uma maior expulsão de ‘fumos negros’ (maior opacidade). O motor produz maior quantidade de óxidos de azoto quando é solicitada uma maior carga (quando gera maior binário). Isto deve-se ao fato de que quando se esta a induzir uma maior carga, a temperatura na câmara de combustão é maior, favorecendo a formação de NO_x.

Na Tabela 16 encontra-se uma suma das variáveis importantes nestes ensaios e a posição em que cada combustível se enquadra em relação a elas.

Tabela 16- Variáveis tidas em conta nestes ensaios

Variáveis	Gasóleo	Biodiesel REF 1	Biodiesel REF 2
Binário	1°	3°	2°
Injeção	1°	2°	3°
Energia	1°	3°	2°
Potência	1°	3°	2°
Rendimento	3°	1°	2°
Opacidade	3°	2°	1°
NO_x	1°	2°	3°
Lambda	3°	2°	1°

5.3 Ensaio com 50 de carga de acelerador

Estes ensaios foram realizados segundo o mesmo procedimento que os expostos anteriormente. Porém, devido a fatores imponderáveis os resultados são de difícil explicação. Como tal, os valores e gráficos gerados serão colocados no anexo D. Seguidamente apresenta-se na Figura 101 um exemplo dos resultados adquiridos durante os ensaios com esta carga de acelerador.

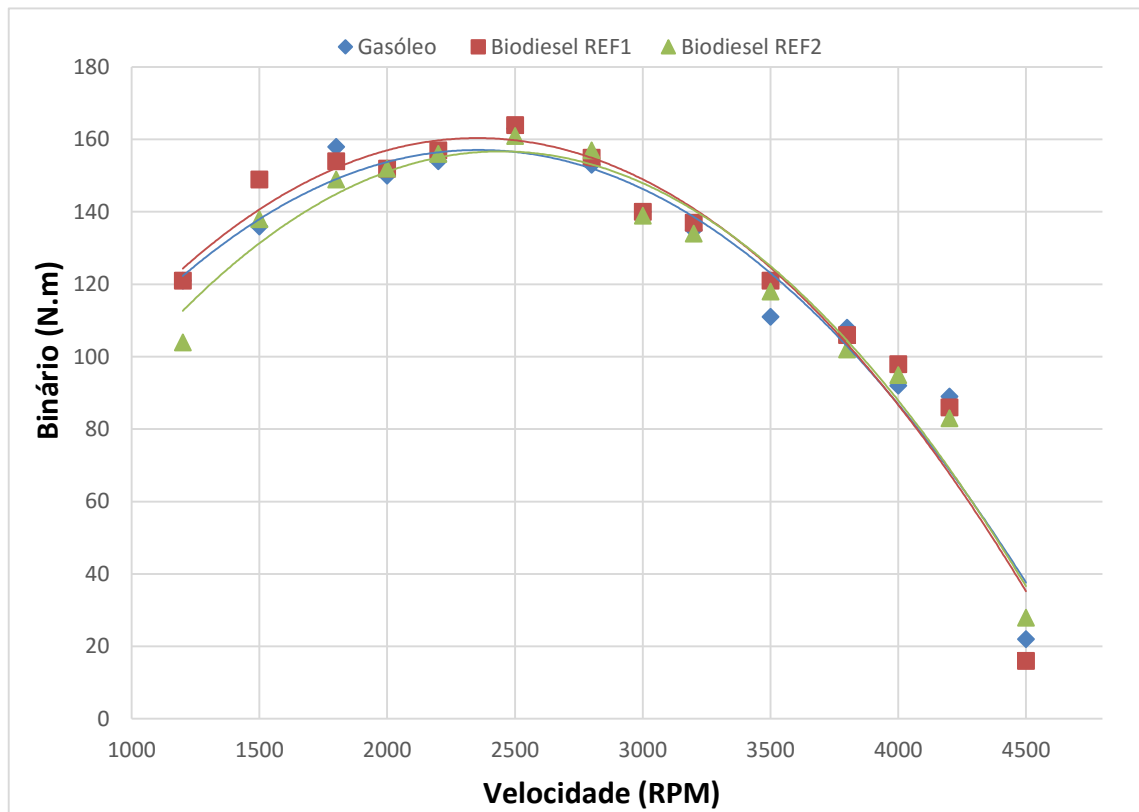


Figura 101 - Binário em função da velocidade de rotação do motor

Como se verifica, o biodiesel REF 1 que era o que produzia menor binário nos outros ensaios, foi neste o melhor. O binário produzido por cada combustível à mesma velocidade de rotação apresenta elevada discrepância, o que põe em causa a sua precisão. Outra razão, é o facto de que os valores, em quase toda a gama de velocidades de rotação do motor, serem menores neste ensaio do que no ensaio de 45 de carga de acelerador.

Uma possível resposta a estes resultados, foi o motor ficar muito ‘agitado’ para esta carga de acelerador, dado que era o máximo que conseguia atingir. As temperaturas do óleo do motor e a variação da pressão do turbo podem ser as razões mais plausíveis para as causas do insucesso destes testes de carga de acelerador.

6 Considerações Finais e Trabalho

Futuro

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHO FUTURO

Durante a realização deste trabalho de dissertação foram adquiridos e aprofundados conhecimentos. No estado de arte, compreendeu-se melhor o funcionamento dos motores diesel, assim como os parâmetros associados aos mesmos, como por exemplo, binário, potência, rendimento, entre outros. Percebeu-se que os combustíveis são caracterizados por propriedades e estas permitem distingui-los entre si. Para além disso, entendeu-se a forma como os vários combustíveis são produzidos e o modo como influenciam o desempenho de um motor. Tomou-se consciência da formação de poluentes associados ao uso dos motores diesel, sendo que o NOx é um dos mais perigosos para o meio ambiente e o ser humano. Nesse contexto, aprofundou-se o conhecimento sobre os óxidos de azoto, elaborando-se uma revisão sobre pesquisas e projetos elaborados nesse âmbito, por diversos autores.

Com a execução da parte prática, mais precisamente da instalação experimental obtiveram-se competências básicas sobre o uso de várias ferramentas, equipamentos e componentes que serviram de apoio para colocar a bancada de testes operacional para o funcionamento do motor. Alteraram-se vários sistemas, criaram-se peças e dispositivos de modo a otimizar a bancada. Entendeu-se o funcionamento do freio dinamométrico aquando da calibração do mesmo, assim como o seu propósito nos ensaios experimentais com o motor. Ao longo da criação e instalação do display do acelerador no painel de comando, aperfeiçoou-se conhecimentos na área da programação e eletrónica.

No que toca ao procedimento experimental, nos primeiros ensaios que se fizeram com os combustíveis, foi bastante complicado obter os resultados. Eram necessários vários programas a funcionar ao mesmo tempo no computador, registar valores visualmente e precisava-se de mais do que uma pessoa para toda essa execução. Devido a isto, procedeu-se à repetição dos testes inúmeras vezes, o que acarretou essencialmente custos, tempo e trabalho. O programa criado e o sistema de aquisição de dados do freio dinamométrico foram uma mais valia. Tornaram possível realizar testes de forma autónoma, obter valores mais fidedignos e maior rapidez na elaboração dos ensaios.

Ao nível dos equipamentos de medição dos gases de escape, surgiram alguns problemas. Após aprender o modo como se operam, deparou-se que o analisador de gases por vezes não funcionava corretamente. Aparecia uma mensagem a dizer que necessitava de recalibração, o que interrompia os testes. Para além disso, os filtros por vezes entupiam-se afetando as medições, havendo necessidade de os trocar ou limpar.

Depois de ultrapassar as adversidades anteriormente descritas, os resultados práticos dos ensaios começaram a ser mais plausíveis. De referir, que a duração dos testes com o motor era de 20s, porém só se iniciavam quando todas as condições estivessem de acordo.

Os resultados obtidos permitiram verificar que com o uso de gasóleo, o motor Peugeot 1.6 HDI atingiu valores de binário superiores do que com o uso de biodiesel REF 1 e biodiesel REF 2. Segundo as especificações técnicas do fabricante Peugeot, este motor debita um máximo de 75 cv de potência e 175 N.m de binário. O valor de binário mais elevado que foi registado durante os ensaios foi de 169 N.m e ocorreu com 45 de carga de acelerador, às 2500 rpm, usando como combustível o gasóleo. A potência máxima atingiu os 65 cv também no ensaio de 45 de carga de acelerador, às 2800 rpm e com o uso de gasóleo. Estes valores não se encontram longe das especificações do motor, embora se possa concluir que poderão ter existido perdas mecânicas, por exemplo, no sistema de acoplamento motor-freio e perdas térmicas.

Existiu maior injeção de biodieseis do que gasóleo, o que deriva do facto do poder calorífico do biodiesel ser inferior ao do gasóleo. O motor necessitou de injetar maior quantidade de biodiesel para obter uma potência útil semelhante de forma a manter a velocidade de ralenti requerida, alterando assim todo o mapa. Outro fator são as suas características serem diferentes, por exemplo, a viscosidade, o que leva a injeções desproporcionais. Para se saber ao certo qual é a quantidade de energia cedida pelos combustíveis ao motor durante os testes, ou seja, o valor correto e não valores aproximados, dever-se-ia medir qual é o verdadeiro poder calorífico dos mesmos. Como tal, num trabalho futuro, poderá fazer-se uma análise química ao gasóleo e biodiesel utilizado.

No que toca ao rendimento, comprovou-se que os biodieseis proporcionam rendimentos superiores aos do gasóleo. Isto deve-se ao maior índice de cetano do biodiesel. O biodiesel REF 2 produziu um rendimento máximo de 34%, às 2000 rpm, no ensaio com 40 de carga de acelerador e o biodiesel REF 1 gerou um rendimento máximo de 34%, às 2500 rpm, no ensaio com 45 de carga de acelerador. Os valores confirmam que a combustão dos biodieseis é mais completa. Por conseguinte, este facto revela o potencial que o biodiesel tem na aplicação em motores diesel.

Em relação à emissão dos gases de escape, o gasóleo é o combustível que produz mais partículas ao longo do espetro de rotações do motor. A baixas velocidades de rotação, todos os combustíveis produzem valores elevados de opacidade, contudo, os biodieseis são mais ‘limpos’ que o gasóleo. Para além disso, verificou-se que existe uma relação entre a opacidade e o lambda dos gases de escape. Quando uma mistura se encontra rica, o motor não realiza a queima do combustível devidamente, o que leva à expulsão de gases de escape mais ‘negros’.

Pelo contrário, quando as misturas se apresentaram pobres, os valores de opacidade baixaram drasticamente. Foi comprovado que há maior produção de NOx com o uso de biodieseis do que com gasóleo, tal como era de esperar devido ao maior teor de oxigénio que o biodiesel tem. A baixa carga, os valores de NOx gerados pelo gasóleo foram substancialmente inferiores aos valores gerados pelo biodiesel. A partir das 2000 rpm (com 40 de carga de acelerador) e das 2500 rpm (com 45 de carga de acelerador), a quantidade de óxidos de azoto que foi formada pelos combustíveis, situou-se na mesma gama de valores. Concluiu-se através deste facto, que o motor produziu maior quantidade de NOx quando foi solicitada uma maior carga, ou seja, quando foi produzido maior binário. Uma possível explicação para esta situação, é o facto de que com a indução de uma maior carga, a temperatura na câmara de combustão aumente tornando propícia a formação de NOx.

O turbo-compressor do motor estava programado para ter o seu funcionamento a um máximo de 0,5 bar. Durante os ensaios, a pressão de funcionamento variou muito atingindo 1,2 bar, por momentos. Devido a esse facto, alguns testes tiveram de ser repetidos várias vezes, de maneira a se estabilizar o motor. Praticamente em toda a gama de rotações do motor e com todos os combustíveis, o turbo-compressor esteve acima desses 0,5 bar. Esse mau funcionamento, pode ter influenciado alguns resultados, tal como se verificou no ensaio com 50 de carga de acelerador. Num futuro trabalho, dever-se-ia programar corretamente a pressão do turbo para não ocorrem as mesmas adversidades.

O objetivo principal deste projeto concretizou-se. Comprovou-se que com o uso de biodiesel se obtém performances praticamente iguais às do gasóleo e existe menor emissão de fumos ‘negros’. Com uma reprogramação adequada da centralina é provável que se produzam performances superiores às do motor aquando da utilização de gasóleo. É viável afirmar que o biodiesel tem capacidades para substituir o uso de gasóleo nos veículos.

Trabalho futuro

Por fim, existem ainda duas ideias importantes que podem ser implementadas na bancada de testes. Ambas são para otimizar e controlar os ensaios com o motor, de modo a serem os mais corretos possíveis. À saída do intercooler, devia-se instalar um dispositivo que permita obter a temperatura do ar. A outra ideia seria colocar um componente que permita verificar a temperatura do óleo do motor, fator este que pode ter um papel preponderante na análise dos resultados dos ensaios

Referências Bibliográficas

REFERÊNCIAS

- [1] "Energy Information Administration," [Online]. Available: <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm>. [Accessed 15 02 2016].
- [2] [Online]. Available: <http://www.infoescola.com/quimica/o-que-sao-hidrocarbonetos/>. [Accessed 14 08 2015].
- [3] "Repsol," [Online]. Available: http://www.repsol.com/pt_pt/corporacion/conocer-repsol/contexto-energetico/matriz-energetica-mundial/. [Accessed 15 01 2016].
- [4] "Relatório do Estado do Ambiente," Agência Portuguesa do Ambiente, 2015.
- [5] "Por Data Base de Dados Portugal Contemporâneo," [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela>. [Accessed 15 02 2016].
- [6] J. Martins, Motores de Combustão Interna, Publindústria, 2013.
- [7] "O dia a história," [Online]. Available: <http://odia-a-historia.blogspot.pt/2015/03/motor-diesel.html>. [Accessed 02 09 2015].
- [8] "Dromimf," [Online]. Available: <http://f5a7.dromimf.top/a/motor-2-tempos-diesel/>. [Accessed 02 09 2015].
- [9] "Rectifica Motorcic," [Online]. Available: <http://retificamotorcic.com.br/motores/>. [Accessed 06 01 2016].
- [10] "Mercado Livre," [Online]. Available: http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-723565891-carter-do-oleo-scenic-20-16v-_JM. [Accessed 15 10 2015].
- [11] "Fórum Hotcampinas," [Online]. Available: <http://forum.hotcampinas.com/showthread.php?32104-Rela%C3%A7%C3%A3o-R-L-Uma-analise-gr%C3%A1fica>. [Accessed 17 10 2015].
- [12] "Custo Justo," [Online]. Available: <http://www.custojusto.pt/faro/pecas-carros/audi-a4-cambota-motor-13319750>. [Accessed 26 11 2015].

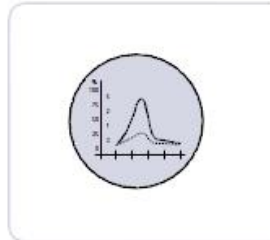
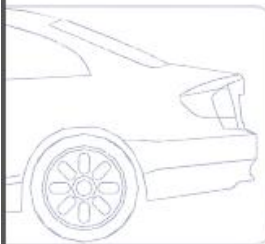
- [13] "Ebah," [Online]. Available: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABv50AA/motores-diesel?part=2>. [Accessed 12 10 2015].
- [14] "OLX," [Online]. Available: <https://olx.pt/anuncio/bomba-injectora-ibiza-golf-iv-110-cv-IDyMzJR.html>. [Accessed 03 01 2016].
- [15] "Bosch," [Online]. Available: http://pt.bosch-automotive.com/pt/internet/parts/parts_and_accessories/motor_and_sytems/diesel/common_rail_injection/common_rail_diesel_motorsys_parts.html. [Accessed 8 07 2015].
- [16] "Operation," [Online]. Available: <http://www.operation.com.br/glossario/letra/b>. [Accessed 3 12 2015].
- [17] "Brasil Escola," [Online]. Available: <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/refinamento-petroleo.htm>. [Accessed 22 10 2015].
- [18] "Diesel net," [Online]. Available: <https://www.dieselnets.com/standards/eu/ld.php>. [Accessed 8 10 2015].
- [19] "Infoescola," [Online]. Available: <http://www.infoescola.com/quimica/biodiesel/>. [Accessed 26 10 2015].
- [20] "Bio Fuel Testing," [Online]. Available: <http://www.biofueltesting.com/specifications.asp>. [Accessed 5 01 2016].
- [21] S. Bair, "The pressure and temperature dependence of volume and viscosity of four Diesel fuels," *Fuel*, p. 112–119, 2014.
- [22] J. S.-V. , E. S. Magín Lapuerta, "Effect of ambient humidity and hygroscopy on the lubricity of diesel fuels," *Wear*, pp. 200-207, 2014.
- [23] "Autoblog," [Online]. Available: <http://www.autoblog.pt/valvula-egr-exhaust-gas-recirculation/>. [Accessed 19 11 2015].
- [24] U. S. E. P. Agency, "A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions," EUA, 2002.

- [25] J. G. Rothermel, Investigation of transesterification reaction rates and engine exhaust emissions of biodiesel fuels, Iowa State University, 2003.
- [26] O. Özener, "ScienceDirect," [Online]. Available: Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends. [Accessed 23 01 2016].
- [27] Q. D. H., "ScienceDirect," [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890410002542>. [Accessed 23 01 2016].
- [28] "Ultimate Specs," [Online]. Available: <http://www.ultimatespecs.com/pt/car-specs/Peugeot/2053/Peugeot-Partner-16-HDI-75.html>. [Accessed 4 10 2015].
- [29] "Analog Stereo," [Online]. Available: http://www.analogstereo.com/peugeot_partner_owners_manual.htm. [Accessed 5 10 2015].
- [30] "AVL," [Online]. Available: <http://www.avlcechy.cz/ditest-dicom.html>. [Accessed 22 01 2016].
- [31] "AECS," [Online]. Available: <http://www.aecs.net/products/DIGAS%204000L.php>. [Accessed 25 01 2016].

Apêndice A



**AVL EMISSION TESTER
SERIES 4000**
FOR PETROL AND DIESEL ENGINES
FUTURE SOLUTIONS FOR TODAY



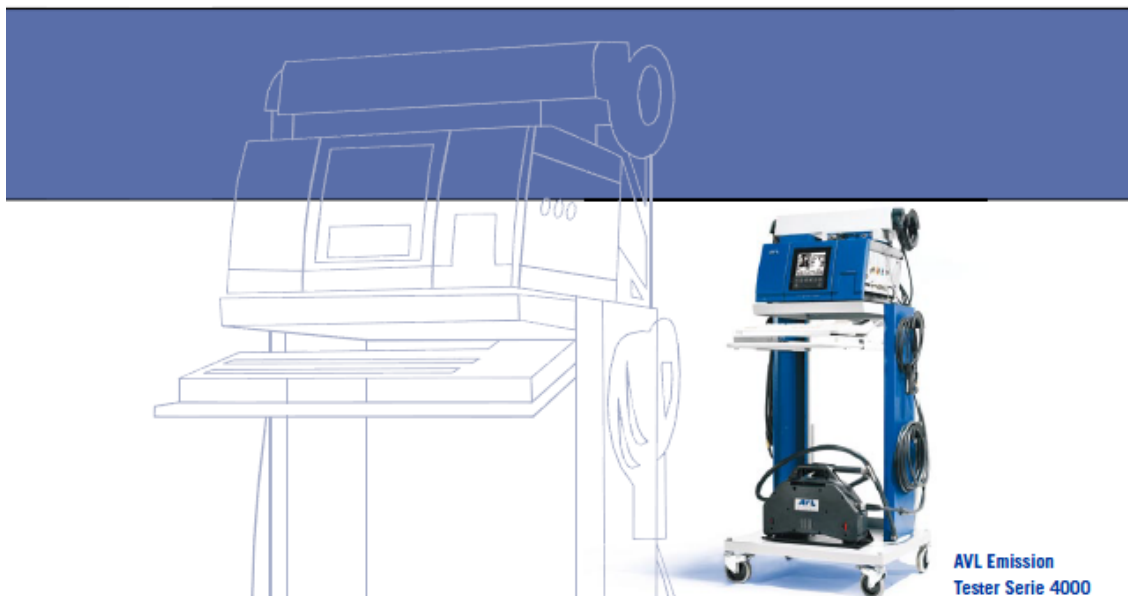
Accessories

	DiCom	DiGas	DiSmoke	DiGas light
AVL DiSpeed 492				
Id.No. VM-492-BASE-TYP-INT-01	o	o	o	o
AVL DiSpeed 492 + Bike				
Id.No. VM-492-BASE-TYP-INT-02	o	o	o	o
AVL E0BD				
Id.No. on request (country-specific)	o	o	o	o
„Diagnose Plus“ Software				
AVL Diagn. Plus for AVL DiCom 4000				
Id.No. TD4000CDPA.01	o	-	-	-
AVL Diagn. Plus for AVL DiGas 4000				
Id.No. TD4000GDPA.01	-	o	-	-
AVL Diagn. Plus for AVL DiSmoke 4000				
Id.No. TD4000SDPA.01	-	-	o	-
„Emission Expert“ Software				
AVL Emission Expert for AVL DiCom 4000				
Id.No. TD4000CADA.01	o	-	-	-
AVL Emission Expert for AVL DiGas 4000				
Id.No. TD4000GADA.01	-	o	-	-
AVL Emission Expert for AVL DiSmoke 4000				
Id.No. TD4000CADA.01	-	-	o	-

o optional - not supported

Trolley

	DiCom	DiGas	DiSmoke	DiGas light
Id.No. BG7018	o	o	o	o
Keyboard/printer insert for trolley				
Id.No. BG7020	o	o	o	o
Paper insert for trolley				
Id.No. BG7021	o	o	o	o
External printer				
Id.No. GY0460	o	o	o	o
Voltage transformer				
Id.No. GH0470	o	o	o	o
Keyboard German/English				
Id.No. GY0369/GY0413	o	o	o	o
AVL DiControl cable remote control				
Id.No. V4000RC-01	o	o	o	-
Infrared remote control				
Id.No. B02313	o	o	o	-
Adapter for exhaust tail pipes above cabin				
Id.No. B02136	o	-	-	-
Calibration filter 30%/50%/75%				
Id.No. B07023/B07017/B07024	o	-	-	-



AVL Emission Tester Serie 4000



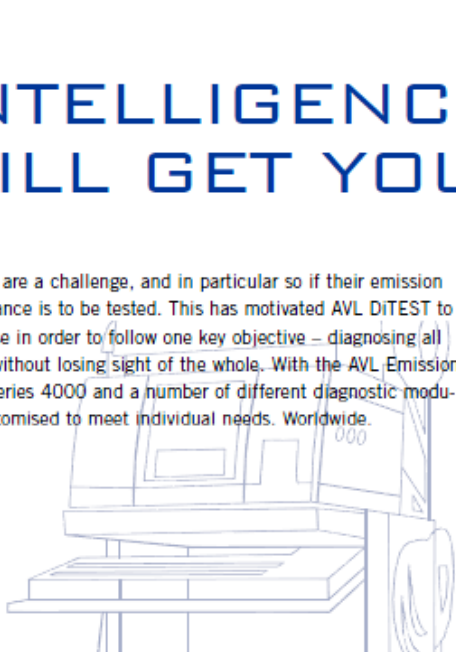
AVL and AVL DiTEST A Supreme Combination of Technical Flexibility with Future-Oriented Perspectives.

The philosophy of AVL- looking at the world of automobiles in its entirety – perfect development of vehicles while safeguarding faultless daily use. In keeping with our principle, AVL DiTEST is up to the challenge of providing workshops and testing centres with high-tech diagnostic systems on the cutting edge of technical standards. The result – optimum performance with individual service based on pioneering AVL technology. Our know-how accumulated over more than 50 years of passion for technology ensures unsurpassed precision.



INTELLIGENCE WITH POWER WILL GET YOU AHEAD.

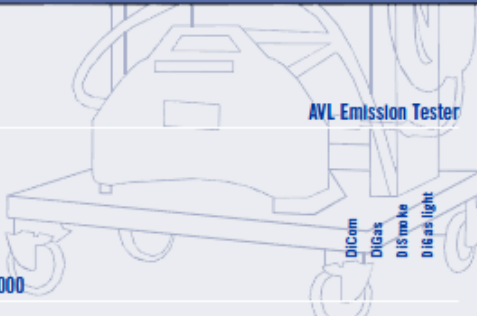
Vehicles are a challenge, and in particular so if their emission performance is to be tested. This has motivated AVL DiTEST to specialise in order to follow one key objective – diagnosing all details without losing sight of the whole. With the AVL Emission Tester Series 4000 and a number of different diagnostic modules. Customised to meet individual needs. Worldwide.



Simple and complex. Your advantages.

- Products homologated by leading vehicle manufacturers, e.g. BMW, Man, Peugeot, Porsche, Smart, ...
- Recommended by top testing organisations worldwide, such as CENTRE CONTROLE TECHNIQUE, DEKRA, GOCA, ITV, TÜV, ...
- Network-compatible according to asanetwork, BMW, AUPlus, Giegnet France, isotec, MOT UK, ...
- User guidance for optimum application
- Complete range of engine speed measurement techniques, including AVL DiSpeed 492, clamp-on transducer, inductive trigger sensor, optical and TDC transducer, Flywheel, terminal W, ...

Our ideas cut across all boundaries. With experience, know-how and a passion for uncompromising analytic precision.



Series 4000	DiCom	DiGas	DiSmoke	DiGas light
CO, CO ₂ , HC, O ₂	•	•	-	•
K value, opacity	•	-	•	-
Engine speed, oil temperature	•	•	•	•
Determination of acceleration time	•	-	•	-
Ignition angle, dwell angle	•	•	-	-
Fuel feed start	•	-	•	-
Petrol EOBD	•	•	-	•
Diesel EOBD	•	-	•	-
Menu-supported user guide	•	•	•	•
Diagnosis Plus	•	•	•	-
Emission Expert	•	•	•	-
Easy maintenance	•	•	•	•
Software update with memory card	•	•	•	•
Vehicle database	•	•	•	•

Series 4000	DiCom	DiGas	DiSmoke	DiGas light
Engine speed measurement with inductive trigger sensor or clamp-on transducer	•	•	•	•
Engine speed measurement with AVL DiSpeed 492	•	•	•	•
Variety of engine speed measurement models (optical measurement methods, OEM-specific, digital, analog sensors and W terminal)	•	•	•	-
Trolley	•	•	•	•
External keyboard	•	•	•	•
Internal printer	•	•	•	•
External printer	•	•	•	•
IR remote control	•	•	•	-
Cable remote control with display	•	•	•	-
NOx option	•	•	-	•
Petrol module	•	•	•	•
Diesel module	•	•	•	-

* optional • standard - not supported *country-specific
Further accessories on request

INCOMPARABLE STANDARDS IN EMISSION MEASUREMENT TECHNOLOGY.

This generation of AVL DiTEST instruments is designed for all-round performance without any compromise. What counts is perfection and developments that go beyond current requirements. By systematically responding to customer requests, AVL DiTEST has built up a leading position in the market of emission diagnosis systems.

AVL DiGas 4000

4-/5-gas tester for emission analysis and diagnosis of petrol engines

- High precision and long-term stability of measurement technology
- Minimum maintenance requirements, once-a-year calibration
- EOBD / OBD-2
- Can be upgraded to AVL DiCom 4000
- "Emission Expert" and "Diagnose Plus"

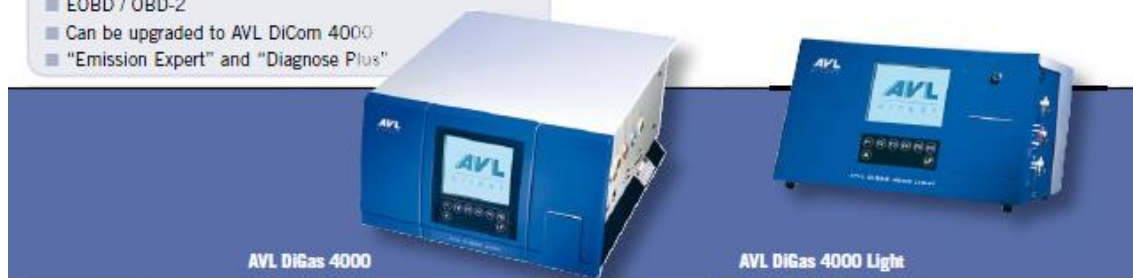
As Light as possible.

The Light series combines proven AVL DiTEST quality with compact design build. AVL DiGas 4000 Light is precisely tailor made to meet all needs of emission testing.

AVL DiGas 4000 Light

4- and 5-gas tester for emission measurement of petrol engines.

- Compact, stationary and mobile petrol emission tester
- Incorporates superior measurement technology of AVL DiGas 4000



AVL DiSmoke 4000

Opacimeter for smoke measurement and diagnosis of diesel engines

- High accuracy
- Patented linearity test
- Compact, light-weight opacity measuring chamber requiring minimal maintenance
- Short warm-up time
- Just one probe for all exhaust pipe diameters (passenger cars, trucks)
- Adapter for attachment to exhaust pipes above truck cabin
- Quick response time thanks to tiny diesel measurement chamber
- Can be upgraded to AVL DiCom 4000
- "Emission Expert" and "Diagnose Plus"



AVL DiSmoke 4000

AVL DiCom 4000

Combined emission tester for emission analysis and diagnosis of petrol and diesel engines.

- Compact combined instrument
- Combines technical functions of AVL DiGas 4000 and AVL DiSmoke 4000
- Cost advantage due to combination of AVL DiGas 4000 and AVL DiSmoke 4000



AVL DiCom 4000

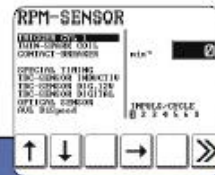
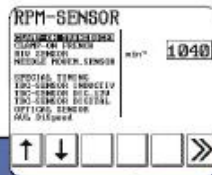
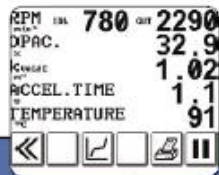
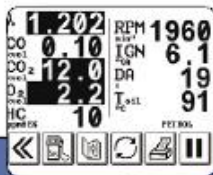
AVL DiOBD 800

OBD-Information for easy diagnostics and short test procedure.

- EOBD/OBD-2 protocol standards
- CANbus protocol standards
- Automatic EOBD/OBD-2 protocol recognition
- Individual use of all nine test modes: indication of actual values, reading and deletion of fault codes, special vehicle information queries, ...



AVL DiOBD 800



We go for in-depth analysis. With “Emission Expert” and “Diagnose Plus” software.

AVL DiSpeed 492

Future oriented engine speed measurement for cars and trucks.

- Speed measurement for stationary and dynamic speed measurement
- For petrol and diesel engines (best coverage)
- Setting of cylinder numbers not required
- Easy mounting thanks to integrated permanent magnet
- Automatic self-calibration and function monitoring
- Unique direct signal pick-up
- Can be connected to all exhaust gas testers
- Future-proof as the device operates independently from any electric engine signals



Diagnose Plus

- EOBD/OBD-2 diagnostic functions and petrol testing functions for testing/evaluating the ignition system, λ -sensor and catalytic converter
- EOBD diagnostic functions and diesel testing functions for testing/evaluating injection pumps and for opacity curve visualisation



Emission Expert

- Guided diagnostic procedure
- Measurement and evaluation of emission concentration and λ -sensor voltage of petrol engines
- Measurement and evaluation of opacity curve of diesel engines



AVL DiSpeed 492

Technical data

Display	High-resolution LC display, graphics capability with background lighting
Printer	Internal stylus printer
Keyboard	Internal function keys, socket for PC keyboard
Interface	RS 232, PCMCIA
Operating temperature	5-45 °C
Operating voltage	230 V AC ± 10 % / 110 V AC ± 10 %
Power consumption DiCom, DiGas, DiSmoke, DiGas Light	150 VA, 90 VA, 90 VA, 90 VA
Standards/approvals	OIML R99, ISO 3930, ECR R 24, IEC 801-1/2/3/4, national approvals
Dimensions DiCom, DiGas, DiSmoke (W x H x D)	432 x 230 x 470 mm
Dimensions DiGas Light (W x H x D)	355 x 216 x 370 mm
Weight DiCom, DiGas, DiSmoke, DiGas light	17,7 kp, 16,0 kp, 11,0 kp, 12,0 kp
Opacity Chamber	
Dimensions (W X H X D)	395 x 285 x 136 mm
Weight	3,5 kp

AVL EMISSION TESTER SERIES 4000 FOR PETROL AND DIESEL ENGINES

WWW.AVL DITEST.COM

Measurements

AVL DiCom 4000/AVL DiGas 4000/AVL DiGas 4000 Light	Measurement range:	Resolution:
CO	0-10 % Vol.	0,01 % Vol.
CO ₂	0-20 % Vol.	0,1 % Vol.
HC	0-20.000 ppm Vol.	1 ppm
NOx	0-5.000 ppm Vol.	1 ppm
O ₂	0-25 % Vol.	0,01 % Vol.
λ-calculation	0-9.999	0,001
λ-sensor voltage*	0-5,0 V	0,04 V
Engine speed	250-9.990 rpm/min	10 rpm
Oil temperature	0-150 °C	1 °C
Ignition angle TDC sensor	- 60-100 °c.a.	0,1 °c.a.
Ignition angle stroboscope	0-60 °c.a.	0,1 °c.a.
Dwell angle*	0-100 %	1,0 %

AVL DiSmoke 4000/AVL DiCom 4000	Measurement range:	Resolution:
Opacity	0-100 %	0,1 %
Absorption (K value)	0-99,99 m ⁻¹	0,01 m ⁻¹
Acceleration time	0-5 s	0,05 s
Engine speed	250-9.990 rpm/min	10 rpm
Oil temperature	0-150 °C	1 °C
Ignition angle TDC sensor	- 60-100 °c.a.	0,1 °c.a.
Ignition angle stroboscope	0-60 °c.a.	0,1 °c.a.

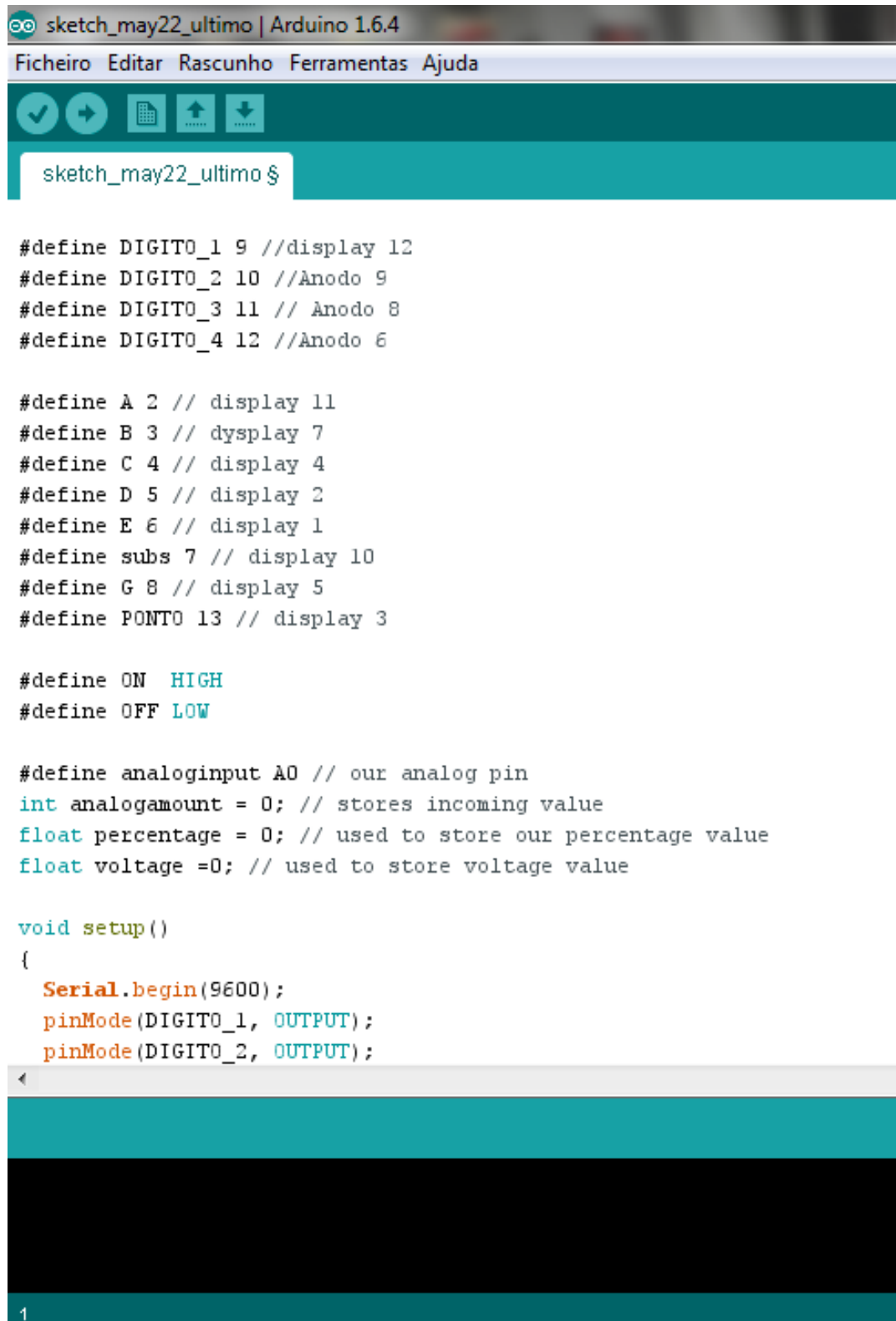
*Except: AVL DiGas 4000 Light

Herausgeber/Published by:

AVL DITEST Fahrzeugdiagnose GmbH, Alte Poststraße 152, A-8020 Graz, AUSTRIA
Tel. +43 316 7870, Fax +43 316 7871460, www.avlditest.com

PA7061E
03/2007 Subject to change
without notice

Anexo A



```
sketch_may22_ultimo | Arduino 1.6.4
Ficheiro Editar Rascunho Ferramentas Ajuda

sketch_may22_ultimo $

#define DIGITO_1 9 //display 12
#define DIGITO_2 10 //Anodo 9
#define DIGITO_3 11 // Anodo 8
#define DIGITO_4 12 //Anodo 6

#define A 2 // display 11
#define B 3 // dysplay 7
#define C 4 // display 4
#define D 5 // display 2
#define E 6 // display 1
#define subs 7 // display 10
#define G 8 // display 5
#define PONTO 13 // display 3

#define ON HIGH
#define OFF LOW

#define analoginput A0 // our analog pin
int analogamount = 0; // stores incoming value
float percentage = 0; // used to store our percentage value
float voltage =0; // used to store voltage value

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(DIGITO_1, OUTPUT);
  pinMode(DIGITO_2, OUTPUT);

```

```
sketch_may22_ultimo | Arduino 1.6.4
Ficheiro Editar Rascunho Ferramentas Ajuda

sketch_may22_ultimo $
pinMode(DIGITO_3, OUTPUT);
pinMode(DIGITO_4, OUTPUT);
pinMode(PONTO, OUTPUT);

pinMode(A, OUTPUT);
pinMode(B, OUTPUT);
pinMode(C, OUTPUT);
pinMode(D, OUTPUT);
pinMode(E, OUTPUT);
pinMode(G, OUTPUT);
pinMode(subs, OUTPUT);
pinMode(analoginput, INPUT);

}

void loop()
{
  float tensao;
  long int analog_value;
  int d1,d2,d3,d4;
  float min_value;
  float max_value;
  float resolution;
  float percentagem;
  int adc_min_step;
  int adc_max_step;
  min_value=0.4;
  max_value=3.7;
}
```



```
sketch_may22_ultimo | Arduino 1.6.4
Ficheiro Editar Rascunho Ferramentas Ajuda
sketch_may22_ultimo $
resolution = 5000/1024;

analog_value=analogRead(A0);
delay(10);
//analog_value=analog_value-80;
voltage = map(analog_value,0,1023,0,5000);

if (voltage<390.6)
    percentagem = 0;

if (voltage>3700)
    percentagem = 100;
else{
    if (voltage>390.6 && voltage<3700){
        voltage = voltage - (390.6);
        max_value=3700-390.6;
        percentagem=voltage*100/(3700-390.6);
    }
}
//percentagem=voltage/3700*100;
//adc_min_step = min_value/resolution;
//adc_max_step = max_value/resolution;
//analog_value=analog_value-adc_min_step;

Serial.print(percentagem);
Serial.print((char)13);
Serial.print((char)10);
```

```
sketch_may22_ultimo | Arduino 1.6.4
Ficheiro Editar Rascunho Ferramentas Ajuda
sketch_may22_ultimo $

//Serial.println("resolution");
//Serial.println(resolution);
//Serial.println();
d1=(int) (percentagem/1000);
d2=(int) ((percentagem-d1*1000)/100);
d3=(int) ((percentagem-d1*1000-d2*100)/10);
d4=(int) ((percentagem-d1*1000-d2*100-d3*10));
//DIGITO_2,DIGITO_3,DIGITO_4.setCursor(0,0);
//DIGITO_2,DIGITO_3,DIGITO_4.print("% of AREF: ");
//DIGITO_2,DIGITO_3,DIGITO_4.print(percentagem,2);
//DIGITO_2,DIGITO_3,DIGITO_4.setCursor(0,1);
//DIGITO_2,DIGITO_3,DIGITO_4.print("A0 (mV): ");
//DIGITO_2,DIGITO_3,DIGITO_4.println(voltage,2);
for (int c=1;c<10;c++){
    marcarDigito(1);
    marcarNumero(d1);
    delay(10);
    marcarDigito(2);
    marcarNumero(d2);
    delay(10);
    marcarDigito(3);
    marcarNumero(d3);
    delay(10);
    marcarDigito(4);
    marcarNumero(d4);
    delay(10);
}

```

```
sketch_may22_ultimo | Arduino 1.6.4
Ficheiro Editar Rascunho Ferramentas Ajuda
sketch_may22_ultimo $
}

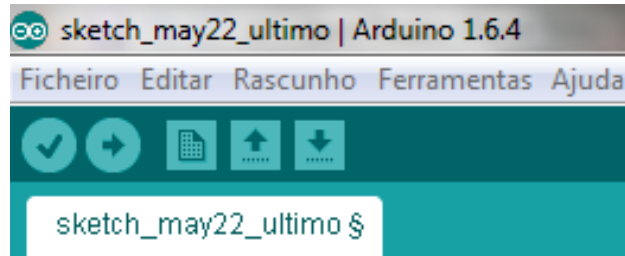
void marcarDigito(int x){
  digitalWrite(DIGITO_1, LOW);
  digitalWrite(DIGITO_2, LOW);
  digitalWrite(DIGITO_3, LOW);
  digitalWrite(DIGITO_4, LOW);

  switch(x){
    case 1: digitalWrite(DIGITO_1, HIGH); break;
    case 2: digitalWrite(DIGITO_2, HIGH); break;
    case 3: digitalWrite(DIGITO_3, HIGH); break;
    case 4: digitalWrite(DIGITO_4, HIGH); break;
  }
}

void marcarNumero(int x){
  switch(x){
    case 1: um(); break;
    case 2: dois(); break;
    case 3: tres(); break;
    case 4: quatro(); break;
    case 5: cinco(); break;
    case 6: seis(); break;
    case 7: sete(); break;
    case 8: oito(); break;
    case 9: nove(); break;
    default: zero(); break;
  }
}

```

```
    }  
}  
  
void zero()  
{  
    digitalWrite(A, LOW);  
    digitalWrite(B, LOW);  
    digitalWrite(C, LOW);  
    digitalWrite(D, LOW);  
    digitalWrite(E, LOW);  
    digitalWrite(subs, LOW);  
    digitalWrite(G, HIGH);  
}  
void um()  
{  
    digitalWrite(A, HIGH);  
    digitalWrite(B, LOW);  
    digitalWrite(C, LOW);  
    digitalWrite(D, HIGH);  
    digitalWrite(E, HIGH);  
    digitalWrite(subs, HIGH);  
    digitalWrite(G, HIGH);  
}  
void dois()  
{  
    digitalWrite(A, LOW);  
    digitalWrite(B, LOW);  
    <
```



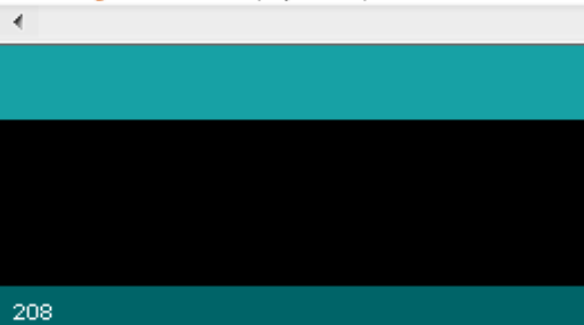
```
digitalWrite(C, HIGH);  
digitalWrite(D, LOW);  
digitalWrite(E, LOW);  
digitalWrite(subs, HIGH);  
digitalWrite(G, LOW);  
  
}  
void tres()  
{  
  digitalWrite(A, LOW);  
  digitalWrite(B, LOW);  
  digitalWrite(C, LOW);  
  digitalWrite(D, LOW);  
  digitalWrite(E, HIGH);  
  digitalWrite(subs, HIGH);  
  digitalWrite(G, LOW);  
}  
void quatro()  
{  
  digitalWrite(A, HIGH);  
  digitalWrite(B, LOW);  
  digitalWrite(C, LOW);  
  digitalWrite(D, HIGH);  
  digitalWrite(E, HIGH);  
  digitalWrite(subs, LOW);  
  digitalWrite(G, LOW);  
}
```



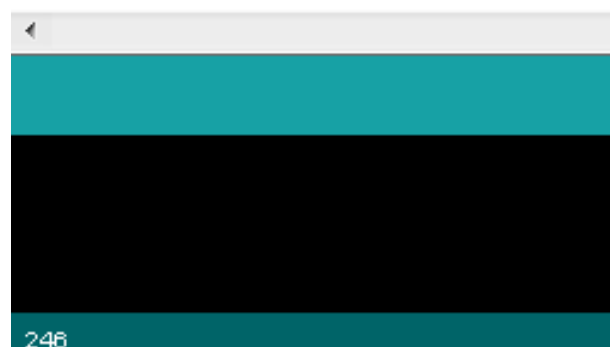


sketch_may22_ultimo \$

```
}  
void seis()  
{  
  digitalWrite(A, LOW);  
  digitalWrite(B, HIGH);  
  digitalWrite(C, LOW);  
  digitalWrite(D, LOW);  
  digitalWrite(E, LOW);  
  digitalWrite(subs, LOW);  
  digitalWrite(G, LOW);  
}  
void sete()  
{  digitalWrite(A, LOW);  
  digitalWrite(B, LOW);  
  digitalWrite(C, LOW);  
  digitalWrite(D, HIGH);  
  digitalWrite(E, HIGH);  
  digitalWrite(subs, HIGH);  
  digitalWrite(G, HIGH);  
}  
void oito()  
{  
  digitalWrite(A, LOW);  
  digitalWrite(B, LOW);  
  digitalWrite(C, LOW);  
  digitalWrite(D, LOW);
```



```
sketch_may22_ultimo | Arduino 1.6.4
Ficheiro Editar Rascunho Ferramentas Ajud
sketch_may22_ultimo $
{
  digitalWrite(A, LOW);
  digitalWrite(B, LOW);
  digitalWrite(C, LOW);
  ⇨ digitalWrite(D, LOW);
  digitalWrite(E, LOW);
  digitalWrite(subs, LOW);
  digitalWrite(G, LOW);
}
void nove()
{ digitalWrite(A, LOW);
  digitalWrite(B, LOW);
  digitalWrite(C, LOW);
  digitalWrite(D, HIGH);
  digitalWrite(E, HIGH);
  digitalWrite(subs, LOW);
  digitalWrite(G, LOW);
}
```



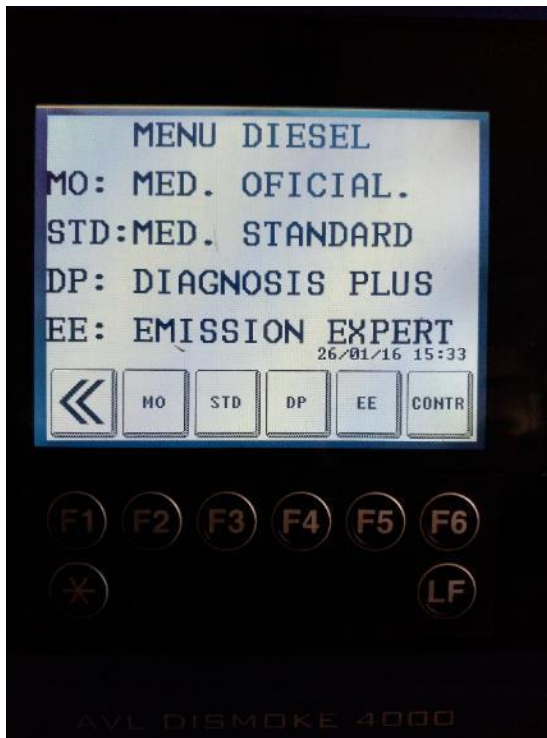
Anexo B



(1)



(2)



(3)



(4)



Câmara de medição



(5)



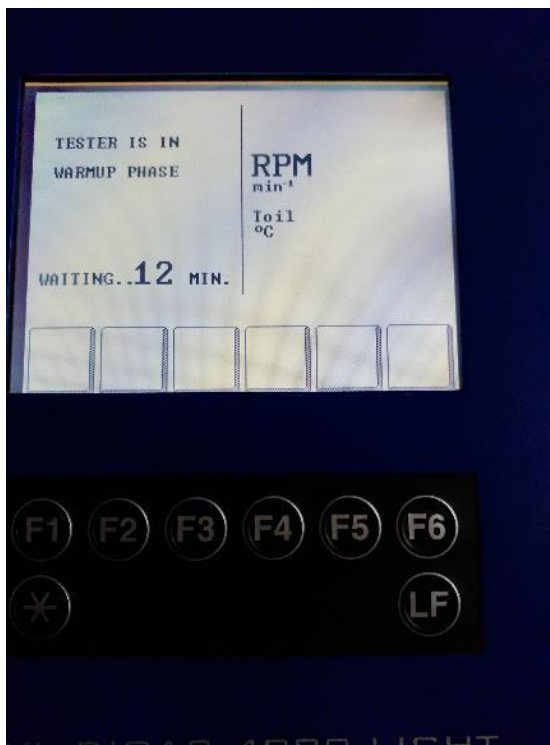
(6)



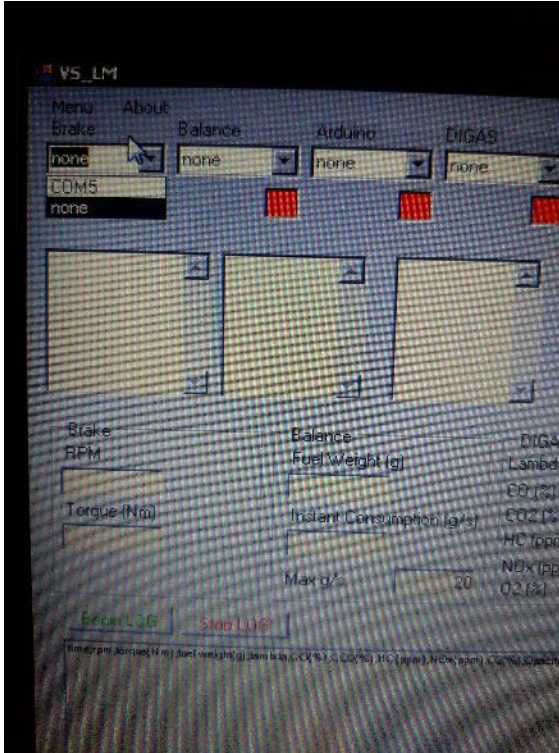
(7)



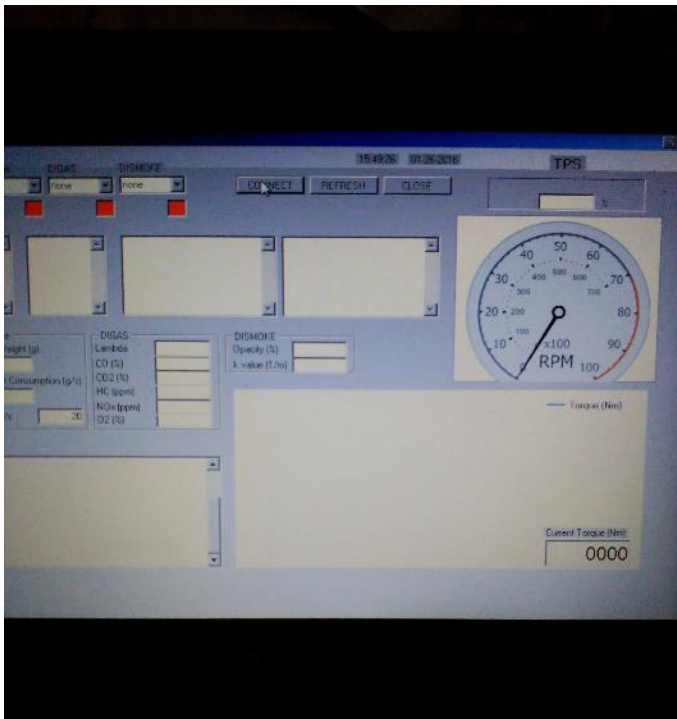
(8)



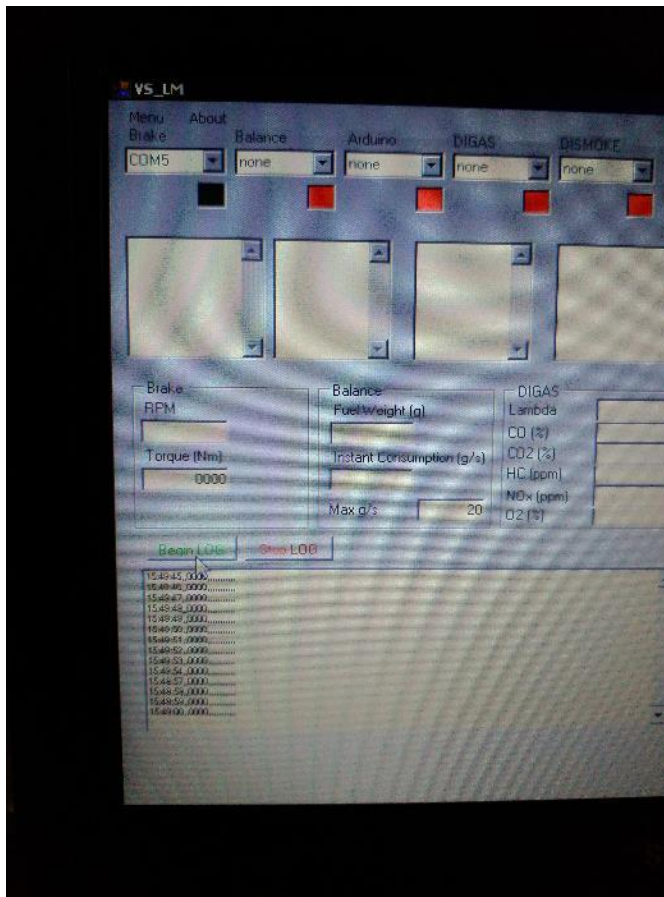
(9)



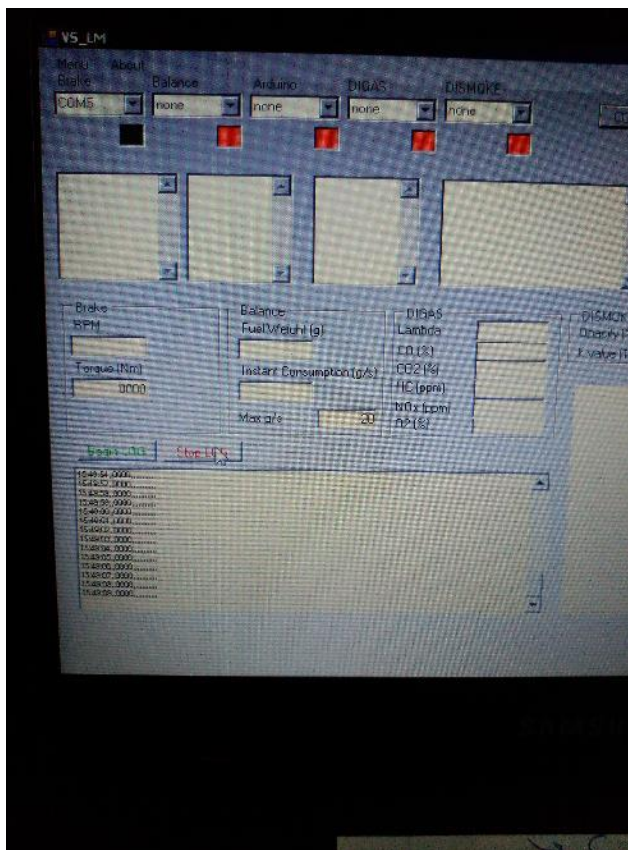
(10)



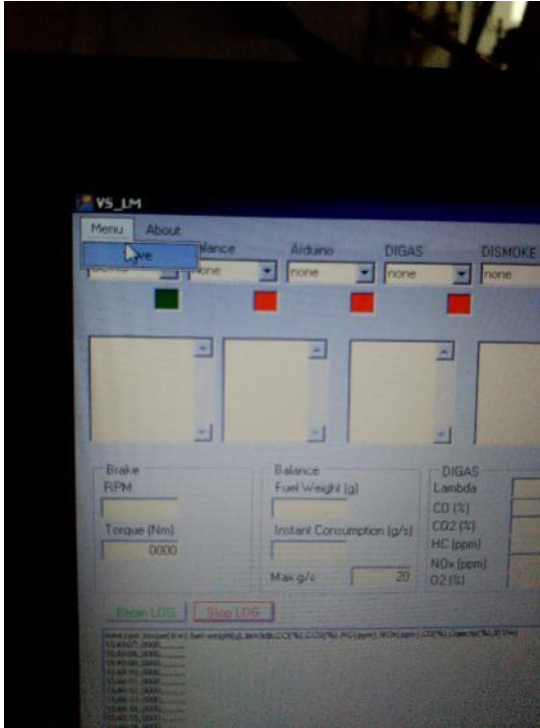
(11)



(12)



(13)



(14)



Cabo RS 232 (19)



(15)



(16)



Exemplo dos valores medidos durante um ensaio



(17)



(18)

Anexo C

Tabela 17 - Resultados dos ensaios com gasóleo

<u>Percentagem</u>	<u>RPM</u>	<u>Binário</u> <u>(N.m)</u>	<u>Potência útil</u> <u>(kWh)</u>	<u>Potência</u> <u>Fornecida</u> <u>(kWh)</u>	<u>Combustível</u> <u>consumido</u> <u>(g em 20s)</u>	<u>Rendimento</u> <u>(%)</u>	<u>Consumo</u> <u>específico</u> <u>(g/kwh)</u>	<u>consumo por</u> <u>rotação</u> <u>(mg/rot)</u>	<u>Opacidade</u> <u>(%)</u>	<u>Pressão do</u> <u>turbo</u> <u>(bar)</u>
	1200	121	15,20530844	52,89	24,49	28,7489288	289,8658726	61,21527778	88,9	0,2
	1500	136	21,36283004	75,2515	34,84	28,38857703	293,545299	69,67731481	85,1	0,4
	1800	158	29,78229836	102,907	47,64	28,94098395	287,9422948	79,40354938	48,9	0,6
	2000	150	31,41592654	115,8445	53,63	27,11904884	307,2870801	80,44756944	76,2	0,5
	2200	154	35,47905303	122,152	56,55	29,04500379	286,9110775	77,11616162	75,2	0,5
50%	2500	163	42,67330021	140,6325	65,11	30,34383959	274,6301538	78,12916667	10,3	1
	2800	153	44,86194309	148,095	68,56	30,29267909	275,0939694	73,45982143	12,1	0,9
	3000	140	43,98229715	150,5695	69,71	29,21062841	285,2842881	69,70810185	32,2	0,6
	3200	135	45,23893421	154,6485	71,60	29,25274685	284,8735326	67,12174479	23,3	0,7
	3500	111	40,68362486	155,8035	72,13	26,11213796	319,1363858	61,82678571	28,5	0,7
	3800	108	42,9769875	159,3815	73,79	26,9648532	309,0442685	58,25347222	37,4	0,7
	4000	92	38,53686988	165,232	76,50	23,32288533	357,3028472	57,37222222	46,8	0,6
	4200	89	39,14424446	170,428	78,90	22,96820033	362,8204741	56,35846561	43,7	0,6
	4500	22	10,36725576	93,2115	43,1534722	11,12229259	749,246009	28,76898148	9,3	0,5
	1200	112	14,07433509	55,782	25,82	25,23096176	330,2820326	64,5625	97,6	0,2
	1500	138	21,67698931	80,734	37,38	26,84988891	310,3675163	74,7537037	92,4	0,4
	1800	152	28,651325	102,8945	47,64	27,84534159	299,2720814	79,39390432	85	0,6
	2000	149	31,20648703	115,672	53,55	26,97842782	308,8887681	80,32777778	90,4	0,6
45%	2200	151	34,78790265	126,139	58,40	27,57902207	302,1620314	79,63320707	96,8	0,6
	2500	169	44,24409654	143,96	66,65	30,73360415	271,1472853	79,97777778	11,8	1,2
	2800	162	47,50088092	147,038	68,07	32,30517344	257,9566195	72,93551587	8,5	1
	3000	139	43,66813788	154,2535	71,41	28,30933359	294,3669906	71,41365741	73,4	0,7

	3200	132	44,23362456	151,223	70,01	29,25059321	284,8945071	65,63498264	23,5	0,7
	3500	117	42,88273972	150,193	69,53	28,55175655	291,8676235	59,60039683	20,4	0,75
	3800	108	42,9769875	160,2895	74,21	26,81210404	310,8049007	58,58534357	27,4	0,75
	4000	97	40,63126499	158,3745	73,32	25,65518122	324,820677	54,99114583	42,2	0,7
	4200	90	39,58406744	163,2315	75,57	24,25026262	343,6388901	53,97867063	31,7	0,7
	4500	28	13,19468915	97,3085	45,05	13,55964705	614,5686024	30,03348765	13,9	0,6
	1200	124	15,58229956	58,6865	27,17	26,55176158	313,8523712	67,92418981	93,3	0,3
	1500	138	21,67698931	82,91	38,38	26,14520481	318,7327616	76,76851852	90,2	0,5
	1800	152	28,651325	96,4755	44,66	29,69803214	280,602206	74,44097222	84,2	0,6
	2000	158	33,09144262	104,5795	48,42	31,64237983	263,3598793	72,62465278	71,8	0,6
	2200	161	37,09173726	116,447	53,91	31,8528921	261,6193628	73,5145202	14	1
	2500	142	37,17551307	119,711	55,42	31,05438353	268,3464421	66,50611111	15,3	0,9
	2800	127	37,23834492	122,021	56,49	30,51798045	273,0630668	60,52628968	10,2	1,2
40%	3000	113	35,49999699	115,2665	53,36	30,79819114	270,5786615	53,36412037	13,1	0,8
	3200	106	35,52094094	123,219	57,05	28,82748678	289,0759571	53,48046875	14,7	0,8
	3500	91	33,35324201	121,97	56,47	27,34544725	304,7429891	48,40079365	16,6	0,75
	3800	77	30,64100035	127,2935	58,93	24,07114295	346,1959971	46,52540205	19,7	0,7
	4000	68	28,48377339	124,8355	57,79	22,81704595	365,2240239	43,34565972	18,3	0,7
	4200	55	24,19026343	117,641	54,46	20,5627829	405,2629147	38,90244709	20,2	0,6
	4500	22	10,36725576	92,9025	43,01	11,15928609	746,7622273	28,67361111	12,7	0,6
	1200	105	13,19468915	44,73	20,71	29,49852257	282,500024	51,77083333	72,7	0
	1500	137	21,51990968	79,3285	36,73	27,1275893	307,1903383	73,45231481	92,8	0,5
	1800	152	28,651325	101,7035	47,08	28,17142478	295,8080182	78,47492284	85,9	0,5
	2000	164	34,34807968	107,654	49,84	31,90599483	261,1839366	74,75972222	25,5	0,8
	2200	161	37,09173726	117,1465	54,23	31,66269352	263,1909167	73,95612374	16,9	0,8
	2500	145	37,96091123	118,231	54,74	32,10740942	259,5454907	65,68388889	14,8	0,8
35%	2800	130	38,11799086	118,7515	54,98	32,09895527	259,6138492	58,90451389	6	1
	3000	117	36,75663405	116,091	53,75	31,66191526	263,197386	53,74583333	10,7	0,7
	3200	108	36,19114737	122,3655	56,65	29,57626731	281,7574391	53,11002604	21,3	0,8
	3500	95	34,81931858	124,7495	57,75	27,91138929	298,5639034	49,50376984	13,4	0,7

	3800	81	32,23274063	129,6875	60,04	24,85416145	335,2892573	47,40040205	24,5	0,6
	4000	70	29,32153143	126,9815	58,79	23,0911837	360,8880965	44,09079861	22,5	0,6
	4200	55	24,19026343	127,112	58,85	19,03066857	437,8896781	42,03439153	24,7	0,5
	4500	43	20,26327262	87,5735	40,54	23,13858943	360,1487186	27,02885802	12,5	0,4
	1200	112	14,07433509	45,3475	20,99	31,03662845	268,4999547	52,48553241	77,1	0
	1500	137	21,51990968	69,489	32,17	30,96880035	269,0880253	64,34166667	15,3	0,5
	1800	127	23,93893602	74,196	34,35	32,26445633	258,2821557	57,25	8,5	0,5
	2000	120	25,13274123	76,808	35,56	32,72151498	254,6744348	53,33888889	7,1	0,5
30%	2200	108	24,88141382	79,3975	36,76	31,33777993	265,9197095	50,12468434	6,8	0,6
	2500	89	23,30014551	75,6765	35,04	30,78914262	270,6581809	42,0425	5,6	0,7
	2800	81	23,75044046	77,303	35,79	30,72382761	271,2335663	38,34474206	4,4	0,8
	3000	83	26,07521902	87,1695	40,36	29,91323688	278,5834701	40,35625	4,5	0,9
	3200	80	26,80825731	92,7315	42,93	28,90954779	288,2554024	40,24804687	6,8	0,6
	3500	64	23,45722515	92,774	42,95	25,28426622	329,5857297	36,81507937	7,9	0,6
	3800	61	24,27403924	103,2355	47,79	23,51326747	354,4098388	37,73227339	14,5	0,6
	4000	46	19,26843494	95,1275	44,04	20,25537825	411,4133655	33,03038194	13,9	0,6
	4200	44	19,35221075	104,694	48,47	18,48454615	450,8270458	34,62103175	16,8	0,5
	4500	43	20,26327262	97,241	45,02	20,83819851	399,9066104	30,01265432	24	0,5
	1200	115	14,45132621	54,116	25,05	26,7043503	312,0590181	62,63425926	90,4	0,2
	1500	114	17,90707813	57,289	26,52	31,2574458	266,6031443	53,04537037	6,2	0,4
	1800	107	20,16902484	62,087	28,74	32,48510129	256,5278544	47,9066358	4,3	0,4
	2000	93	19,47787445	61,5575	28,50	31,64175682	263,3650648	42,74826389	4,6	0,4
25%	2200	80	18,4306769	60,6145	28,06	30,4063828	274,0652641	38,2667298	4,1	0,4
	2500	69	18,06415776	62,463	28,92	28,91977292	288,1534844	34,70166667	2,1	0,6
	2800	67	19,64542606	68,148	31,55	28,82759004	289,0749217	33,80357143	3,7	0,5
	3000	61	19,16371519	68,8225	31,86	27,84513086	299,2743462	31,86226852	2,6	0,8
	3200	56	18,76578012	76,103	35,23	24,65839733	337,9511338	33,03081597	4,9	0,6
	3500	43	15,76032315	77,954	36,09	20,21746561	412,1848649	30,93412698	9	0,6
	3800	39	15,51946771	83,8915	38,84	18,49945192	450,4637958	30,66209795	10,8	0,6
	4000	34	14,2418867	84,3095	39,03	16,89238662	493,3188851	29,27413194	10,9	0,6

	4200	36	15,83362697	91,6015	42,41	17,28533591	482,1042169	30,29150132	12,1	0,6
	4500	31	14,60840584	97,7655	45,26	14,94229134	557,7011681	30,17453704	16,9	0,5
	1200	102	12,81769803	43,001	19,91	29,80790685	279,5678802	49,76967593	6,1	0,2
	1500	86	13,50884841	45,46	21,05	29,71590059	280,4334772	42,09259259	5,3	0,2
	1800	72	13,57168026	44,439	20,57	30,54002175	272,8659921	34,28935185	4,5	0,2
	2000	69	14,45132621	45,1755	20,91	31,98929997	260,5037729	31,371875	4,5	0,2
	2200	60	13,82300768	48,005	22,22	28,79493319	289,4027668	30,30618687	4,5	0,2
	2500	47	12,30457123	47,211	21,86	26,06293285	319,7388944	26,22833333	2,2	0,3
20%	2800	46	13,48790446	51,157	23,68	26,36570647	316,067136	25,37549603	4,2	0,3
	3000	43	13,50884841	55,6735	25,77	24,26441379	343,4384777	25,77476852	4,6	0,4
	3200	35	11,72861257	57,4895	26,62	20,40131254	408,4704509	24,95203993	4,5	0,6
	3500	32	11,72861257	68,9025	31,90	17,02204212	489,5613155	27,3422619	6,5	0,6
	3800	24	9,550441667	67,944	31,46	14,05634297	592,852163	24,83333333	6,4	0,6
	4000	23	9,634217471	73,854	34,19	13,04495013	638,8168026	25,64375	7,3	0,6
	4200	23	10,11592834	76,2135	35,28	13,27314497	627,8341229	25,20287698	7,7	0,6
	4500	22	10,36725576	87,367	40,45	11,86632911	702,2671673	26,96512346	15,5	0,5
	1200	81	10,1787602	36,4	16,85	27,96362692	298,0061692	42,12962963	6,9	0
	1500	54	8,482300165	30,0015	13,89	28,27292024	294,7461127	27,77916667	3,9	0
	1800	43	8,105309046	29,8575	13,82	27,14664338	306,9747231	23,03819444	3,3	0,1
	2000	40	8,37758041	33,9745	15,73	24,65843621	337,9506009	23,59340278	2,9	0,1
15%	2200	33	7,602654222	33,187	15,36	22,90853112	363,7655025	20,95138889	2,2	0,1
	2500	28	7,330382858	34,1035	15,7886571	21,49451774	387,6957573	18,94638889	4,5	0,2
	2800	25	7,330382858	38,148	17,6611111	19,21564134	433,6744835	18,92261905	3,8	0,3
	3000	25	7,853981634	40,0135	18,5247685	19,62832952	424,556421	18,52476852	4,5	0,4
	3200	22	7,37227076	48,207	22,32	15,29294659	544,9135186	20,92317708	4,2	0,65
	3500	22	8,063421144	62,842	29,09	12,83126117	649,4555152	24,93730159	6,4	0,8
	3800	14	5,571090972	60,4915	28,01	9,209708756	904,8422218	22,10946637	24,4	0,8
	4000	13	5,445427266	65,523	30,33	8,310711149	1002,722052	22,75104167	8,1	0,8
	4200	14	6,157521601	70,5285	32,65	8,730543824	954,5033507	23,32291667	7,3	0,8
	4500	12	5,654866776	71,663	33,18	7,890915502	1056,06673	22,11820988	7,2	0,7

	1200	59	7,414158662	31,506	14,59	23,53252924	354,1197484	36,46527778	4,3	0
	1500	42	6,597344573	25,0685	11,61	26,31726897	316,6488644	23,21157407	3,1	0
	1800	33	6,220353454	26,1875	12,12	23,75313968	350,8308142	20,20640432	2,9	0,1
	2000	31	6,492624817	29,6795	13,74	21,87578907	380,9386398	20,61076389	1,9	0,1
	2200	24	5,52920307	28,406	13,15	19,46491259	428,1207683	17,93308081	1,8	0,1
10%	2500	20	5,235987756	31,1545	14,42	16,80652155	495,8392675	17,30805556	3	0,2
	2800	17	4,984660344	35,5135	16,44	14,03595912	593,7131378	17,61582341	3,3	0,5
	3000	17	5,340707511	36,6385	16,96	14,57676354	571,6861159	16,96226852	3,4	0,5
	3200	25	8,37758041	47,022	21,77	17,81629962	467,7364834	20,40885417	3,7	0,6
	3500	14	5,131268001	56,273	26,05	9,11852576	913,8904197	22,33055556	4,7	0,7
	3800	8	3,183480556	52,767	24,43	6,033089915	1381,271198	19,28618421	4,6	0,7
	4000	6	2,513274123	52,984	24,53	4,743458634	1756,805313	18,39722222	3,8	0,7
	4200									
	4500									

*Os valores a cinzento significam que o motor não conseguiu atingir essa velocidade de rotação.

Tabela 18 - Resultados dos ensaios com o biodiesel REF 1

<u>Percentagem</u>	<u>RPM</u>	<u>Binário</u> <u>(N.m)</u>	<u>Potência útil</u> <u>(kWh)</u>	<u>Potência</u> <u>Fornecida</u> <u>(kWh)</u>	<u>Combustível</u> <u>consumido</u> <u>(g em 20s)</u>	<u>Rendimento</u> <u>(%)</u>	<u>Consumo</u> <u>específico</u> <u>(g/kwh)</u>	<u>consumo por</u> <u>rotação</u> <u>(mg/rot)</u>	<u>Opacidade</u> <u>(%)</u>	<u>Pressão do</u> <u>turbo</u> <u>(bar)</u>
	1200	121	15,20530844	55,69290375	29,95	27,30205721	354,5718931	74,88020833	66,6	0,2
	1500	149	23,40486527	77,28819917	41,57	30,28258586	319,6735628	83,13240741	67,8	0,4
	1800	154	29,02831612	91,60084458	49,26	31,69000925	305,4761529	82,10609568	32	0,6
	2000	152	31,83480556	104,8400308	56,38	30,36512418	318,8046277	84,57569444	42,6	0,6
	2200	157	36,17020342	104,7827854	56,35	34,51922305	280,4391656	76,84501263	68,8	0,6
50%	2500	164	42,9350996	125,9489554	67,74	34,08928598	283,976089	81,28361111	15,5	1
	2800	155	45,44837372	137,8202775	74,12	32,97655073	293,5583588	79,41517857	17,1	0,9
	3000	140	43,98229715	140,3033512	75,46	31,34800185	308,8089045	75,45625	32,2	0,6
	3200	137	45,90914064	143,5616054	77,21	31,97870385	302,7184014	72,38302951	21,6	0,7
	3500	121	44,34881629	146,8185683	78,96	30,20654458	320,4783018	67,68015873	22	0,75
	3800	106	42,18111736	134,8499721	72,52	31,28003418	309,4799083	57,25529971	22,9	0,7
	4000	98	41,05014401	146,0786821	78,56	28,10139263	344,4862052	58,92170139	24,2	0,7
	4200	86	37,82477555	146,2344929	78,65	25,86583698	374,2597665	56,17576058	22	0,7
	4500	16	7,539822369	83,31015875	44,80	9,050303687	1069,637268	29,86990741	17,2	0,6
	1200	112	14,07433509	52,17510833	28,06	26,97519092	358,8683445	70,15046296	74,7	0,1
	1500	140	21,99114858	79,32363958	42,66	27,7233227	349,1840504	85,32175926	65,6	0,4
	1800	155	29,21681168	93,14948375	50,10	31,36551111	308,6365172	83,49421296	42,7	0,6
	2000	154	32,25368458	103,0606883	55,43	31,29581715	309,3238327	83,14027778	48,6	0,5
45%	2200	152	35,01828611	119,3833796	64,21	29,33263092	330,0263838	87,55271465	64,9	0,6
	2500	161	42,14970144	125,7978792	67,66	33,50589192	288,9205914	81,18611111	28,5	1
	2800	154	45,15515841	135,2670458	72,75	33,38223152	289,9908625	77,94394841	24,7	1,2
	3000	139	43,66813788	136,1838333	73,24	32,06558137	301,8982254	73,24074074	30,2	0,65

	3200	137	45,90914064	140,6089471	75,62	32,65022717	296,4923356	70,89431424	26,2	0,9
	3500	112	41,05014401	144,3053654	77,61	28,44672053	340,3043279	66,52162698	24,7	0,75
	3800	100	39,79350695	141,0032087	75,83	28,22170311	343,017644	59,86787281	34,4	0,75
	4000	89	37,28023282	146,0408054	78,54	25,52727145	379,2235347	58,90642361	40,3	0,7
	4200	76	33,42654583	144,3694975	77,64	23,1534683	418,1033263	55,4593254	40,8	0,7
	4500	25	11,78097245	85,64000417	46,06	13,75638939	703,7124228	30,70524691	30,8	0,6
	1200	125	15,70796327	54,30782292	29,21	28,92394212	334,6895824	73,01793981	31,3	0,3
	1500	140	21,99114858	76,18762375	40,97	28,86446314	335,3792538	81,94861111	50,3	0,4
	1800	148	27,89734276	95,29209792	51,25	29,27560981	330,6691876	85,41473765	51,7	0,6
	2000	144	30,15928947	101,7784771	54,74	29,63228606	326,6890071	82,10590278	34,7	0,55
	2200	155	35,7094365	108,6746129	58,45	32,85904181	294,608168	79,69917929	9,8	1
	2500	139	36,3901149	112,3318633	60,41	32,39518497	298,8265732	72,49555556	9,5	1,1
	2800	120	35,18583772	107,3157875	57,72	32,78719612	295,2537348	61,83779762	8,4	1,2
40%	3000	112	35,18583772	110,5473558	59,45	31,82874656	304,1446226	59,45324074	9,2	0,8
	3200	102	34,18052807	116,2594154	62,53	29,40022359	329,2676357	58,61740451	9,4	0,8
	3500	86	31,52064629	112,9146475	60,73	27,91546269	346,7806434	52,05119048	10,2	0,75
	3800	70	27,85545486	114,2915504	61,47	24,37227841	397,1947944	48,52649854	11,6	0,7
	4000	61	25,55162025	110,8124925	59,60	23,05842931	419,8266057	44,696875	11,2	0,7
	4200	51	22,43097155	109,131285	58,69	20,55411658	470,9782623	41,92261905	11,2	0,6
	4500	18	8,482300165	78,64358125	42,30	10,78575013	897,5307231	28,19675926	9,5	0,6
	1200	121	15,20530844	50,28988333	27,05	30,23532257	320,1732705	67,61574074	16,9	0
	1500	131	20,57743188	68,8675275	37,04	29,87973088	323,9835777	74,075	6,7	0,4
	1800	136	25,63539605	70,94687042	38,16	36,13323026	267,9124462	63,5929784	6,3	0,5
	2000	123	25,76105976	76,95548708	41,39	33,47527348	289,1848551	62,08090278	7,9	0,6
	2200	124	28,5675492	75,77011958	40,75	37,70292215	256,7584038	55,56786616	8,9	0,6
	2500	95	24,87094184	74,64888417	40,15	33,31723189	290,5566147	48,17611111	9,7	0,6
35%	2800	76	22,28436389	69,96982458	37,63	31,84853474	303,955651	40,31820437	9,8	0,7
	3000	65	20,42035225	71,40096	38,40	28,59954859	338,4858359	38,4	1,7	0,7
	3200	70	23,45722515	84,3780225	45,38	27,80015987	348,2189368	42,54296875	10,6	0,7
	3500	55	20,15855286	85,79452375	46,14	23,49631652	412,0025409	39,54940476	10,9	0,7

	3800	53	21,09055868	102,7796262	55,28	20,52017452	471,7572991	43,63870614	12,8	0,6
	4000	41	17,17403984	67,06408167	36,07	25,60840231	378,0221036	27,05069444	12,8	0,6
	4200	33	14,51415806	96,77316167	52,05	14,99812325	645,4502306	37,17526455	15,6	0,6
	4500	30	14,13716694	85,785485	46,14	16,47967245	587,4232111	30,75740741	11,8	0,5
	1200	101	12,69203432	42,20838	22,70	30,06993948	321,9342067	56,75	20,5	0
	1500	136	21,36283004	67,31028	36,20	31,7378416	305,0157674	72,4	3,1	0,4
	1800	117	22,05398043	69,91344	37,60	31,54469359	306,8833774	62,66666667	1,5	0,5
	2000	107	22,4100276	76,60728	41,20	29,25313051	330,9232873	61,8	2,6	0,5
	2200	89	20,50412805	65,45088	35,20	31,32750553	309,0109457	48	3,3	0,5
30%	2500	78	20,42035225	63,77742	34,30	32,01815352	302,3454211	41,16	3,8	0,6
	2800	63	18,4725648	63,2196	34,00	29,21967998	331,3021264	36,42857143	3,6	0,7
	3000	64	20,10619298	70,09938	37,70	28,682412	337,5079512	37,7	3,4	0,8
	3200	54	18,09557368	79,58232	42,80	22,73818316	425,7394728	40,125	2,9	0,6
	3500	43	15,76032315	79,58232	42,80	19,80379957	488,8224644	36,68571429	3,3	0,6
	3800	44	17,50914306	85,5324	46,00	20,47077254	472,8957878	36,31578947	5,3	0,6
	4000	35	14,66076572	81,25578	43,70	18,04273581	536,5340496	32,775	6,1	0,6
	4200	34	14,95398103	94,45752	50,80	15,83143516	611,4759662	36,28571429	4,5	0,55
	4500	30	14,13716694	91,29654	49,10	15,48488797	625,1606165	32,73333333	5	0,5
	1200	108	13,57168026	45,43220083	24,43	29,87238129	324,0632883	61,08449074	3	0
	1500	93	14,60840584	47,59590542	25,60	30,69256843	315,4034545	51,19490741	1,5	0,1
	1800	75	14,13716694	43,67437917	23,49	32,3694743	299,0639273	39,14737654	2,4	0,2
	2000	65	13,61356817	43,46648792	23,38	31,31968746	309,0880815	35,06493056	2,6	0,3
25%	2200	52	11,97993999	38,40995292	20,66	31,18967631	310,3764853	28,16887626	2,2	0,4
	2500	40	10,47197551	43,432485	23,36	24,11092875	401,5001749	28,03	1,5	0,4
	2800	36	10,55575132	42,40378917	22,81	24,89341524	388,87963	24,43402778	1,2	0,4
	3000	43	13,50884841	54,72446625	29,43	24,68520816	392,1596304	29,43125	2,1	0,5
	3200	31	10,38819971	56,5644975	30,42	18,36522937	527,1125078	28,51953125	2	0,6
	3500	21	7,696902001	55,04297458	29,60	13,98344123	692,2861084	25,37361111	17,5	0,6
	3800	19	7,56076632	58,95503167	31,71	12,82463279	754,8397114	25,03143275	5,6	0,6
	4000	13	5,445427266	64,59133792	34,74	8,430584412	1148,264656	26,05329861	17,8	0,6

	4200	13	5,71769863	62,57741833	33,65	9,136999866	1059,488043	24,03902116	6,2	0,6
	4500	12	5,654866776	73,76566917	39,67	7,665987227	1262,791317	26,44783951	0,7	0,5
	1200	74	5,52920307	30,458005	16,38	18,15352998	533,2594883	40,95138889	1,8	0
	1500	45	3,926990817	27,44896208	14,76	14,30651842	676,6525457	29,52453704	1,2	0
	1800	34	1,696460033	30,33447542	16,31	5,592514819	1730,981933	27,19020062	0,6	0,1
	2000	28	5,864306287	28,68081458	15,42	20,44679125	473,45043	23,13715278	0	0,2
	2200	22	5,068436148	25,87492833	13,92	19,58821328	494,2024049	18,9760101	0	0,2
	2500	14	3,665191429	26,94494417	14,49	13,60252004	711,6726962	17,38944444	0	0,3
20%	2800	12	3,518583772	31,0648925	16,71	11,32656027	854,6762547	17,90029762	0	0,4
	3000	14	4,398229715	36,75887458	19,77	11,96508262	809,0660479	19,76921296	0	0,4
	3200	8	2,680825731	39,24797417	21,11	6,830481797	1417,256117	19,78862847	0	0,5
	3500	11	4,031710572	48,03880417	25,84	8,392612268	1153,459948	22,14484127	0,2	0,6
	3800	7	2,785545486	49,65243625	26,70	5,610088238	1725,559688	21,0816886	0	0,7
	4000									
	4200									
	4500									
	1200	44	5,52920307	22,07908375	11,87	25,04271977	386,5611324	29,68576389	0	0
	1500	25	3,926990817	19,4384775	10,45	20,20215224	479,1837027	20,90833333	0	0
	1800	9	1,696460033	14,54291833	7,82	11,66519672	829,8653113	13,03549383	0	0,1
15%	2000	18	3,769911184	19,38467542	10,43	19,44789429	497,7681369	15,63784722	0	0,1
	2200	6	1,382300768	19,58611042	10,53	7,057556289	1371,65638	14,36395202	0	0,2
	2500									
	2800									
	3000									
	3200									
	3500									
	3800									
	4000									
	4200									
	4500									

	1200	17	2,136283004	14,0462175	7,55	15,20895575	636,5027467	18,88541667	0	0
	1500	7	1,099557429	13,76989	7,41	7,985230301	1212,305938	14,81111111	0	0
	1700	6	1,068141502	14,90399487	8,02	7,166813403	1350,745662	14,14497549	0	0
10%	2000									
	2200									
	2500									
	2800									
	3000									
	3200									
	3500									
	3800									
	4000									
	4200									
	4500									

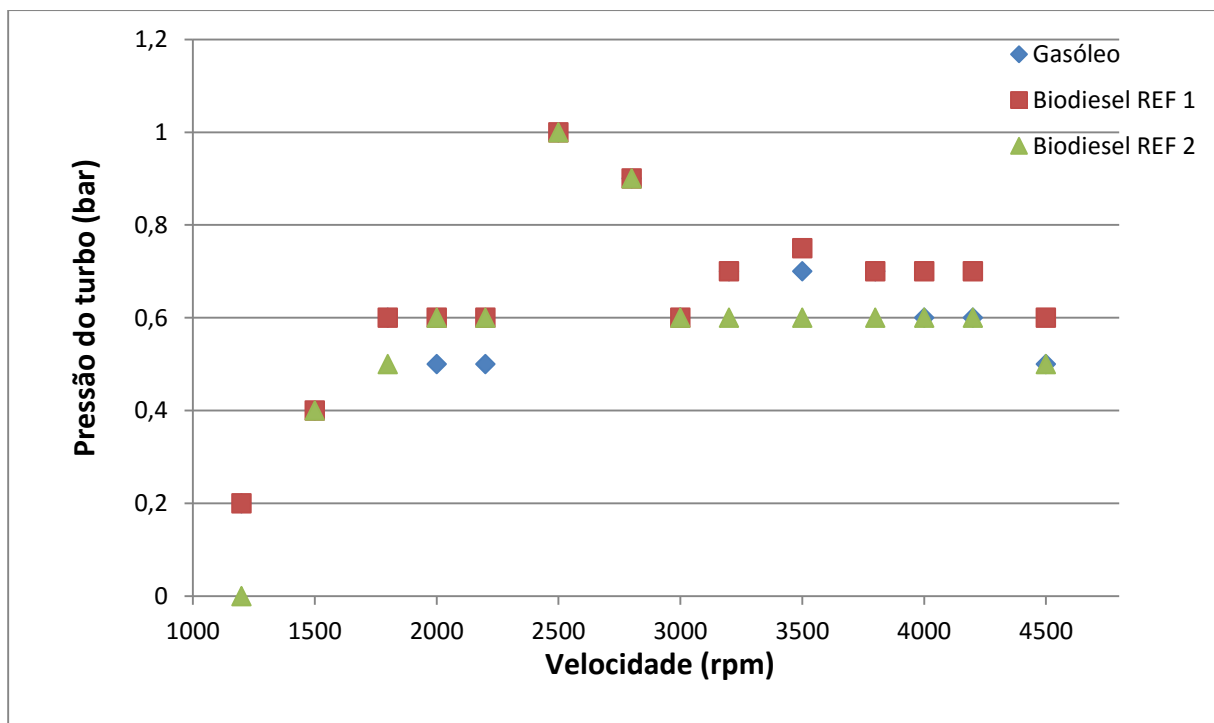
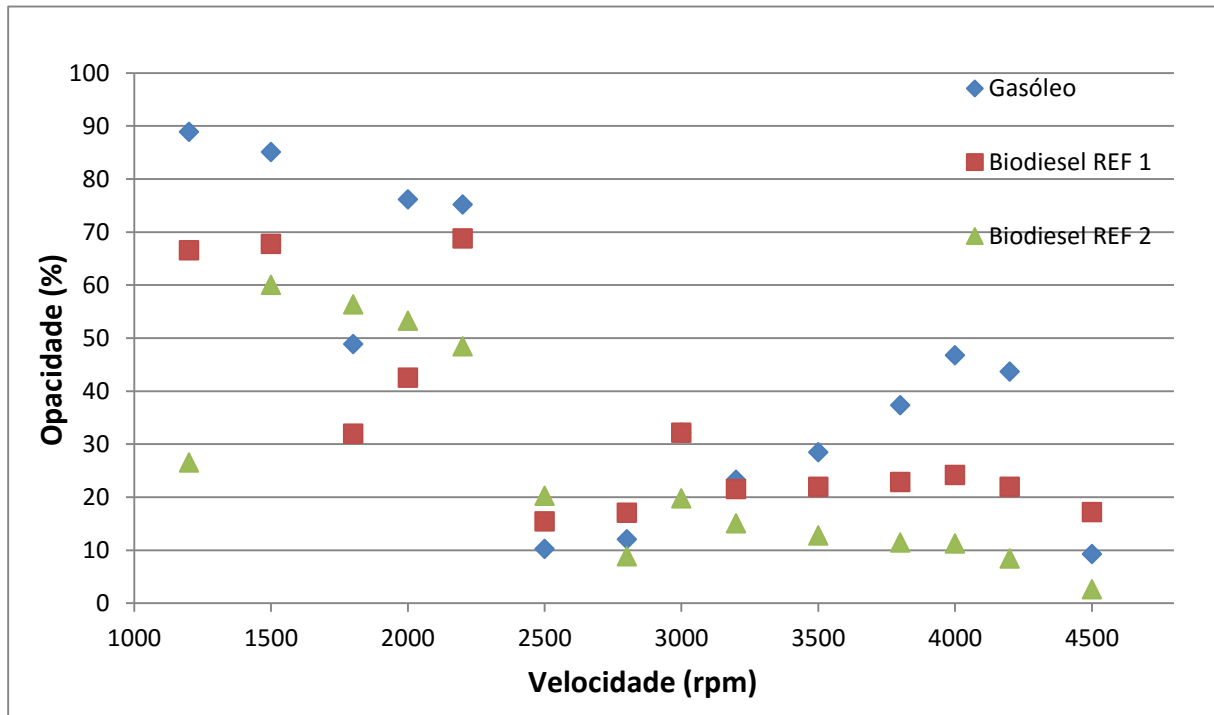
* Os valores a cinzento significam que o motor não conseguiu atingir essa velocidade de rotação.

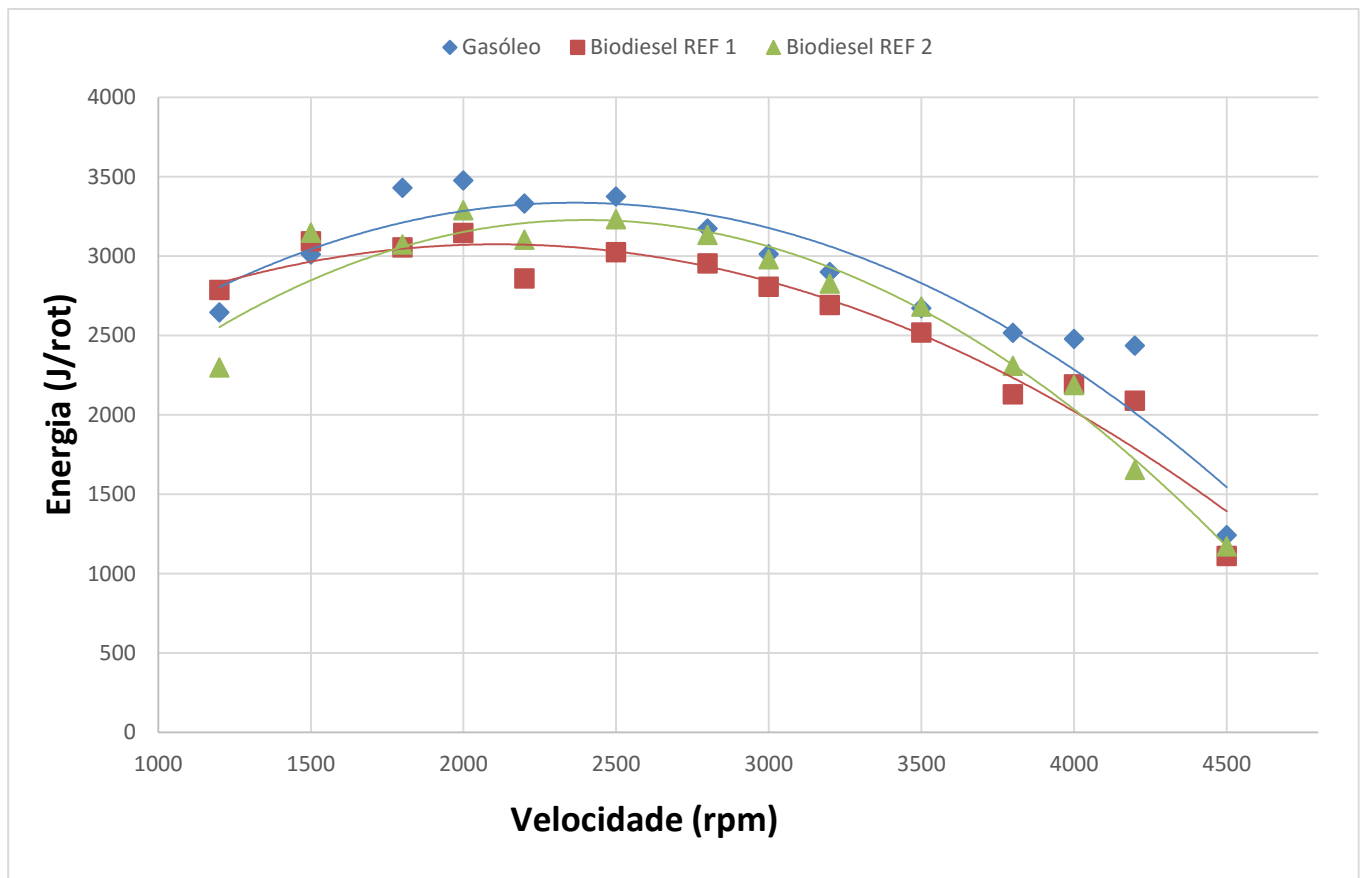
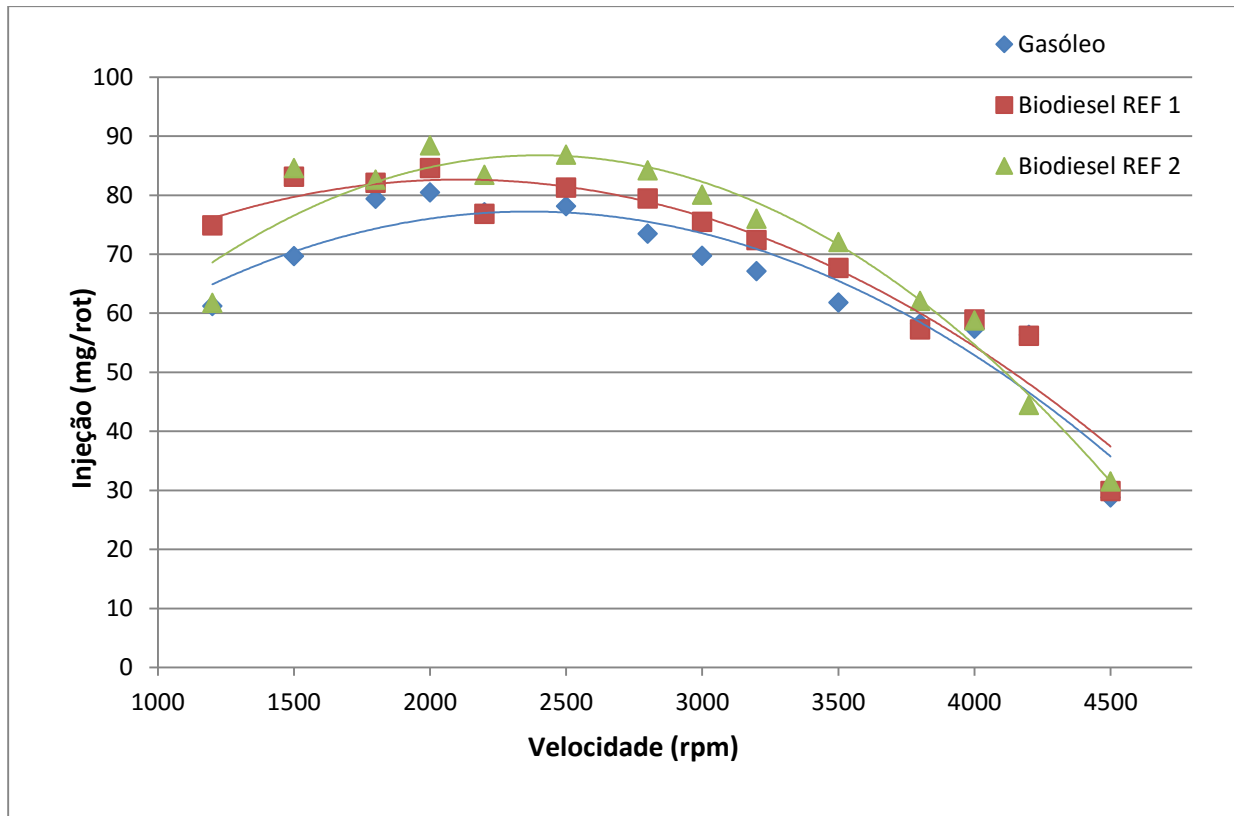
Tabela 19 - Resultados dos ensaios com biodiesel REF 2

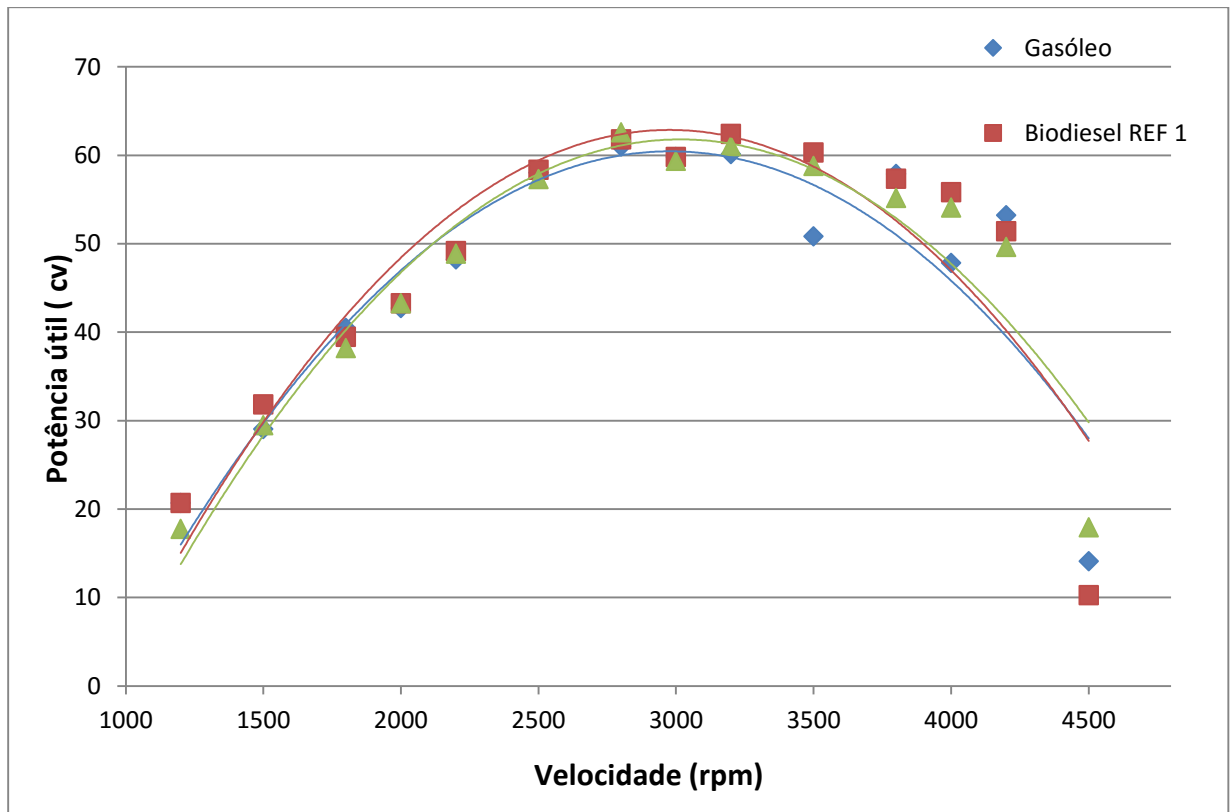
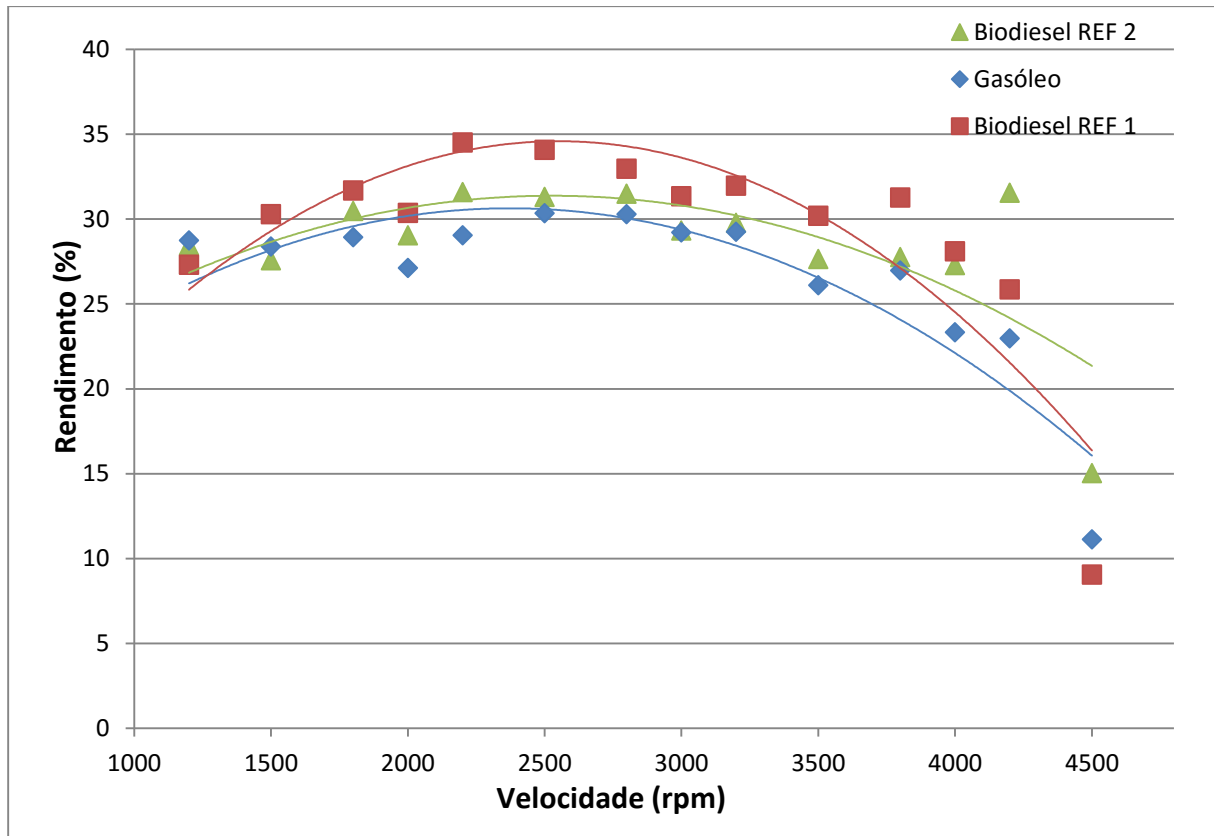
<u>Percentagem</u>	<u>RPM</u>	<u>Binário</u> <u>(N.m)</u>	<u>Potência útil</u> <u>(kWh)</u>	<u>Potência</u> <u>Fornecida</u> <u>(kWh)</u>	<u>Combustível</u> <u>consumido</u> <u>(g em 20s)</u>	<u>Rendimento</u> <u>(%)</u>	<u>Consumo</u> <u>específico</u> <u>(g/kWh)</u>	<u>consumo por</u> <u>rotação (mg/rot)</u>	<u>Opacidade</u> <u>(%)</u>	<u>Pressão do turbo</u> <u>(bar)</u>
	1200	104	13,06902544	45,93966208	24,71	28,44824025	340,2861487	61,76678241	26,6	0
	1500	138	21,67698931	78,63540333	42,29	27,56645021	351,1711532	84,58148148	60,1	0,4
	1800	149	28,08583832	92,15593144	49,56	30,47643042	317,6402872	82,60364583	56,4	0,5
	2000	152	31,83480556	109,6056042	58,95	29,04487029	333,2961041	88,42013889	53,3	0,6
	2200	156	35,93981996	113,7526688	61,18	31,59470486	306,3976117	83,42329545	48,5	0,6
50%	2500	161	42,14970144	134,6132429	72,40	31,31170494	309,1668795	86,87527778	20,3	1
	2800	157	46,03480435	146,1695	78,61	31,49412453	307,3761299	84,22619048	8,9	0,9
	3000	139	43,66813788	148,9190017	80,09	29,32341568	330,1300986	80,08981481	19,8	0,6
	3200	134	44,903831	150,7534375	81,08	29,78627336	325,0001097	76,00911458	15,1	0,6
	3500	118	43,24925886	156,3699446	84,10	27,65829391	350,0050343	72,08313492	12,8	0,6
	3800	102	40,58937708	146,2155546	78,64	27,75995837	348,7232214	62,0809576	11,5	0,6
	4000	95	39,79350695	145,7657692	78,39	27,29962403	354,6034956	58,79548611	11,3	0,6
	4200	83	36,50530663	115,7149383	62,23	31,54761793	306,8549306	44,45171958	8,5	0,6
	4500	28	13,19468915	87,79294833	47,22	15,02932684	644,1101598	31,47716049	2,7	0,5
	1200	123	15,45663586	55,64383625	29,93	27,77780415	348,4991851	74,81423611	60,2	0,3
	1500	139	21,83406894	79,92019708	42,98	27,31983871	354,341115	85,96342592	68,6	0,4
	1800	151	28,46282944	93,26741792	50,16	30,51744122	317,2134269	83,59992284	53,1	0,6

	2000	154	32,25368458	106,8285558	57,45	30,19200655	320,6326182	86,17986111	57	0,6
	2200	152	35,01828611	124,7868304	67,11	28,06248544	344,9638177	91,51546717	73,2	0,65
45%	2500	165	43,19689899	135,782685	73,03	31,81326027	304,2926763	87,63	11,5	1,05
	2800	158	46,32801966	151,153725	81,29	30,64960501	315,8455748	87,09821429	12	1,2
	3000	141	44,29645642	154,1976317	82,93	28,72706665	336,9833137	82,9287037	33,2	0,7
	3200	136	45,57403743	149,9119729	80,62	30,40053209	318,4333117	75,58485243	15,2	0,8
	3500	117	42,88273972	164,9206021	88,70	26,0020514	372,2991683	76,02480159	11,5	0,75
	3800	104	41,38524722	150,3441112	80,86	27,52701578	351,6742312	63,83388158	13,5	0,75
	4000	94	39,37462792	150,740525	81,07	26,12079792	370,6066767	60,80208333	14,7	0,7
	4200	83	36,50530663	146,6730875	78,88	24,8888922	388,9503009	56,34424603	16	0,7
	4500	23	10,83849465	90,650915	48,75	11,95629923	809,6604076	32,50185185	2,9	0,6
	1200	124	15,58229956	59,65529806	32,08	26,12056275	370,6100134	80,20772569	71,2	0,3
	1500	146	22,93362637	82,37012875	44,30	27,84216405	347,693595	88,59861111	77,6	0,4
	1800	150	28,27433388	94,30859583	50,72	29,98065408	322,8929591	84,53317901	63,5	0,6
	2000	161	33,71976115	100,0878004	53,83	33,69018103	287,3401631	80,74201389	53,4	0,6
	2200	153	35,24866957	112,8647192	60,70	31,23090177	309,9667817	82,77209596	40,3	0,9
	2500	137	35,86651613	109,8393204	59,07	32,65362167	296,4615138	70,88694444	41,1	1
	2800	116	34,01297646	110,783052	59,58	30,70232842	315,3031906	63,83571429	41,6	1,2
40%	3000	111	34,87167845	116,8585554	62,85	29,84092892	324,4048514	62,8474537	41,9	0,75
	3200	102	34,18052807	116,3962879	62,60	29,36565133	329,6552834	58,68641493	7,6	0,75
	3500	86	31,52064629	113,4651504	61,02	27,78002424	348,4713342	52,30496032	8,3	0,75
	3800	70	27,85545486	112,1037425	60,29	24,84792589	389,5915559	47,59758772	8,9	0,7
	4000	61	25,55162025	110,8129229	59,60	23,05833975	419,8282364	44,69704861	9,1	0,6
	4200	51	22,43097155	109,131285	58,69	20,55411658	470,9782623	41,92261905	10,1	0,6
	4500	18	8,482300165	78,7378425	42,35	10,77283793	898,6064926	28,23055556	12,3	0,6

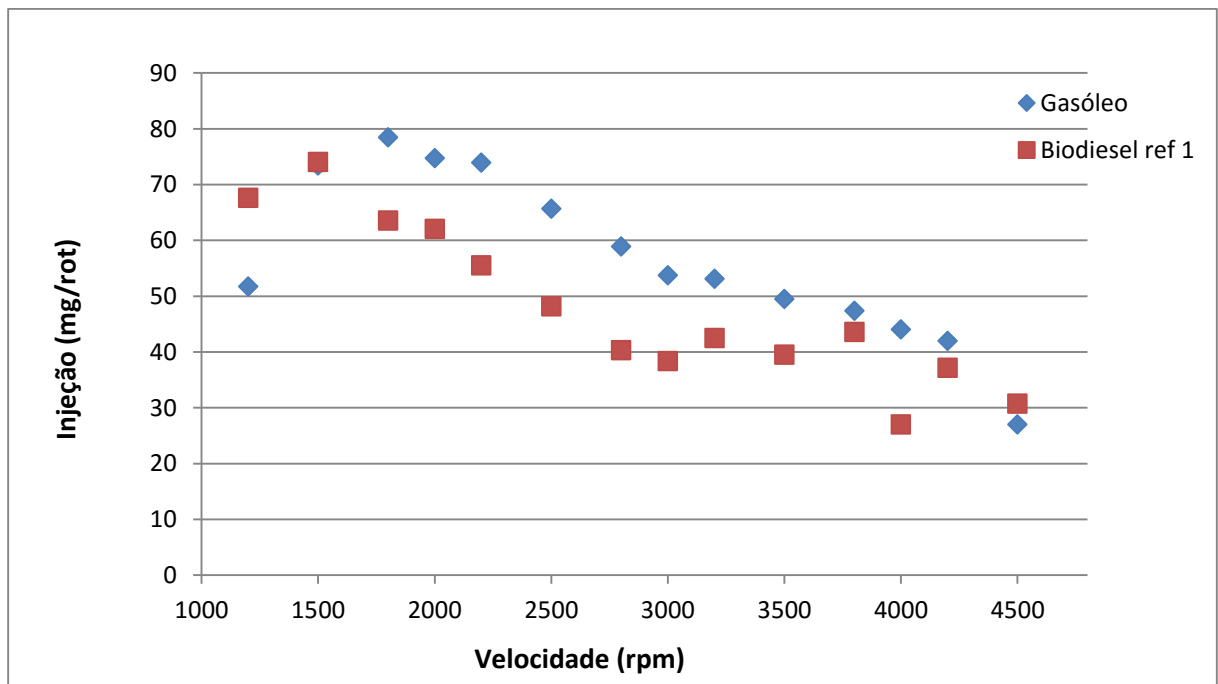
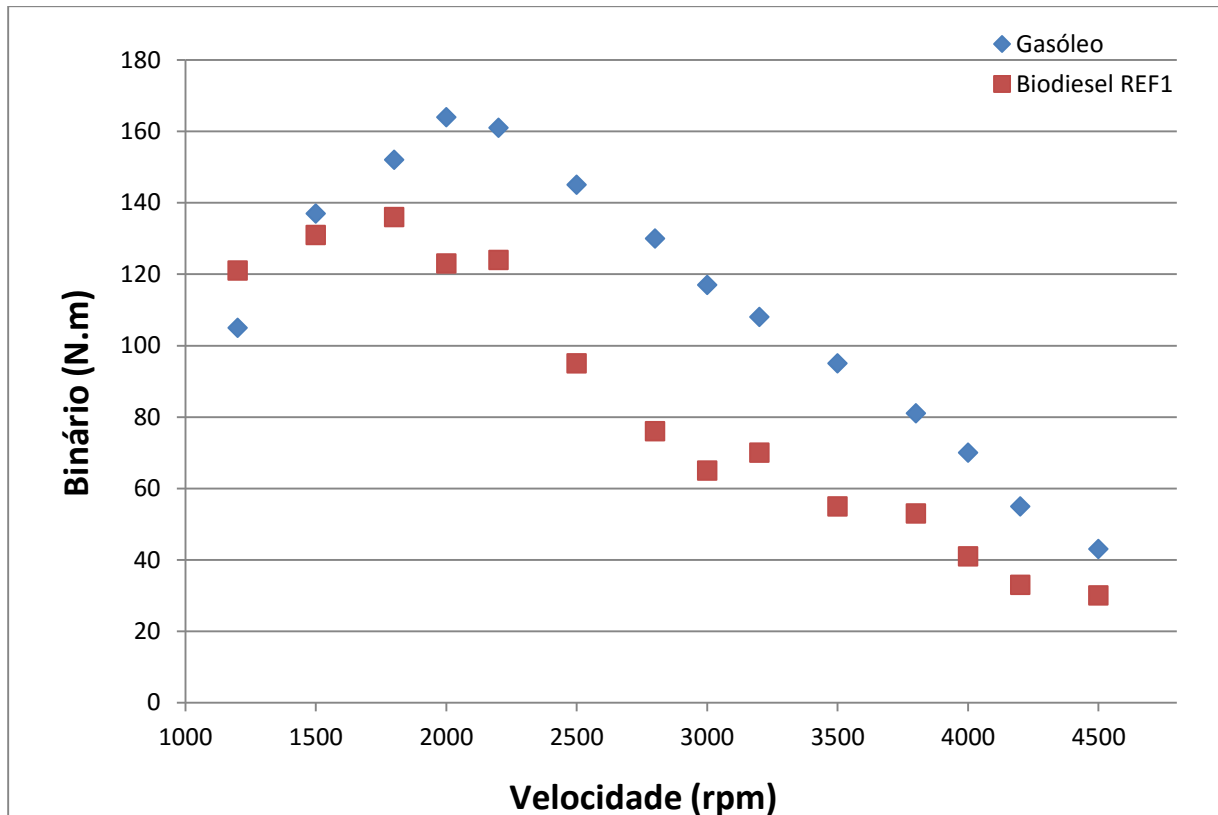
Gráficos 50 de carga de acelerador

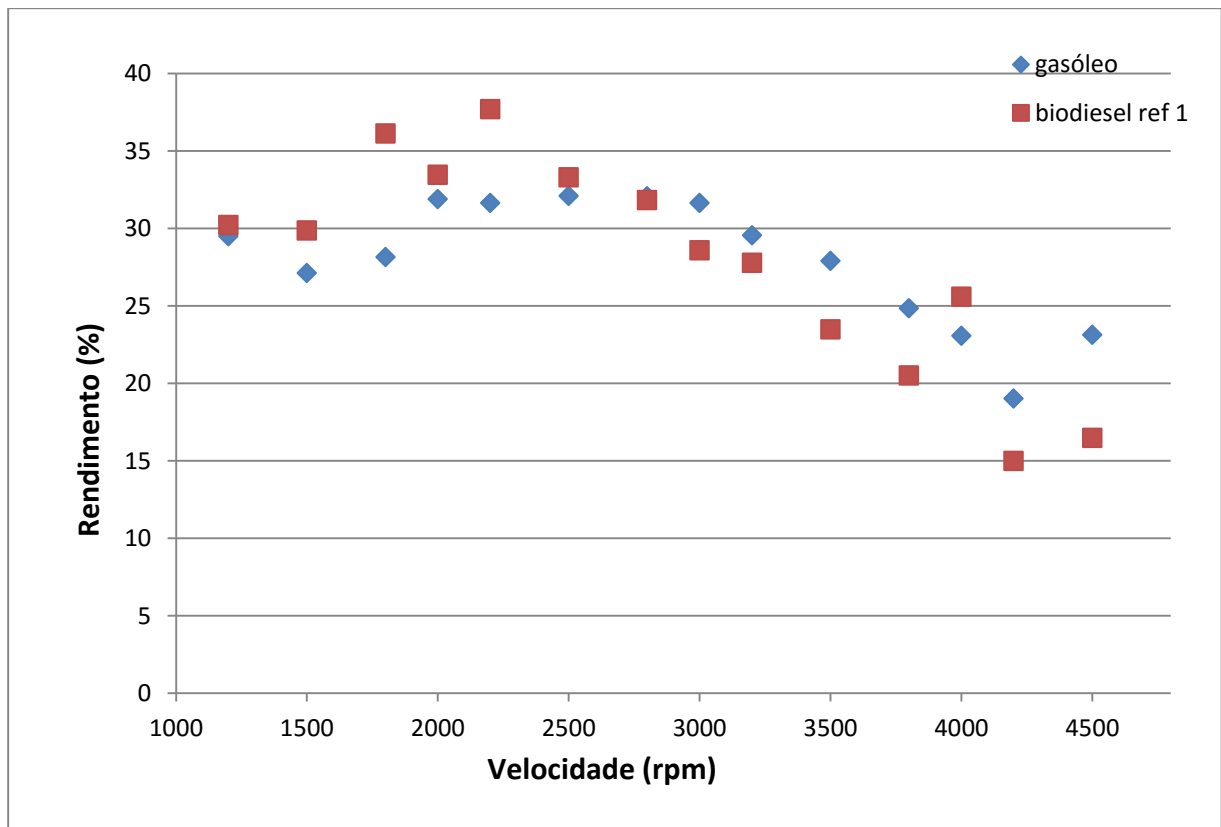
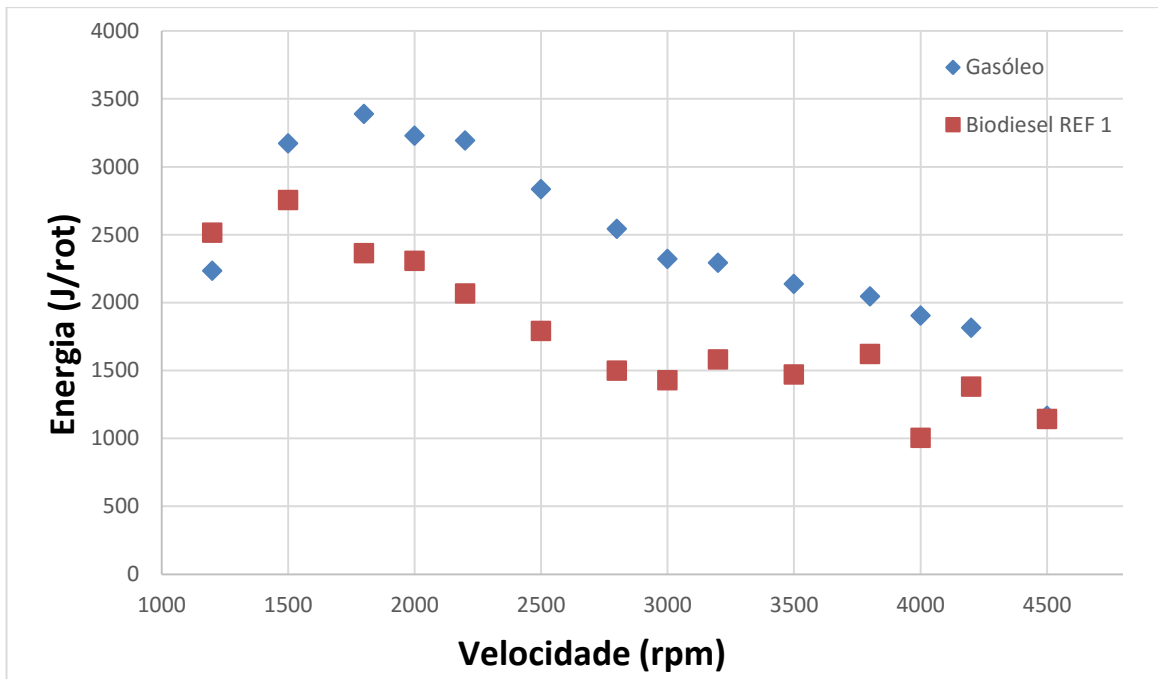


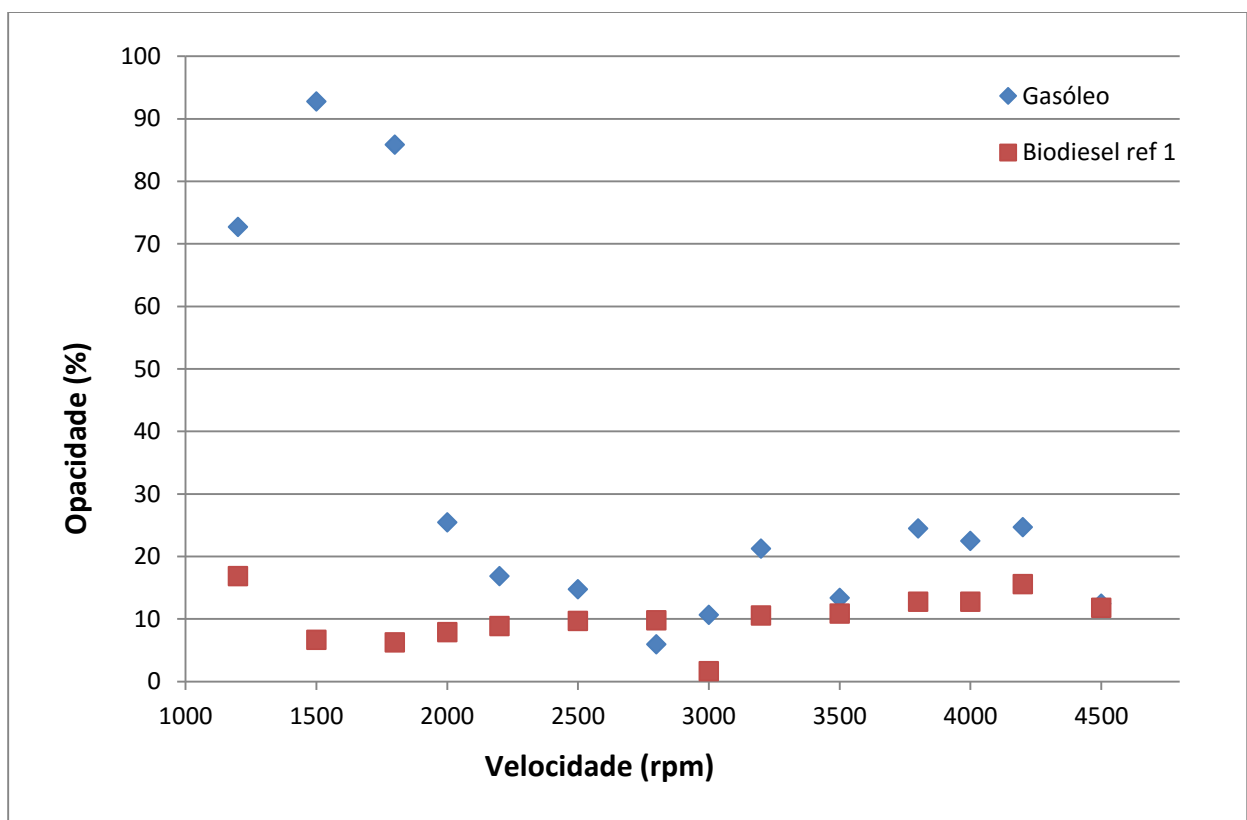
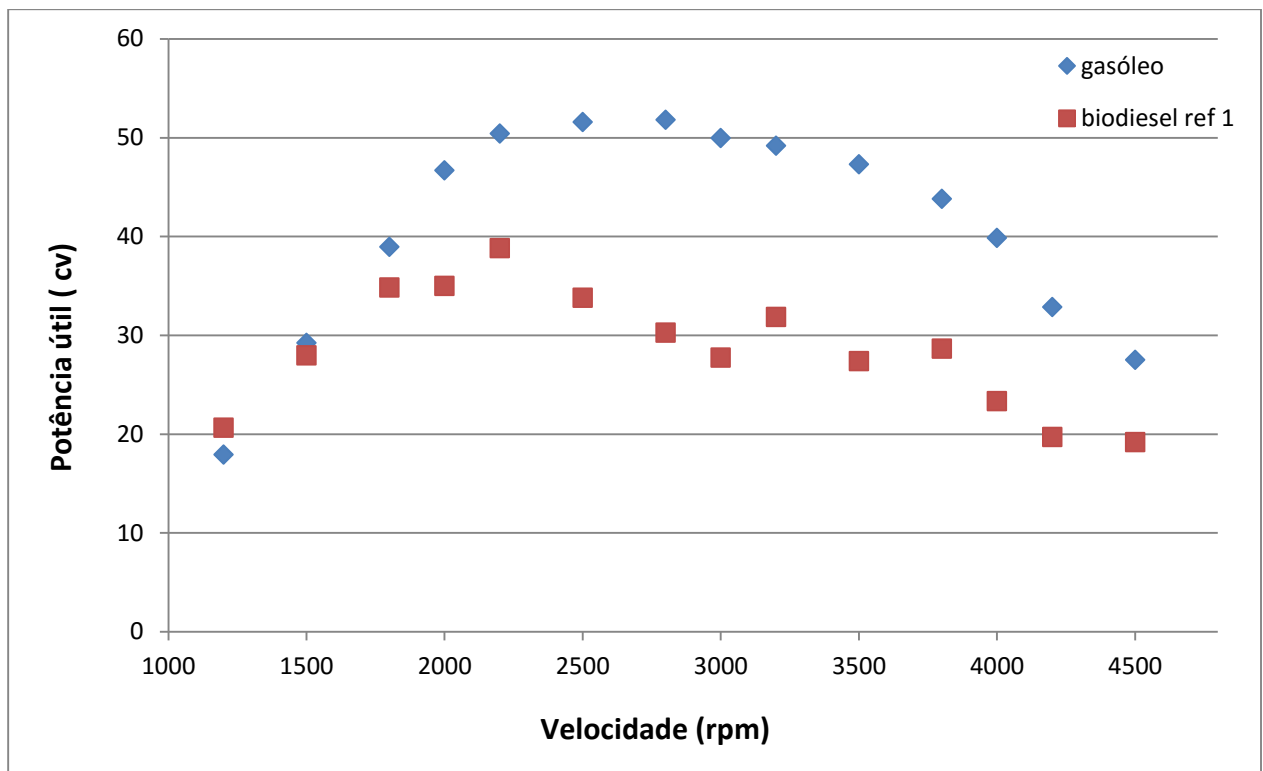




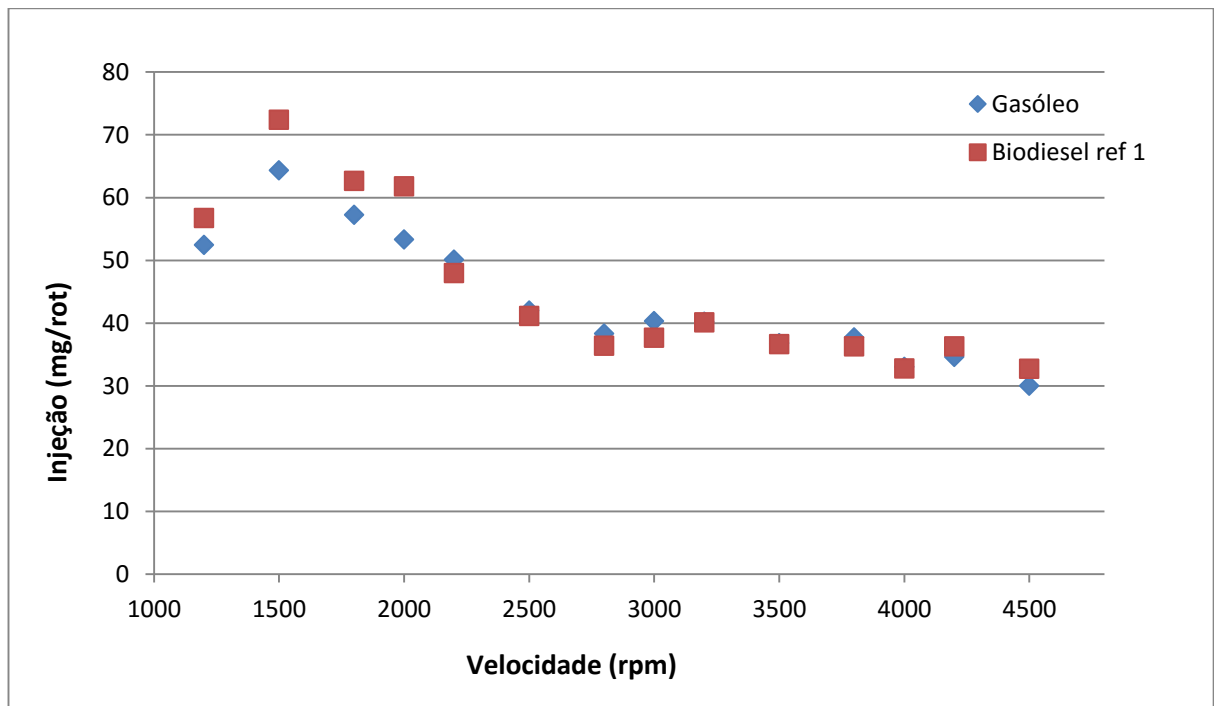
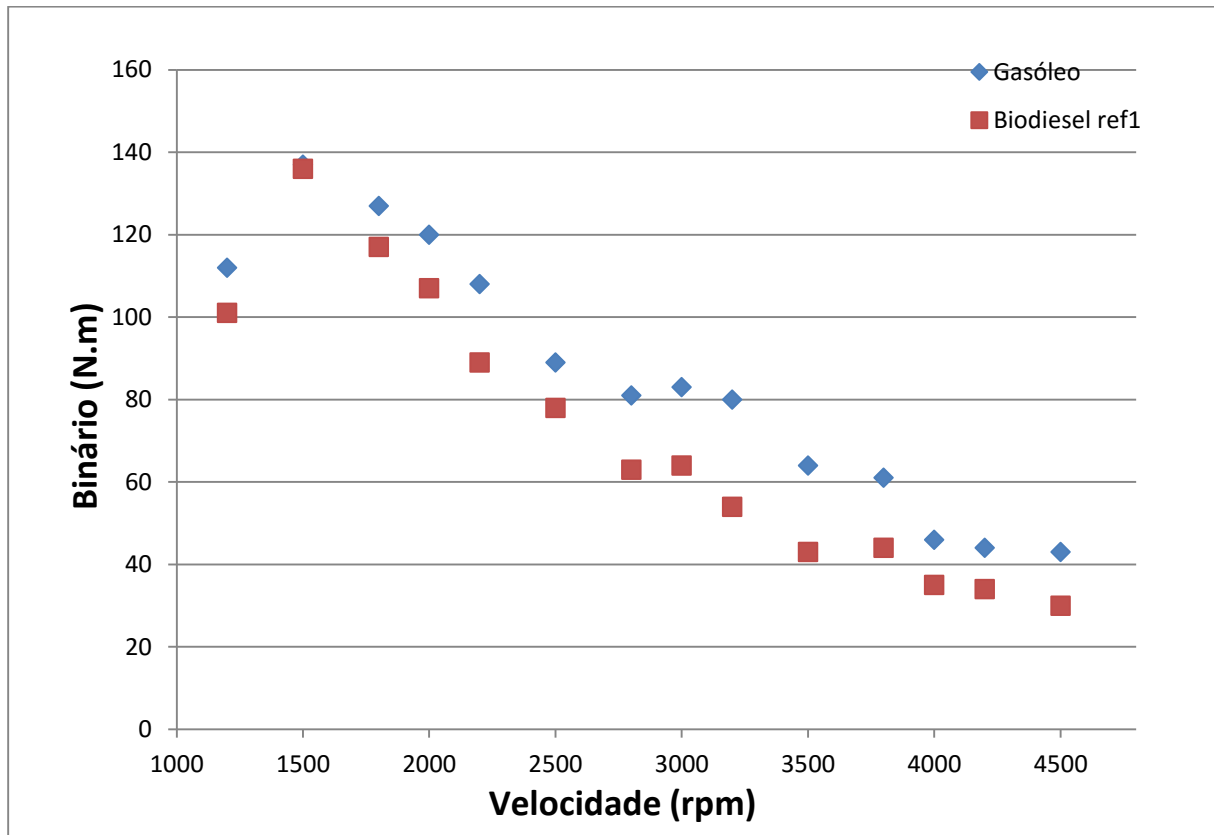
Gráficos de 35 de carga do acelerador

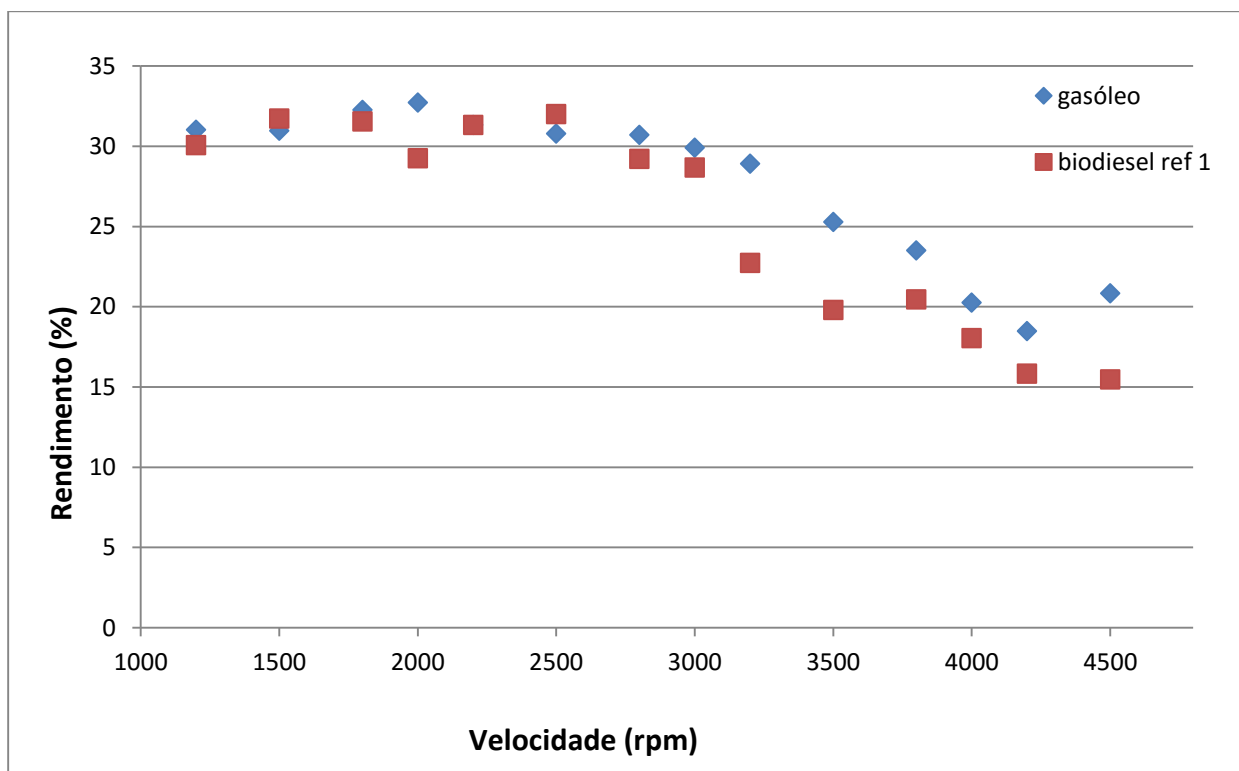
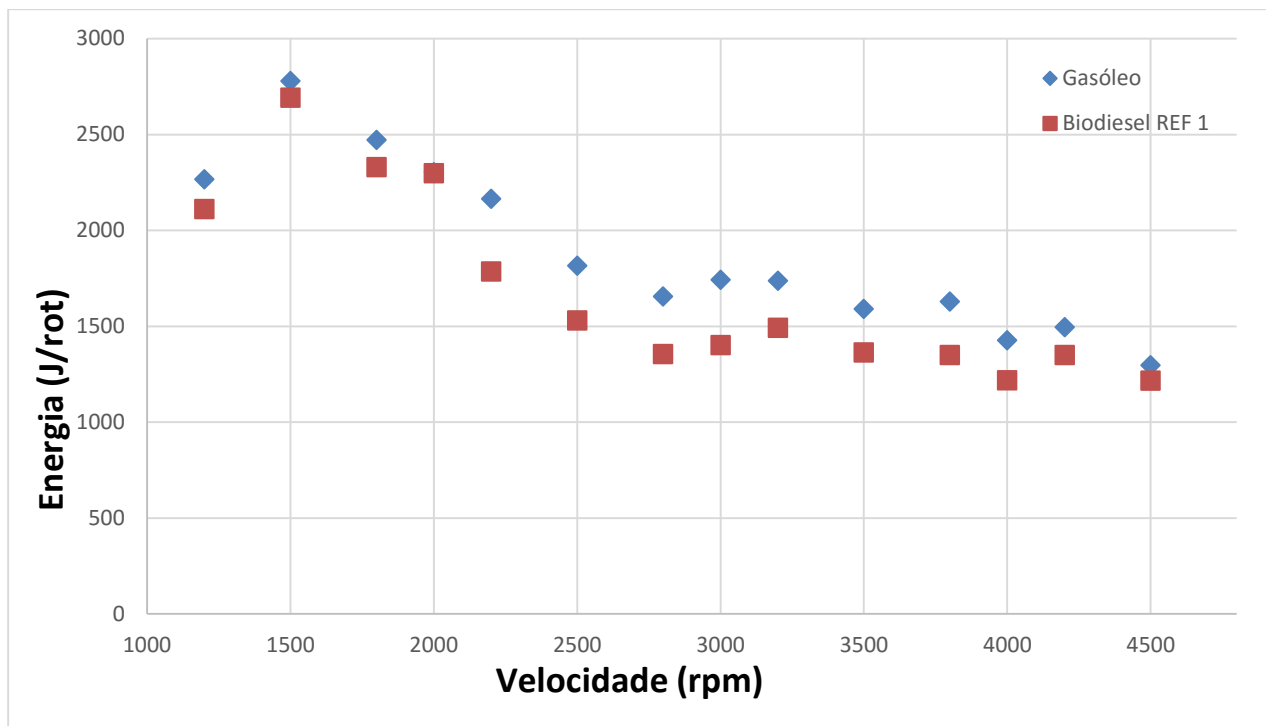


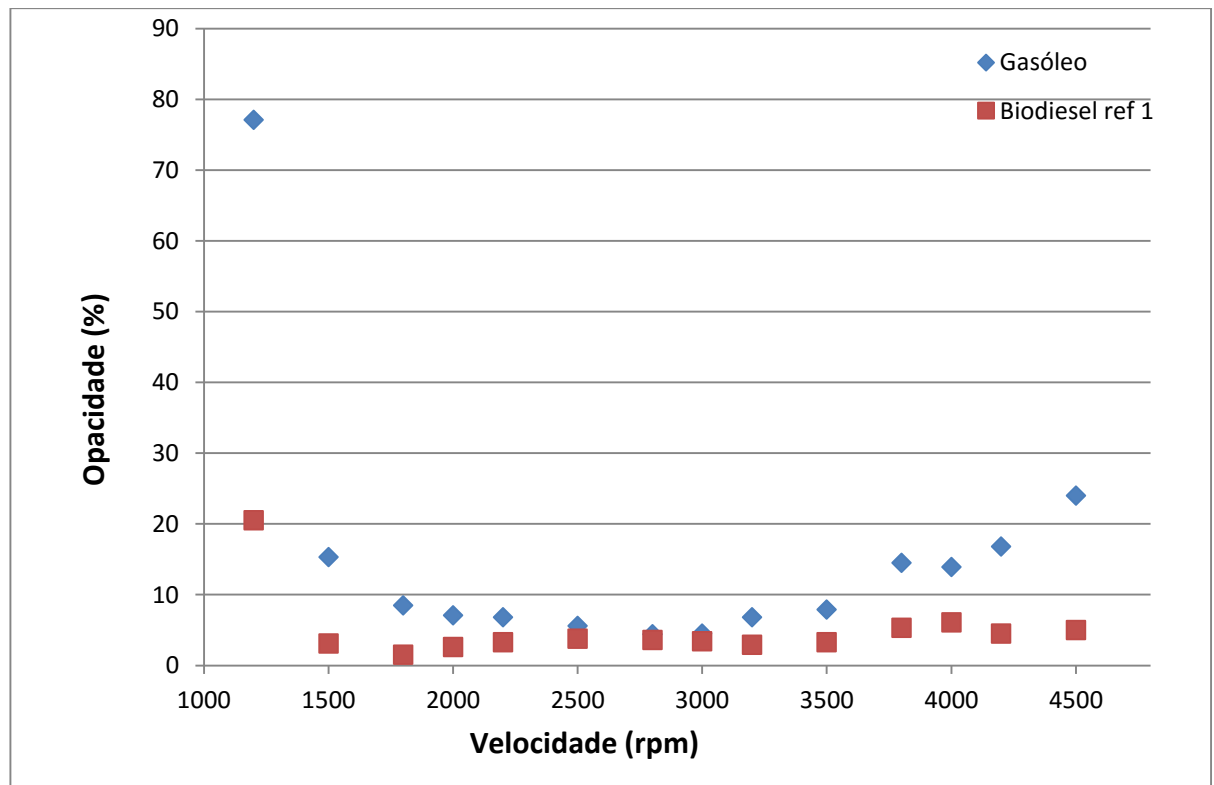
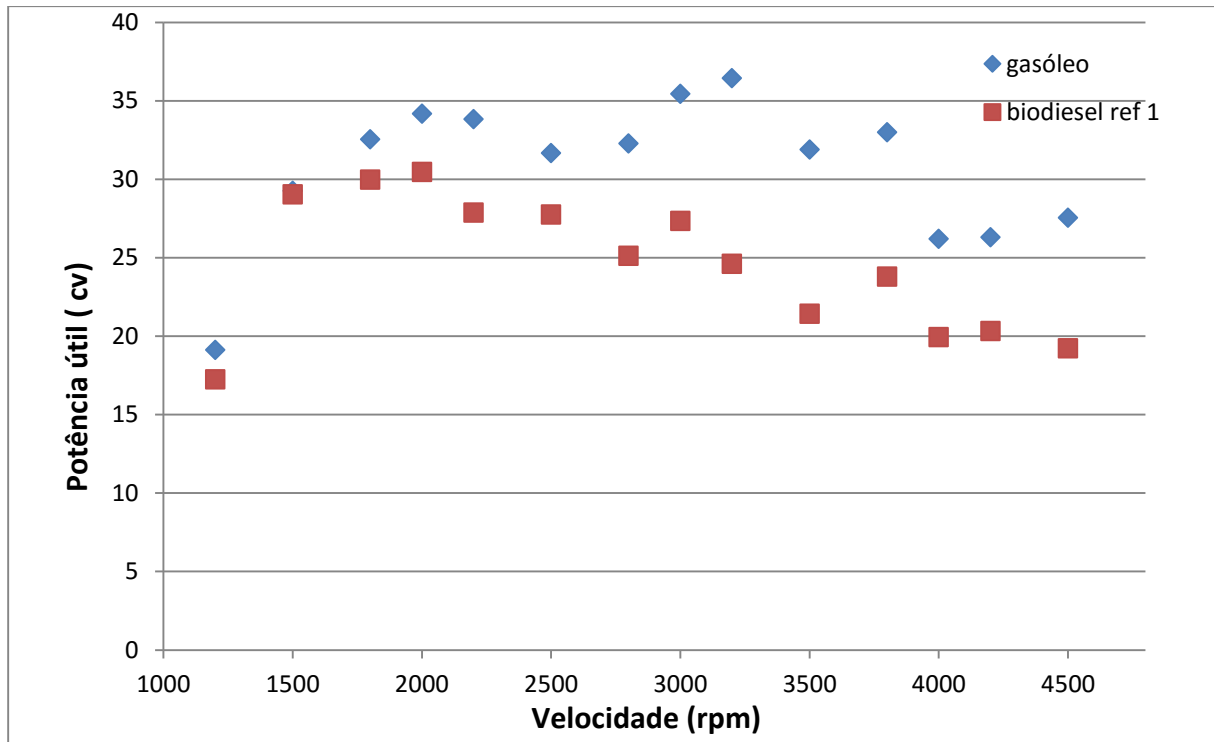




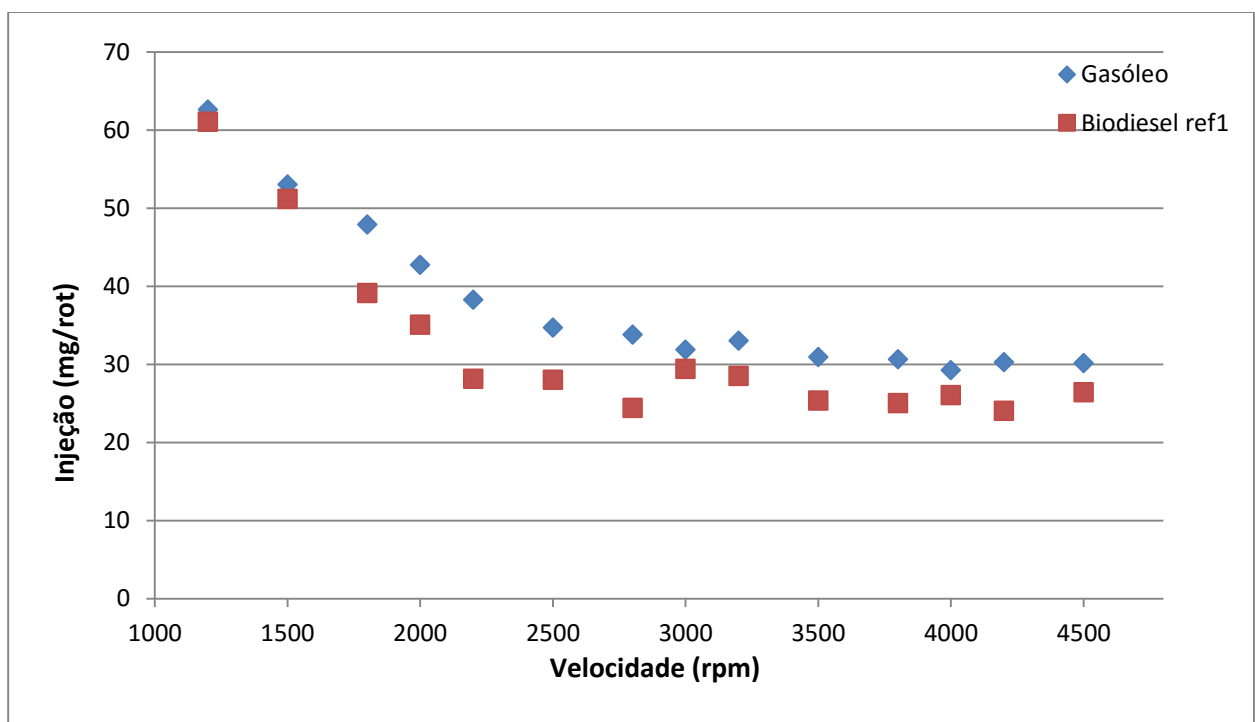
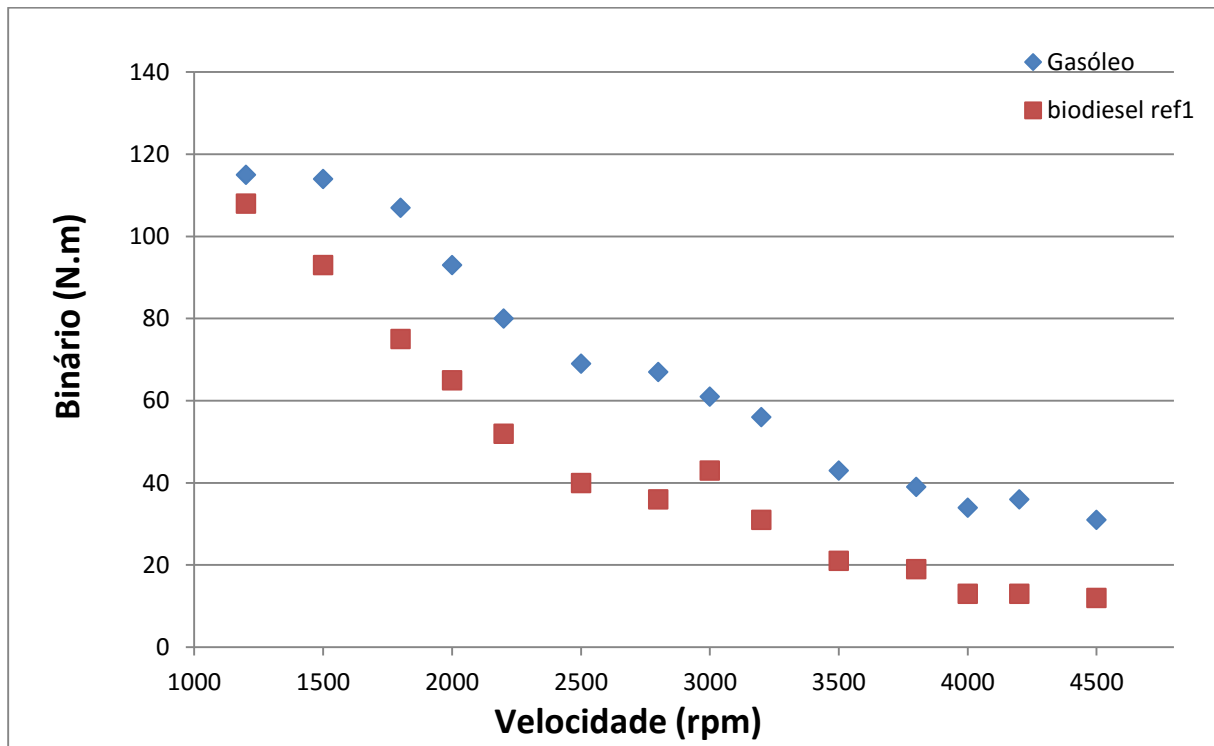
Gráficos de 30 de carga do acelerador

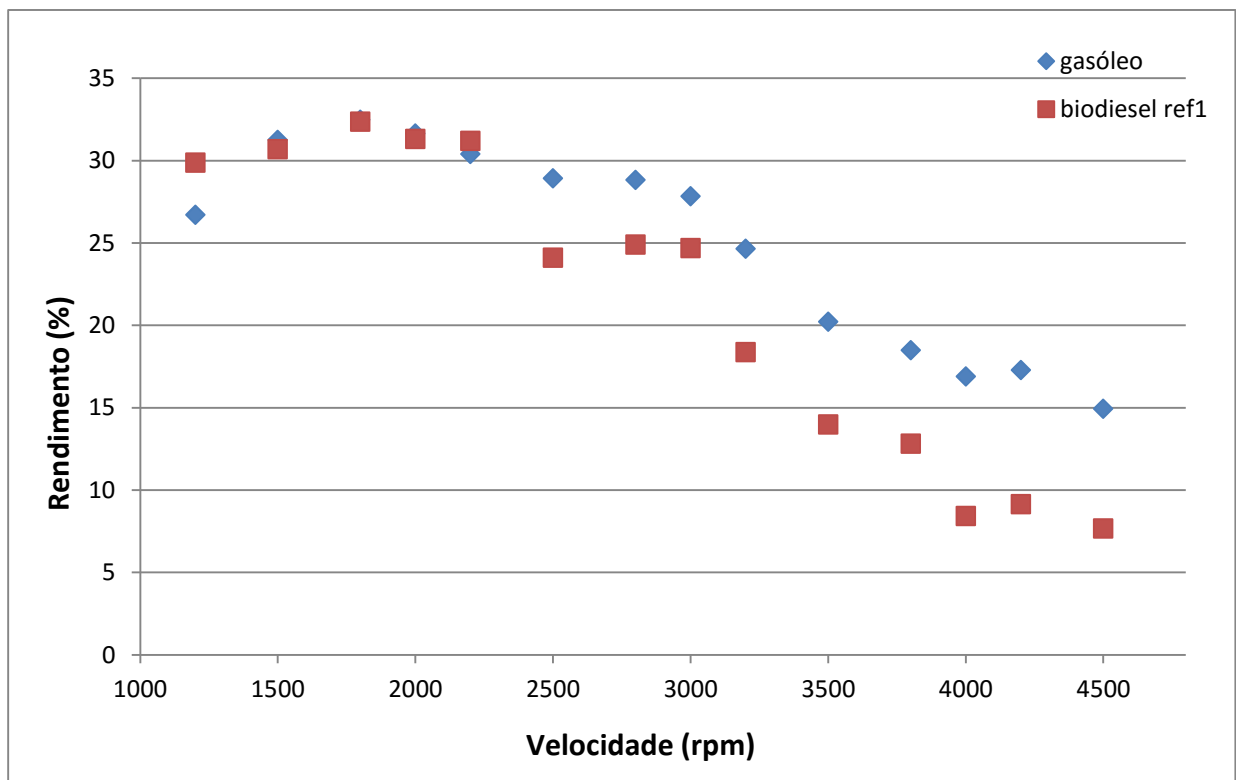
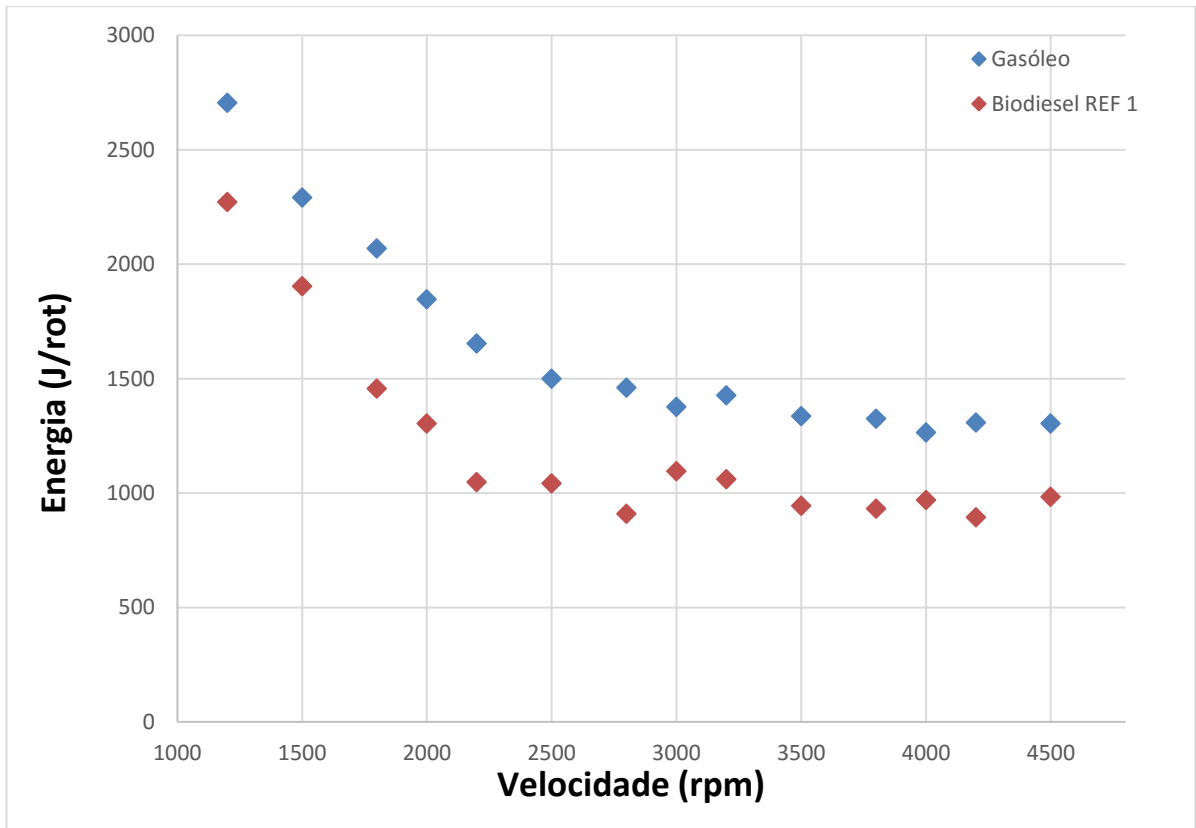


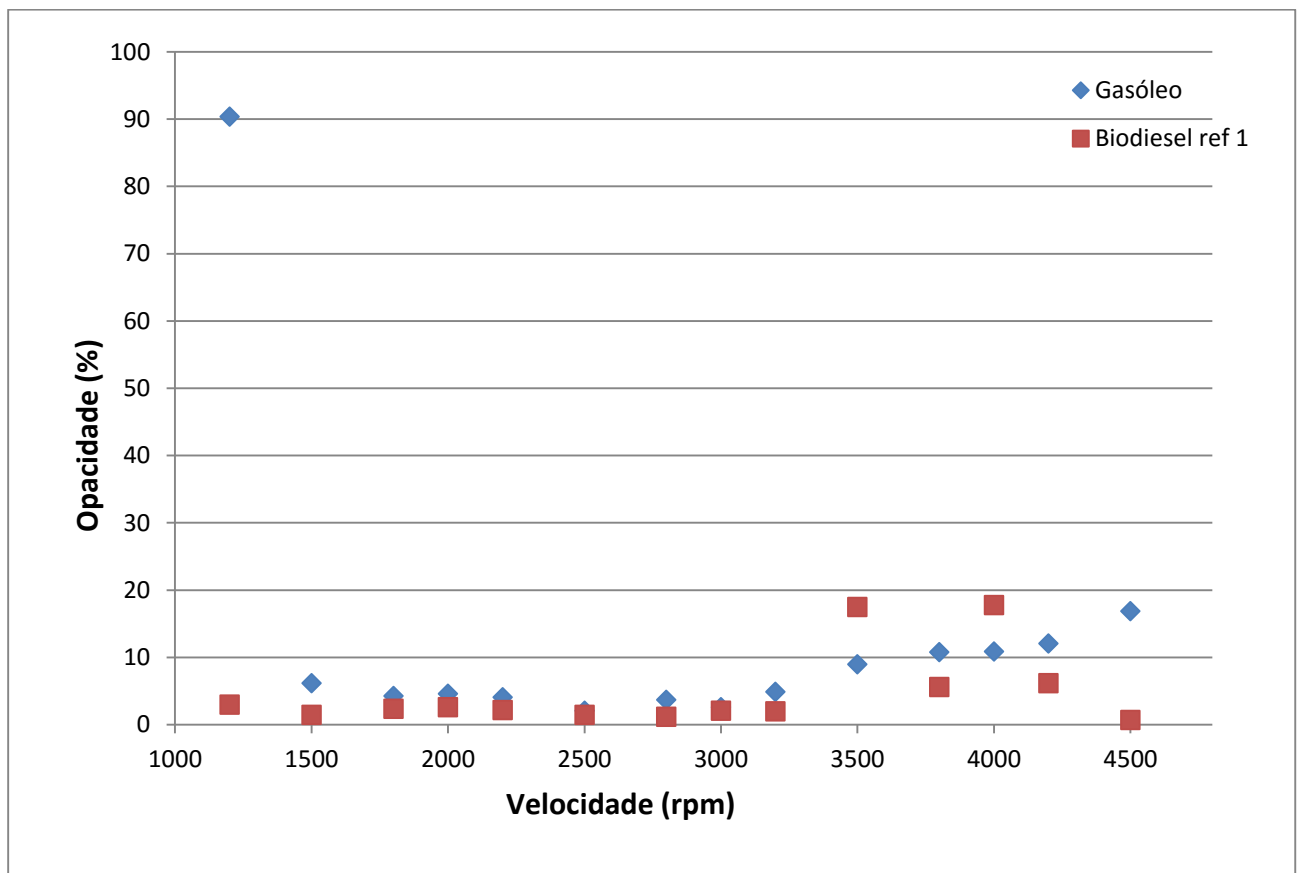
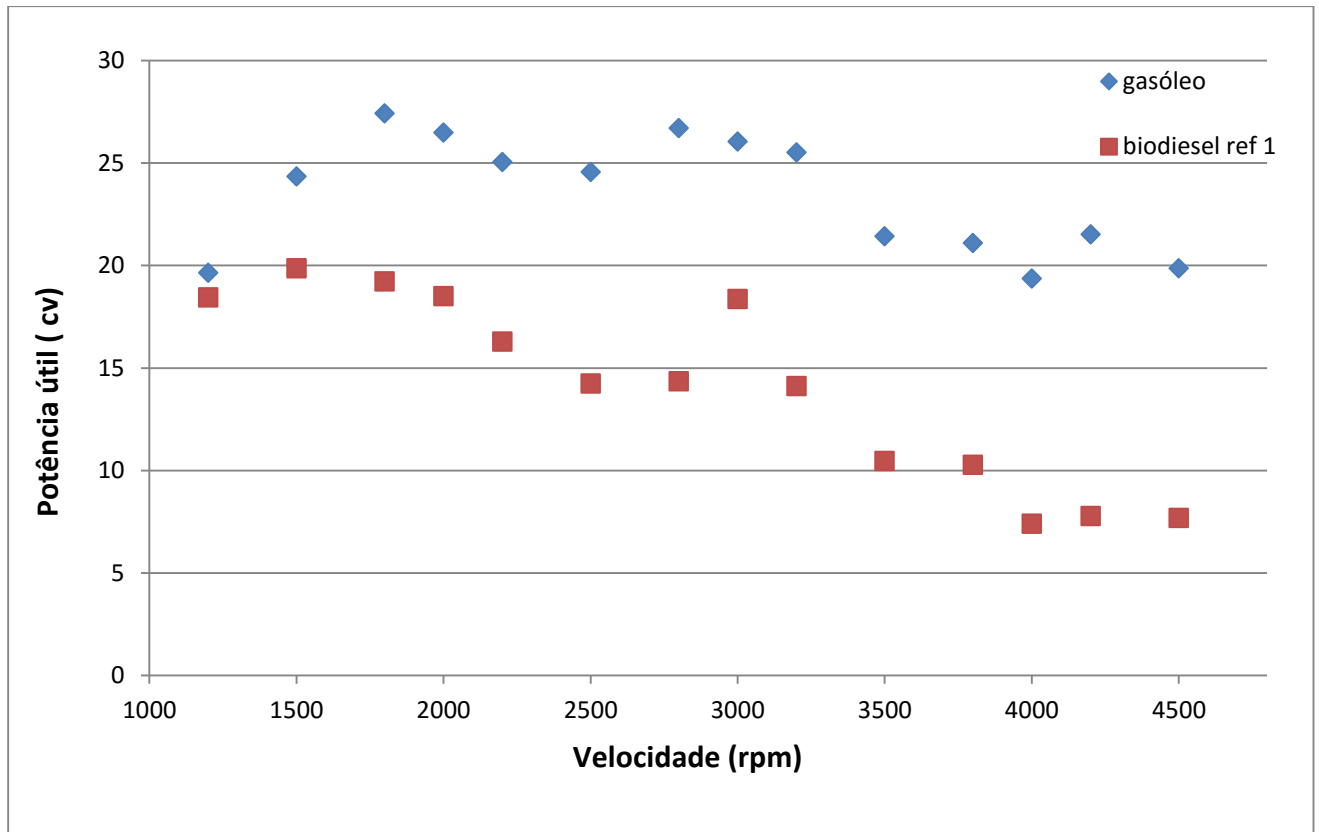




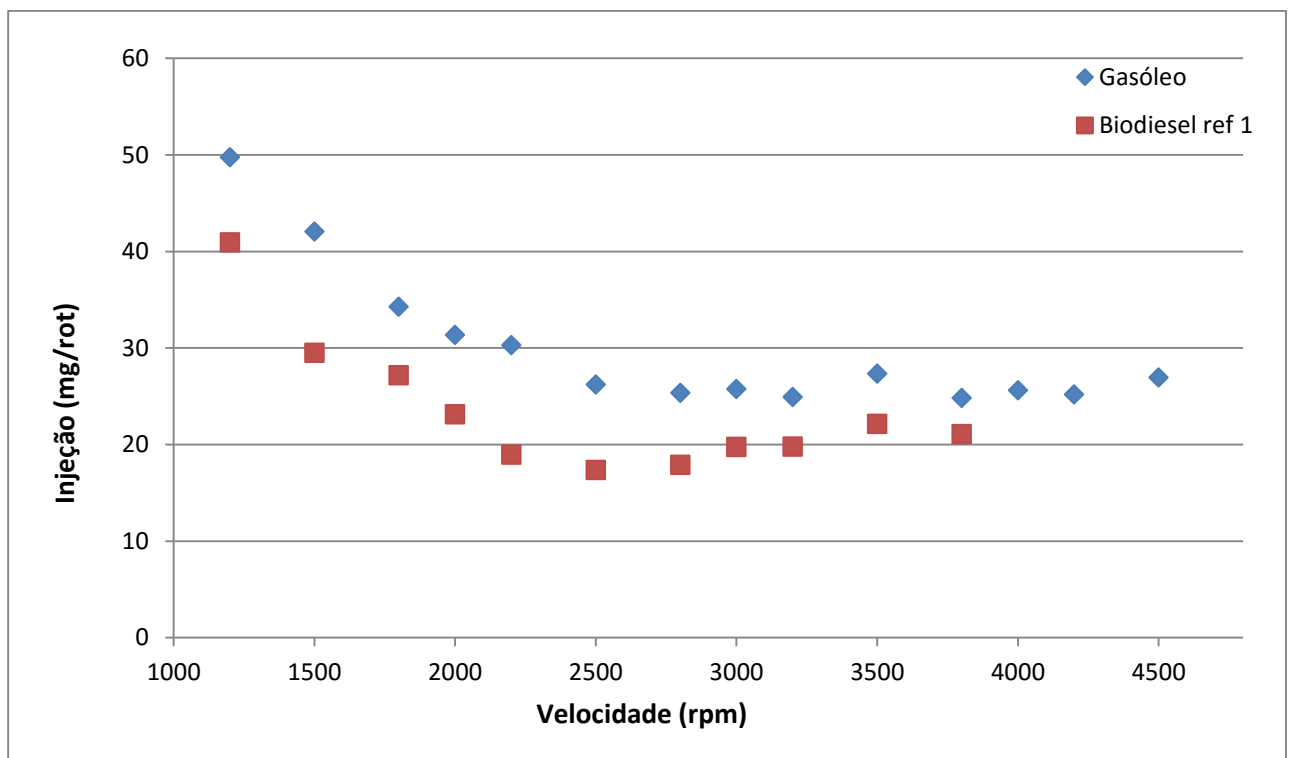
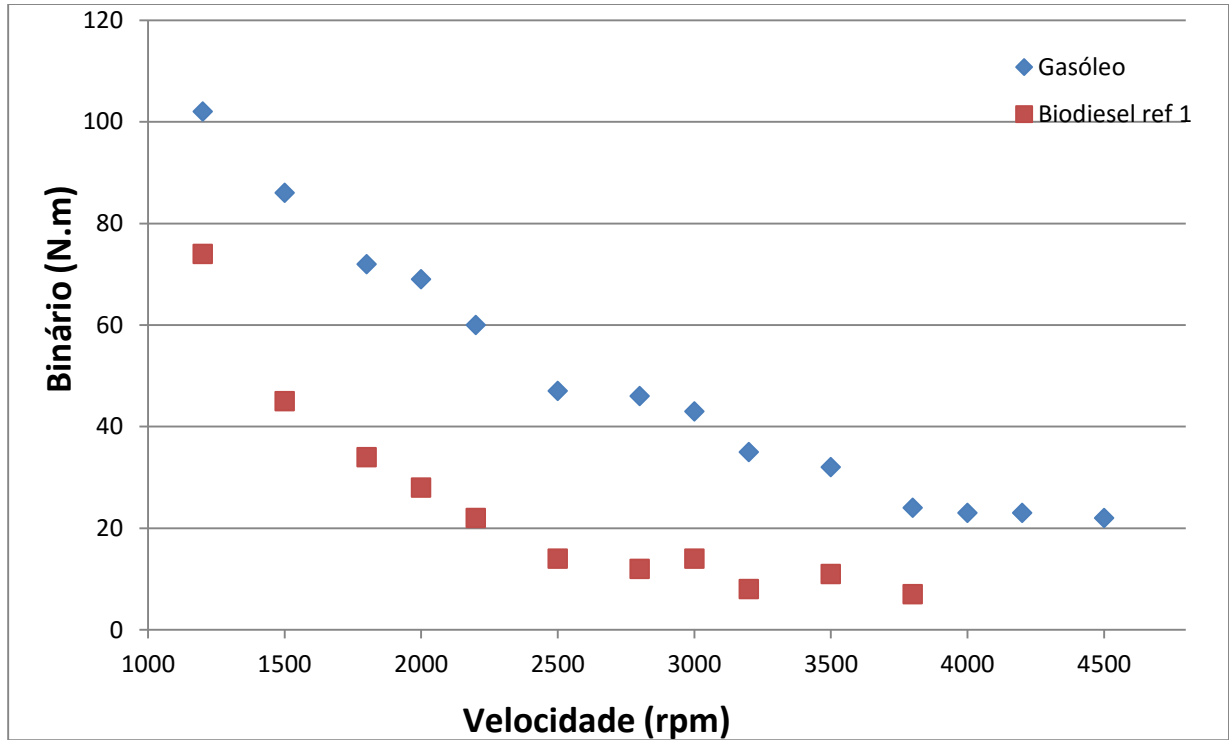
Gráficos de 25 de carga do acelerador

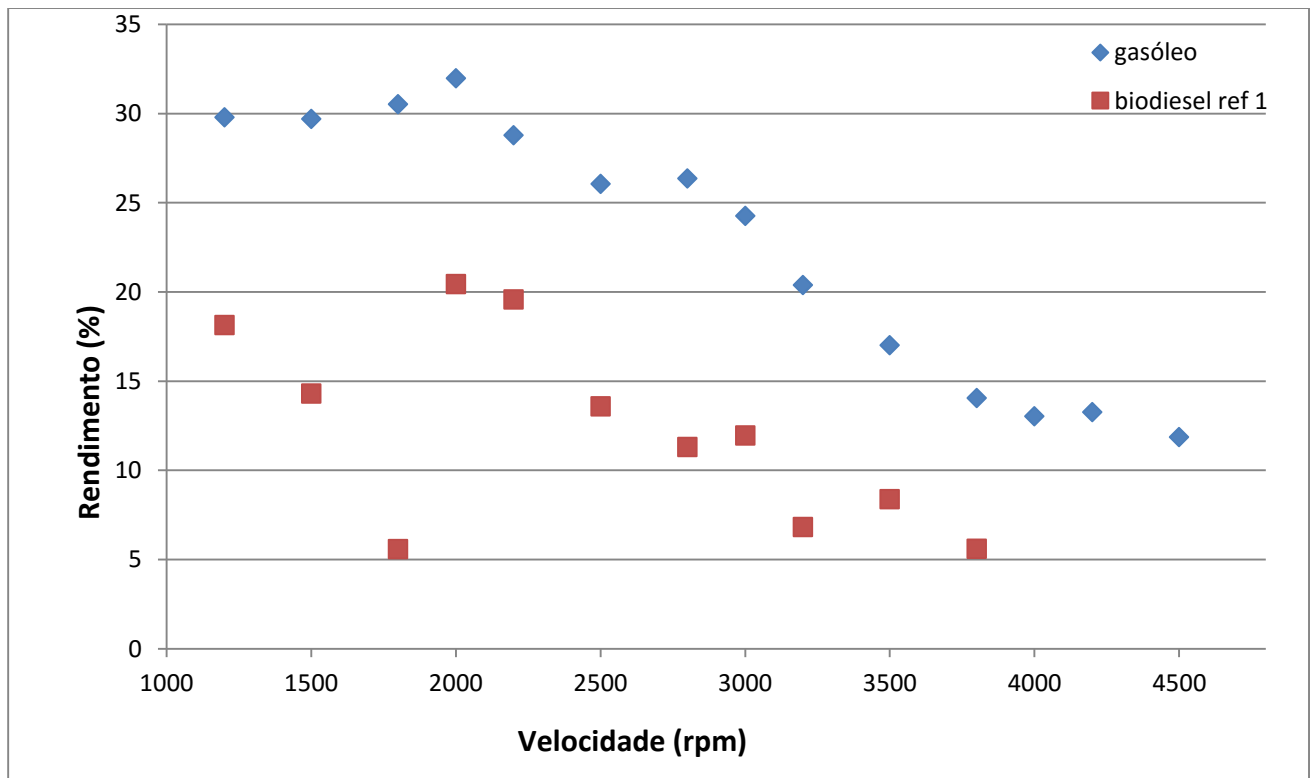
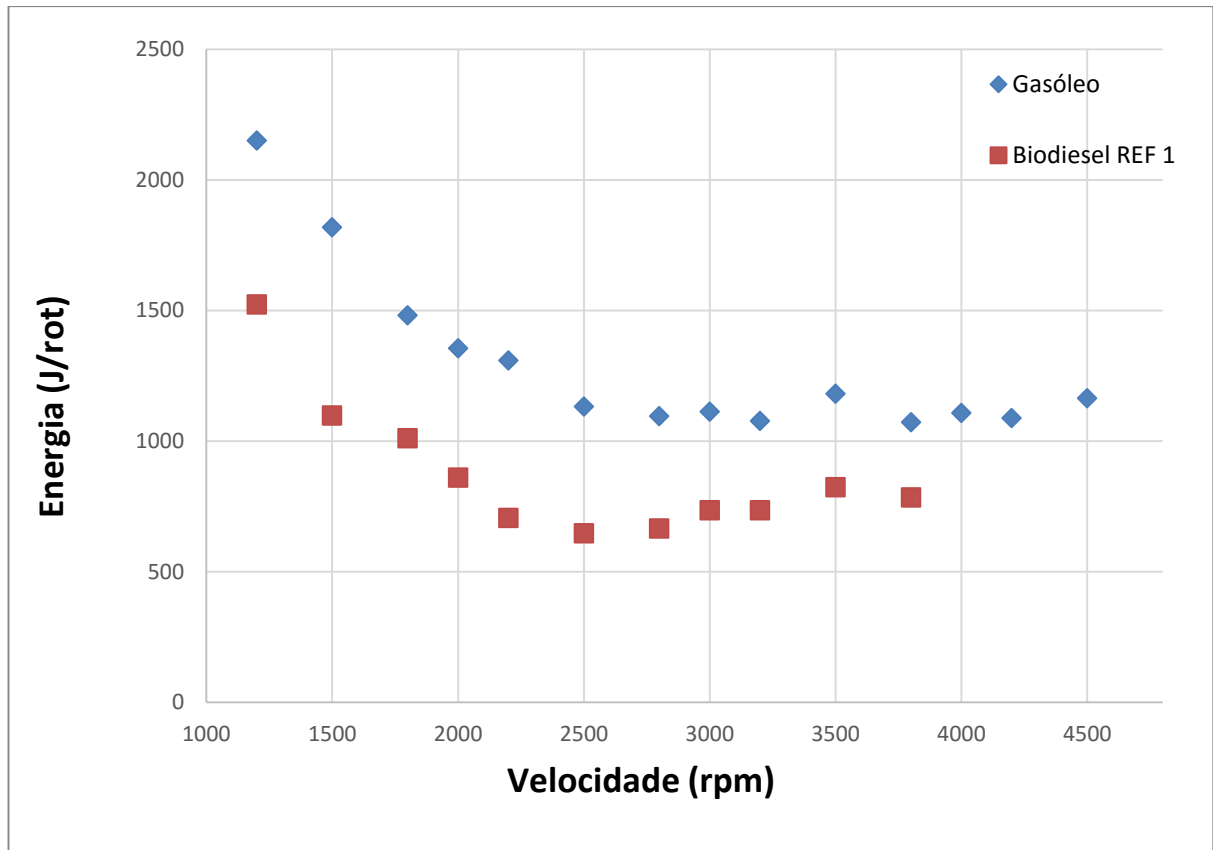


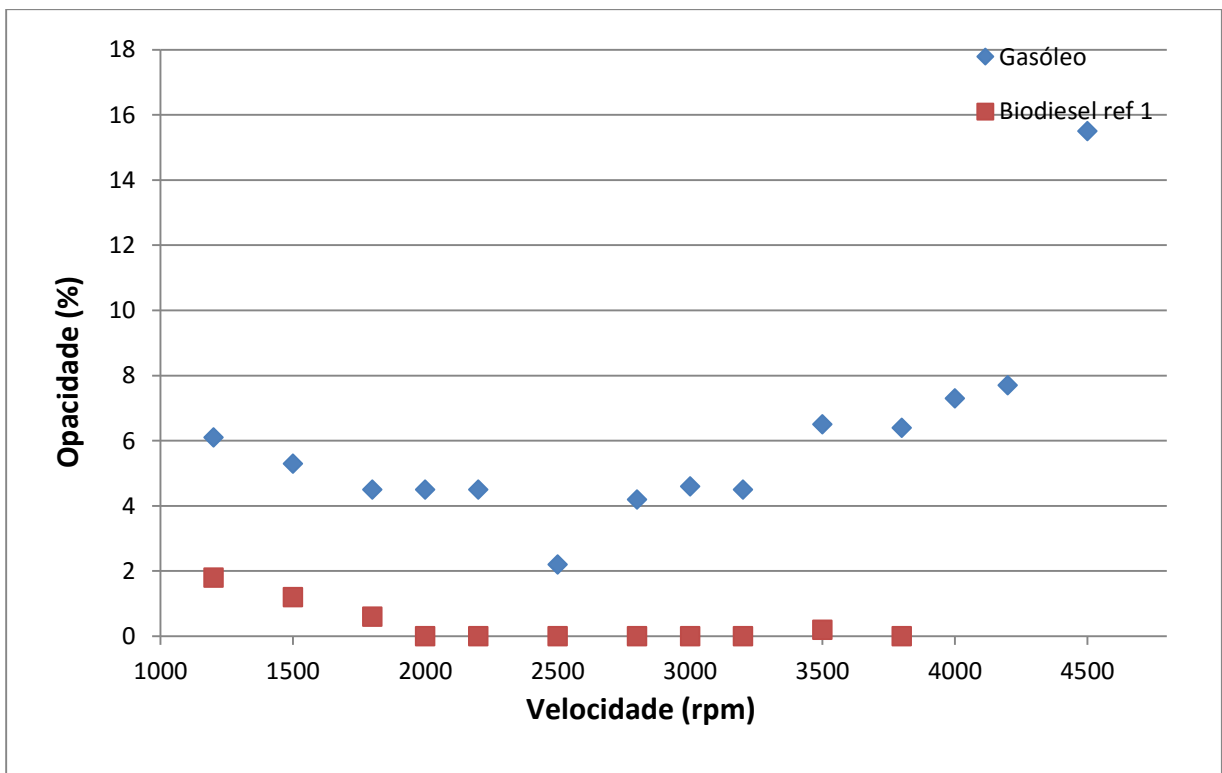
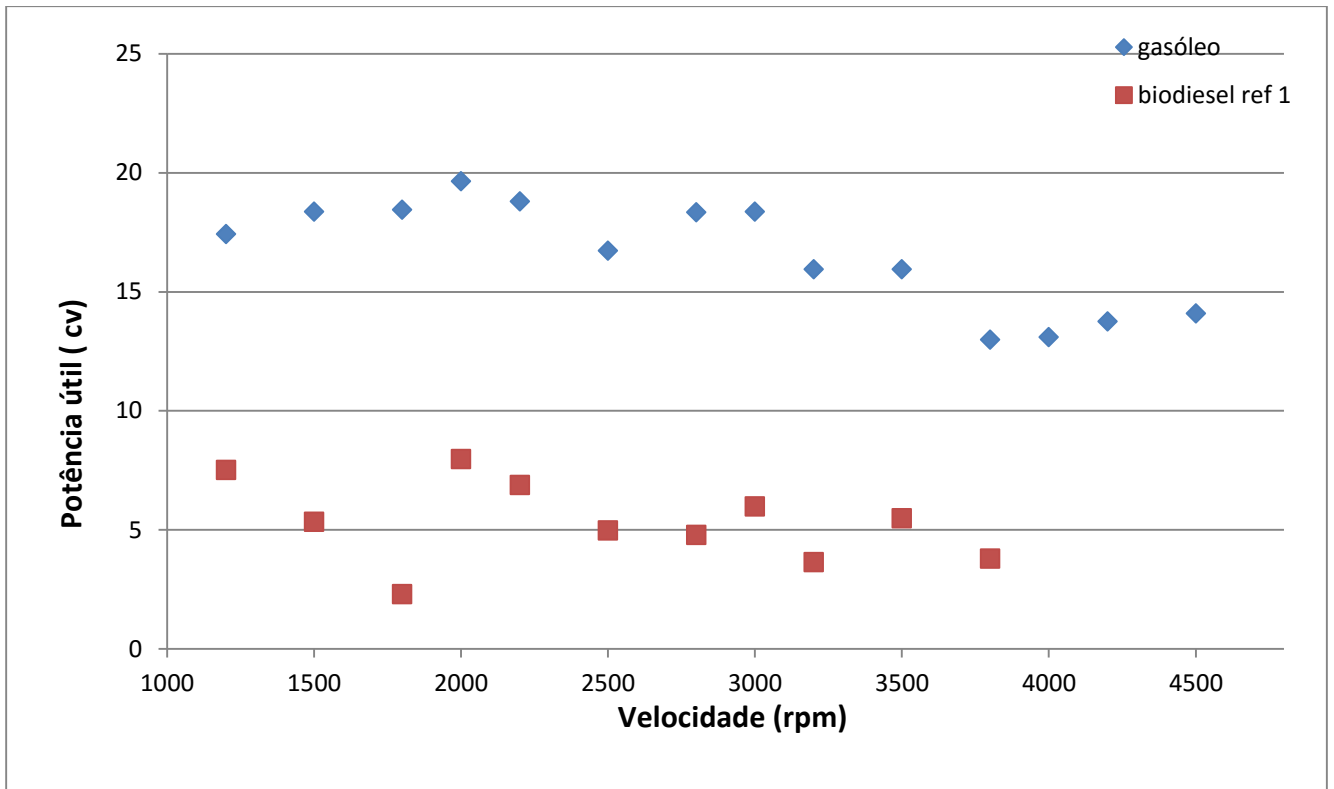




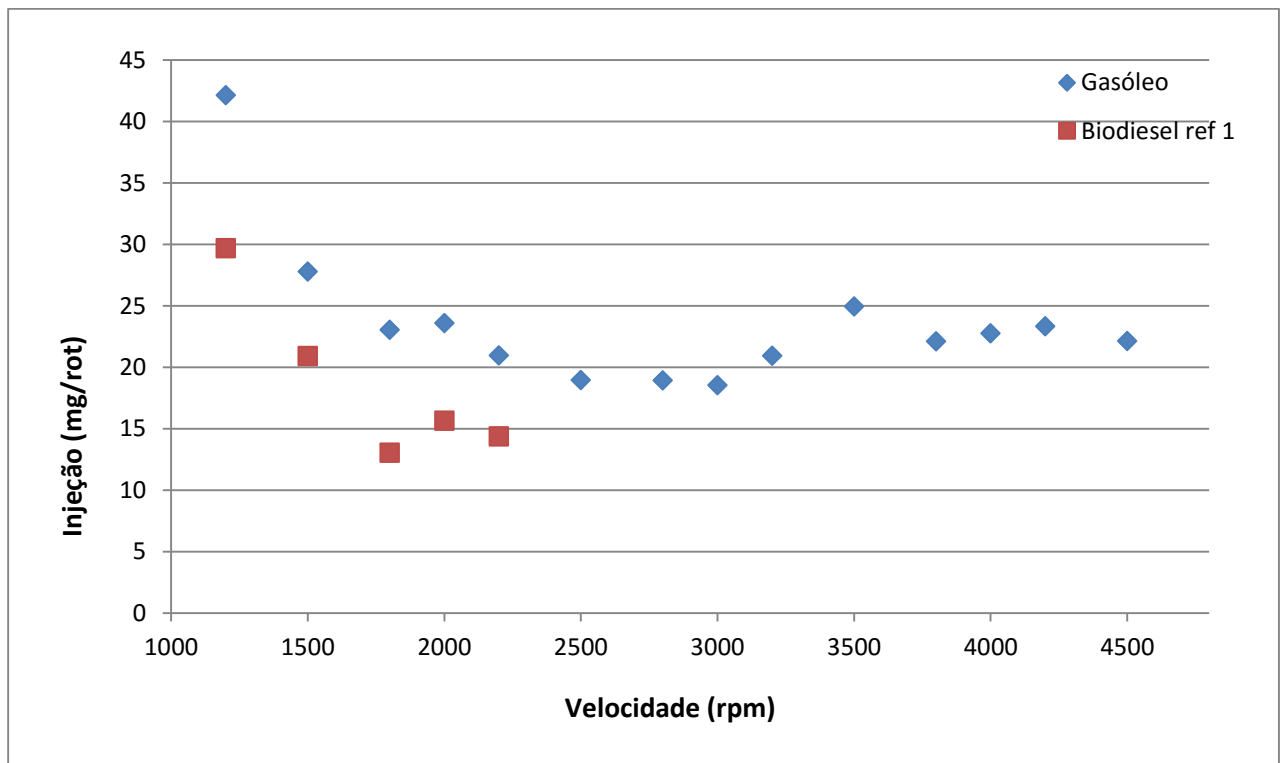
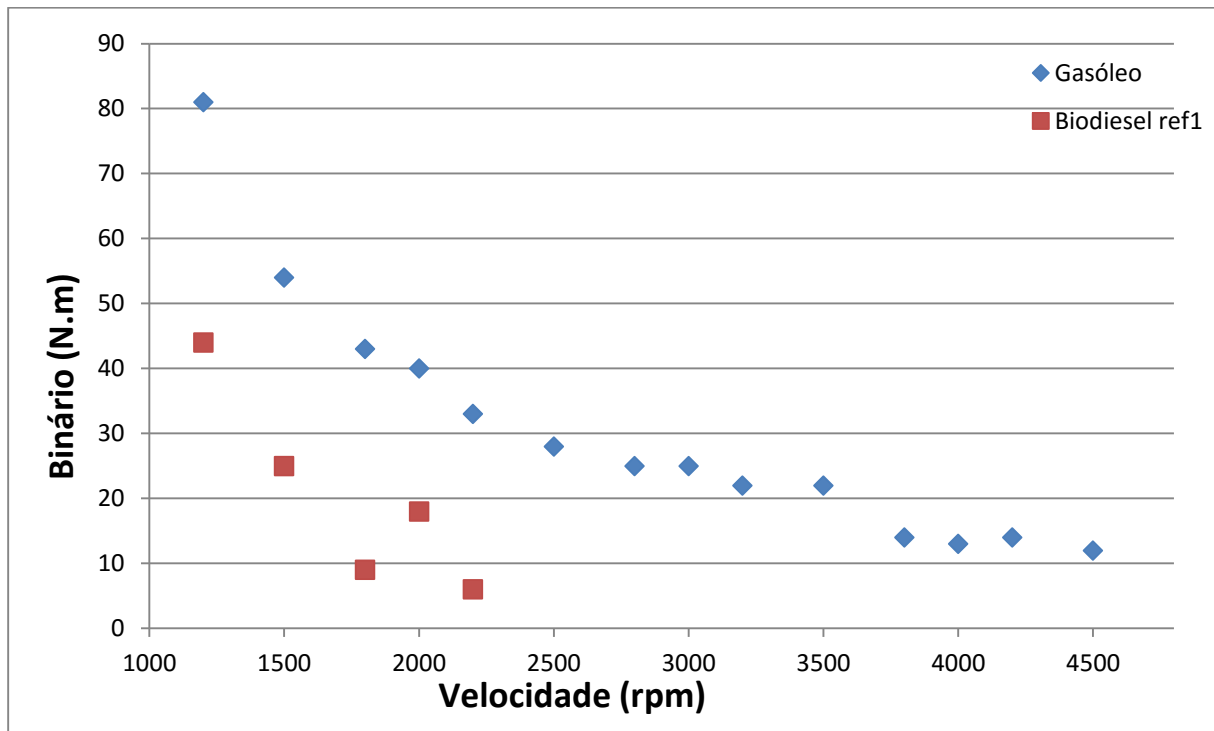
Gráficos de 20 de carga do acelerador

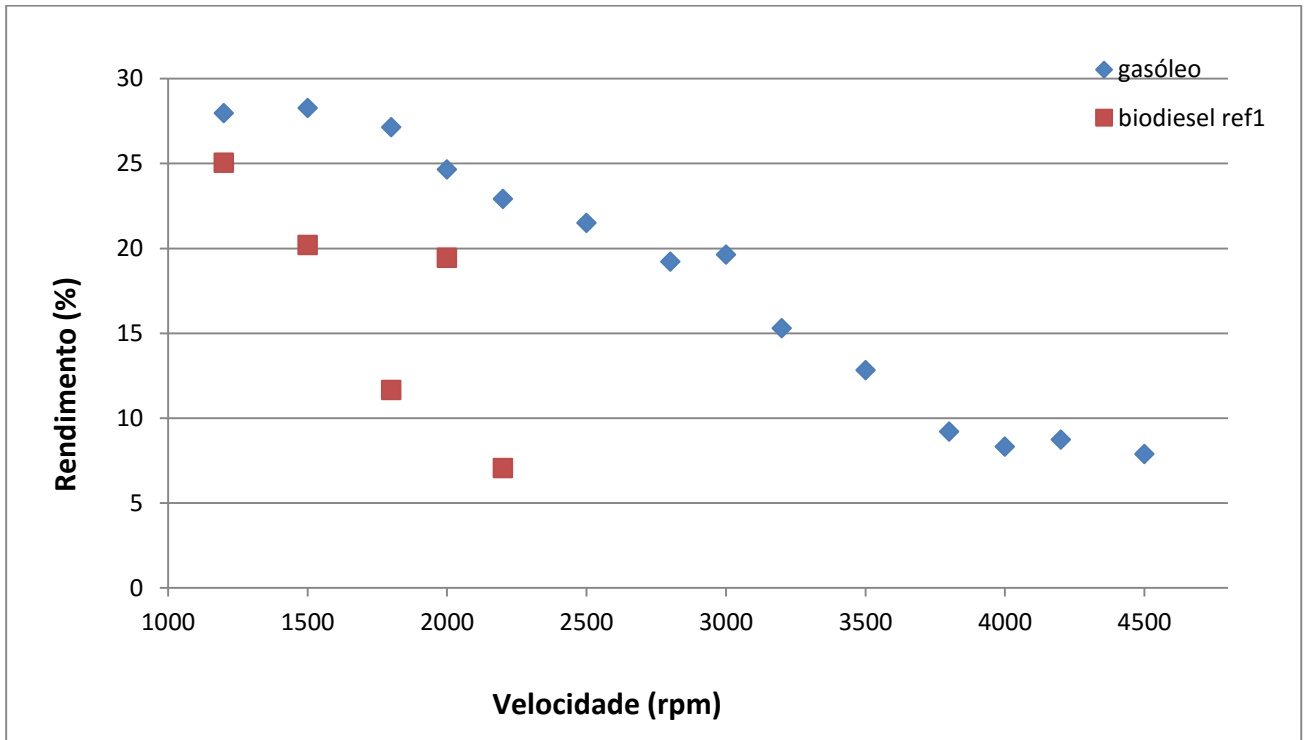
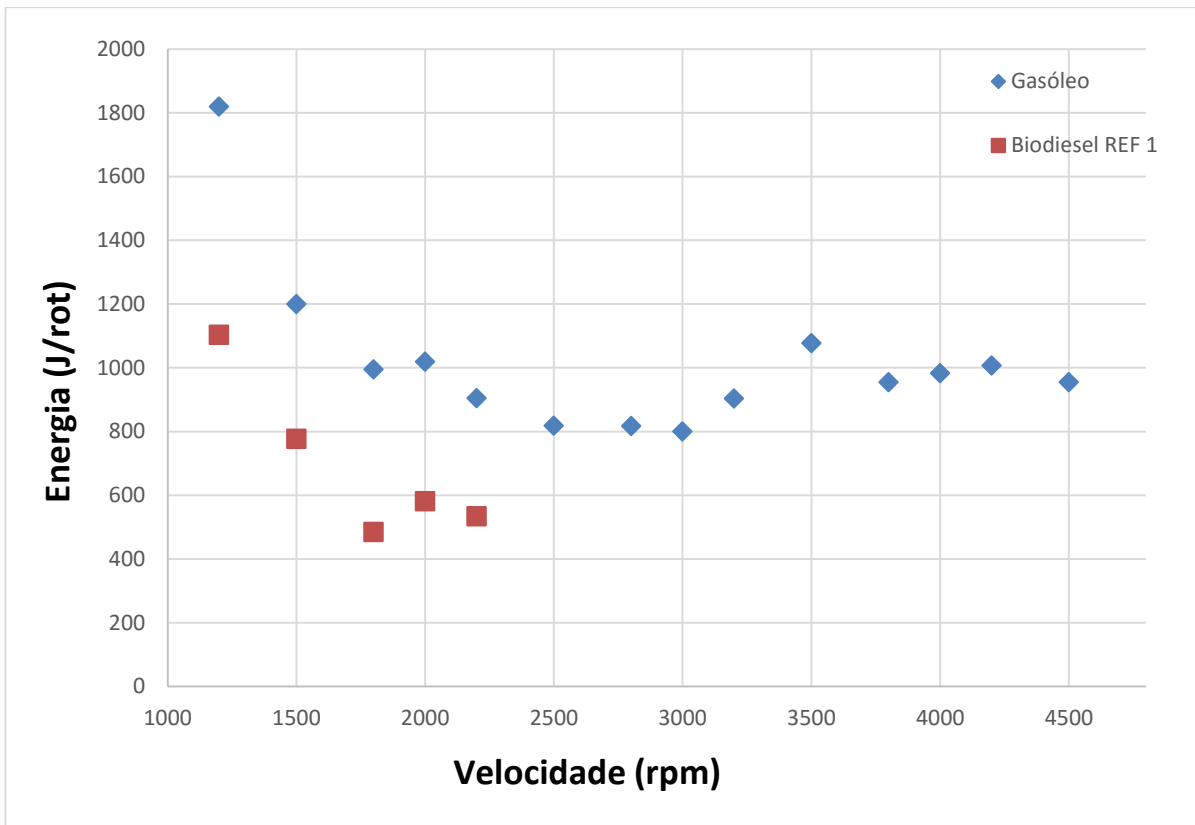


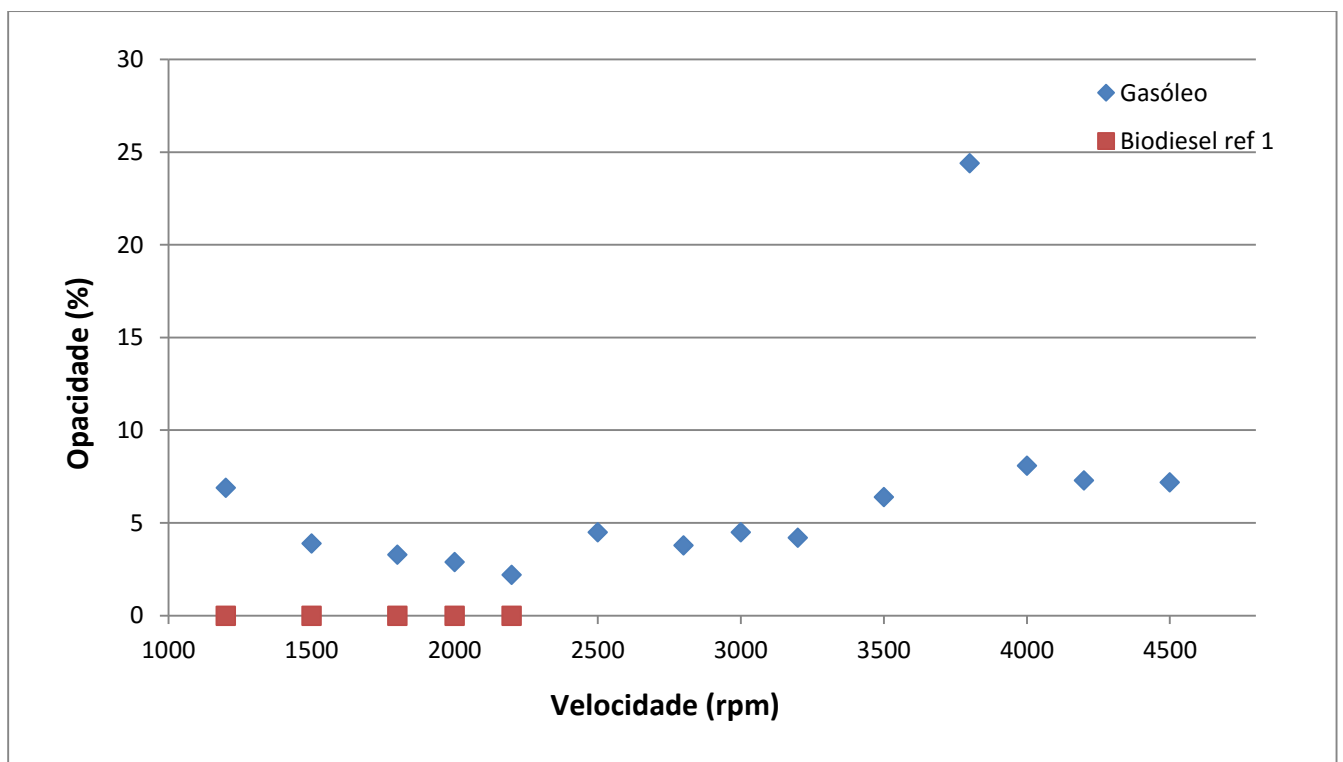
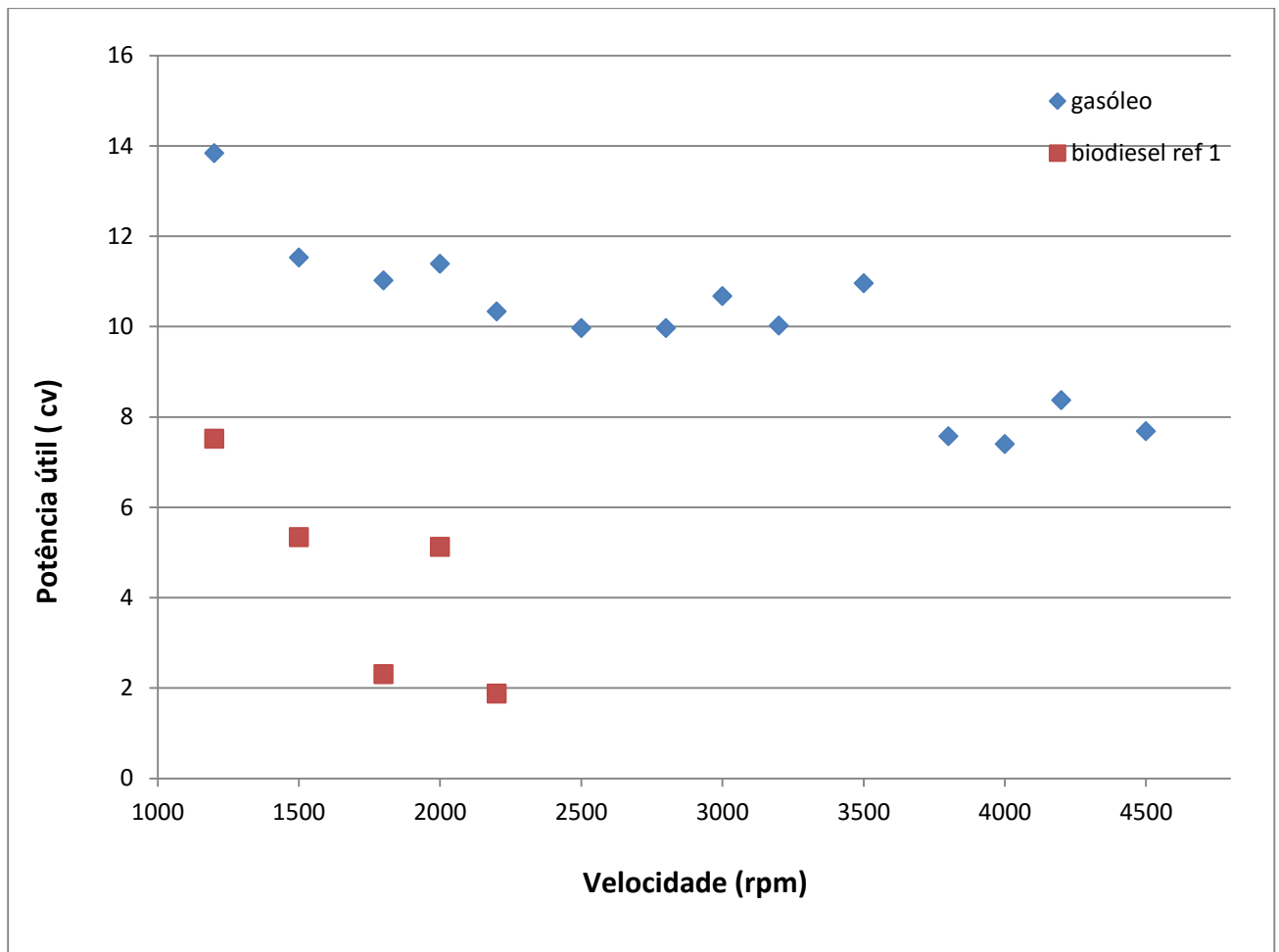




Gráficos de 15 de carga do acelerador







Gráficos de 10 de carga do acelerador

