



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Engenharia

**Adaptação de injeção eletrónica em motor  
alternativo de carburador**  
**Cálculo do consumo específico, binário e potência**

**Fábio Paulo Fernandes Teixeira**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Aeronáutica**  
(Ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof. Doutor Francisco Miguel Ribeiro Proença Brójo

Covilhã, Junho de 2014



# Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu Pai, Simão Paulo Brites Teixeira, pois sem o conhecimento, força e motivação transmitido por ele não seria possível a elaboração deste projeto.





# Agradecimentos

Aos meus pais, Simão Teixeira e Cremilda Teixeira, por me terem apoiado moralmente e financeiramente ao longo deste percurso académico e por toda a sabedoria transmitida.

À minha namorada, Carolina Neves, que me apoiou neste percurso.

Ao meu orientador, Professor Doutor Francisco Miguel Ribeiro Proença Brójo, pela sua disponibilidade, sugestões e supervisão deste projeto.

Ao Professor Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos, por ter permitido a minha participação na prova Shell Eco Marathon durante três épocas e por me ter transmitido valores éticos e profissionais.

Aos colegas da equipa UBICAR, André Oliveira, Serafim Pinto, Inês Carmo, João Amado, Carlos Proença, Dan Munteanu, Luís Fernandes, Jorge Gaspar, Emanuel Bastos e André Figueiredo pela camaradagem e espírito entre ajuda.

Ao Professor Doutor Paulo Manuel Oliveira Fael, pela sua disponibilidade, ajuda e amizade.

A todos aqueles que estiveram comigo ao longo destes anos e que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.



## Resumo

O presente trabalho teve como objetivo principal a substituição do carburador por injeção eletrónica num motor Honda Gx120, com a finalidade de diminuir o consumo específico do mesmo. Este motor equipou o veículo de baixo consumo da equipa responsável pelo projeto UBICAR, do Departamento de Engenharia Eletromecânica da Universidade da Beira Interior, que participou na prova *Shell Eco Marathon*.

Para a realização deste projeto foi necessário realizar alguns estudos a fim de perceber qual as melhores adaptações e componentes a utilizar no motor, obtendo o máximo rendimento possível. Posto isto, procedeu-se as alterações necessárias no motor para aplicação dos componentes essenciais ao funcionamento do mesmo.

Foi ainda elaborado um banco de ensaios mecânico a fim de testar o desempenho do motor já alterado, servindo este também para testar motores até 500cc.

Por fim realizaram-se testes na prova *Shell Eco Marathon* e no banco de ensaios onde se retiraram valores de potência, binário e consumo específico.

## Palavras-chave

Injeção eletrónica; binário; potência; consumo específico; UBICAR; *Shell Eco Marathon*.



# Abstract

In this study was modified a Honda GX120, moving from the traditional carburetor to an electronic injection, with the reduction of the specific consumption as objective. This engine powered the low consumption vehicle of the UBICAR project from the Department of Electromechanical Engineering, University of Beira Interior, which participated in the Shell Eco Marathon competition.

For this project it was necessary to collect information in order to understand the best adaptations and components to be used in the engine, getting the maximum performance. With the obtained knowledge, the engine changes were implemented and all the needed electronic components were integrated.

It was also designed and fabricated a test bench, needed to measure the engine performance and versatile enough to allow the test of the type of engine family till 500 cc.

Final tests were conducted during the Shell Eco Marathon race and at the test bench where values of power, torque and specific fuel consumption were withdrew.

# Keywords

Electronic injection; torque; power; specific consumption; UBICAR; Shell Eco Marathon.



# Índice

Capítulo 1 .....	1
Introdução .....	1
Motivação .....	2
Objetivos .....	3
Enquadramento do tema .....	4
Capítulo 2 .....	5
Estado da Arte.....	5
Revisão Bibliográfica .....	7
Estudos Relevantes .....	8
Conclusões .....	9
Capítulo 3 .....	10
Requisitos Conceptuais .....	10
Hipóteses.....	11
Requisitos do Motor .....	13
Capítulo 4 .....	14
Seleção do Motor .....	14
Fundamentos de Motores de Combustão Interna e a Injeção Eletrónica de Combustível ...	15
A Mecânica dos Motores .....	15
Visão geral sobre motores alternativos de combustão interna .....	15
Principais Componentes de um Motor a Combustão.....	15
Válvulas, guia das válvulas e sede das válvulas .....	19
Funcionamento De Um Motor De Combustão Interna De Quatro Tempos.....	19
Motor Alterado .....	22
Requisitos da Centralina.....	22
Componentes auxiliares .....	30
Afinações do Motor .....	33
Banco de Ensaios.....	35
Resultados .....	37
Calibrações .....	37
Curvas de Desempenho .....	39
Conclusões e Trabalhos Futuros.....	42
Bibliografia.....	43



# Lista de Figuras

Figura 1: Estado da arte da injeção eletrónica DI-Motronic da Bosch. (HARTMAN, 2003).....	5
Figura 2: Motor Honda GX120 de série. (HONDA MOTOR Co. Lda) .....	12
Figura 3: Potência máxima do motor Honda GX120 (HONDA MOTOR Co) .....	13
Figura 4: Binário máximo do motor Honda GX120 (HONDA MOTOR Co) .....	13
Figura 5: Corte de um motor de quatro cilindros de quatro tempos com ignição por faísca. (HEYWOOD, 1988) .....	16
Figura 6: Esquema de funcionamento de válvulas do tipo OHV [Ian Brockhoff, 2005] .....	19
Figura 7: Ciclo de um motor de quatro tempos (BEER, A.; CYPRA, A., 1999).....	20
Figura 8: Ciclo Otto para um motor de combustão interna (FERNANDEZ, 2006).....	21
Figura 9: Centralina usada no motor referido neste projeto .....	22
Figura 10: Exemplo de um Sensor MAP (WBO2, 2007) .....	23
Figura 11: Sensor MAP aplicado no projeto .....	23
Figura 12: Exemplo de um sensor de temperatura de óleo (Haltech, 1999) .....	24
Figura 13: Sensor de temperatura de óleo aplicado no projeto .....	24
Figura 14: Exemplo de um sensor de temperatura do ar (Haltech, 1999).....	25
Figura 15: Sensor de temperatura do ar aplicado no projeto .....	25
Figura 16: Exemplo de um sensor de posição do acelerador (Haltech, 1999).....	25
Figura 17: Sensor de posição do acelerador aplicado no projeto.....	26
Figura 18: Exemplo de um módulo de ignição (Haltech, 1999) .....	26
Figura 19: Módulo de ignição aplicado no projeto .....	27
Figura 20: Bobine de ignição aplicada no projeto.....	27
Figura 21: Sensor de efeito de Hall aplicado no projeto .....	28
Figura 22: Sensor de oxigénio aplicado no projeto .....	28
Figura 23: Exemplo de um injetor (Bosch Engineering Motorsport, 2005).....	29
Figura 24: Injetor aplicado no projeto .....	29
Figura 25: Motor de arranque elétrico e roda livre aplicados no projeto.....	30
Figura 26: Ignição por chave para banco de ensaios aplicada no projeto .....	30
Figura 27: Acelerador manual aplicado no projeto.....	31
Figura 28: Sensor de temperatura de gases de escape e mostrador aplicado no projeto .....	31
Figura 29: Exemplo de uma vela de irídio e ilustração do seu desempenho .....	32
Figura 30: Vela de irídio aplicada no projeto .....	32
Figura 31: Mapa de injeção inicial .....	33
Figura 32: Mapa de injeção final .....	34
Figura 33: Manómetro aplicado no banco de ensaios .....	35
Figura 34: Acionador do travão do banco de ensaios.....	36
Figura 35: Pinça de travão do banco de ensaios.....	36
Figura 36: Pinça e disco de travão do banco de ensaios .....	36



# Lista de Tabelas

Tabela 1: Especificações técnicas do motor Honda GX 120. (HONDA MOTOR Co. Lda) ..... 11



# Lista de Gráficos

Gráfico 1: Binário para Calibração do Banco de Ensaios.....	37
Gráfico 2: Injeção de Calibração do Injetor .....	38
Gráfico 3: Curva do Binário do Motor do Projeto .....	39
Gráfico 4: Curva de Potência em Função da Rotação .....	40
Gráfico 5: Curva do Consumo Específico em Função da Rotação .....	41



## Lista de Acrónimos

CAN	Controller Area Network
CPU	Unidade Central de Processamento
ECU	Engine Control Unit (centralina)
EGO	Exhaust Gas Oxygen
MAP	Manifold Absolute Pressure
OHC	Over Head Camshaft
OHV	Over Head Valve
UAV	Aeronave Não Tripulada
UAV-Drone	Aeronave Não Tripulado autónoma



# Capítulo 1

## Introdução

A injeção eletrónica foi inventada em 1912 por Robert Bosch e colocada em linha de produção nos Estados Unidos em 1957 pela Chevrolet, mais precisamente no Corvette. Apesar de oferecer mais desempenho e economia de combustível, foi posta de lado pelos fabricantes devido a fatores económicos e de credibilidade. Quando o governo americano começou a estabelecer limites na emissão de gases poluentes, os fabricantes de veículos começaram a olhar com mais atenção para a injeção eletrónica.

O mesmo se passou no ramo aeronáutico em que as emissões de gases poluentes também são preocupantes neste setor e como ainda existem aeronaves com motores de combustão interna houve necessidade de as modernizar e optar por injeção eletrónica. Não só este fator influenciou a atualização de sistemas de alimentação de combustível nos motores alternativos, mas também o facto de que em manobras mais acentuadas de aeronaves, o comportamento do carburador ficava comprometido. A injeção resolvia este problema, especialmente para os entusiastas dos aviões acrobáticos.

Nesta dissertação irão ser abordadas as vantagens e desvantagens da modificação de carburador para injeção eletrónica num motor alternativo de combustão interna para aplicação automóvel e aeronáutica, bem como todas as fases do projeto e conceção de todo este processo elaborado pelo autor.

O motor referido trata-se de um Honda GX120 a 4 tempos e foi testado em banco de ensaios elaborado exclusivamente para o mesmo e foi também testado no UrbanConcept Car da Universidade da Beira Interior (UBICAR) na competição Shell Eco-marathon em Roterdão, Holanda.

## Motivação

Este Projeto é de todo uma grande concretização dos sonhos de adolescência do autor. Os motores de combustão interna e toda a sua mecânica envolvente sempre foram a sua grande paixão e motivação para investigações e experiências. Desde pequeno que o seu contacto com a mecânica em geral é bastante ativo derivado da convivência com o seu Pai e Avô nas suas oficinas. Este fator levou o autor a motivar-se cada vez mais ao longo dos tempos que corriam e assim tentar perceber o porquê das coisas acontecerem, mais propriamente entender na totalidade o funcionamento dos motores e o porquê destes alterarem o seu rendimento com diversos ajustes e modificações.

O que levou ao arranque deste projeto foi um desafio lançado por parte de colegas e professores no âmbito do projeto da Shell Eco-Marathon. O objetivo seria ajudar o veículo a ter um motor o mais eficiente possível e por consequência alcançar o número máximo de quilómetros.

Contudo, este projeto também tem aplicabilidade no ramo aeronáutico, nomeadamente num UAV (Aeronave Não Tripulada), basta apenas dimensionar uma célula compatível com o referido motor.

## **Objetivos**

Este trabalho tem como objetivos melhorar o consumo específico do motor apresentado e apresentar vantagens e desvantagens da injeção eletrônica em relação ao carburador.

## Enquadramento do tema

Cada vez mais nos dias da atualidade, no ramo de engenharia, existe a preocupação com os custos associados aos gastos de combustível. Como se sabe, os preços dos combustíveis não são fixos e oscilam na maioria das vezes para níveis mais elevados. Com este problema em cima da mesa muitas são as soluções que vão surgindo no mercado e cada vez mais eficientes e inovadoras.

Pretende-se então com este trabalho poder contribuir para o facto supracitado, isto é, reduzir o consumo específico e com isto reduzir também as emissões associadas ao mesmo.

O motor envolvido neste projeto foi alterado para reduzir o consumo específico e consequentemente a emissão de gases poluentes. Foi também pensado a sua aplicação em UAV's visto que estes necessitam de percorrer o máximo de distância com o combustível disponível, para assim obterem sucesso nas missões de longa duração.

Com o crescimento de UAV's/drones no mercado, pensou-se também numa possível aplicação do motor deste projeto nos aparelhos referidos. Com vista sempre nos baixos consumos e maior endurance.

# Capítulo 2

## Estado da Arte

Atualmente o nível de desenvolvimento das injeções é muito grande, portanto várias soluções são estudadas e desenvolvidas ao redor do mundo. Será mostrado apenas um sistema de injeção eletrônica de combustível, que se destaca na atualidade. A Figura 1 a seguir mostra o sistema Bosch DI-Motronic.

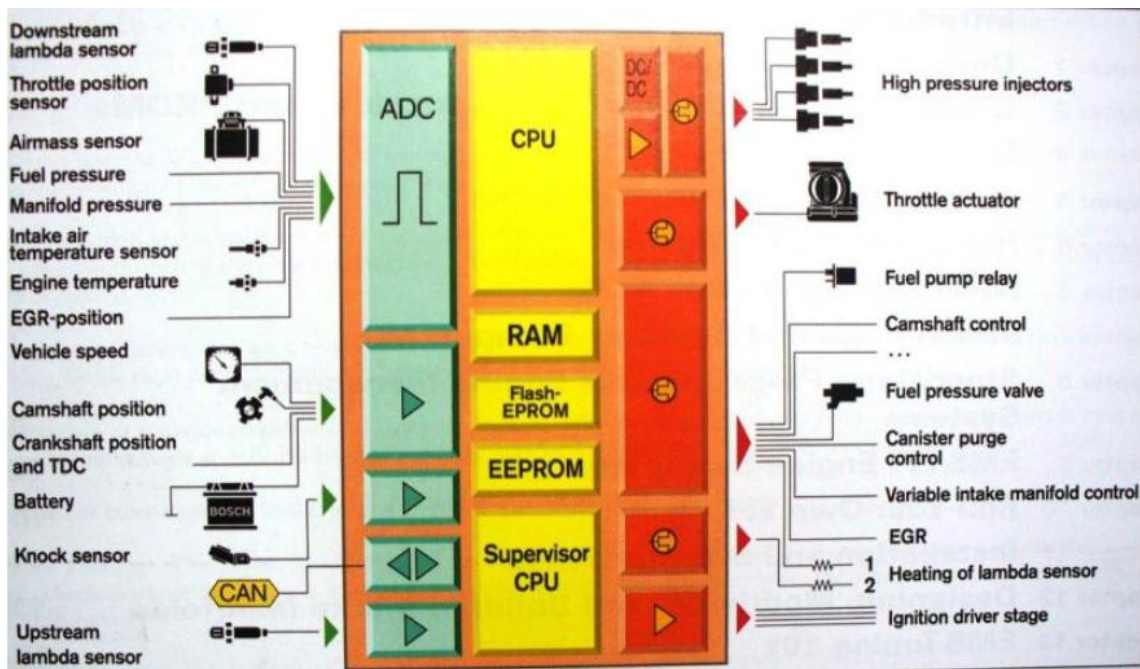


Figura 1: Estado da arte da injeção eletrônica DI-Motronic da Bosch. (HARTMAN, 2003)

Analisando a figura percebem-se os dispositivos que irão ser lidos à esquerda, a comunicação via CAN, e os dispositivos que irão ser atuados à direita. Por ordem na Figura 1, de cima para baixo e da esquerda para a direita, têm-se os sinais analógicos primeiro. Eles provêm da sonda lambda, do sensor de posição da borboleta, do sensor de massa de ar, do sensor de pressão de combustível, do sensor de pressão no coletor de admissão, do sensor de temperatura do ar do coletor de admissão, do sensor de temperatura do motor e da posição da válvula de recirculação dos gases de escape. Os sinais digitais provêm do velocímetro, do sensor de posição do comando das válvulas, do sensor de posição da cambota e da tensão da bateria. O sensor de detonação é um caso especial e necessita de um filtro para o seu sinal. No barramento CAN transitam as informações trocadas entre componentes do mesmo. Por fim a sonda de banda larga também possui um circuito específico para aquisição do seu sinal.

Do lado direito são mostrados os atuadores, que são os bicos injetores de alta pressão, o atuador da borboleta de controlo de ar do motor, o relé da bomba de combustível,

o controlo de um comando de válvulas variável, a válvula de alívio de pressão de combustível, a válvula de controlo do respiro do óleo, o atuador do coletor de admissão variável, a válvula de recirculação dos gases de escape, o aquecimento das sondas lambda e os acionamento das bobines individuais de ignição.

O sistema por si só mostra que comanda por completo um motor, mesmo o mais moderno, bem como demonstra a quantidade de variáveis a serem calculadas pelo CPU, entre outros aspetos.

## Revisão Bibliográfica

O sistema de injeção eletrônica de combustível e o seu funcionamento básico resumido:

A partir de bicos injetores, que são válvulas eletromagnéticas, o combustível flui na forma de spray e mistura-se no ar admitido pelo motor. O controlo dessas válvulas por uma CPU, bem como a leitura de diversos sensores que informam as condições de uso do motor e o seu controlo, são os pontos principais de uma injeção eletrônica.

Assim, a partir de um microcontrolador, todas as medidas são analisadas e todas as decisões são tomadas quanto à quantidade de combustível a ser injetada, bem como o seu tempo, sem deixar de mencionar o tempo de dar a faísca. O desenvolvimento dos módulos proporciona cada vez mais funcionalidades extras a uma injeção eletrônica atual, porém a sua função básica é controlar eletronicamente o processo de combustão dentro de um motor. (Andreoli, A. 2009)

## Estudos Relevantes

Foi desenvolvido pelo ex-aluno de Engenharia Eletromecânica da Universidade da Beira Interior Francisco Navio, o tema “Previsão do desempenho de motores alternativos com ignição por faísca”.

Foi elaborado por ele uma dissertação em torno deste tema que consistiu no estudo do desempenho de três motores de pequena cilindrada de forma a verificar se o motor Honda GX120, que equipou o veículo de baixo consumo da equipa UBICAR, do Departamento de Engenharia Eletromecânica da Universidade da Beira Interior, que participou na prova Shell Eco Marathon. (Navio F., 2011).

O projeto supracitado consistiu também em determinar como seria o desempenho do motor se o seu ciclo termodinâmico fosse modificado, convertendo o ciclo de Otto num ciclo de Miller, conseguido através da modificação da árvore de cames existente no motor. (Navio F.,2011)

O autor do projeto concluiu que a modificação iria revelar um desempenho pior do que o motor original.

## Conclusões

No trabalho referido (dissertação do Francisco Navio), concluiu-se que não era vantajoso a alteração da árvore de cames para alterar o ciclo termodinâmico do motor. O motor referido nesse trabalho é o mesmo que se irá abordar neste projeto, isto é, o Honda GX120. Como não se conseguiu até agora retirar mais potencial deste motor, espera-se com este projeto de adaptação de injeção eletrônica, trazer vantagens para o rendimento do motor e por consequência para uma melhor marca do UBIAN 14.

# Capítulo 3

## Requisitos Conceptuais

Neste capítulo irão ser abordadas as hipóteses e os requisitos do motor. Tudo isto consistirá numa avaliação do motor disponível em relação às suas características para os fins pretendidos.

## Hipóteses

Para este Projeto escolheu-se o motor Honda GX120 de 4 CV, cujas especificações técnicas de origem apresentam-se na Tabela 1:

Tabela 1: Especificações técnicas do motor Honda GX 120. (HONDA MOTOR Co. Lda)

<b>Características</b>	4 Tempos, OHV, monocilíndrico
<b>Potência máxima/rotação (CV/rpm)</b>	4,0 / 3600
<b>Potência líquida/rotação (CV/rpm)</b>	3,5 / 3600
<b>Cilindrada (cm<sup>3</sup>)</b>	118
<b>Diâmetro x curso (milímetros)</b>	60 x 42
<b>Binário máximo eixo PTO (Kgf.m/rpm)</b>	0,75 / 2500
<b>Binário líquido eixo PTO (Kgf.m/rpm)</b>	0,74 / 2500
<b>Taxa de compressão</b>	8,5:1
<b>Sistema de partida</b>	Manual (retrátil)
<b>Sistema de ignição</b>	Magneto transistorizado
<b>Combustível recomendado</b>	Gasolina comum
<b>Capacidade do tanque de combustível (litros)</b>	2,5
<b>Sistema de arrefecimento</b>	Ar forçado
<b>Sistema de lubrificação</b>	Por salpico
<b>Capacidade de óleo do cárter (litros)</b>	0,6
<b>Alerta de óleo</b>	Não
<b>Dimensões C x L x A (milímetros)</b>	305 x 341 x 318
<b>Peso seco (quilogramas)</b>	13,2
<b>Ponta de eixo</b>	Paralela 3/4"
<b>Embreagem/Redução</b>	Não

Segundo o fabricante, Honda Motor Co. Lda, este motor tem uma grande durabilidade, resistência, elevada eficiência e economia de combustível. Esta última característica deve-se também ao facto de este motor ser a 4 tempos. O fabricante frisa também que o Honda GX 120 tem uma grande facilidade de iniciar a marcha a qualquer temperatura interna e externa.



Figura 2: Motor Honda GX120 de série. (HONDA MOTOR Co. Lda)

## Requisitos do Motor

O motor Honda GX120 de série apresenta as seguintes curvas de potência e binário:

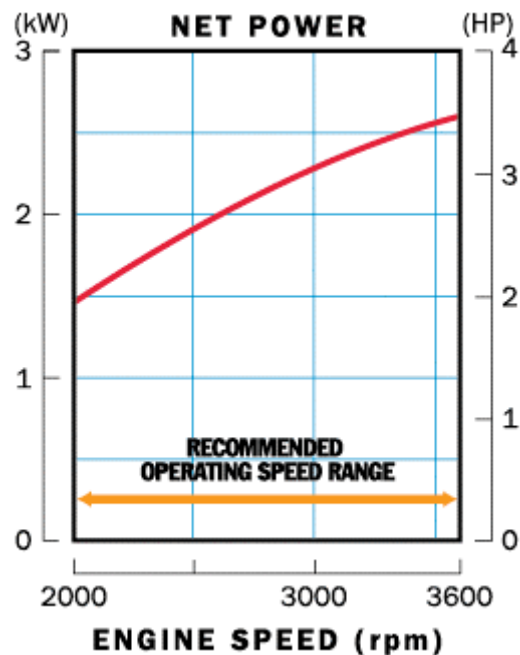


Figura 3: Potência máxima do motor Honda GX120 (HONDA MOTOR Co)

Na Figura 3 temos representado a potência máxima (eixo vertical) em função da velocidade de rotação do motor (eixo horizontal). Podemos constatar que a potência máxima deste motor é atingida às 3600 rpm e o seu valor é de 4 Cv.

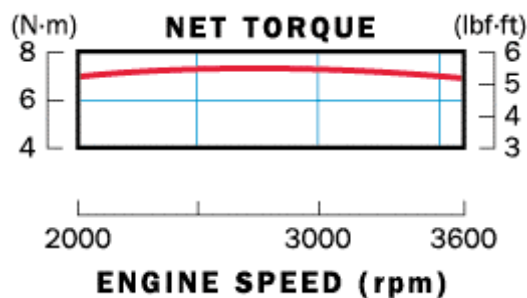


Figura 4: Binário máximo do motor Honda GX120 (HONDA MOTOR Co)

Na Figura 4 temos representado o torque máximo (eixo vertical) em função da velocidade de rotação do motor (eixo horizontal). Podemos constatar que o binário máximo deste motor é atingido por volta das 2500 rpm e o seu valor é de 7,4 N.m, aproximadamente.

# Capítulo 4

## Seleção do Motor

Neste capítulo irá ser abordado o funcionamento de um motor tradicional, bem como os seus componentes essenciais ao funcionamento do mesmo. Isto será essencial para se entender as escolhas feitas relativas ao motor abordado.

Torna-se de grande importância salientar também que o motor selecionado foi o Honda GX120 devido à necessidade de comparação com épocas anteriores da Shell Eco-Marathon, ou seja, nas últimas edições desta prova usou-se o motor supracitado conforme veio de fábrica. Relevante será perceber o melhoramento que a injeção eletrônica pode trazer, visto que os atritos de rolamentos e peso do veículo são muito idênticos.

# Fundamentos de Motores de Combustão Interna e a Injeção Eletrônica de Combustível

## A Mecânica dos Motores

A fundamentação teórica necessária para o entendimento completo do papel de uma injeção eletrônica de combustível num motor de um automóvel começa pelo entendimento da mecânica e dinâmica dos motores, que deve ser explicada desde o básico até aos assuntos específicos do trabalho. Para isso, este capítulo foi subdividido em subcapítulos contendo as diversas informações relevantes de forma mais organizada.

## Visão geral sobre motores alternativos de combustão interna

Segundo Heywood (1988), o propósito dos motores de combustão interna é a produção de trabalho a partir da energia química que o combustível tem. Ao contrário de motores de combustão externa, nos motores de combustão interna esta energia é gerada por queima ou oxidação do combustível, dentro do motor. Em ambas a mistura ar-combustível antes da combustão quanto aos resíduos da queima são fluidos que realizam o trabalho. A saída de potência desejada virá das transferências de trabalho envolvidas provenientes diretamente destes fluidos e dos componentes mecânicos do motor.

## Principais Componentes de um Motor a Combustão

Os componentes principais podem ser ditos como: pistão, biela, cambota, bloco do motor e cárter, árvore de cames e válvulas.

A Figura 5 é um desenho de um motor de combustão interna por ignição de faísca de quatro cilindros, consegue-se observar melhor as partes que em geral compõem um motor deste tipo, bem como dar uma ideia geral de como é um motor num todo.

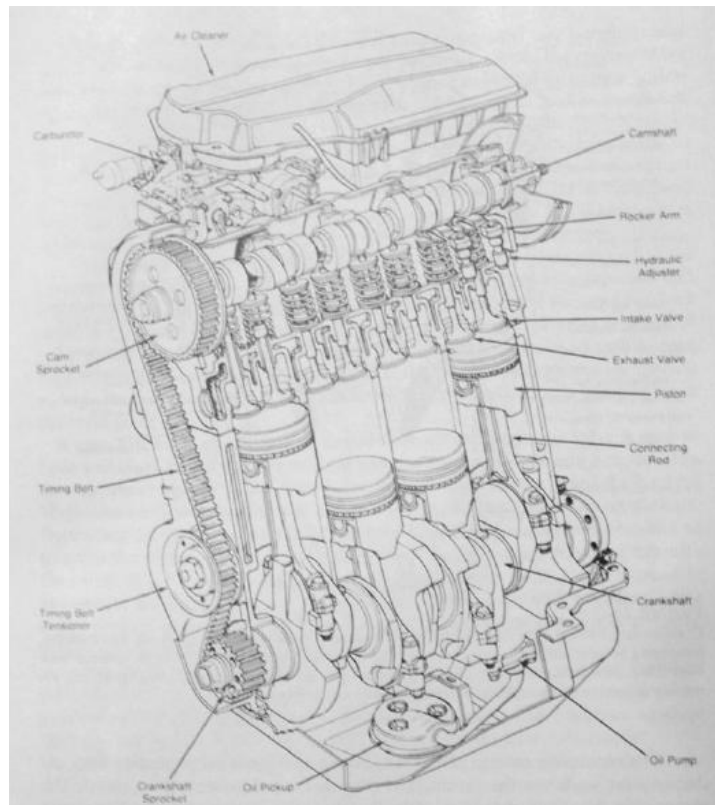


Figura 5: Corte de um motor de quatro cilindros de quatro tempos com ignição por faísca. (HEYWOOD, 1988)

## O Pistão

É uma peça de metal no formato de uma espécie de copo cilíndrico, que desliza dentro dos cilindros ao longo dos ciclos do motor, preso à biela por meio de uma cavilha também de metal e apoiado no cilindro por meio de anéis (segmentos) embutidos em fendas ao longo da circunferência do pistão. Os anéis ou segmentos possuem função de apoio, transferência de calor, vedação, lubrificação, entre outras.

Os pistões são feitos, conforme Heywood (1988), de alumínio em pequenos motores ou ferro fundido em grandes motores de baixa rotação.

De acordo com Bosch (2005), os pistões dos motores atuais de veículos motorizados devem desempenhar as seguintes funções:

- Transmitem a força gerada pelo gás da combustão às bielas;
- São usados como prolongamentos que definem o percurso das bielas dentro dos cilindros;
- São responsáveis por apoiar a força normal aplicada contra as paredes do cilindro em questão, enquanto a pressão do mesmo é transportada para a barra de ligação;

- Juntamente com os elementos de vedação (como os segmentos), isolam a câmara de combustão da cambota;
- Também absorvem calor para posteriormente transferir ao sistema de arrefecimento do motor;

## **A Biela**

De acordo com Bosch (2005), a biela é o elemento de junção, conexão, entre o pistão e a cambota, sofrendo esforços de compressão e tração e de flexão, suportando a cavilha do pistão numa extremidade e, na outra, rolamentos ou mancais da cambota. O seu comprimento é determinado pela geometria do pistão e raio do contrapeso.

## **A Cambota**

A cambota é sem dúvida um elemento complexo quando se trata do projeto de um motor, pois é ela quem faz a transferência de potência originada da combustão para qualquer peça que nela estiver ligada como, por exemplo, uma caixa de velocidades e, por final, as rodas de um veículo motorizado. Portanto deve ser resistente a vibrações, impactos, flexões, etc, de diversas ordens de grandeza e de frequência, entre outros aspetos construtivos desejados.

De acordo com Bosch (2005), a cambota, deve desempenhar a função de converter o movimento alternado dos pistões, transmitido pelas bielas, em movimento rotativo e disponibilizar o binário efetivo na extremidade da cambota. Portanto as forças que agem na cambota são caracterizadas por periodicidades altamente variáveis, variando também muito com a localização. Os binários e momentos de flexão, bem como as vibrações secundárias geradas por eles, representam fatores de tensão intensos e altamente complexos para a cambota, resultando em propriedades estruturais e padrões de resposta de vibrações obtidos por cálculos precisos e dimensões rigorosamente definidas. Ainda para aumentar a complexidade do cálculo e dimensionamento, existe necessidade de instalação de múltiplos mancais radiais de apoio como precaução, esses com número determinado primariamente pelo fator de carga global e pela rotação máxima do motor. Os fatores de carga e de tensão são considerados também quando da seleção de materiais e processos de fabrico, sendo forjadas as cambotas que são submetidas a altas tensões, ao contrário das fundidas, essas cada vez mais utilizadas em motores menores e com menores tensões, aproveitando a vantagem do menor massa e menor custo.

## **O Bloco do Motor e o Cárter**

O bloco do motor é chamado assim justamente por ser um bloco de metal maquinado no qual são montadas as outras diversas partes do motor, como o cárter, que é um depósito

que fecha e veda a parte inferior do motor, sendo utilizado como escoador do óleo utilizado pelo motor e, na maioria das vezes, como o seu próprio reservatório.

Segundo Bosch (2005), o bloco, juntamente com o cárter, suporta o efeito de transferência de força entre a cabeça do cilindro e o conjunto da cambota, apoiando os mancais de suporte do conjunto da cambota e incorporando as paredes dos cilindros. Incluem-se aqui também a camisa de água e as câmaras de óleo vedadas. O bloco também é a superfície de montagem e suporte para a maior parte das unidades auxiliares do motor. O bloco fundido e a cambota constituem a configuração padrão para as aplicações automóvel. Os parafusos da cabeça do cilindro desempenham o importante papel de oposição das forças de gás para facilitar uma transferência de força com linearidade máxima e tendência mínima de flexão, através das paredes de suporte e para os mancais principais. Para se obter uma maior resistência, o cárter é geralmente prolongado abaixo da cambota. Blocos de ferro fundido cinza ainda muito utilizados em caminhões estão a ser substituídos nos automóveis gradualmente pelo alumínio, que é mais leve e, portanto, proporciona uma redução de peso no veículo com ele equipado, bem como uma maior dissipação térmica.

## **A Árvore de Cames**

Trata-se de um conjunto de mecanismos, ou conjunto válvula-engrenagem, que num motor de quatro tempos permite acionar as válvulas e com isso controlar a troca de gases dentro do mesmo, existindo diversas configurações. A mais configuração mais comum é a que possui um eixo de cames, o comando de válvulas ou popularmente chamado apenas de comando, as válvulas, as molas de válvula e os seus fixadores, e um conjunto de touches que acionam as válvulas através do contato com os ressaltos do comando. Neste caso, a válvula tem a sua abertura determinada, portanto, pelo formato dos cames desse eixo rotativo chamado de comando. Em poucas palavras, um ressalto tem o perfil físico da abertura mecânica das válvulas de um motor, controlando diretamente a quantidade de mistura ar/combustível que pode entrar e a quantidade de gases de escape que pode sair, tudo isto dinamicamente, ou seja, variando no tempo e na frequência, conforme as condições de contorno em que se encontra o motor.

## **O Comando de Válvulas**

É uma parte importante e complexa de um motor de combustão interna de quatro tempos, e, sem dúvida, uma das peças que exige maior estudo e testes para obtenção do resultado esperado: o comportamento dinâmico do motor.

Segundo Bosch (2005), Algumas disposições do comando de válvulas são amplamente utilizadas, como nas quais o eixo de comando de válvula localiza-se na cabeça do cilindro.

No motor Honda GX120 é utilizado o sistema OHV (Over Head Valve) que consiste num comando de válvulas onde o controlo se dá por varetas ligadas no bloco do motor.

O acionamento das válvulas dá-se com o uso de varetas ou por touches hidráulicos e balanceiros, ou seja, é um acionamento de válvulas indireto. Este sistema apresenta algumas deficiências em comparação com o sistema OHC (Over Head Camshaft), como maiores perdas mecânicas e menor resistência a altos regimes de rotação. O sistema de acionamento OHC consiste num acionamento por uma corrente que liga a árvore de comando central (cambota) ao eixo de comando de válvulas, por esta ligação de corrente há maior durabilidade e melhor desempenho. Por estes e outros motivos o sistema OHV está a cair em desuso. Entretanto ainda resiste em motores de projeto mais antigo, que é o caso do motor abordado neste trabalho [HowStuffWorks "Camshaft Configurations, 2000].

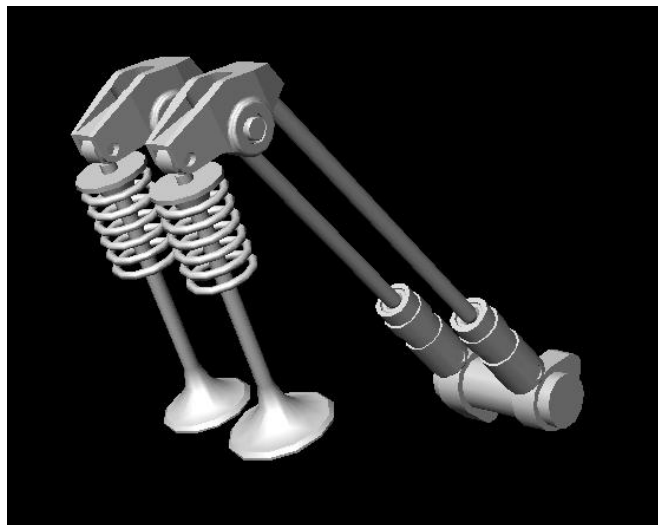


Figura 6: Esquema de funcionamento de válvulas do tipo OHV [Ian Brockhoff, 2005]

## Válvulas, guia das válvulas e sede das válvulas

As válvulas são hastes na forma parecida com um cálice, de modo que as suas bordas são em formato de circunferência e vedam a passagem tanto da mistura ar/combustível para dentro do motor como a saída de gases pelo escape, denominando-se válvulas de admissão e escape, respectivamente. As guias de válvula são cilindros, ou orifícios cilíndricos, pelos quais passam as hastes das válvulas, enquanto que os assentos de válvula são a parte do cabeçote, ou bloco em alguns casos, que é responsável por dar assentamento às válvulas, ou seja, vedá-las quando estas estiverem fechadas. A sede é a região de encosto da válvula, porém é por ali, entre ela e a válvula, que entra a mistura ou saem os gases de escape, quando da abertura da válvula de admissão ou de escape respectivamente. [Bosch, 2005]

## Funcionamento De Um Motor De Combustão Interna De Quatro Tempos

O motor de combustão interna de quatro tempos, ou o mais conhecido motor de combustão por faísca é um gerador de potência de combustão interna que se baseia numa faísca de ignição induzida externamente para iniciar a ignição da mistura ar-gasolina. Os

motores de quatro tempos de hoje baseiam-se num coletor de admissão para misturar combustíveis com ar antes de introduzir a mistura na câmara de combustão durante o ciclo de admissão. O nome motor de combustão interna de quatro tempos vem da distinção das quatro fases de combustão, que suprem energia cinética à cambota.

Os quatro ciclos envolvem primeiramente a fase de admissão, em segundo a fase de compressão e ignição, em terceiro a fase de combustão, e finalmente a fase de exaustão. A fase de admissão envolve uma válvula de admissão aberta, uma válvula de escape fechada, e a fase do pistão para se movimentar para baixo. À medida que o pistão se move para baixo, ele aumenta o volume efetivo dos cilindros. Assim criando um efeito de vácuo, o que aspira a mistura ar-gasolina através de uma válvula de admissão aberta. A fase de compressão enxerga ambas as válvulas de admissão e de escape fechadas, e o pistão move-se para cima. O movimento do pistão para cima, combinado com o fecho das válvulas diminui o volume do cilindro, portanto comprime a mistura ao longo da câmara de compressão. A fase de potência compreende uma válvula de escape e de admissão fechadas, forçando o pistão para baixo devido à rápida expansão dos gases quentes produzidos após a ignição da mistura ar-combustível comprimida. Finalmente, a fase de escape com uma válvula de admissão fechada, uma válvula de escape aberta, e o pistão movendo-se para cima expelle os gases quentes da câmara de combustão. A fase inteira então segue a repetir-se com uma nova fase de admissão.

A Figura 7 mostra visualmente as quatro fases completas de combustão, e é visto como um ciclo e leva 720 graus para ser completado, o que é equivalente a duas voltas na cambota. (BEER, A.; CYPRA, A., 1999)

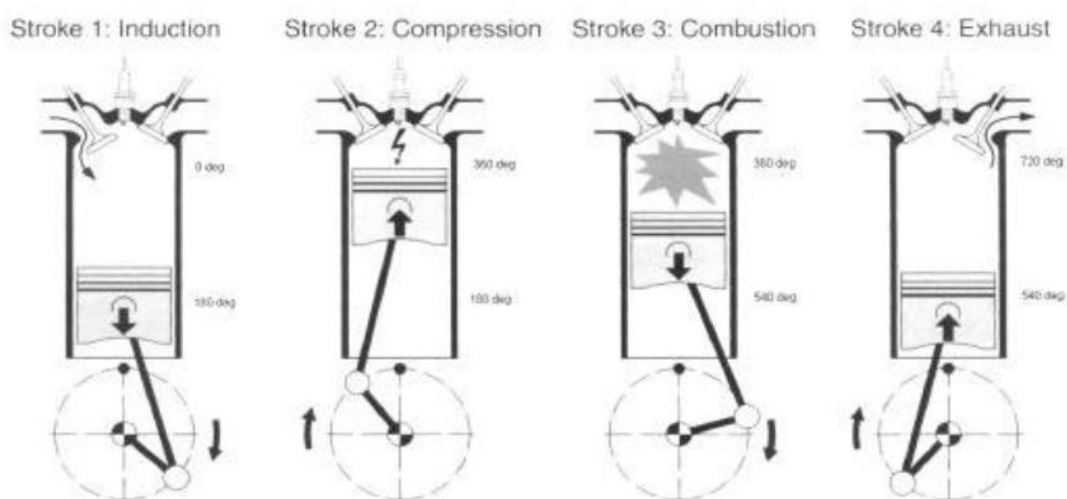


Figura 7: Ciclo de um motor de quatro tempos (BEER, A.; CYPRA, A., 1999)

Segundo ele, se uma quantidade fixa de ar ou algum outro gás for confinada em um recipiente fechado e depois aquecida, a pressão dentro do mesmo, que é maior que a externa, subirá a tal ponto que, se alguma das paredes for móvel, empurrará a parte móvel com um certo montante de força proporcional ao calor entregue ao gás confinado.

Ainda segundo Aird (2001), aquele ambiente é o princípio de funcionamento de todos os motores de combustão interna, em que cada cilindro é o recipiente fechado, a parte móvel é representada por um pistão, o calor é gerado pela queima de um combustível e o gás confinado é um resíduo gasoso da queima. Enquanto isso, as outras partes móveis de um motor, como a cambota, ou árvore de cames, e as bielas converte o movimento rectilíneo dos pistões em movimento circular ou rotativo e quando retornam ao topo do ciclo, deixam os recipientes com os seus tamanhos originais. A parte de cima do motor, como válvulas, comando de válvulas, e demais componentes, simplesmente providenciam o esvaziamento dos gases residuais da combustão, bem como o reenchimento dos cilindros com uma mistura nova, pronto para ser queimada.

Já a Figura 8 a seguir, mostra resumidamente a termodinâmica envolvida nas diversas partes do ciclo de um motor de combustão interna:

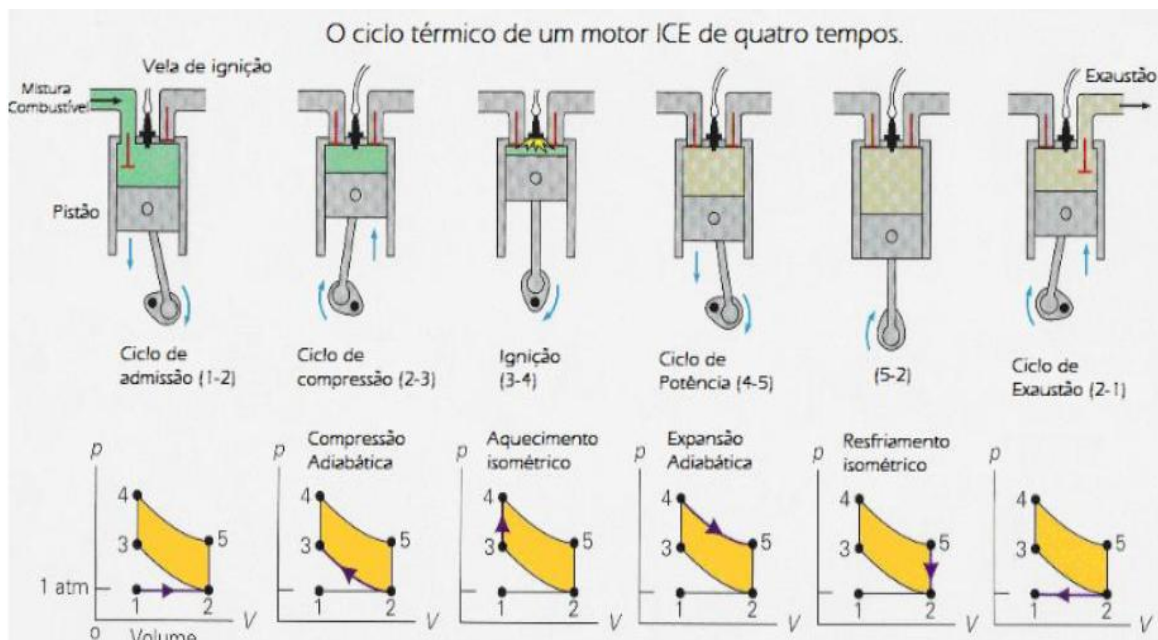


Figura 8: Ciclo Otto para um motor de combustão interna (FERNANDEZ, 2006)

## Motor Alterado

Neste subcapítulo irá abordar-se todas as alterações, feitas no motor supracitado, detalhadamente.

## Requisitos da Centralina

A Centralina ou ECU (Engine Control Unit) disponibilizada pelo departamento foi a HALTECH E6H que se apresenta na Figura 9. Esta unidade de controlo é restrita no que diz respeito a componentes periféricos quer para aquisição de dados, quer para executar ordens.

Nos parágrafos a seguir irá mencionar-se os componentes utilizados no motor e compatíveis com a Centralina referida.



Figura 9: Centralina usada no motor referido neste projeto

## Sensor de Pressão Absoluta no Coletor

O sensor de pressão absoluta no coletor ou Sensor MAP (Manifold Absolute Pressure) tem como função medir a pressão do ar no coletor de admissão, isto é, este sensor envia dados para que a Centralina mapeie o sistema de injeção, verificando o “vácuo” no coletor de admissão. Com esta leitura do sensor MAP, a Centralina calcula o avanço do ponto de ignição e a quantidade de combustível a ser injetada.

Existem sensores com diferentes pressões devido à existência de motores normalmente aspirados e sobrealimentados. Neste caso usou-se o sensor de 1 BAR.

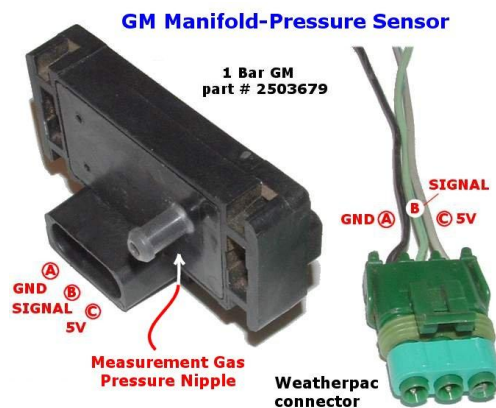


Figura 10: Exemplo de um Sensor MAP (WBO2, 2007)

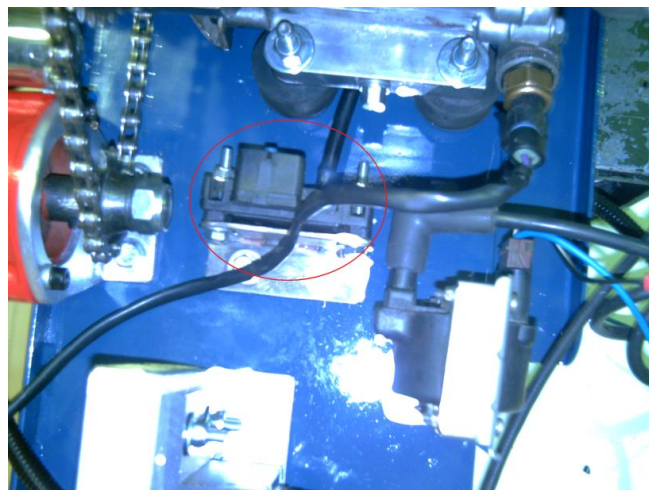


Figura 11: Sensor MAP aplicado no projeto

## Sensor de Temperatura do Óleo

Este sensor, como o próprio nome indica, serve para medir a temperatura do óleo do cárter do motor e por consequência consegue-se qual a viscosidade do óleo em diferentes temperaturas do motor.

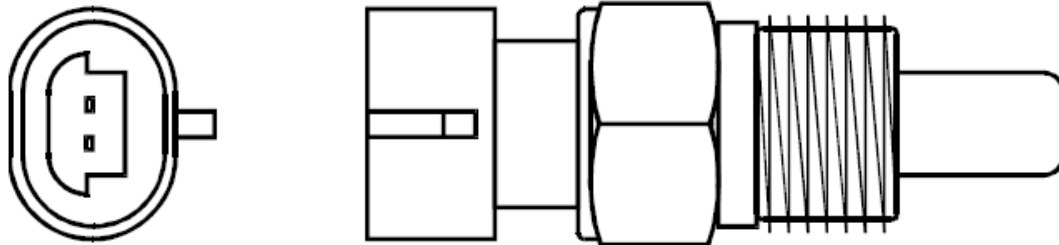


Figura 12: Exemplo de um sensor de temperatura de óleo (Haltech, 1999)

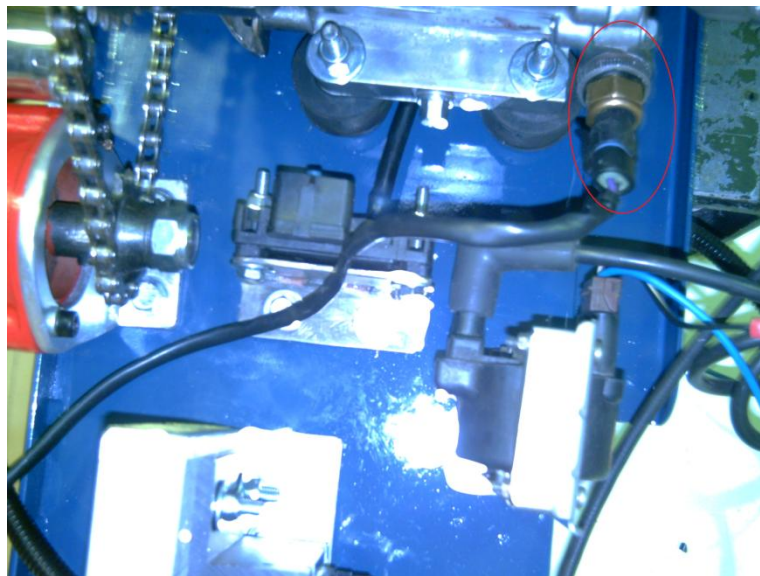


Figura 13: Sensor de temperatura de óleo aplicado no projeto

## Sensor de Temperatura do Ar de Entrada no Coletor

Este sensor é usado para compensar as mudanças de densidade do ar em função da temperatura. O ar frio é mais denso do que o quente e portanto requer um volume melhor de combustível para manter a razão ar/combustível. A partir desta aquisição de dados a Centralina consegue solucionar estas alterações.

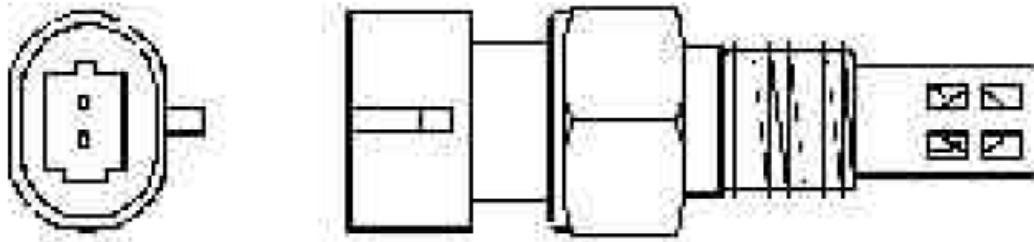


Figura 14: Exemplo de um sensor de temperatura do ar (Haltech, 1999)

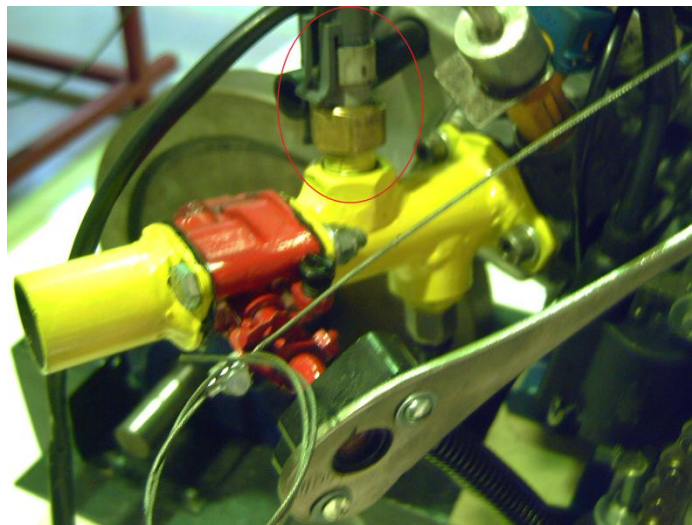


Figura 15: Sensor de temperatura do ar aplicado no projeto

### Sensor de Posição do Acelerador

Este sensor mede a porcentagem de abertura da borboleta do acelerador, isto é, permite saber qual a quantidade de ar que passa no coletor de admissão.

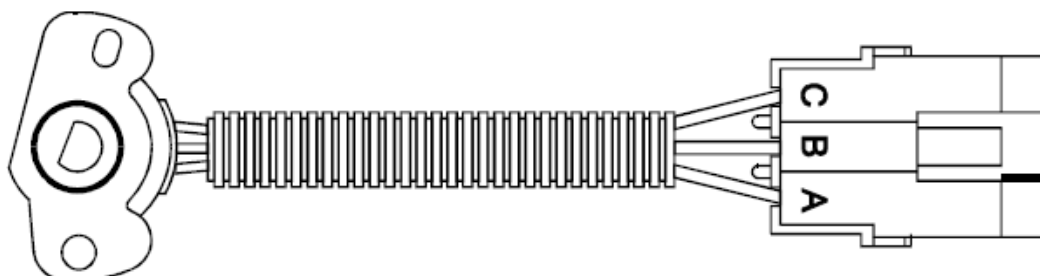


Figura 16: Exemplo de um sensor de posição do acelerador (Haltech, 1999)

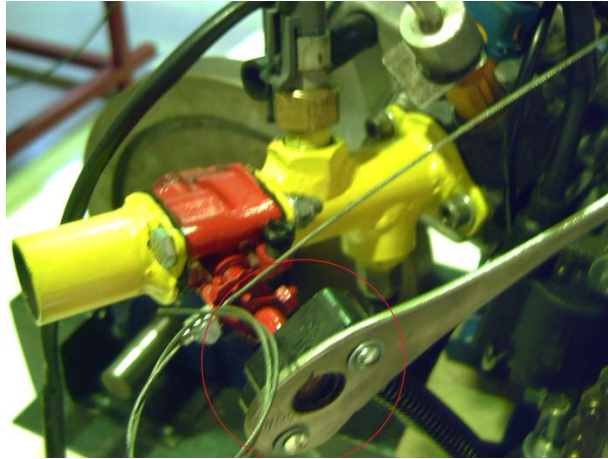


Figura 17: Sensor de posição do acelerador aplicado no projeto

### Módulo de Ignição

O módulo de ignição faz o controlo da passagem de corrente para a bobine de descarga elétrica para a vela. Este faz a leitura proveniente da Centralina e atua conforme ordens da unidade de controlo.

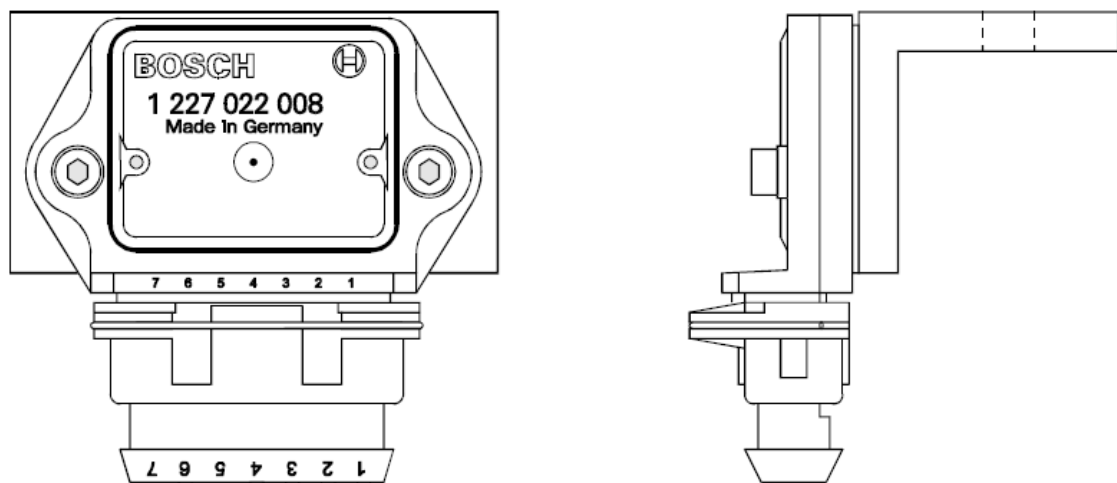


Figura 18: Exemplo de um módulo de ignição (Haltech, 1999)

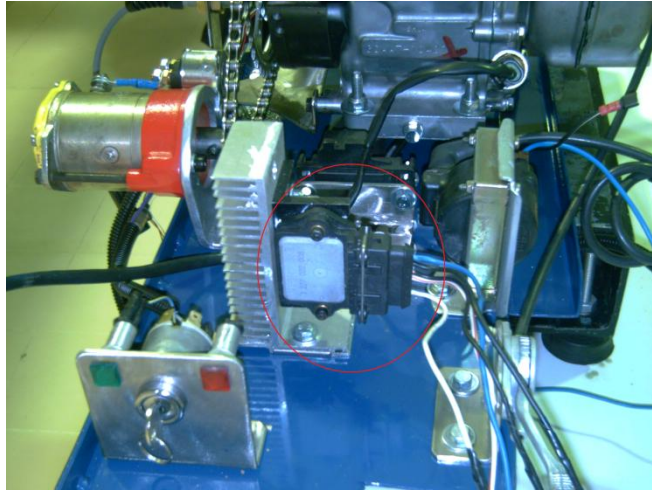


Figura 19: Módulo de ignição aplicado no projeto

### **Bobine de Ignição**

A bobine de ignição é um componente onde a energia elétrica se concentra e faz gerar descargas elétricas de alta tensão na vela de ignição. A bobine usada neste motor é convencional, sendo um componente reaproveitado de um automóvel no fim de vida.

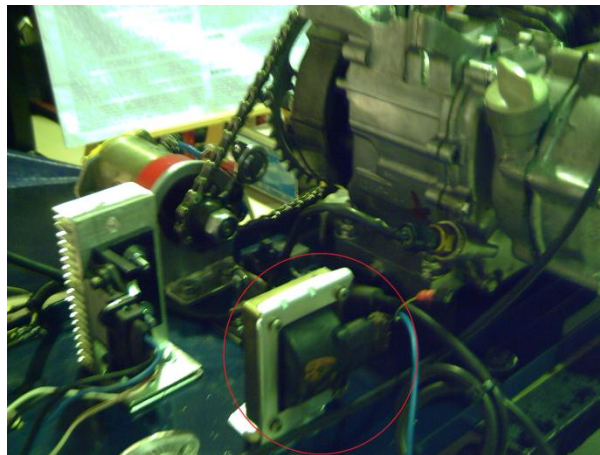


Figura 20: Bobine de ignição aplicada no projeto

### **Sensor de efeito de Hall**

Um sensor de efeito de Hall é um transdutor, isto é, é um dispositivo que recebe um sinal e o retransmite, independentemente de conversão de energia. Este sensor quando está sob a aplicação de um campo magnético, responde com uma variação na sua tensão de saída.

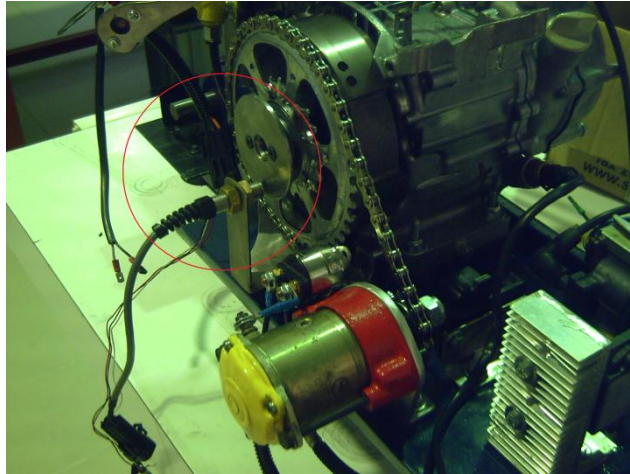


Figura 21: Sensor de efeito de Hall aplicado no projeto

### Sensor de Oxigénio

O sensor de oxigénio, sonda lambda, sensor de O<sub>2</sub>, por vezes também chamado sensor EGO (do inglês exhaust gas oxygen), é um dispositivo que envia um sinal elétrico à centralina indicando a presença de oxigénio nos gases de escape, possibilitando o controlo da quantidade de combustível a enviar para o motor.

Lambda ( $\lambda$ ) refere-se à letra grega que os técnicos utilizam para descrever o volume de ar na mistura combustível-ar e que tem o valor 1 quando é atingida a relação ideal.

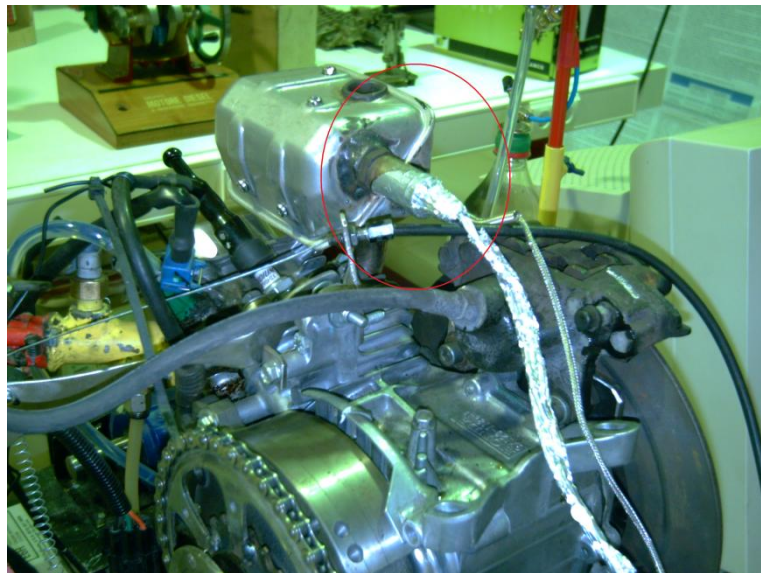


Figura 22: Sensor de oxigénio aplicado no projeto

## Injetor de combustível

O injetor é um componente que tem a finalidade de pulverizar o combustível no coletor de admissão, visto que se trata de um sistema de injeção indireta. Este componente trabalha com impulsos elétricos e a uma pressão de 3 BAR.

Na escolha deste injetor teve-se em conta vários fatores, como o caudal e o débito por intervalo de tempo, assim como também a compatibilidade com a centralina.

Escolheu-se o injetor da Bosch aplicado em alguns modelos automóveis da marca Opel devido ao facto de este cumprir os requisitos traçados e ter o preço mais acessível.



Figura 23: Exemplo de um injetor (Bosch Engineering Motorsport, 2005)

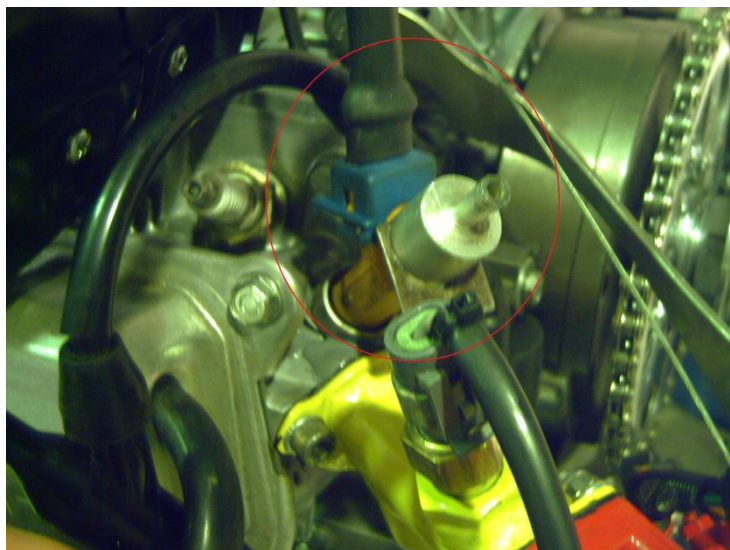


Figura 24: Injetor aplicado no projeto

## Componentes auxiliares

### Motor de arranque elétrico e roda livre

A adaptação destes componentes foi levada a cabo para facilitar o arranque do motor em banco de ensaios e porque a prova European Shell Eco-Marathon assim o exige. A competição exige motor de arranque elétrico para por em marcha o motor de combustão e a roda livre é um complemento para evitar que quando o motor de combustão está em marcha o motor elétrico esteja parado, isto é, que não acompanhe o movimento de rotação gerado pelo motor de combustão.

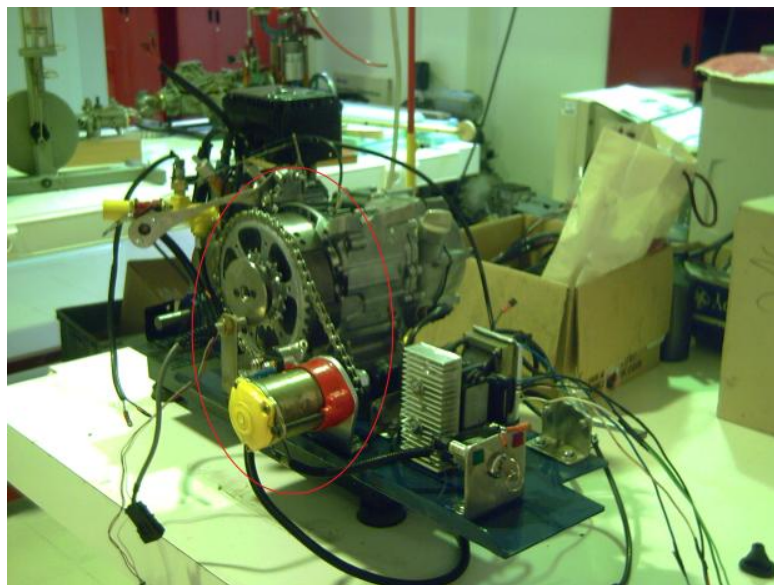


Figura 25: Motor de arranque elétrico e roda livre aplicados no projeto

### Ignição por chave para banco de ensaios

Adaptou-se uma ignição convencional de alimentação e arranque tal como nos automóveis, pois assim é mais simples e seguro de ligar todo o circuito elétrico e dar ao arranque do motor.



Figura 26: Ignição por chave para banco de ensaios aplicada no projeto

## Acelerador Manual

O acelerador manual permite fixar o motor nas rotações pretendidas. Este fator é relevante para os testes em banco de ensaios.

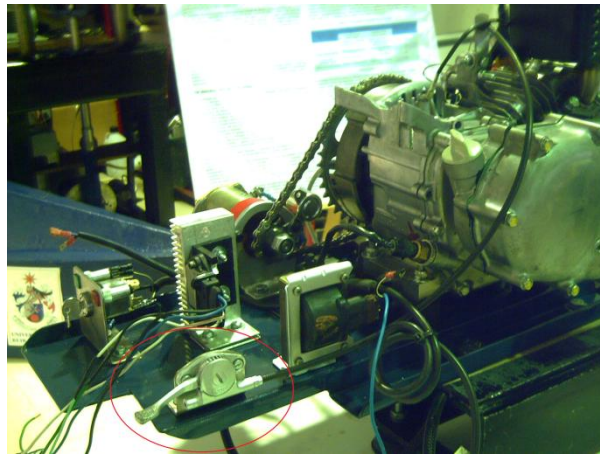


Figura 27: Acelerador manual aplicado no projeto

## Sensor de temperatura de gases de escape

Este sensor, tal como o nome indica, mede a temperatura dos gases de escape, esta medição é relevante porque ajuda a perceber se a estequiometria que se está a usar no momento é adequada ou não. Ou seja, quanto maior o enriquecimento de combustível menor a temperatura dos gases de escape e vice-versa.



Figura 28: Sensor de temperatura de gases de escape e mostrador aplicado no projeto

## Vela de Irídio

A nova vela de ignição NGK IRIDIUM IX com corte cônico no eletrodo lateral e com eletrodo central fino, minimiza o efeito extintor e permite uma excelente expansão da chama durante a combustão. (NGK SPARK PLUG CO. LTD)



Figura 29: Exemplo de uma vela de irídio e ilustração do seu desempenho

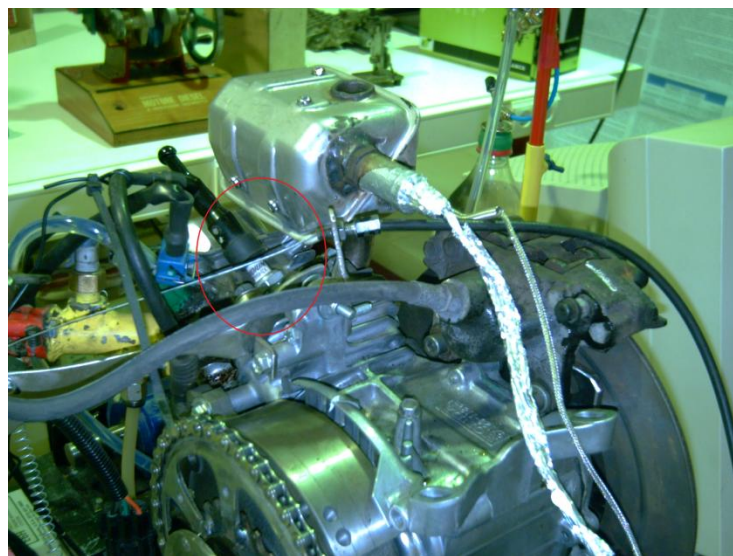


Figura 30: Vela de irídio aplicada no projeto

## Afinações do Motor

Depois de todos os componentes devidamente adaptados no motor foi necessário ter um ponto de partida para a injeção. Foi necessário elaborar um mapa de injeção inicial, isto é, elaborar uma tabela de valores de tempos de injeção através de cálculos baseados no rendimento volumétrico do motor, caudal de gasolina e razão de ar/combustível estequiométrica. Tudo isto em função da rotação do motor.

Obteve-se então a seguinte imagem onde estão tempos de injeção em função da rotação do motor:

File	Maps	Options								OFFLINE MODE	
		12	13	14	15	16	17	18	19		
0	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
500	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
1000	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
1500	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
2000	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
2500	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
3000	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
3500	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
4000	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
4500	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
5000	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
5500	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
6000	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
6500	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
7000	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
7500	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
8000	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
8500	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
9000	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
9500	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
10000	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		
10500	RPM	3.072	3.328	3.584	3.840	4.096	4.352	4.608	4.864		

Figura 31: Mapa de injeção inicial

Posteriormente, com o auxílio do sensor de O<sub>2</sub>, foi-se regulando os tempos de injeção para um funcionamento ótimo do motor e adequado para os fins pretendidos, ou seja, economia de combustível.

File	Maps	Setup Options						OFFLINE MODE	
		1	2	3	4	5	6	7	8
0	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
500	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
1000	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
1500	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
2000	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
2500	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
3000	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
3500	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
4000	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
4500	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
5000	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
5500	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
6000	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
6500	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
7000	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
7500	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
8000	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
8500	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
9000	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
9500	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
10000	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048
10500	RPM	0.256	0.512	0.768	1.024	1.280	1.536	1.792	2.048

Figura 32: Mapa de injeção final

## Banco de Ensaio

O banco de ensaios tem como finalidade testar o motor, isto é, através deste banco queremos perceber qual o binário e consumo específico do Honda GX120 modificado. Estes registos de dados marcarão todo o trabalho que foi elaborado à priori, pois é a partir destes valores que se irá perceber se esta modificação é vantajosa ou não.

Como não existia nenhum banco de ensaios na Faculdade de Engenharias da Universidade da Beira Interior compatível com este motor, efetuou-se a construção de um banco exclusivo para este tipo de motores Honda GX 120 ou GX160.

O banco consiste na adaptação, de um disco de travão automóvel, na parte exterior do veio da cambota do motor. Foi devidamente ajustado e apertado a fim de evitar folgas e por consequência vibrações. Em seguida adaptou-se a pinça de travão, com a finalidade de travar o movimento circular do disco, tal como acontece nos automóveis.

O travão é acionado por uma alavanca manual com fixador pois o objetivo é manter uma posição fixa de carga durante os ensaios.

Este sistema de travagem contém um manómetro para medir a pressão hidráulica exercida no circuito. Por este modo, e como sabemos a área de contato do êmbolo do travão, conseguimos medir a Força exercida pelo travão.

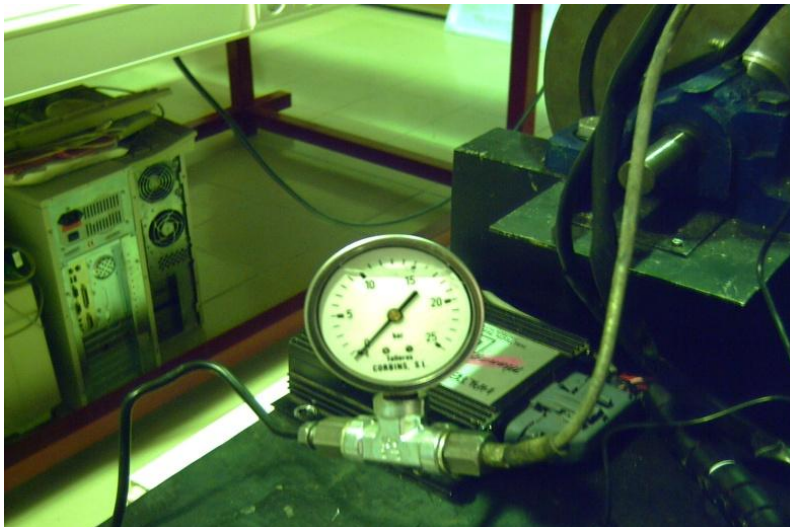


Figura 33: Manómetro aplicado no banco de ensaios



Figura 34: Acionador do travão do banco de ensaios

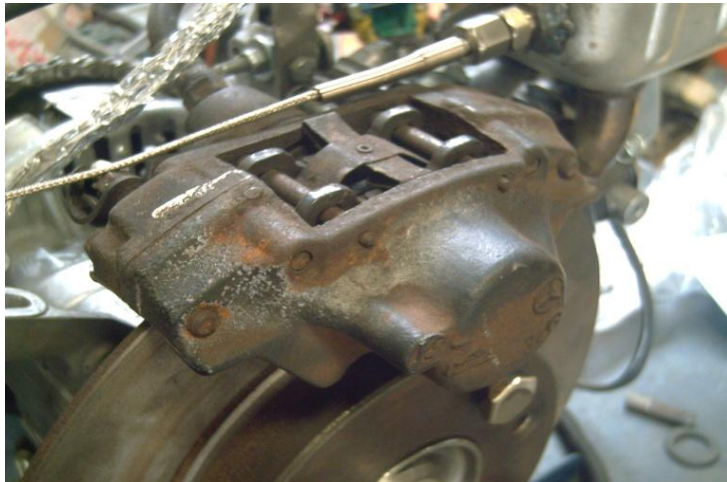


Figura 35: Pinça de travão do banco de ensaios



Figura 36: Pinça e disco de travão do banco de ensaios

## Resultados

Para a obtenção dos resultados a seguir apresentados, recorreu-se ao banco de ensaios apresentado a priori. Fez-se o tratamento dos dados, em folha de cálculo, recolhidos no banco e no software da centralina.

Os cálculos foram feitos com o objetivo de obter os resultados gráficos de binário, potência e consumo específico do motor deste projeto.

Procedeu-se também à calibração do banco de ensaios e do injetor utilizado.

## Calibrações

### Calibração do banco de ensaios

Para esta calibração usou-se um pêndulo, enrolado no disco do travão do banco de ensaios, com uma célula de carga onde se mediu a massa necessária do pêndulo para fazer movimentar o disco. Efetuou-se este processo para diferentes pressões hidráulicas exercidas na pinça de travagem.

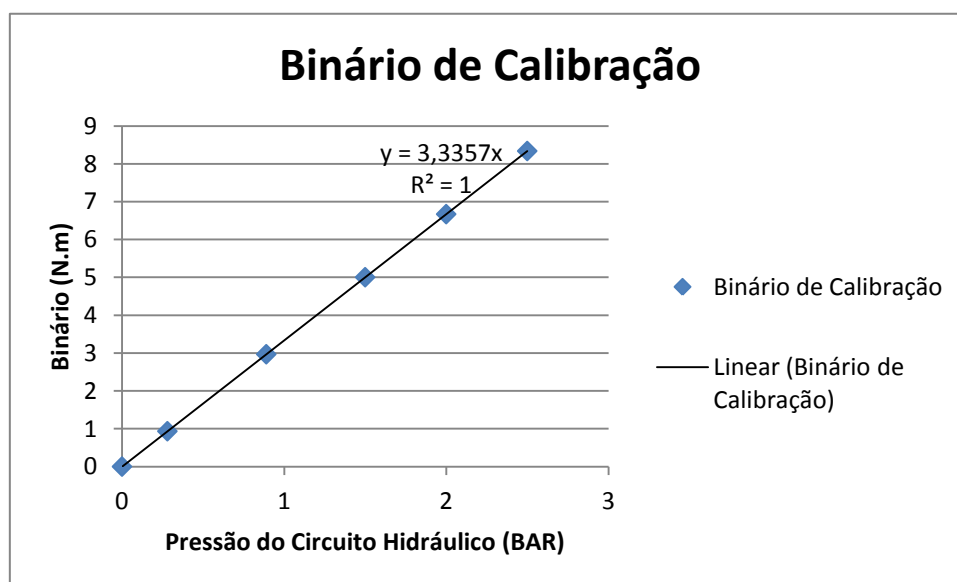


Gráfico 1: Binário para Calibração do Banco de Ensaios

No Gráfico 1 temos representado o binário em função da pressão hidráulica exercida na pinça de travagem. Fez-se uma linha de tendência e gerou-se a equação da reta com a

finalidade de obter os valores do binário para diferentes valores de pressão durante os ensaios.

## Calibração do Injetor

Para esta calibração construíram-se mapas com valores fixos e geraram-se pulsos de injeção para um recipiente controlado. Mediu-se a massa de combustível injetado a temperatura controlada de 25°C. Por fim, sabendo o tempo dos pulsos de injeção, o seu número e a massa injetada, obteve-se um gráfico de calibração.

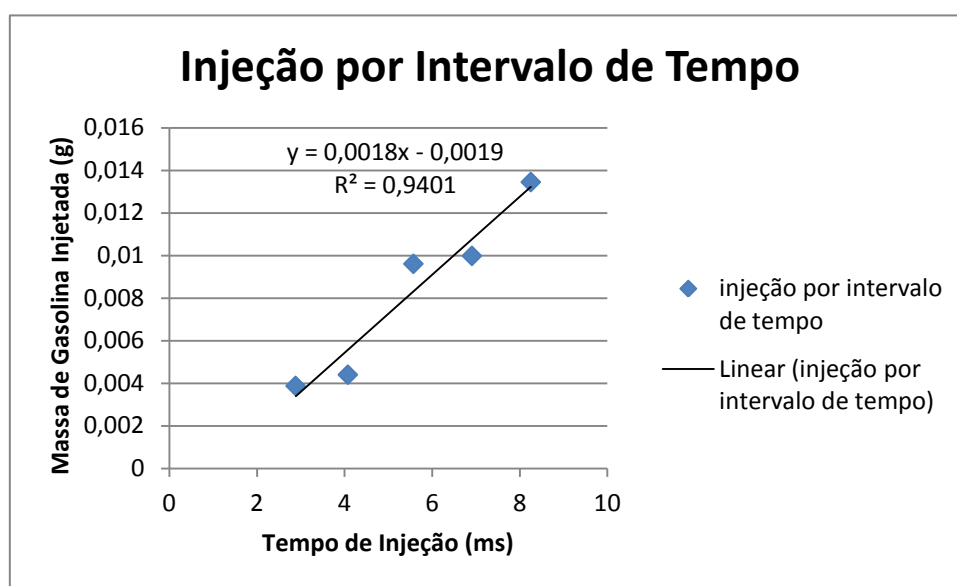


Gráfico 2: Injeção de Calibração do Injetor

No Gráfico 2 está representada a massa de gasolina injetada em função do tempo de injeção fixo. Elaborou-se uma linha de tendência para se obter os restantes valores dos ensaios feitos no banco de ensaios, através da equação da reta.

## Curvas de Desempenho

As curvas de desempenho (Binário, Potência e Consumo Específico) a seguir apresentadas, vão estar compreendidas num intervalo de 2500 e 6000 rotações por minuto. Este facto ocorre devido aos ensaios terem sido feitos para esta gama de rotações. Para gamas mais baixas de rotações era necessário um manómetro com uma escala mais elevada, mas devido a problemas financeiros não foi necessário a aquisição do mesmo. Outro fator que influencia estas curvas nestes intervalos é o motor do projeto conter uma taxa de compressão de 10.3:1. Esta taxa de compressão foi gerada em projetos anteriores a este e não foi elaborado qualquer conclusão no que diz respeito ao desempenho do motor com esta alteração. Esta modificação tem um impacto de 25% mais elevado do que a taxa de compressão original. Posto isto, o ralenti do motor, nestas condições ficou mais elevado e por isso existir dificuldade também nas medições para gamas baixas de rotação.

### Cálculo do Binário

O Binário foi calculado a partir da equação gerada da calibração do mesmo, aplicado a diferentes rotações e pressões no banco.

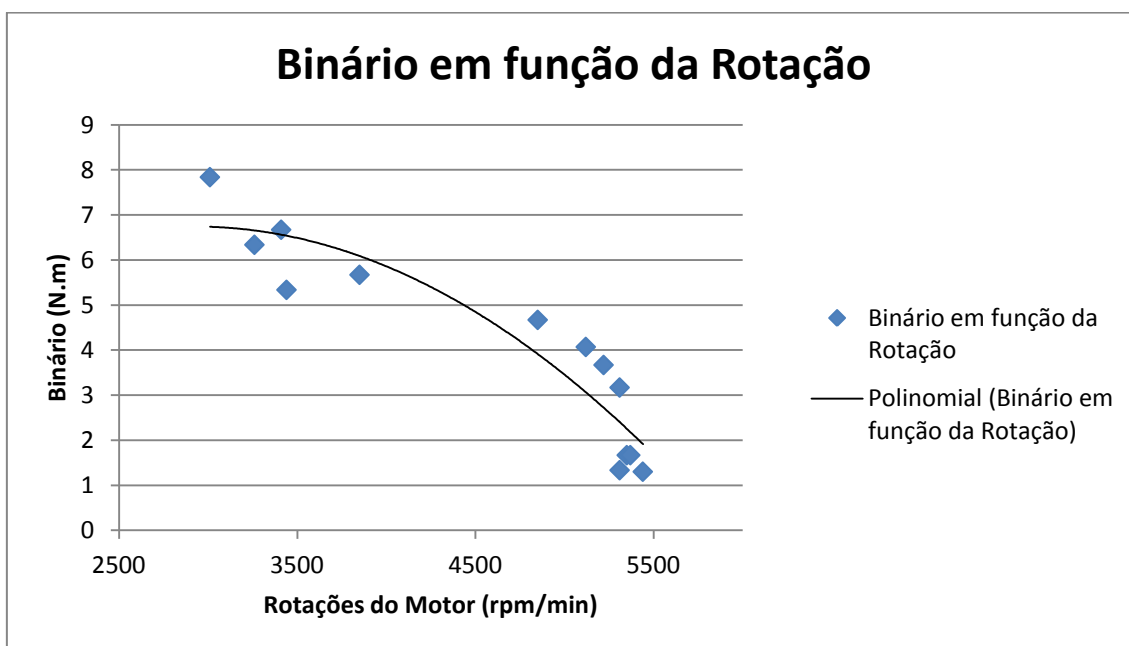


Gráfico 3: Curva do Binário do Motor do Projeto

No Gráfico 3 está representada a curva de Binário gerado pelo motor. Como se pode observar, o valor máximo de binário é de 7,839 N.m às 3100 rpm. O valor mínimo é de 1,301 N.m às 5440 rpm.

### Cálculo de Potência

Os valores da Potência foram obtidos a partir da seguinte fórmula:

$$Potência = 2 * \pi * Binário * \left(\frac{rpm}{60}\right) \quad (1)$$

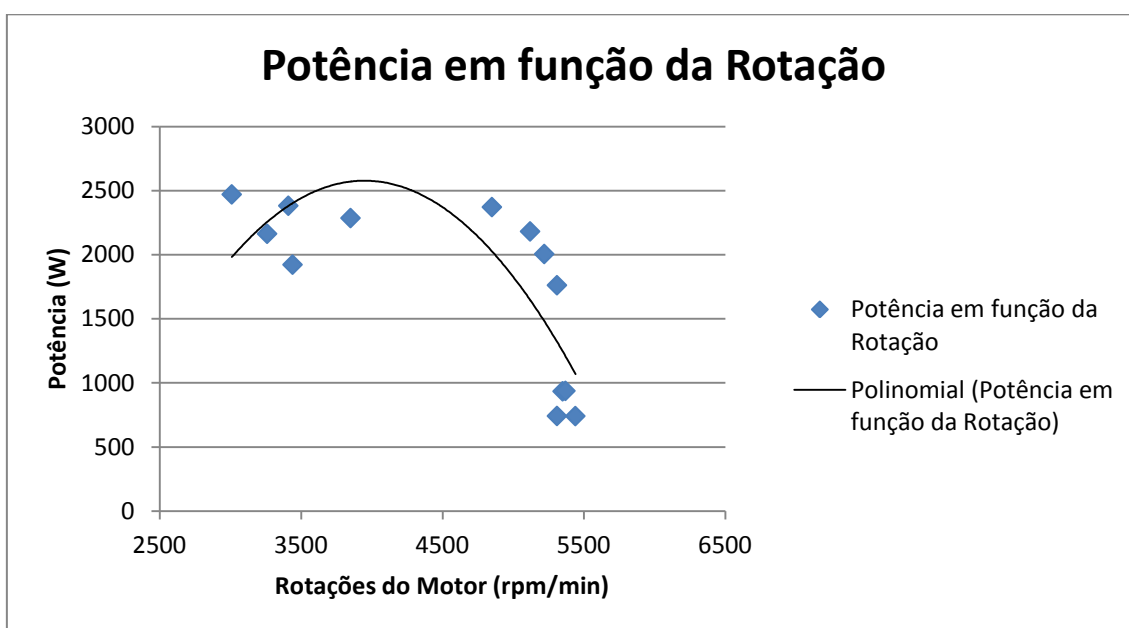


Gráfico 4: Curva de Potência em Função da Rotação

No Gráfico 4 podemos observar a curva de Potência do motor em função da rotação do mesmo. Pode-se observar a Potência máxima com o valor de 2470,871W às 3010 rpm.

O valor de Potência mínima é de 741,943W às 5310 rpm.

### Cálculo do Consumo Específico

O Consumo Específico foi gerado através do resultado obtido do quociente da massa de combustível injetada e a potência do motor correspondente.

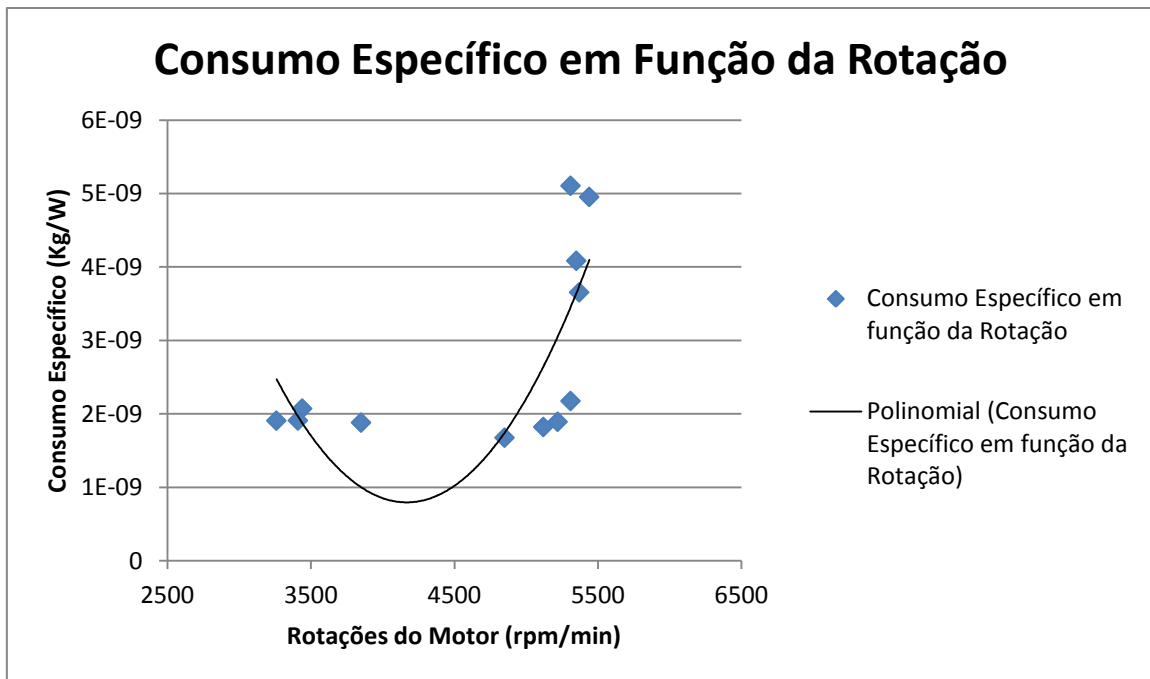


Gráfico 5: Curva do Consumo Específico em Função da Rotação

No Gráfico 5 pode-se observar que a zona de melhor poupança de combustível é entre as 3500 e 4500 rpm. Já o contrário ocorre perto das 5500 rpm, ou seja, a rotação máxima do motor.

# Conclusões e Trabalhos Futuros

Este Projeto foi elaborado com sucesso e atingiram-se praticamente todas as metas traçadas para o mesmo. O facto de este motor ter participado no UBICAR14 e na prova Shell Eco-Marathon foi uma das principais metas atingidas. É muito relevante e gratificante poder testar o projeto no terreno com sucesso, fazendo marcas nunca antes alcançadas na categoria. Foi a primeira experiência conseguida, a prova, em segundo foi o banco de ensaios, na qual se mediu o Binário, Potência e Consumo Específico do motor. Este segundo tópico foi crucial para validar o banco de ensaios elaborado pelo autor.

Numa vertente futura, este projeto tem muito potencial ainda por revelar e aproveitar no seu máximo rendimento. No que diz respeito à injeção eletrónica, poderá ser feito um controlo mais rigoroso a nível de consumos, reduzindo os tempos de injeção e por consequência a redução da massa de combustível injetada. Um outro ponto relevante é o facto de este projeto estar equipado com ignição eletrónica mas ainda sem estar a funcionar corretamente. A ignição eletrónica é controlada pela centralina, isto permite então que se possam fazer avanços de ignição, aumento assim o rendimento do motor.

Ainda falando no motor, um trabalho futuro possível é a eliminação das alhetas da cabeça do motor a fim de este não dissipar o calor acumulado, isto é, o motor em funcionamento ótimo deverá ter uma temperatura aproximada de 90°C. Nos moldes em que se encontra o motor neste momento aquando a sua participação na prova referida a temperatura do mesmo é bastante inferior à temperatura ótima. Em suma, com a retirada das alhetas não haverá uma dissipação de calor tão elevada e assim o motor trabalhará mais próximo das condições ótimas.

No que diz respeito ao banco de ensaios, os componentes elaborados poderão ser aproveitados para uma nova versão de banco de ensaios que servirá para motores monocilíndricos de pequeno porte. Idealmente deve-se utilizar um manómetro digital, pois assim os valores de pressão serão mais rigorosos. O acionador da pinça de travão do disco deverá ser mais sensível, pois assim consegue-se estabilizar o motor num maior número de rotações de diferentes valores.

# Bibliografia

Engines, H.; GX120 Mini 4-stroke engine. Honda (2014).

Heywood, J. B.; Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-HILL. (1988).

Martins, J.; Motores de combustão interna. Publindustria. (2005)

Pulkrabek, W.; Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. Prentice hall. (2003).

Taylor, C. F.; The Internal Combustion Engine in Theory and Practice (Vol. 1). The MIT press. (1985).

BEER, A., CYPRA, A. Ignition. Robert Bosch GmbH, Automotive Equipment Business Sector. (1999).

HARTMAN, Jeff. How to Tune and Modify Engine Management System. Motorbooks. (2003).

Haltech; Lockin Pty Ltd. (1999)

CEPRA; Formação Modular Automóvel, Cálculos e Curvas Características do Motor (2000)

Instituto de Engenharia Mecânica - Instituto Superior Técnico; Mecânica e Eletrónica. (2009)