

**Estudo e otimização do desempenho de um  
motor de Ciclo Otto monocilíndrico**  
(versão final após defesa)

**Daniel Azevedo Silveira**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Eletromecânica**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Paulo Manuel Oliveira Fael

**maio de 2021**



# Agradecimentos

Aos meus pais, por sempre acreditarem em mim. Sou grato por poder contar sempre com o vosso apoio, amor e carinho. Hoje tudo aquilo que sou e que conquistei só foi possível graças a vocês. Foram e sempre serão o meu porto de abrigo.

À minha irmã, por estar lá sempre para me ouvir e me aconselhar nos momentos mais difíceis sem nunca se negar.

Aos meus avós, por continuarem a ser o meu alicerce em todos os momentos da minha vida. Nunca poderei agradecer todo o amor, carinho e ajuda que, desde o momento em que nasci, sempre recebi com um sorriso, um abraço.

À minha namorada, a minha voz da razão, a pessoa que nos momentos mais difíceis me ouvia sem nunca se queixar. Foste a pessoa que mais força me deu nesta reta final. Obrigado por teres acreditado sempre em mim e nunca me teres deixado desistir.

Ao meu orientador, Professor Doutor Paulo Manuel Oliveira Fael, por todo o empenho, dedicação e transmissão de conhecimentos, não só nesta dissertação, mas também ao longo dos anos de aprendizagem na minha formação académica.

Ao Daniel Cardoso, que desde o primeiro dia sempre se disponibilizou para me ajudar a desenvolver todo o trabalho que esta dissertação assim o exigia, abdicando muitas vezes do seu trabalho.

À Professora Doutora Maria José Aguilhar Madeira, por toda a amizade e apoio ao longo dos últimos 10 anos, estando sempre presente nos bons e maus momentos.

A todos os membros da UBICAR, por me permitirem entrar para um projeto no qual sempre acreditei, pelo voto de confiança e, acima de tudo, pela amizade, pelo espírito de equipa e pelas excelentes memórias que levarei sempre comigo.

Ao NEUBI, em especial às equipas com que tive a honra e o privilégio de trabalhar. Neste núcleo tive a possibilidade de crescer enquanto pessoa e adquirir imensas ferramentas que me serão bastante úteis para o futuro.

Por último, aos meus amigos, que sempre foram e sempre serão a minha segunda família. Sei que para o bom e para o mal, quer estejamos a 500 metros ou a 500 km de distância, poderei contar sempre com o vosso apoio.

“...por isso, quando te sentires abatido e triste, adora e confia.” (*P. Teilhard de Chardin sj*)



# Resumo

A presente dissertação tem como objetivo estudar e otimizar o desempenho de um motor monocilíndrico aplicado a um veículo de muito baixo consumo. Assim, pretende-se melhorar a curva do binário produzido pelo motor, bem como reduzir o seu consumo de combustível.

Como forma de se poder cumprir esses objetivos, é necessário realizar o estudo da eficiência volumétrica teórica do motor que servirá de ponto de partida para a componente experimental. De seguida foram determinados os mapas de eficiência volumétrica e do ângulo de avanço da ignição.

No final foram realizados os ensaios finais, onde se realizou a comparação entre o desempenho do motor antes e depois das alterações feitas. A partir destes resultados concluiu-se que a curva do binário produzido pelo motor melhorou e o consumo de combustível foi reduzido em cerca de 43%.

## Palavras-chave

Motor de Combustão interna; *Shell Eco Marathon*; UBICAR; Otimização; Eficiência Volumétrica; Ângulo de Avanço da Ignição; Binário



# Abstract

This dissertation aims to study and optimize the performance of a monocylindrical engine applied to a very low consumption vehicle. Thus it is intended to improve the curve of torque produced by the engine, as well as reduce its fuel consumption.

In order to fulfill these objectives, it is necessary to carry out the study of the theoretical volumetric efficiency of the engine that will serve as the starting point for the experimental component. Then the volumetric efficiency and ignition advance angle maps were determined.

At the end, the final tests were performed, where the comparison between the engine performance before and after the changes made by this dissertation was performed. From these results it was concluded that the torque curve produced by the engine improved and the fuel consumption was reduced by about 43%.

## Keywords

Internal combustion engine; *Shell Eco Marathon*; UBICAR; Optimization; Volumetric efficiency; Ignition advance angle; Torque



# Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	vi
Abstract .....	viii
Lista de Figuras .....	xiv
Lista de Tabelas.....	xviii
Lista de Acrónimos.....	xx
Lista de Símbolos .....	xxiii
Capítulo 1 – Introdução .....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos da dissertação .....	1
1.3. Estrutura da dissertação.....	2
Capítulo 2 – Enquadramento Histórico da Competição.....	3
2.1. <i>Royal Dutch Shell</i> .....	3
2.2. <i>Competição Shell Eco Marathon</i> .....	5
2.3. UBI CAR .....	7
Capítulo 3 – Revisão Bibliográfica .....	10
3.1. Motor .....	10
3.1.1. Constituição do Motor.....	11
3.1.2. Diferentes ciclos de funcionamento .....	13
3.2. Banco de Ensaios.....	19

3.2.1.	Tipos de Dinamómetros .....	20
3.2.2.	Banco de Ensaio UBICAR.....	20
3.3.	Injeção.....	22
3.3.1.	Injetor .....	22
3.3.2.	Classificação do Sistema de Injeção .....	24
3.4.	Ignição .....	28
3.4.1.	Ignição Transistorizada com Platinado.....	29
3.4.2.	Ignição Transistorizada sem Platinado .....	30
3.4.3.	Ignição Eletrónica Digital.....	30
3.5.	Sensores Usados em Motores .....	31
3.5.1.	Sensor de velocidade .....	31
3.5.2.	Sensor de pressão .....	32
3.5.3.	Sensor de temperatura .....	33
3.5.4.	Sensor MAF (Mass Air Flow) .....	33
3.5.5.	Sensor TPS (Throttle Position Sensor).....	34
3.5.6.	Sensor de oxigénio (Sonda Lambda, $\lambda$ ) .....	34
Capítulo 4 – Procedimento Experimental.....		36
4.1.	Planeamento da Componente Experimental.....	36
4.2.	Equipamentos utilizados .....	37
4.2.1.	Motor Honda GX160 .....	37
4.2.2.	Unidade de Controlo – Ecumaster EMU Black.....	39
4.2.3.	Sensores Utilizados .....	40
4.3.	Curvas de Desempenho do Motor GX160 .....	41

4.4. Eficiência Volumétrica Teórica .....	43
4.5. Determinação do Mapa de Eficiência Volumétrica.....	48
4.6. Determinação do Mapa do Avanço da Ignição.....	59
Capítulo 5 – Resultados obtidos .....	63
5.1. Apresentação dos resultados obtidos .....	63
5.2. Discussão dos resultados obtidos.....	65
Capítulo 6 – Conclusões.....	66
6.1. Sugestão de trabalhos futuros .....	66
Referências.....	67
Anexos .....	70
Anexo A .....	71
Anexo B .....	72



# Lista de Figuras

Figura 1 – <i>Marcus Samuel</i> , fundador da empresa base que mais tarde daria origem à <i>Royal Dutch Shell</i> . [2].....	3
Figura 2 - Ilustração do navio <i>Murex</i> , o primeiro navio petrolífero utilizado pela empresa Shell. [3] .....	4
Figura 3 – Evolução do logótipo da empresa <i>Royal Dutch Shell</i> desde a sua fundação até à atualidade. [4] .....	4
Figura 4 – Exemplo de dois veículos presentes na competição SEM: <i>prototype</i> (à esquerda) e <i>urban concept</i> (à direita).[5] e [6].....	6
Figura 5 – Classificação da competição de acordo com a fonte de energia de alimentação..7	
Figura 6 – Resultados obtidos na última década em competições SEM. [7].....	8
Figura 7 – UBIAN19: veículo mais recente da UBICAR Team. ....	9
Figura 8 – Turbina de gás desenvolvida por John Barber em 1791. [9] .....	10
Figura 9 – Carruagem alimentada por um motor a gás, desenvolvida em 1805 por François Isaac de Rivaz. [10] .....	11
Figura 10 – Divisão do motor em três grandes partes. [11] .....	11
Figura 11 – Representação da geometria de um motor de combustão interna. Adaptado de [12].....	13
Figura 12 – Ciclo de Otto teórico, com os diagramas p-V e T-S, respetivamente. [8].....	14
Figura 13 – Os 4 tempos do motor de ignição comandada.[8].....	15
Figura 14 - Ciclo de Diesel teórico, com os diagramas p-V e T-S, respetivamente. [8] .....	17
Figura 15 – Os 4 tempos do motor de ignição comandada. [8] .....	18
Figura 16 – Compilação dos primeiros dinamómetros isométricos. Na esquerda encontra-se o de Graham-Desagulier e á direita o de Regnier. [13] e [14].....	19

Figura 17 - Banco de Ensaio da equipa UBICAR. Do lado direito encontra-se o conjunto banco de ensaio+motor e do lado direito o disco de inércia do referido banco de ensaios com as respetivas chumaceiras. ....	21
Figura 18 – Primeiros veículos de produção em série com sistema de injeção direta: à esquerda o Mercedes-Benz 300 SL de 1954 e à direita o Goliath GP700 de 1952. [15] e [16] .....	22
Figura 19 – Representação esquemática da constituição de um injetor. Adaptado de [17]	23
Figura 20 – Sistema de injeção Bosch K-Jetronic. Adaptado de [20] .....	25
Figura 21 - Sistema de injeção Bosch L-Jetronic. Adaptado de [21].....	26
Figura 22 – Representação dos sistemas diferentes quanto ao número de injetores: à esquerda encontra-se o sistema monoponto e à direita o sistema multiponto. [22].....	27
Figura 23 – Sistema de ignição por chama direta. [23] .....	28
Figura 24 – Sistema de ignição por tubo quente. [24].....	29
Figura 25 - Sistema de ignição transistorizada com platinado. [8] .....	30
Figura 26 – Sistema de ignição transistorizada sem platinado. [8].....	30
Figura 27 - Sistema de ignição eletrónica digital. [8].....	31
Figura 28 – Exemplo de sensor de velocidade.[26] .....	32
Figura 29 - Exemplo de um sensor de pressão MAP. [27] .....	32
Figura 30 - Exemplo de um sensor de temperatura. [28].....	33
Figura 31 - Exemplo de um sensor MAF.[29] .....	34
Figura 32 - Exemplo de um sensor TPS.[30] .....	34
Figura 33 - Exemplo de uma sonda lambda. [31] .....	35
Figura 34 - Fluxograma do processo utilizado para a componente experimental.....	36
Figura 35 - Motor Honda GX160. [32].....	37
Figura 36 - Unidade de controlo Ecumaster EMU Black. [34] .....	40

Figura 37 - Gráfico com as curvas de desempenho do motor GX160 de origem. Adaptado de [35] .....	41
Figura 38 - Curvas características do motor Honda GX160. [36] .....	42
Figura 39 - Mapa base da eficiência volumétrica do software da UCE.....	44
Figura 40- Exemplo de um ensaio experimental do motor com os respectivos dados. ....	51
Figura 41 - Representação da zona de aceleração presente num ensaio experimental. ....	52
Figura 42 - Exemplo do binário produzido pelo motor para o caso em que foi considerado um valor de EV igual a 74%.....	53
Figura 43 - Curvas de binário resultantes dos ensaios realizados para diferentes valores de EV. ....	55
Figura 44 - Mapa de eficiência volumétrica final.....	57
Figura 45 - Gráfico em três dimensões referente ao mapa de eficiência volumétrica final.	58
Figura 46 - Curvas de binário resultantes dos ensaios realizados para diferentes valores de AAI.....	60
Figura 47 - Mapa do ângulo do avanço de ignição final.....	62
Figura 48 - Gráfico em três dimensões referente ao mapa do ângulo do avanço da ignição. ....	62
Figura 49 - Gráfico com as curvas de binário produzidas pelo motor nos ensaios finais...	64
Figura 50 - Especificações técnicas da UCE Ecumaster EMU Black. [42] .....	72



# Lista de Tabelas

Tabela 1 – Registo histórico de alguns resultados da competição. ....	6
Tabela 2 – Resumo dos diversos tipos de injetor consoante o tipo de vaporização. Adaptado de [18]. ....	23
Tabela 3 - Tabela das características técnicas do motor Honda GX 160. [33] .....	38
Tabela 4 - Classificação do motor de acordo com os parâmetros característicos. [8] .....	39
Tabela 5 - Listagem de sensores implementados no desenvolvimento desta dissertação... ..	41
Tabela 6 - Tabela resumo com os dados do binário, potência e consumo específico para a gama de funcionamento do motor aconselhada pela Honda. ....	43
Tabela 7 - Dados referentes ao caso em que a velocidade de rotação é 2000 <i>rpm</i> . ....	46
Tabela 8 - Dados para a determinação da densidade do ar. ....	47
Tabela 9 - Dados da eficiência volumétrica para a gama de funcionamento aconselhada para o motor Honda GX160. ....	47
Tabela 10 - Valor da eficiência volumétrica que melhor se adequa consoante a velocidade de rotação do motor. ....	56
Tabela 11 - Dados que servirão de base para a criação do mapa de eficiência volumétrica. ....	56
Tabela 12 - Valor do AAI que melhor se adequa consoante a velocidade de rotação do motor. ....	61
Tabela 13 - Dados que servirão de base para a criação do mapa do ângulo de avanço da ignição. ....	61
Tabela 14 - Dados relativos à medição da massa do depósito+combustível para cada um dos ensaios. ....	64
Tabela 15 - Listagem dos equipamentos utilizados. ....	71



# Lista de Acrónimos

AAI	Ângulo de avanço da ignição
CLT	Sensor coolant temperature
EU	União Europeia
EV	Eficiência volumétrica
IAT	Sensor intake air temperature
MAF	Sensor mass air flow
MAP	Sensor manifold absolute pressure
MCI	Motores de combustão interna
rpm	Rotações por minuto
SEM	<i>Shell Eco Marathon</i>
TPS	Throttle position sensor
UBIAN	Veículo desenvolvido pela equipa UBICAR
UBIAN <sub>19</sub>	Configuração implementada no UBIAN antes da realização desta dissertação

UBIAN <sub>21</sub>	Configuração implementada no UBIAN após a realização desta dissertação
UBICAR	Equipa da Universidade da Beira Interior que participa na competição <i>Shell Eco Marathon</i>
UCE	Unidade de controlo eletrónica



# Lista de Símbolos

$\dot{m}_{ar}$	Caudal mássico de ar $\left[\frac{g}{s}\right]$
$B_{mim}$	Componente do binário do motor produzido pelo momento de inércia do motor $[N.m]$
$B_{miv}$	Componente do binário do motor produzido pelo momento de inércia do volante do banco de ensaio $[N.m]$
$B_v$	Binário produzido pelo volante do banco de ensaios $[N.m]$
$C_e$	Consumo específico $\left[\frac{g}{kW.h}\right]$
$I_m$	Momento de inércia do motor $[kg.m^2]$
$I_v$	Momento de inércia do volante de inércia do banco de ensaio $[kg.m^2]$
$N_{calc}$	Velocidade de rotação do motor calculada $[rpm]$
$r_{consumo}$	Redução entre o consumo das configurações UBIAN21 e UBIAN19
$T_{comb}$	Taxa de consumo de combustível $\left[\frac{g}{s}\right]$
$T_{ar}$	Taxa de consumo de ar $\left[\frac{g}{s}\right]$
$V_c$	Volume câmara de combustão $[cm^3]$

$V_d$	Volume deslocado pelo pistão [ $cm^3$ ]
$V_v$	volume varrido pelo pistão [ $cm^3$ ]
$\alpha_m$	Aceleração angular do motor $\left[\frac{rad}{s^2}\right]$
$\alpha_v$	Aceleração angular do volante do banco de ensaios $\left[\frac{rad}{s^2}\right]$
$\rho_{ar}$	Massa específica do ar [ $g/cm^3$ ]
$\omega_{calc}$	Velocidade angular do motor calculada $\left[\frac{rad}{s}\right]$
$\omega_{exp}$	Velocidade angular experimental do motor $\left[\frac{rad}{s}\right]$
$a$	Raio do eixo da cambota [ $m$ ]
$D$	Diâmetro do cilindro [ $m$ ]
$L$	Curso do pistão [ $m$ ]
$s$	Distância entre o pino do pistão e o centro de rotação da cambota [ $m$ ]
$B$	Binário produzido pelo motor [ $N.m$ ]
$N$	velocidade de rotação do motor [rps]
$P$	Potência do motor [kW]
$T$	Número de tempos do ciclo

$i$	Razão de transmissão da engrenagem
$m$	Massa total do volante do banco de ensaios [ $kg$ ]
$r$	Raio do volante do banco de ensaios [ $m$ ]
$\theta$	Ângulo de rotação da cambota



# Capítulo 1 – Introdução

Ao longo do primeiro capítulo é feito um enquadramento no qual esta dissertação foi elaborada, seguido da apresentação dos principais objetivos. Por último é feita a descrição de como a dissertação se encontra organizada e quais os conteúdos abordados em cada capítulo.

## 1.1. Enquadramento

Desde o surgimento do motor de combustão interna (MCI) que o Homem sempre procurou otimizar ao máximo o seu funcionamento, sempre com o mesmo objetivo: aumentar o binário produzido recorrendo à menor quantidade de combustível possível. De acordo com os dados fornecidos pelo parlamento europeu em março de 2019, o número de veículos aumentou significativamente e com isso veio também um aumento das emissões de gases poluentes que estes produzem. Atualmente os veículos são “responsáveis por quase 30% das emissões de dióxido de carbono” [1] só na União Europeia (UE). Como forma de contrariar este aumento, a UE determinou “novas metas para as emissões de dióxido de carbono, cujo objetivo é reduzir as emissões perigosas” [1] dos novos veículos.

Esta dissertação surge após a participação da equipa UBICAR na competição *Shell Eco Marathon* (SEM) 2019 que decorreu em Londres na Mercedes-Benz World, obtendo um consumo de 70,1 km/l. Nesta competição foram identificados alguns problemas, nomeadamente com os mapas de eficiência volumétrica (EV) e ângulo do avanço de ignição (AAI) que colocam em causa o bom funcionamento do veículo desenvolvido pela equipa UBICAR, denominado de UBIAN.

## 1.2. Objetivos da dissertação

A presente dissertação tem como principal objetivo o estudo e otimização do desempenho do motor Honda GX160 implementado no UBIAN, ou seja, melhorar a curva de binário produzida pelo motor e reduzir o consumo do mesmo. Para que seja possível concretizar este objetivo, é necessário, em primeiro lugar, determinar quais os valores teóricos da EV para o motor alvo de estudo. De seguida proceder-se-á à determinação dos mapas de EV e do AAI. Por fim será feita a comparação entre a configuração anteriormente aplicada (UBIAN19) e a configuração desenvolvida nesta dissertação (UBIAN21).

### **1.3. Estrutura da dissertação**

Este trabalho é constituído por seis capítulos. De seguida é feita uma pequena descrição de cada um dos referidos capítulos.

No capítulo um é feita uma introdução ao trabalho que se irá desenvolver, no qual é feito um enquadramento da dissertação, bem como a apresentação dos seus objetivos e a sua estruturação.

O capítulo dois aborda toda a contextualização da competição SEM, desde o surgimento da empresa *Royal Dutch Shell* até à competição como hoje é conhecida.

No capítulo três é feita uma revisão bibliográfica de todos os conceitos teóricos relevantes para esta dissertação. Primeiramente é abordado o motor, nomeadamente qual o seu funcionamento, constituição e diferentes ciclos de funcionamento, seguido do banco de ensaios, onde são explicitados os diferentes tipos de dinamómetros e a descrição do banco de ensaios da UBICAR. Posteriormente é feita uma caracterização dos diferentes tipos de sistemas de injeção e ignição. Por último, é feita uma descrição de quais os sensores mais implementados em MCI e quais as suas diferenças.

O capítulo quatro terá na sua composição toda a componente experimental da dissertação. Inicialmente é feito planeamento da componente experimental, exposição de todos os equipamentos utilizados e apresentação das curvas características do motor Honda GX160. De seguida é feito o cálculo dos valores teóricos de EV para o motor em questão. No final é determinado o mapa de EV e do AAI.

No capítulo cinco é feita a exposição dos resultados obtidos no capítulo 4, bem como a discussão dos referidos resultados.

No último capítulo desta dissertação, capítulo seis, são retiradas as conclusões finais do presente trabalho.

## Capítulo 2 – Enquadramento Histórico da Competição

No capítulo dois é feito um enquadramento da competição SEM, desde a formação da empresa *Royal Dutch Shell* até à própria competição. Será ainda abordada a equipa UBICAR, equipa da Universidade da Beira Interior (UBI).

### 2.1. *Royal Dutch Shell*

No mundo do automobilismo, a empresa *Royal Dutch Shell*, ou *Shell* como é vulgarmente conhecida, é sem dúvida uma das empresas de referência no que diz respeito à produção e comercialização de combustíveis e lubrificantes. Apesar de atualmente possuírem uma das maiores cotas de mercado neste setor, nem sempre assim foi. Para melhor compreender toda a evolução desta multinacional, é necessário recuar até à década de 30 do século XIX, altura em que a mesma foi fundada por Marcus Samuel (figura 1). Nessa altura, Marcus Samuel dedicava-se, não só à venda de antiguidades, como também de conchas marinhas provenientes do oriente.



Figura 1 – *Marcus Samuel*, fundador da empresa base que mais tarde daria origem à *Royal Dutch Shell*. [2]

Após o seu falecimento, o negócio ficou a cargo dos seus filhos, Marcus Samuel Jr. e Samuel Samuel. Em vez de darem continuidade ao negócio do pai, resolveram investir no negócio de exportação de petróleo, aproveitando o crescente aumento da procura deste recurso. Contudo, e apesar do negócio ser bastante interessante e atrativo, os irmãos depararam-se com um problema logístico transversal a todos os intervenientes no mercado de exportação de crude: o transporte do mesmo.

Neste sentido, e evidenciando a sua veia empreendedora que o seu pai lhes tinha passado, os mesmos resolveram investir num navio capaz de, não só transportar o produto, mas também armazená-lo em segurança, nascendo assim o navio *Murex* (figura 2).



Figura 2 - Ilustração do navio *Murex*, o primeiro navio petrolífero utilizado pela empresa Shell. [3]

Nos anos que se seguiram, os irmãos Samuel viram a sua empresa crescer de forma exponencial, beneficiando também com a descoberta de novas reservas de petróleo, nomeadamente no Texas, acabando mesmo por conseguir conquistar uma boa cota de mercado ao seu principal concorrente, *Standard Oil*. Sendo o crude um recurso natural finito, com o aumento da procura verificou-se que os depósitos de petróleo se estavam a esgotar, pelo que em 1902 as reservas que se localizavam no Texas estavam praticamente vazias.

Enquanto os irmãos Samuel se deparavam com a possibilidade de a sua empresa poder falir, surgia na Ásia um novo concorrente: *Royal Dutch*. Posto isto, a 23 de abril de 1907 as duas empresas juntaram-se dando origem à *Royal Dutch Shell Group*, nome que ainda hoje se mantém (figura 3).



Figura 3 – Evolução do logótipo da empresa *Royal Dutch Shell* desde a sua fundação até à atualidade. [4]

Nos anos que se seguiram, a *Shell* foi responsável pelo desenvolvimento de produtos provenientes do petróleo, onde se encontra a gasolina. Durante as duas grandes guerras, a empresa petrolífera forneceu todo o apoio no fornecimento de combustível aos aliados, o que não só incluía o combustível, como também os seus navios cargueiros.

Atualmente esta multinacional encontra-se presente em todo o mundo e apesar de ser uma das maiores empresas no setor petrolífero, a mesma tenta promover iniciativas capazes de solucionar um dos maiores desafios da atualidade: dar resposta ao aumento das necessidades energéticas enquanto se tenta reduzir as emissões de carbono [2], onde se enquadra a competição SEM.

## **2.2. Competição *Shell Eco Marathon***

A competição SEM, promovida pela empresa *Shell*, dá a possibilidade aos estudantes de todo o mundo de se desafiarem a criar um veículo energeticamente eficiente, recorrendo às mais diversas áreas do conhecimento. Nela podem participar todos os estudantes que estejam associados a alguma instituição de ensino, podendo estas ser do ensino superior, ensino secundário ou até mesmo do ensino básico.

Nesta competição participam estudantes de todo o mundo, sendo que as suas participações são concentradas em três grandes eventos anuais: Europa, Ásia e América. Para os estudantes que não pertençam a estes três continentes, é-lhes dada a possibilidade de participar num evento designado pela organização da competição.

Para melhor entender o porquê deste projeto e como o mesmo surgiu, é necessário recuar até ao ano de 1939, quando um grupo de cientistas do departamento de pesquisa e desenvolvimento da *Shell* resolveu fazer uma aposta em como cada um conseguia desenvolver um veículo capaz de percorrer o maior número de quilómetros com um litro de combustível. No final desta aposta, o vencedor conseguiu atingir a marca de 21,14 km com 1 litro de combustível. Os três colegas acharam esta ideia tão inovadora e divertida que resolveram repetir o evento todos os anos. Durante todos estes eventos houve sempre uma constante: os resultados obtidos apresentaram sempre uma melhoria. Prova disso mesmo são os seguintes resultados presentes na tabela 1.

Tabela 1 – Registro histórico de alguns resultados da competição.

Ano de Competição	Descrição do Veículo			Resultado (km/l)
	Marca	Modelo	Ano de Produção	
1949	Studebaker	Não especificado	1947	63,75
1968	Fiat	600	1959	103,89
1973	Opel	Não especificado	1959	160,11

Desde que se deu início a esta competição, muitas foram as alterações introduzidas. Atualmente a SEM conta com duas categorias em competição (figura 4): *prototype* e *urban concept*. Na categoria *prototype*, o veículo é projetado para que seja o mais leve possível e a resistência aerodinâmica seja o mais próximo de zero. Em contrapartida, na categoria *urban concept*, os veículos são projetados para que sejam esteticamente o mais parecidos possível com os carros do nosso dia-a-dia. Uma das particularidades esta categoria passa pela condução “stop and go”, ou seja, na prática, por cada volta que o veículo dá na pista, terá que parar na linha de partida. Desta forma é possível simular o dito “pára-arranca” que a condução das cidades assim obriga.



Figura 4 – Exemplo de dois veículos presentes na competição SEM: *prototype* (à esquerda) e *urban concept* (à direita).[5] e [6]

No que diz respeito à categoria *urban concept*, cada equipa tem 4 tentativas para poder levar o seu veículo à pista a fim de poder obter uma classificação. Em cada tentativa, o carro terá que percorrer 11 voltas à pista, sendo que cada vez que passar pela linha de partida, terá que parar. De ressaltar que, no final das 11 voltas, o veículo tem que ter uma velocidade média de, pelo menos, 25 km/h.

Relativamente à fonte de energia de alimentação do veículo, esta encontra-se resumida no esquema da figura 5.

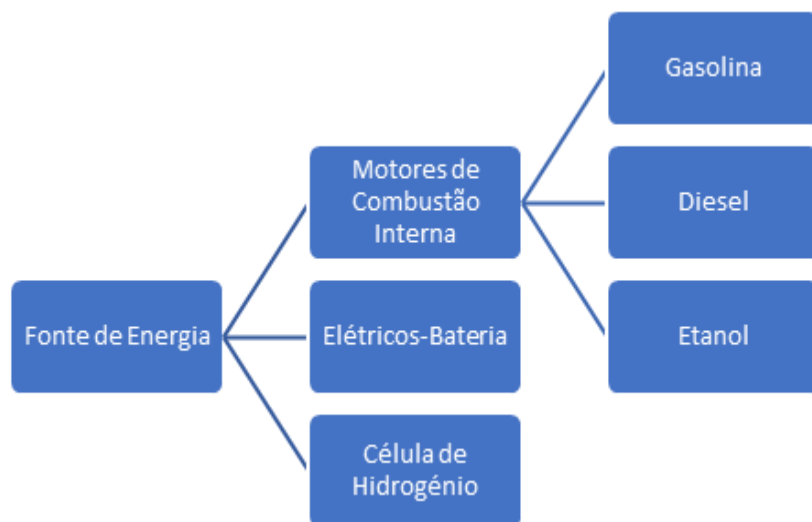


Figura 5 – Classificação da competição de acordo com a fonte de energia de alimentação.

Dependendo da localização da prova, os combustíveis, nomeadamente a gasolina e o diesel poderão sofrer algumas alterações quanto à sua constituição. Isto prende-se com o facto de os combustíveis serem fornecidos pelos distribuidores locais onde decorre a competição.

Para o ano 2020 a competição estava prevista decorrer em Londres, sendo o circuito da *Mercedes-Benz World* o palco para aquele que viria a ser um dos maiores eventos planeados pela organização. Contudo, e devido à pandemia de *Covid-19 (SARS-COV-2)* que despoletou em meados do início do ano 2020, a entidade organizadora decidiu cancelar a mesma como forma de proteger todos os intervenientes desta competição.

### **2.3. UBICAR**

O final da década de 80 e início da década 90 ficaram marcadas pelo crescente interesse no que diz respeito à otimização da eficiência energética dos veículos. Na prática, os construtores automóveis, motivados por pressões governamentais, nomeadamente com a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, aplicaram grande parte dos seus recursos financeiros, tecnológicos e humanos no desenvolvimento de veículos energeticamente mais eficientes e capazes de atingir consumos mais reduzidos.

Com esta nova realidade cada vez mais presente, um grupo de docentes da UBI decidiu em 1999 projetar um veículo capaz de participar na SEM. Para além disso, e visto que muitos dos conceitos base para o desenvolvimento de um veículo energeticamente eficiente era abordadas em muitas cadeiras lecionadas nos departamentos de Eletromecânica e Aeroespacial da UBI, à partida seria uma aposta ganha, nascendo assim a equipa UBICAR.

Ainda no ano de 1999, um grupo de alunos e docentes começou a desenvolver o primeiro veículo destinado à categoria de *prototype*, categoria na qual a equipa se focou até ao ano de 2008. Ao longo dos anos seguintes, o projeto UBICAR desenvolveu vários veículos, acabando, inevitavelmente, por conseguir arrecadar alguns prémios, destacando-se:

- Prémio de Design em Bruxelas: 1º lugar;
- Madrid *Eco-city* 2012: 1º lugar;
- Prémio Nacional *Geographic People's Choice*: 1º lugar;
- *Shell Eco Marathon* 2015: 3º lugar;

Na figura 6 faz-se um resumo dos resultados obtidos, na última década, em competição. De salientar que a melhor marca foi conseguida no ano 2015 com 233.5 km/l.

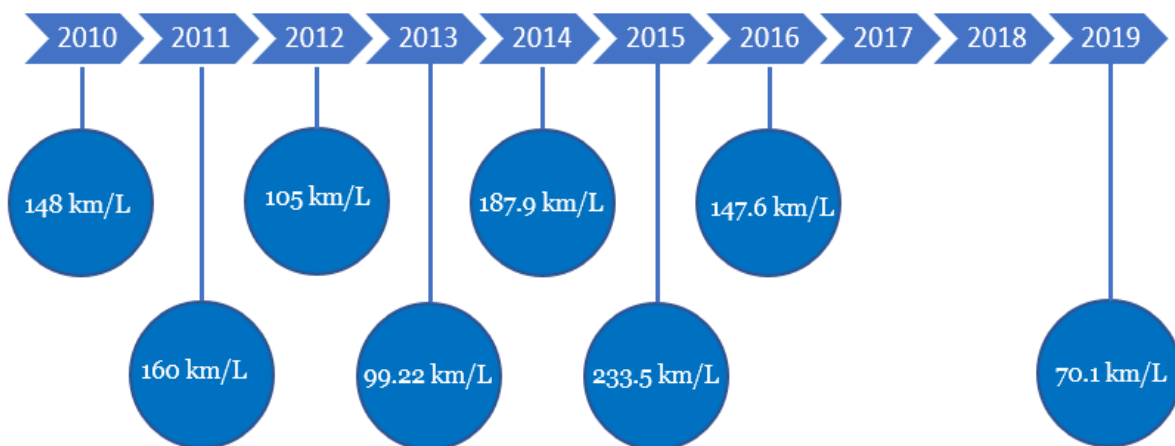


Figura 6 – Resultados obtidos na última década em competições SEM. [7]

No ano de 2019, e tendo em atenção que o veículo que correu nesse mesmo ano é o mesmo veículo no qual esta dissertação se enquadra, conseguiu-se atingir a marca dos 70.1 km/l.



Figura 7 – UBIAN19: veículo mais recente da UBICAR Team.

## Capítulo 3 – Revisão Bibliográfica

Ao longo do capítulo três é feita uma revisão bibliográfica, onde são abordados tópicos como a constituição do motor, o ciclo de Otto, o banco de ensaios, o sistema de injeção, o sistema de ignição e os sensores mais utilizados para MCI.

### 3.1. Motor

Atualmente os MCI desempenham um papel muito importante na nossa sociedade, uma vez que são responsáveis por permitir a realização das mais diversas tarefas do nosso quotidiano. Contudo, e apesar do princípio subjacente ao seu funcionamento continuar a ser o mesmo, os motores sofreram alterações bastante significativas ao longo dos anos.

Segundo dados históricos, no século XVII surgiram as primeiras tentativas de conversão de energia química em trabalho útil recorrendo à pólvora [8]. O mecanismo era constituído por um cilindro e um pistão acoplado a um componente mecânico. Graças à explosão da pólvora que ocorria dentro de um cilindro, o pistão era deslocado para o topo do cilindro. Assim que os gases no seu interior arrefeciam, o pistão acabava por descer, voltando à sua posição inicial.

Apesar de este ser o registo mais antigo que temos conhecimento, só em 1791, pela pessoa do Engenheiro John Barber, surgiu a primeira máquina patenteada capaz de realizar trabalho. Mais tarde a mesma viria a ser chamada de “Turbina de Gás” (figura 8).

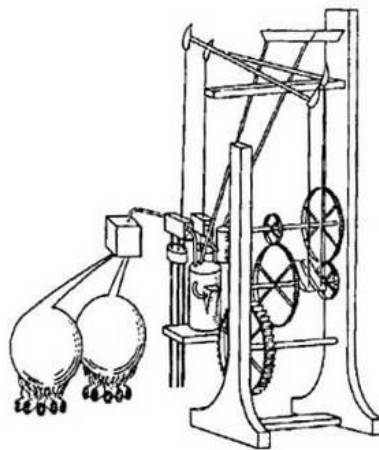


Figura 8 – Turbina de gás desenvolvida por John Barber em 1791. [9]

Três anos depois, Robert Street patenteou a primeira máquina de pistão alimentado a aguarrás e ar. Contudo, só em 1805 foi dado o primeiro passo no caminho do desenvolvimento dos carros como hoje os conhecemos, quando o inventor e político François Isaac de Rivaz montou um motor a gás de carvão numa carruagem (figura 9).

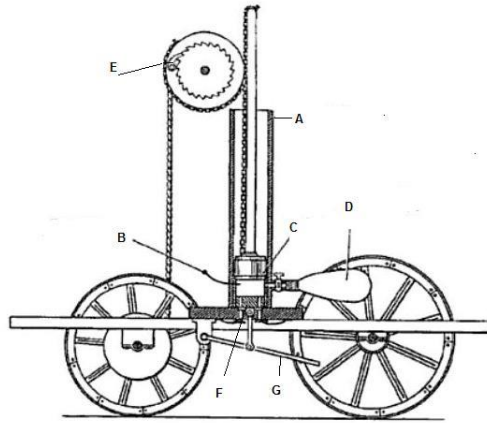


Figura 9 – Carruagem alimentada por um motor a gás, desenvolvida em 1805 por François Isaac de Rivaz. [10]

Apesar de terem sofrido algumas alterações, dois séculos depois os motores de combustão interna mantêm o mesmo princípio de funcionamento: quando ocorre a libertação de uma grande quantidade de energia dentro da câmara de combustão (proveniente da ignição de combustível), o ar dentro da mesma sofre um aumento muito significativo de temperatura e pressão fazendo com que o pistão mude de posição, transmitindo movimento.

### 3.1.1. Constituição do Motor

Relativamente à sua constituição, os MCI podem ser divididos em três partes diferentes (figura 10): a cabeça, o bloco e o cárter, sendo cada uma delas responsável por uma tarefa específica essencial para que o ciclo possa ocorrer.

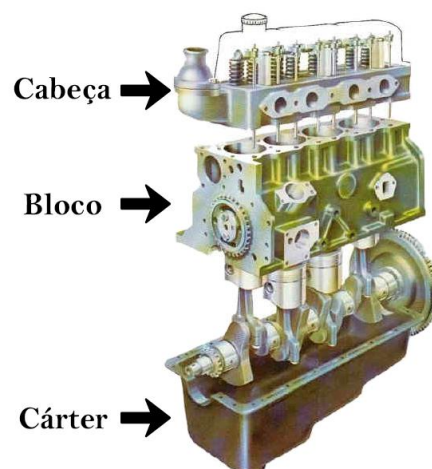


Figura 10 – Divisão do motor em três grandes partes. [11]

A cabeça ou colaça, tal como o próprio nome sugere, localiza-se no topo do motor, sendo responsável por fechar a câmara de combustão. Constituído, na sua maioria, por peças de aço fundido ou ligas de alumínio, a cabeça do motor é onde se encontram as velas de ignição, as válvulas de admissão, as válvulas de escape e a árvore de cames.

Sendo a parte central do motor, o bloco era, normalmente, construído a partir de ferro fundido. Graças aos avanços tecnológicos, hoje em dia podemos contar com diversas soluções de ligas de alumínio capazes de substituir a utilização de ferro fundido para a construção do motor sem que a resistência e desempenho seja afetada, tornando-os assim bastante mais leves. O cilindro trata-se do furo feito no bloco onde o conjunto pistão mais biela irá operar.

Como forma de impedir o desgaste do cilindro, é instalada uma camada de proteção de espessura reduzida a que se dá o nome de camisa. O conjunto pistão mais biela encontra-se acoplado à cambota, pelo que, assim que o pistão entra em movimento, este mesmo movimento linear é transmitido à cambota, convertendo-o em movimento rotacional.

O cárter é o terceiro e último grande componente do motor. Situado na parte inferior, é responsável por armazenar o óleo utilizado para a lubrificação dos componentes mecânicos durante o funcionamento do motor. Para isso, esta conta com uma bomba de óleo que bombeia esse mesmo óleo para os órgãos mecânicos presentes no interior da cabeça e do bloco do motor.

No início deste capítulo foi dito que, através da libertação de uma grande quantidade de energia no interior da câmara de combustão é possível gerar movimento. Isto só é possível graças ao sistema biela-manivela. Neste sistema, o pistão que circula dentro do cilindro, encontra-se ligado à cambota através da biela. Assim que se move ocorre a explosão na câmara de combustão, o pistão é empurrado, convertendo o seu movimento em movimento rotacional na cambota. Por forma a regularizar a rotação da cambota, é colocado um volante de inércia na mesma.

Tal como foi dito anteriormente, o pistão circula dentro do cilindro, ocupando diferentes posições dentro do mesmo. Na figura 11 podemos destacar as duas posições mais externas que o pistão atinge: ponto morto superior (PMS) e ponto morto inferior (PMI). O PMS é a posição mais alta que o pistão pode chegar enquanto que o PMI é o ponto mais baixo a que o pistão pode chegar. Ao volume entre o topo do cilindro e o pistão no PMS chamamos de câmara de combustão, enquanto que ao volume entre o PMS e o PMI se dá o nome de curso do motor.

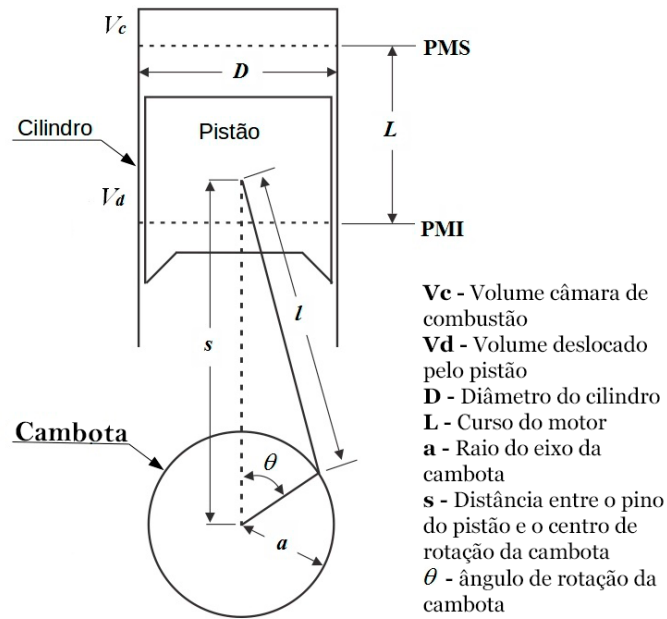


Figura 11 – Representação da geometria de um motor de combustão interna. Adaptado de [12]

### 3.1.2. Diferentes ciclos de funcionamento

Por definição, um ciclo é uma sucessão de fenômenos sistemáticos reproduzidos em períodos regulares. Na prática, e aplicando este conceito à temática a ser desenvolvida, o ciclo de funcionamento traduz as várias etapas pelas quais o motor passa (admissão, compressão, expansão e escape), em que existem trocas quer de fluidos quer de energia.

Com o passar dos anos, muitas foram as tentativas não só de melhorar os ciclos que já se conhecem, como também de tentar encontrar outros capazes de dar respostas às novas exigências. Desta forma, é importante referir os ciclos que, até aos dias de hoje mais se destacaram, sendo eles: ciclo de Otto, ciclo de Diesel, ciclo misto, ciclo de Miller e ciclo de Atkinson.

Tal como foi referido anteriormente, num ciclo de funcionamento existem trocas de fluidos e de energia entre a câmara de combustão e o meio que a rodeia. Para que melhor se compreenda o porquê destas trocas e como é que as mesmas ocorrem é necessário recorrer à termodinâmica.

A termodinâmica é o ramo da física que estuda as causas e os efeitos de mudanças na temperatura, pressão e volume. A transformação adiabática é um processo termodinâmico onde não ocorre a transferência de calor entre o sistema e a sua vizinhança, podendo ocorrer alteração do seu volume, pressão e temperatura. Esta alteração de temperatura provém unicamente do trabalho termodinâmico (expansão ou compressão do fluido) e não das trocas com a sua vizinhança. Contrariamente, na transformação isocórica o volume do sistema permanece inalterado, enquanto que a sua temperatura e pressão sofrem uma alteração significativa. Por último, mas não menos importante, temos a transformação isobárica na qual a pressão é constante, podendo apenas variar o volume e a temperatura.

### 3.1.2.1. Ciclos de 4 Tempos

Num ciclo de 4 tempos, para que o ciclo seja completo, é necessário que a cambota complete duas voltas, ou seja, rode  $720^\circ$ , sendo que cada tempo corresponde a uma rotação de  $180^\circ$  da cambota. A fim de melhor compreender este ciclo, ao longo deste subcapítulo iremos abordar o ciclo de Otto (ignição por faísca) e o ciclo de Diesel (ignição por compressão).

#### 3.1.2.1.1. Ciclo de Otto: Motor de Ignição Comandada

Desenvolvido pelo engenheiro alemão Nikolaus Otto em 1860, o primeiro motor com este sistema utilizava o benzeno como combustível. Contudo, e apesar de o engenheiro alemão ter sido, efetivamente, o primeiro a desenvolver um motor de quatro tempos, a patente foi-lhe retirada, visto que o físico francês Alphonse Beau de Rochas já teria publicado estudos relativos a sistemas de combustão de 4 tempos. Apesar de nunca ter sido provado que Otto tinha tido acesso a esses mesmos estudos e que todo o seu desenvolvimento adveio única e exclusivamente do seu trabalho, a patente nunca mais lhe foi devolvida.

Para melhor compreender o mecanismo de funcionamento do ciclo de Otto, são apresentados dois gráficos na figura 12 que resumem o funcionamento deste ciclo.

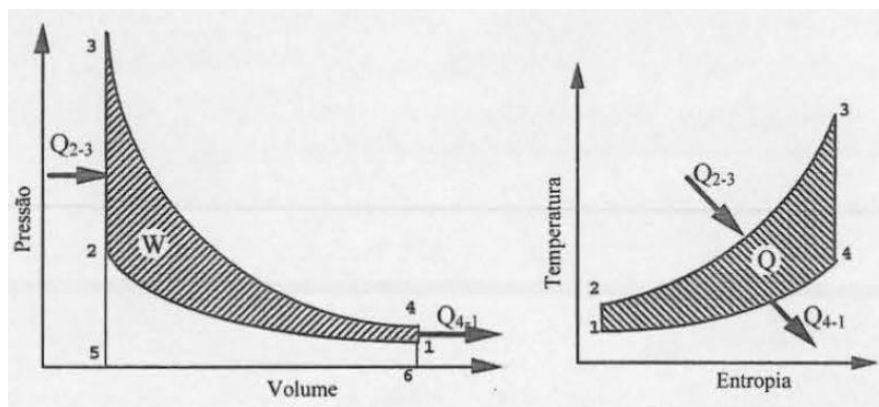


Figura 12 – Ciclo de Otto teórico, com os diagramas p-V e T-S, respetivamente. [8]

Para o ciclo de Otto teórico, presente na figura 12, ocorrem as seguintes transformações termodinâmicas:

5 – 6 Admissão (Transformação Isobárica): entrada de ar com gasolina vaporizada para o interior do cilindro;

6 - 1 Abertura de Válvulas de Admissão (Transformação Isocórica): permite a entrada de ar para o cilindro;

1 – 2 Compressão (Transformação Adiabática): aumento da pressão e diminuição do volume na câmara de combustão;

2 – 3 Explosão (Transformação Isocórica): dá-se a ignição ocorrendo a explosão. O volume mantém-se contante por um curto intervalo de tempo;

3 – 4 Expansão (Transformação Adiabática): aumento do volume e diminuição da temperatura no interior do cilindro;

4 – 6 Abertura de Válvulas de Escape (Transformação Isocórica): permite a libertação dos gases de escape;

6 – 5 Escape (Transformação Isobárica): libertação dos gases de escape;

Para os motores de ciclo de Otto de ignição comandada, o seu ciclo pode ser dividido em 4 tempos (figura 13):

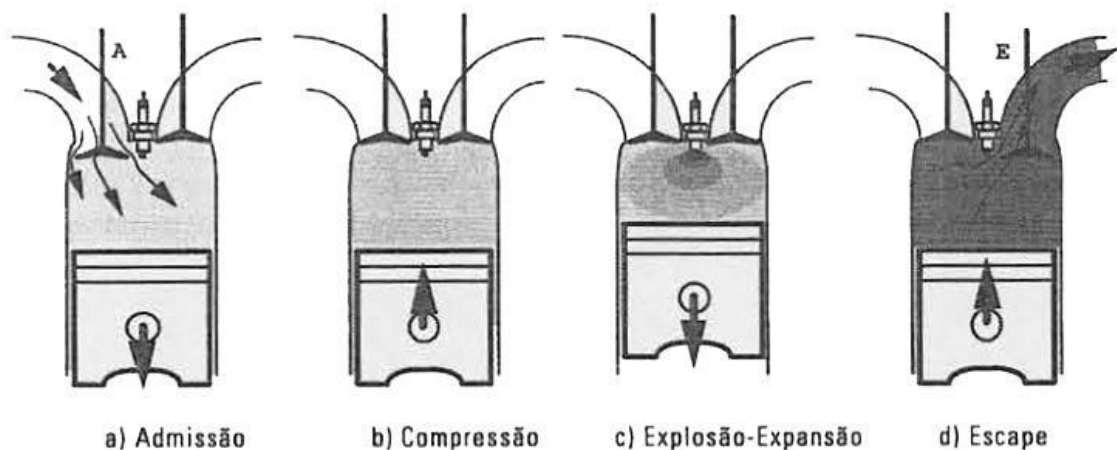


Figura 13 – Os 4 tempos do motor de ignição comandada.[8]

1º Admissão: Neste primeiro tempo, a válvula de admissão está aberta, pelo que possibilita a entrada de ar extraído da atmosfera. Em oposição, a válvula de escape encontra-se fechada. Assim, e sabendo que o pistão se encontra no PMS, o mesmo desce devido à rotação da cambota. À medida que o pistão se desloca até ao PMI, a gasolina que foi pulverizada pelo injetor é introduzida na admissão, dando origem a uma mistura ar+gasolina. Este primeiro tempo termina quando o pistão atinge o PMI.

2º Compressão: No segundo tempo, também conhecido como compressão, é responsável pela compressão da mistura presente na câmara de combustão. Com as válvulas fechadas, a compressão termina quando o pistão volta a atingir o PMS, aumentando substancialmente a pressão no interior da câmara de combustão. No final deste processo, a mistura encontra-se mais homogénea.

3º Explosão: Responsável pela combustão, é no terceiro tempo que existe a libertação da energia armazenada na mistura. Para que isso ocorra, e sabendo que a mistura se encontra comprimida, a vela de ignição fornece uma descarga elétrica à mistura presente na câmara de combustão, fazendo com que a mesma se inflame, levando à combustão (ou explosão). Devido ao aumento de pressão dos gases resultantes da combustão da mistura, o pistão irá deslocar-se até ao PMI. Uma vez que o pistão se encontra ligado à cambota através da biela, o movimento do mesmo irá induzir na cambota um esforço rotativo.

4º Escape: No quarto e último tempo, a câmara de combustão encontra-se cheia de gases de escape provenientes da combustão da mistura. Para que se possa voltar a iniciar um novo ciclo, é necessário que esses mesmos gases sejam expulsos do cilindro. Para isso, a válvula de escape é aberta e o pistão é conduzido ao PMS. Assim que o mesmo atinge o referido PMS, o motor reúne todas as condições para que um novo ciclo se inicie, regressando ao 1º tempo.

#### 3.1.2.1.2. Ciclo de Diesel: Motor de Ignição por Compressão

Quando se deparou com o ciclo de Otto de ignição comandada, Rudolf Diesel identificou alguns problemas que o mesmo apresentava, tais como só poder ser alimentado por um combustível que possa ser vaporizado, a taxa de compressão máxima ser limitada e a mistura ar+combustível estar limitada dentro de um conjunto de parâmetros restritivos.

Identificados aqueles que, para ele, eram alguns problemas que poderiam pôr em causa a rentabilidade do motor, o engenheiro mecânico pôs mãos à obra e desenvolveu um motor que utiliza os mesmos componentes mecânicos que o motor de ignição comandada, mas onde a ignição ocorre devido à compressão do combustível.

Contrariamente ao motor de ignição comandada, no motor de ignição por compressão, a ignição do combustível advém do aumento de pressão e de temperatura no final da fase de compressão do pistão. Com o aumento de pressão, o combustível atinge uma temperatura capaz de garantir que o mesmo se autoinflame.

Do ponto de vista termodinâmico, o ciclo de Diesel é efetivamente muito distinto quando comparado com o ciclo de Otto, apesar de existirem algumas semelhanças. Provavelmente o fator mais distintivo passa pela combustão. Enquanto que no ciclo de Otto esta ocorre de forma quase instantânea, no ciclo de Diesel isso não acontece, como comprova o ciclo teórico da figura 14.

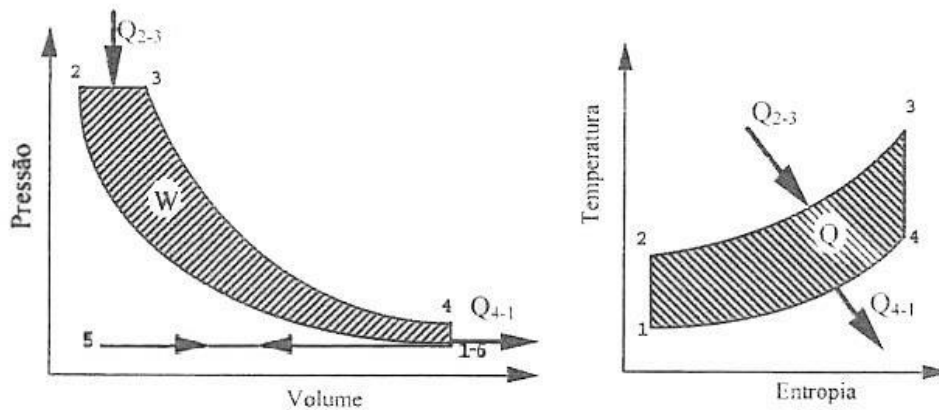


Figura 14 - Ciclo de Diesel teórico, com os diagramas p-V e T-S, respetivamente. [8]

Para o ciclo de Diesel teórico, presente na figura 14, ocorrem as seguintes transformações termodinâmicas:

5 – 6 Admissão (Transformação Isobárica): entrada de ar para o interior do cilindro;

1 – 2 Compressão (Transformação Adiabática): aumento da pressão e diminuição do volume na câmara de combustão;

2 – 3 Explosão (Transformação Isocórica): injeção do combustível na câmara de combustão seguida da autoignição da mesma. Durante o aumento do volume, a pressão mantém-se constante;

3 – 4 Expansão (Transformação Adiabática): aumento do volume e diminuição da temperatura e pressão no interior do cilindro;

4 – 6 Abertura de Válvulas de Escape (Transformação Isocórica): permite a libertação dos gases de escape;

6 – 5 Escape (Transformação Isobárica): libertação dos gases de escape

Para o ciclo de Diesel, os quatro tempos podem ser exemplificados e descritos na figura 15:

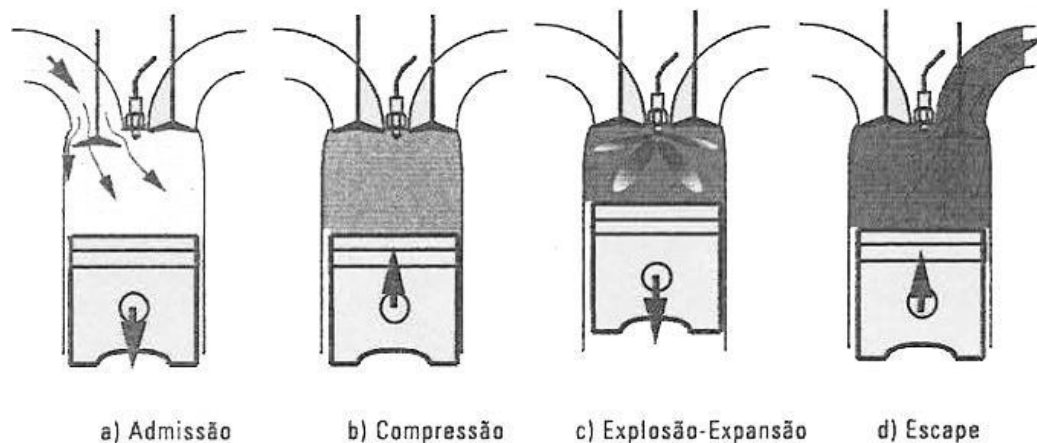


Figura 15 – Os 4 tempos do motor de ignição comandada. [8]

1º Admissão: com a válvula de admissão aberta e a válvula de escape fechada, o pistão desloca-se do PMS até ao PMI permitindo a entrada de ar limpo para o interior do cilindro.

2º Compressão: Assim que o pistão atinge o PMI inicia-se o segundo tempo denominado por compressão. As válvulas de admissão e escape permanecem fechadas e o pistão desloca-se do PMI para o PMS, comprimindo o ar limpo que anteriormente entrou para o cilindro. Este movimento permite que, não só haja um aumento da pressão, como também da temperatura do ar.

3º Explosão-Expansão: inicia-se quando o pistão fica no PMS. Neste momento o combustível é injetado na câmara de combustão e, como no seu interior a temperatura e pressão são muito elevadas, o mesmo acaba por se autoinflamar, sem que haja interferência externa. A injeção de combustível continua durante parte do movimento de descida do pistão por forma a que a pressão seja constante.

4º Escape: No último tempo, assim que o pistão atinge o PMI, ocorre a abertura das válvulas de escape para que, enquanto o pistão se desloca novamente até ao PMS, possa ocorrer a libertação de gases de escape.

### 3.2. Banco de Ensaio

Os dinamômetros são, por definição, aparelhos capazes de medir a intensidade de uma força, podendo esta ter diversas origens. Apesar de hoje em dia associarmos um dinamômetro a um dispositivo capaz de estudar o comportamento, por exemplo, de um MCI, o primeiro dinamômetro foi inventado com o propósito de medir a força muscular de uma pessoa. Os primeiros registos que se têm deste dispositivo de medida (figura 16) remontam para o século XVIII. Neles se destacam o Dinamómetro Isométrico de Graham-Desagulier inventado no ano de 1763, e o Dinamómetro Isométrico de Regnier, inventado no ano de 1798.

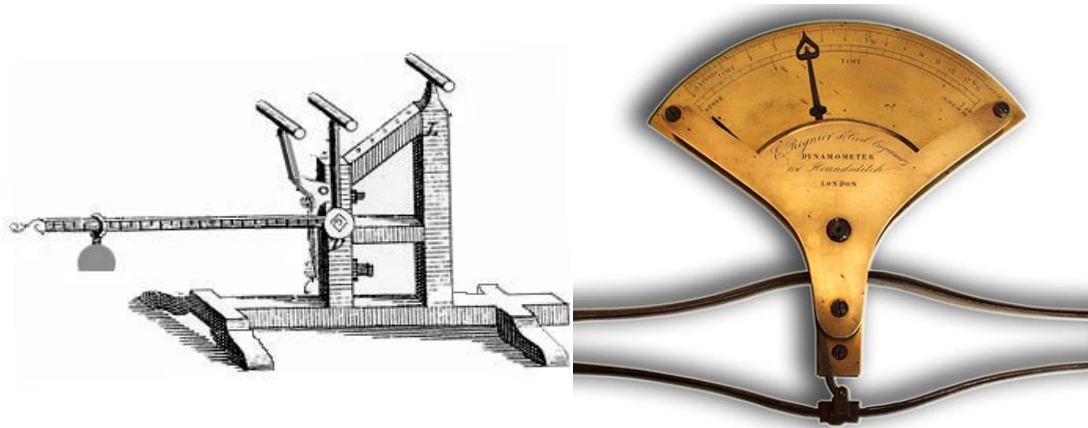


Figura 16 – Compilação dos primeiros dinamómetros isométricos. Na esquerda encontra-se o de Graham-Desagulier e á direita o de Regnier. [13] e [14]

Com o passar dos anos, muitos foram os engenheiros que se aperceberam das inúmeras aplicações que o dinamómetro poderia ter, como foi o caso do ramo automóvel. Para os veículos motorizados, o banco de ensaio ou de potência, nomenclaturas mais utilizada para nos referirmos aos dinamómetros, provou ser uma ferramenta indispensável para um estudo mais aprofundado dos motores.

Quando acoplado a um motor, o banco de ensaio permite ao operador medir, caracterizar e testar diversas configurações por forma a extrair o melhor desempenho possível do motor. Para isso, o banco é capaz de medir o binário ao freio que o motor está a transmitir, bem como a velocidade de rotação do veio da cambota (saída).

Atualmente, este aparelho de medida é uma das principais ferramentas no que diz respeito ao desenvolvimento de novos motores antes que os mesmos passem para a fase de produção em larga escala.

### 3.2.1. Tipos de Dinamómetros

Com o avançar dos tempos, e apesar de atualmente já existir uma grande variedade de dinamómetros, o propósito de cada um deles permaneceu sempre o mesmo: avaliar e caracterizar o desempenho de um motor. Neste sentido, e apesar de existirem muitas variantes, podemos dividir os dinamómetros em duas principais categorias: de inércia e de travão.

#### 3.2.1.1. Dinamómetros de Inércia

Os dinamómetros de inércia recorrem a um disco de inercia para fornecer uma carga ao motor, simulando assim a inércia do veículo. Consoante o tamanho do motor e/ou os critérios para o estudo do mesmo, é possível alterar a inércia do disco (alteração da dimensão, massa ou até mesmo da forma do disco de inércia).

Este tipo de dinamómetro é utilizado para veículo de massa mais reduzida, como é o caso de veículos de competição ou até mesmo motociclos. Uma das principais vantagens passa pelo facto de serem mais baratos e menos complexos, tornando-os mais apelativos.

#### 3.2.1.2. Dinamómetros de Travão

Contrariamente aos de inércia, nos dinamómetros de travão é medido o binário de travão necessário para contrariar o binário produzido pelo motor. Para que isto aconteça, o motor é ligado ao rotor do travão do dinamómetro. Assim que a velocidade do motor estabiliza, o estator do travão é acionado, travando o rotor. Desta forma, e sabendo que o objetivo é contrariar o binário do motor, é possível determinar o binário necessário para o contrariar.

Ainda dentro dos dinamómetros de travão estes podem ser:

- Dinamómetros Hidráulicos: travão hidráulico;
- Dinamómetros Eléctricos: travão eléctrico;
- Dinamómetros de Fricção: travão mecânico;

### 3.2.2. Banco de Ensaio UBICAR

O UBIAN é um veículo com uma massa reduzida alimentado por um motor de pequenas dimensões, pelo que, quando se projetou um banco de ensaios que permitisse estudar o seu comportamento, a decisão recaiu pelo banco de ensaios com um volante de inércia (figura 17).

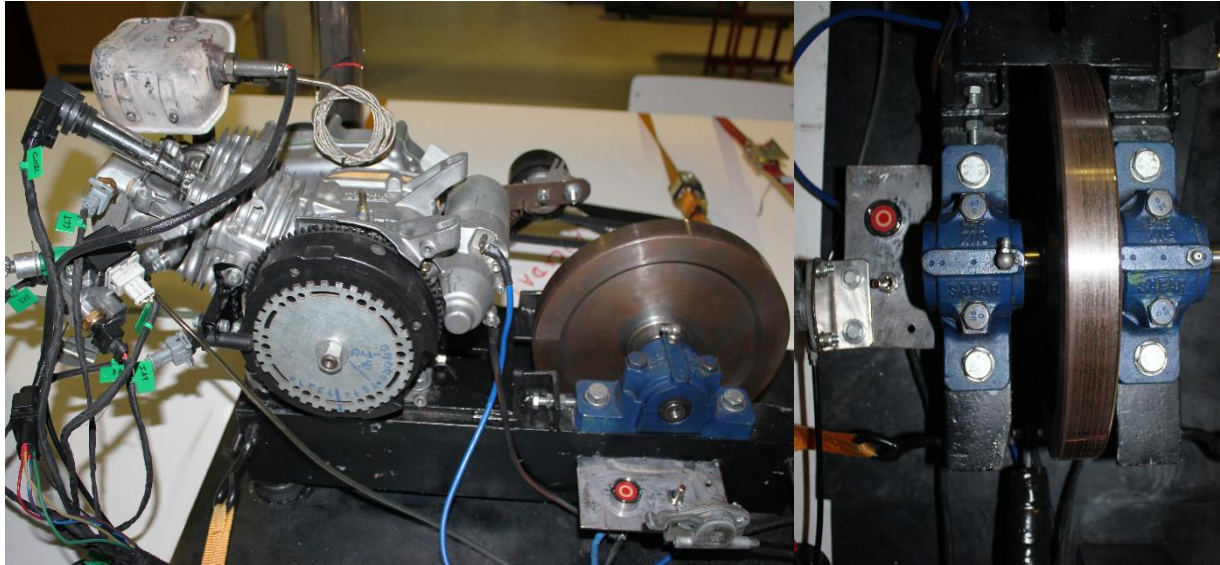


Figura 17 - Banco de Ensaio da equipa UBICAR. Do lado direito encontra-se o conjunto banco de ensaio+motor e do lado direito o disco de inércia do referido banco de ensaios com as respetivas chumaceiras.

Os discos de inércia, para além de permitirem estudar o binário do motor, são responsáveis por eliminar quaisquer oscilações provenientes do motor, bem como vibrações indesejadas. Assim que o motor fornece energia ao volante, este começa a rodar armazenando energia cinética.

Relativamente à aquisição dos dados de cada ensaio, o motor Honda GX160 está equipado com uma unidade de controlo eletrónica (UCE) EMU Black da Ecumaster. Este dispositivo, para além de fazer todo o controlo de funcionamento do motor, consegue receber, processar e guardar todos os dados necessários para o cálculo do momento de inércia e, consequentemente, do binário do mesmo.

### 3.3. Injeção

Os primeiros registos de veículos alimentados por injeção direta de gasolina remontam para o início do século XX quando Léon Levavasseur, engenheiro francês, conseguiu implementar esta tecnologia inovadora num dos seus aviões. Apesar dos resultados obtidos terem sido promissores, a ideia acabaria por cair por terra.

No pós segunda guerra mundial, um conjunto de jovens entusiastas do mundo do automobilismo voltou a pegar nesta ideia, contudo foi a empresa Bosch que, em 1952, conseguiu, não só desenvolver o sistema de injeção direta, como também implementá-lo num conjunto de veículos de produção em série. Destes destacam-se o Mercedes-Benz 300 SL de 1954 e o Goliath GP700 de 1952, presentes na figura 18.



Figura 18 – Primeiros veículos de produção em série com sistema de injeção direta: à esquerda o Mercedes-Benz 300 SL de 1954 e à direita o Goliath GP700 de 1952. [15] e [16]

#### 3.3.1. Injetor

O injetor é um dispositivo eletromecânico responsável por pulverizar a gasolina necessária para que ocorra a combustão dentro do cilindro. Analisando a representação esquemática da figura 19, podemos ver que o injetor é constituído pela entrada de combustível, por um filtro, por um solenoide, pelo conector elétrico, por um íman, por uma mola, por um pistão, pela válvula de saída e por dois anéis de vedação (o-ring).

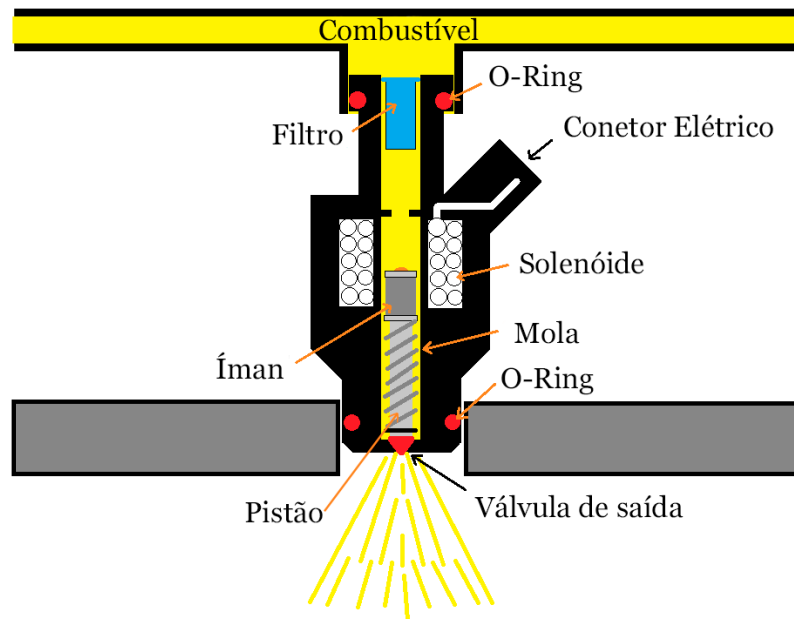


Figura 19 – Representação esquemática da constituição de um injetor. Adaptado de [17]

A UCE é responsável pelo envio do sinal para o injetor. Quando isso acontece, um sinal é enviado para o solenoide através dos seus conectores, gerando um campo magnético à sua volta. Por efeito das forças magnéticas, o pistão sobe, permitindo que a gasolina seja pulverizada. Assim que o sinal é interrompido, a mola empurra o pistão novamente para a sua posição inicial, terminando assim a pulverização da gasolina.

Os injetores podem ainda ser classificados consoante o tipo de vaporização que apresentam, como é resumido na seguinte imagem.

Tabela 2 – Resumo dos diversos tipos de injetor consoante o tipo de vaporização. Adaptado de [18]

	<i>Pencil Stream</i>	<i>Split Stream</i>	<i>Bent Stream</i>	<i>Cone Stream</i>
<b>Características de vaporização</b>				

No Injetor *Pencil Stream*, a vaporização é direcionada para um ponto muito pequeno, sendo que a mesma é concentrada nesse mesmo ponto. Para o injetor *Splint Stream*, ocorre a divisão da vaporização da gasolina para dois locais distintos. Para os casos em que se pretende direcionar a vaporização para uma zona que não esteja na linha central do injetor, recorre-se ao injetor *Bent Stream*. Este último é normalmente utilizado para casos onde se quer vaporizar a gasolina para zonas mais quentes do motor. Por último temos os injetores *Cone Stream*. Atualmente são o modelo mais utilizado na indústria por permitirem pulverizar a gasolina numa grande área de atuação.

### 3.3.2. Classificação do Sistema de Injeção

De acordo com Moreira [19], quando se fala em classificação do tipo de injeção implementada num determinado motor, é necessário ter em atenção uma série de parâmetros, tais como:

- Posicionamento do injetor;
- Tipo de comando associado;
- Número de injetores;
- Forma de abertura de injetores;
- Forma de controlo da massa de ar;
- Controlo da razão ar/combustível;
- Fabricante do sistema de injeção;
- Família do sistema de injeção;

#### 3.3.2.1. Posicionamento do Injetor

De acordo com o posicionamento do injetor, podemos classificar a injeção como sendo direta ou indireta. Nos sistemas de injeção direta, o injetor está localizado junto ao cilindro, pelo que este pulveriza a gasolina diretamente para o interior da câmara de combustão. Como vantagem, este sistema proporciona uma queima mais eficiente, melhorando o desempenho do motor e diminuindo o desperdício, ou seja, um aumento no rendimento do motor. Em contrapartida, este sistema revela ser bastante mais caro e ruidoso.

No sistema de injeção indireta a pulverização ocorre na conduta de admissão, dado que é lá que o injetor está localizado. Quando a válvula de admissão é aberta, ocorre a pulverização da gasolina que é depois conduzida, em conjunto com o ar aspirado até ao interior do cilindro. Como vantagem, este sistema permite que a mistura ar+combustível seja mais homogénea assim que atinge o interior do cilindro.

### 3.3.2.2. Tipo de comando do Injetor

Sendo o injetor o dispositivo responsável por pulverizar a gasolina, o mesmo necessita de um sinal para que possa libertar a gasolina. Neste sentido, podemos distinguir o sistema de injeção como sendo mecânico, eletrónico analógico e eletrónico digital.

- Injeção Mecânica

O primeiro sistema de injeção mecânica surgiu como forma de solucionar a questão do ruído excessivo causado pela injeção direta, problema que impossibilitava a sua implementação em veículos do dia a dia. Para isso, em 1973 a Bosch lança um dos primeiros sistemas de injeção mecânica no mercado intitulado de Bosch K-Jetronic (figura 20).

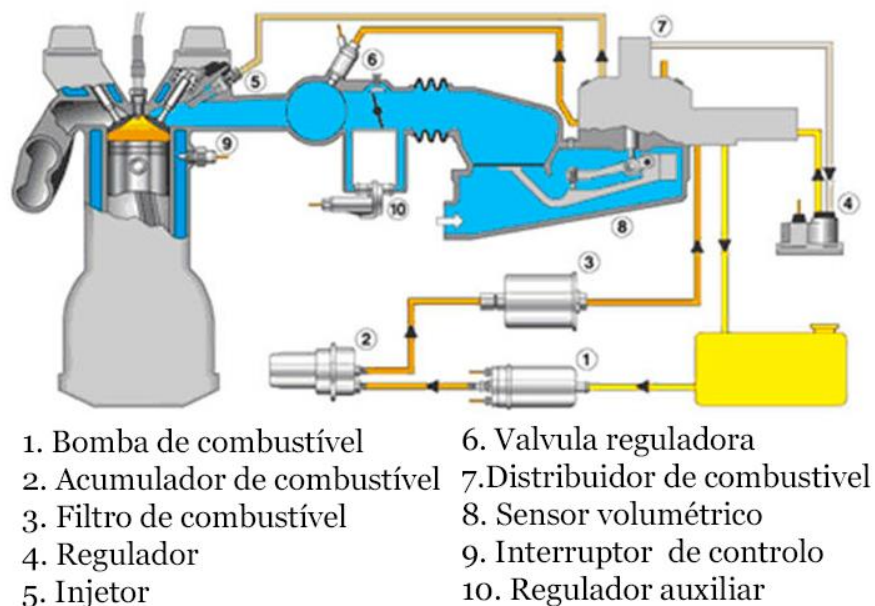


Figura 20 – Sistema de injeção Bosch K-Jetronic. Adaptado de [20]

O sistema Bosch K-Jetronic funciona de acordo com o caudal de entrada de ar, ou seja, a quantidade de gasolina que é injetada na admissão do motor depende da quantidade de ar que entra para o mesmo. Quanto maior for o caudal de entrada, maior será a quantidade injetada de combustível. Após entrar na admissão, o ar encontra um prato posicionado dentro de um venturi (componente 8 no esquema da figura 20) que impede a sua passagem. Assim que o prato se desloca, o ar é conduzido até ao seu interior.

O deslocamento do prato corresponde a um determinado caudal de ar que foi admitido pelo motor, pelo que é convertido pelo distribuidor (componente 7 da figura 20) em combustível que será conduzido até ao injetor. Deste modo, e graças à bomba de combustível, a gasolina chega ao injetor com uma pressão que permite que este seja aberto.

- Injeção Eletrónica

Nos sistemas de injeção eletrónica, o caudal de entrada de ar é medido por um sensor (este varia de motor para motor) que determina a quantidade de combustível que lhe corresponde. Assim que esta é calculada, o sistema eletrónico faz chegar essa informação ao solenoide do injetor através de pulsos, permitindo que este liberte quantidade de gasolina exata. Na figura 21 podemos observar um exemplo de um dos sistemas de injeção eletrónica, intitulado de Bosch L-Jetronic. A injeção eletrónica pode ainda ser dividida em analógica e digital.

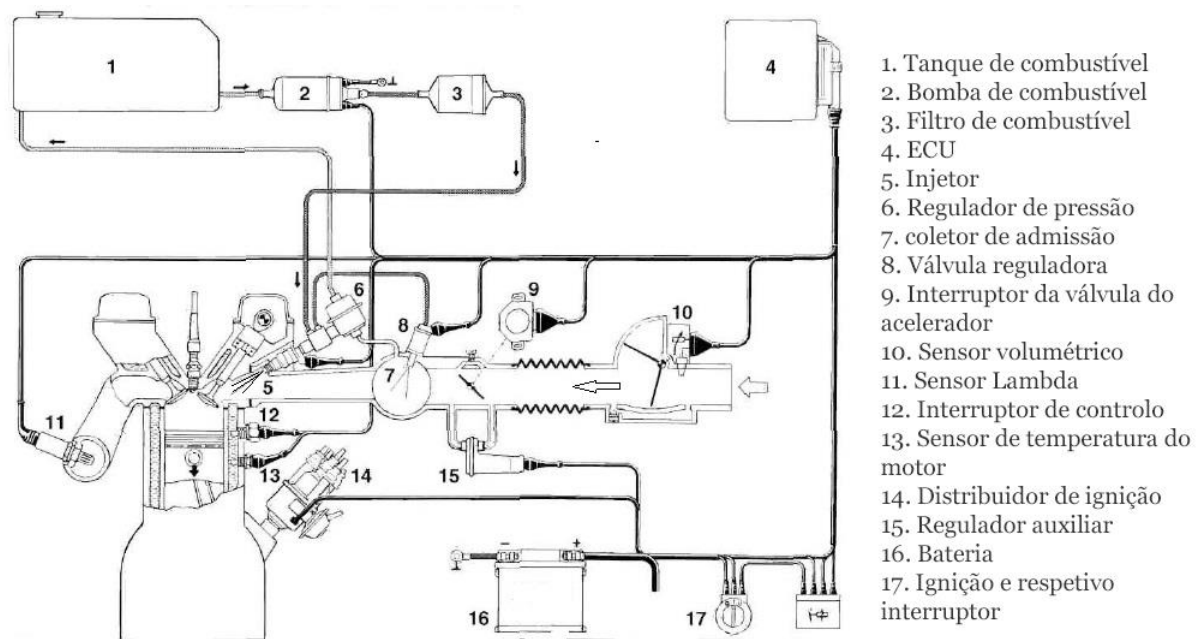


Figura 21 - Sistema de injeção Bosch L-Jetronic. Adaptado de [21]

Na injeção eletrónica analógica, os sinais elétricos que serão fornecidos ao injetor são gerados pelos sensores equipados no motor, ou seja, de acordo com o sinal gerado pelos sensores, é dada uma resposta automática por parte do injetor. Como principal vantagem, este tipo de injeção é menos complexo, pelo que a sua manutenção e reparação são menos dispendiosos e complicados.

Por outro lado, na injeção eletrônica digital, o sinal gerado pelos sensores é conduzido até à UCE do motor, onde é processado e armazenado. Assim que o software interpreta os dados recolhidos nos sensores, envia o sinal até ao injetor com a devida informação. Apesar de ser bem mais complexo que o sistema analógico, na injeção eletrônica digital há a possibilidade de haver um relatório que expõe todos os parâmetros e dados dos veículos. Este relatório é muito importante, uma vez que nos permite estudar e melhorar o desempenho do mesmo.

### 3.3.2.3. Número de Injetores

Quando falamos do número de injetores num sistema de injeção, este pode ser “monoponto” ou “multiponto” (figura 22). Nos sistemas “monoponto”, um único injetor é posicionado na admissão, sendo ele responsável por fornecer combustível a todos os cilindros. Pelo contrário, no sistema multiponto, cada cilindro tem um injetor próprio responsável por fornecer o combustível.

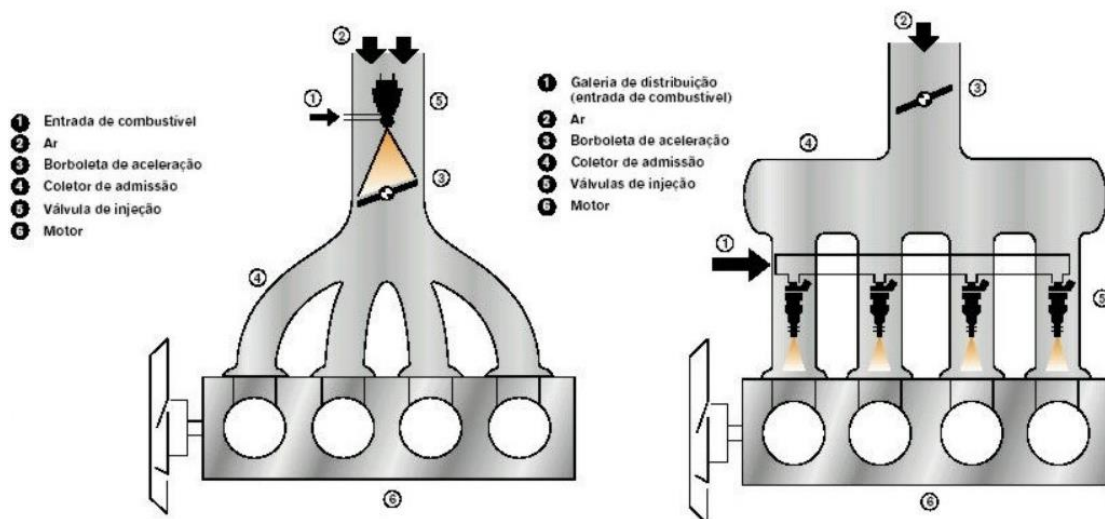


Figura 22 – Representação dos sistemas diferentes quanto ao número de injetores: à esquerda encontra-se o sistema monoponto e à direita o sistema multiponto. [22]

### 3.3.2.4. Forma de abertura de injetores;

Falar da forma de abertura dos injetores é referirmo-nos ao momento em que os mesmos são acionados. Neste sentido, o sistema de injeção pode ser intermitente (simultâneo), semi-sequencial (banco a banco) ou sequencial.

Sempre que estivermos na presença de um sistema em que todos os injetores são acionados ao mesmo tempo, damos o nome de simultâneo ou intermitente. Quando estivermos na presença de injetores em que metade está aberta e a outra metade está fechada (sendo que vão alternando), dá-se o nome de sistema banco a banco ou semi-sequencial. No sistema sequencial, a UCE sabe em que tempo é que cada um dos cilindros se encontra (admissão, compressão, explosão ou escape). Assim, de acordo com esta informação, só será acionado o injetor que se encontrar no tempo da explosão.

### 3.4. Ignição

Para que ocorra a combustão dentro de um motor é necessário que este possua um sistema de ignição, uma vez que é o responsável pela ignição da mistura.

Os primeiros sistemas de ignição aplicados a motores remontam ao final do século XIX, altura em que a ignição era feita de duas maneiras: por chama direta (figura 23) ou por tubo quente (fig. 24). A primeira, e mais arcaica, forma de ignição consistia em aproximar uma chama junto da mistura ar+combustível, contudo revelou ser pouco segura e muito instável. Por outro lado, na ignição por tubo quente, a câmara de combustão possuía um tubo oco que era aquecido, proporcionando a fonte de calor necessária para inflamar a mistura.



Figura 23 – Sistema de ignição por chama direta. [23]

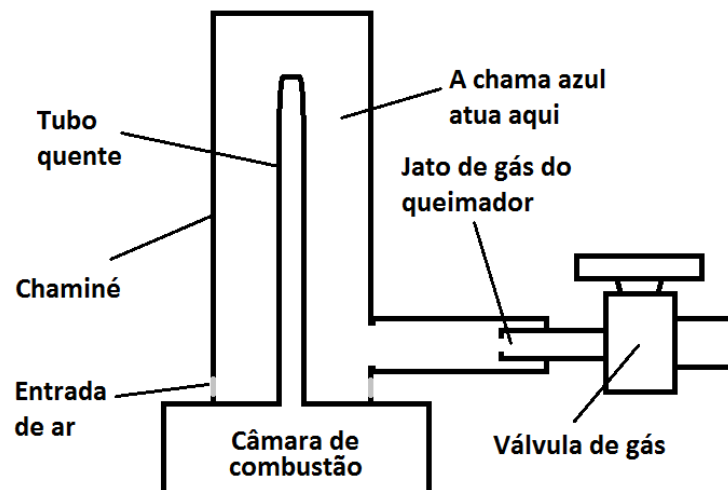


Figura 24 – Sistema de ignição por tubo quente. [24]

Atualmente o sistema de ignição é constituído por uma vela de ignição responsável por fornecer uma tensão elevada, que ronde os 5kV, à vela de ignição. Apesar de tanto o sistema de chama direta como o de tubo quente não serem mais utilizados, ambos tiveram um papel importante, uma vez que representam os primeiros passos no desenvolvimento e implementação dos sistemas de ignição.

Quando falamos em sistema de ignição, podemos dividi-los em três grupos diferentes: ignição transistorizada com platinado, ignição transistorizada sem platinado e ignição eletrónica mapeada. [25]

#### 3.4.1. Ignição Transistorizada com Platinado

A ignição transistorizada com platinado, presente na figura 25, foi, efetivamente, o primeiro sistema de ignição que veio revolucionar a forma como os primeiros sistemas atuavam. Quando o platinado é fechado, uma pequena corrente base, emitida pela bateria, é fornecida ao transistor TJB, permitindo que este armazene energia. Assim que se abre o platinado, a corrente base que era fornecida ao transistor é interrompida, a energia armazenada no transistor TJB é descarregada. Posto isto, o transistor é capaz de gerar tensões muito elevadas que serão depois conduzidas até às velas de ignição que irão produzir a faísca necessária para a ignição.

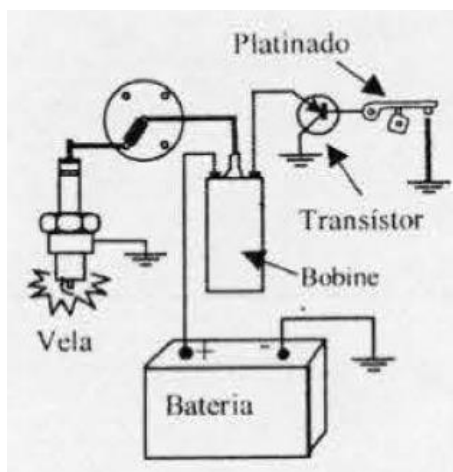


Figura 25 - Sistema de ignição transistorizada com platinado. [8]

### 3.4.2. Ignição Transistorizada sem Platinado

Muito semelhante ao sistema de ignição transistorizado com platinado, no sistema transistorizado sem platinado, e apesar de o princípio de funcionamento, em quase tudo, semelhante, a principal diferença passa, efetivamente pela ausência do platinado. Neste segundo, o platinado é substituído por um sensor do tipo eletromagnético ou de efeito de hall. De salientar que este sensor irá desempenhar a mesma função do platinado.

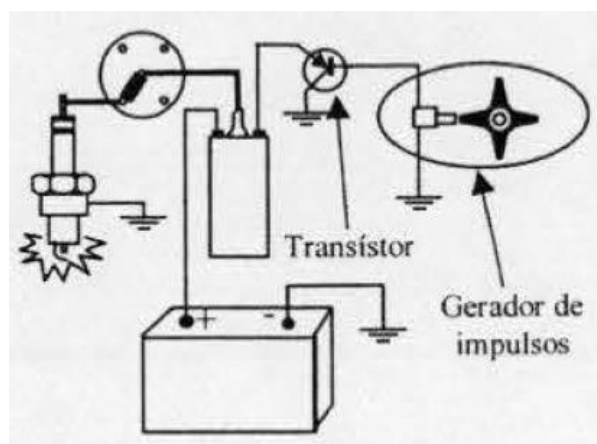


Figura 26 – Sistema de ignição transistorizada sem platinado. [8]

### 3.4.3. Ignição Eletrônica Digital

Os sistemas de ignição eletrônica mapeada são, atualmente, os mais utilizados devido à sua precisão em controlar o exato momento em que a ignição ocorre. Este sistema é constituído por um distribuidor, uma bateria, uma UCE, um sensor de posição e uma vela. O sensor de posição é responsável por determinar a posição da cambota. Esta informação é crucial para a UCE, uma vez que, sem ela não é possível calcular o avanço ou recuo da ignição.

Obtendo esta informação, a UCE envia um sinal de  $\pm 12V$  para o módulo de ignição que por sua vez faz com que a bobine gere uma faísca para o sistema.

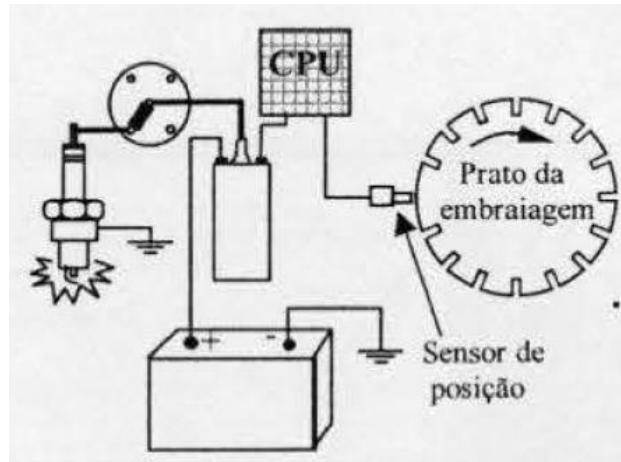


Figura 27 - Sistema de ignição eletrônica digital. [8]

### 3.5. Sensores Usados em Motores

Os sensores são dispositivos responsáveis por captar e responder a estímulos externos, podendo estes ser de origem física ou química. Assim que é detetado o estímulo, o sensor produz um sinal que depois será enviado para a UCE onde será processado e convertido. Com a implementação dos sensores nos motores de combustão interna veio também a facilidade na interpretação e estudo do seu modo de funcionamento e, conseqüentemente, na sua otimização. De seguida iremos abordar alguns dos sensores que são mais utilizados, estando estes divididos pela categoria que lhes é correspondente.

#### 3.5.1. Sensor de velocidade

Como o próprio nome indica, nos sensores de velocidade o objetivo é medir a velocidade de um determinado objeto ou componente. No caso concreto dos motores de combustão interna, o sensor de velocidade é, não só utilizado para medir a velocidade do motor, mas também a posição da cambota. Determinar a posição da cambota permite à UCE saber qual a fase em que cada um dos cilindros se encontra.

Dentro dos sensores de velocidade, estes podem ser sensores de efeito de Hall ou sensores indutivos (relutância magnética). Baseado no efeito de Hall, descoberto por Edwin Hall no ano de 1879, ao aplicarmos a um determinado condutor um campo magnético (ímã, por exemplo) que seja perpendicular ao sentido da corrente, irá ocorrer o aparecimento de uma tensão a que damos o nome de tensão de Hall que será depois medida pelo sensor.

Os sensores indutivos, são normalmente aplicados junto à árvore de cames ou à cambota. A leitura da velocidade é feita recorrendo a um disco com dentes. À medida que este vai rodando e os dentes vão passando pelo sensor, este gera uma tensão.



Figura 28 – Exemplo de sensor de velocidade.[26]

### 3.5.2. Sensor de pressão

A pressão traduz a relação que uma determinada força faz sobre uma determinada superfície na qual é aplicada. Na área dos motores de combustão interna, a pressão atmosférica é um dos parâmetros mais importantes para compreender o seu comportamento.

Um sensor de pressão tem a função de medir a pressão absoluta na zona onde é aplicado. Para os motores, o mais recorrente é o sensor MAP (manifold absolute pressure) responsável por medir a pressão absoluta no coletor de admissão. Quando o motor se encontra desligado, a diferença entre a pressão no coletor de admissão e o valor da pressão atmosférica é nula. Contudo, e sabendo que a borboleta do acelerador se encontra fechada, assim que se liga o motor, ocorre a criação de vácuo na admissão. Isto acontece devido ao movimento de bombeamento dos pistões. Assim que se acelera (a borboleta abre), deixa de haver vácuo, pelo que se mede a diferença entre o valor absoluto da pressão atmosférica e a pressão dentro do coletor de admissão. Por sua vez esta diferença é convertido em tensão que será depois enviada para a UCE.



Figura 29 - Exemplo de um sensor de pressão MAP. [27]

### 3.5.3. Sensor de temperatura

Os sensores de temperatura que, normalmente, são utilizados nos motores são, na realidade, um termistor. Um termistor é um termómetro que possui na sua constituição uma resistência que varia conforme a temperatura do sensor. Assim que a temperatura aumenta, a resistência dentro do termistor diminui, pelo que altera o sinal que por ele passa.

O motor normalmente contém três sensores diferentes: CLT (Coolant Temperature) e IAT (Intake Air Temperature). Podendo estar localizado em diversas partes do motor, o sensor CLT tem como principal função determinar a temperatura a que o motor está a trabalhar em cada instante. O sensor IAT é responsável por medir a temperatura antes da entrada do ar no cilindro, estando este localizado dentro do coletor de admissão.



Figura 30 - Exemplo de um sensor de temperatura. [28]

### 3.5.4. Sensor MAF (Mass Air Flow)

Tal como foi referido anteriormente, o sensor MAF permite que seja determinado o caudal mássico de ar que entra para o coletor de admissão, importante para determinar qual a quantidade de gasolina necessária para injetar no motor. Os primeiros sensores MAF consistiam num prato que bloqueava a passagem do ar. Assim que o ar entrava, o prato era deslocado. A esse deslocamento correspondia uma certa quantidade de ar.

Atualmente este conceito foi substituído pelos sensores MAF de fio quente que funcionam da seguinte maneira: um fio de espessura reduzida é aquecido pela corrente elétrica que é mantido a uma determinada temperatura. Assim que o ar passa pelo fio quente, este é arrefecido pela sua passagem. Neste momento, o sensor fornece mais corrente elétrica por forma a contrariar este arrefecimento. Quando maior for o fluxo de ar, mais corrente vai ser necessária fornecer ao fio quente.



Figura 31 - Exemplo de um sensor MAF.[29]

### 3.5.5. Sensor TPS (Throttle Position Sensor)

A borboleta do acelerador é o mecanismo que permite regular a entrada de ar no motor. Para que a UCE possa saber qual a quantidade de ar que está a ser permitida entrar, ou seja, qual a posição da borboleta, é necessário que haja um sensor capaz de o fazer. A esse sensor dá-se o nome de TPS (Throttle Position Sensor).

O sensor TPS é constituído por um potenciómetro que, dependendo da posição em que a borboleta se encontra, emite um determinado sinal que é depois enviado até à UCE.



Figura 32 - Exemplo de um sensor TPS.[30]

### 3.5.6. Sensor de oxigénio (Sonda Lambda, $\lambda$ )

Para que ocorra a combustão no motor é necessário que a mistura entre o combustível e o ar seja o mais próximo do ideal. Caso isto não aconteça, a combustão pode ser incompleta dando origem a uma série de problemas, como a falta de rendimento do motor. Uma das formas de saber como está a ocorrer a combustão é através da determinação da quantidade de oxigénio nos gases de escape. Para isso, recorremos ao sensor de oxigénio, ou como é vulgarmente conhecido, a sonda lambda.

Localizada no escape, a sonda lambda é um sensor composto por material eletrólito cerâmico de óxido de zircônica, estabilizado por um óxido de ítrio, poroso, permitindo assim que os gases possam passar para o seu núcleo. O núcleo é constituído por uma superfície interior e uma exterior. Na superfície exterior do núcleo da sonda passam os gases de escape, enquanto que no seu interior se encontra ar atmosférico.

Assim que o eletrólito atinge temperaturas elevadas ( $>300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), este torna-se condutor e acaba por gerar uma carga galvânica. A diferença entre a quantidade de oxigénio entre o ar atmosférico e o gás de escape gera uma diferença de potencial entre as superfícies interna e externa, valor que será transmitido à UCE.



Figura 33 - Exemplo de uma sonda lambda. [31]

# Capítulo 4 – Procedimento Experimental

No capítulo quatro é feito o planeamento de toda a componente experimental, a apresentação dos equipamentos utilizados e das curvas de desempenho do motor. De seguida é feito o cálculo da EV teórica e a determinação dos mapas de EV e do AAI.

## 4.1. Planeamento da Componente Experimental

Para o desenvolvimento da componente experimental desta dissertação, e com base nos objetivos da mesma, foi necessário começar por estruturar todos os pontos que irão ser abordados. A partir desta ideia, foi elaborado um fluxograma (figura 34) permitindo assim a esquematização de todo o processo que envolve a componente prática.

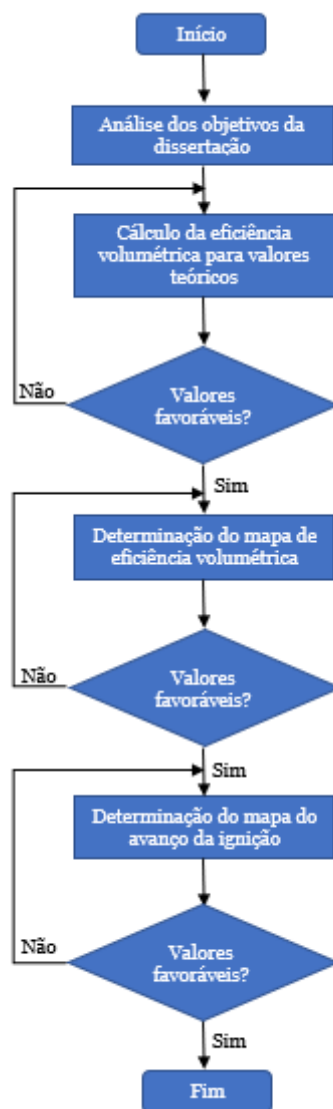


Figura 34 - Fluxograma do processo utilizado para a componente experimental.

## 4.2. Equipamentos utilizados

Ao longo deste capítulo serão abordados os principais equipamentos necessários para o desenvolvimento desta dissertação. De ressaltar que todos os equipamentos/dispositivos utilizados se encontram enumerados na tabela do Anexo A.

### 4.2.1. Motor Honda GX160

Criado pela Honda, uma das maiores empresas responsáveis pelo desenvolvimento de automóveis e motocicletas, os motores da gama GX (*general purpose*) foram introduzidos no mercado como resposta ao crescente aumento da necessidade de motores capazes de ser aplicados em diversas tarefas do dia-a-dia. Tudo isto só foi possível graças à facilidade com que podem ser adaptados para as mais diversas tarefas. Facilmente encontramos motores Honda GX em geradores, bombas, motocultivadores e em muitas outras aplicações industriais.

Durante o desenvolvimento do UBIAN19, e após analisar diversas possibilidades, a equipa decidiu optar pelo motor Honda GX160 (figura 35) por ser um motor, não só muito viável, mas também capaz de satisfazer os requisitos impostos pela competição. Na tabela 3 encontra-se um resumo de todas as características técnicas do referido motor original.



Figura 35 - Motor Honda GX160. [32]

Partindo do motor dito de fábrica, a equipa retirou todos os componentes que não necessitava para o desenvolvimento deste projeto, ficando apenas o motor propriamente dito. Tendo o motor base preparado, foi instalada uma injeção eletrónica comandada por uma UCE que será abordada mais à frente.

Tabela 3 - Tabela das características técnicas do motor Honda GX 160. [33]

Honda GX160	
<b>Tipo de Motor</b>	Motor a gasolina OHV de 4 tempos refrigerado a ar, Cilindro com uma inclinação de 25 °, eixo horizontal
<b>Diâmetro x Curso</b>	68x45 mm
<b>Cilindrada</b>	163 cm <sup>3</sup>
<b>Potência Útil/Rotação</b>	4,8 HP (3.6 kW) @ 3600 rpm
<b>Binário Útil</b>	7,6 lb-ft (10.3 N.m) @ 2500 rpm
<b>Rotação do Eixo de Transmissão</b>	Sentido anti-horário (do lado do eixo de transmissão)
<b>Taxa de Compressão</b>	9,0: 1
<b>Bobina</b>	1A, 3A, 7A
<b>Sistema de alimentação</b>	Carburador
<b>Sistema de Ignição</b>	Magneto transistorizado
<b>Sistema de Arranque</b>	Manual (retráctil)
<b>Sistema de Lubrificação</b>	Por salpico
<b>Regulador de Velocidade</b>	Regulador centrífugo
<b>Capacidade de Óleo do Cárter</b>	0,58 L
<b>Combustível Recomendado</b>	Gasolina
<b>Peso Seco</b>	15,1 Kg

Segundo Jorge Martins [8], um motor pode ser classificado de acordo com um conjunto de parâmetros característicos explanados na tabela 4. De salientar que esta classificação só foi feita após as modificações anteriormente referidas.

Tabela 4 - Classificação do motor de acordo com os parâmetros característicos. [8]

<b>Parâmetros Característicos</b>	
<b>Ciclo de Operação</b>	Motor de 4 tempos (Ciclo de Otto)
<b>Tipo de Ignição do Combustível</b>	Ignição Comandada (por faísca)
<b>Colocação das Válvulas</b>	Válvulas à Cabeça
<b>Combustível Utilizado</b>	Gasolina
<b>Método de Carga</b>	Aspirado (atmosférico)
<b>Preparação da Mistura</b>	Injeção na admissão
<b>Tipo de Ignição</b>	Ignição eletrónica digital
<b>Arrefecimento</b>	A ar
<b>Geometria</b>	Monocilíndrica

#### 4.2.2. Unidade de Controlo – Ecumaster EMU Black

Fundada em 2009 na Polónia, a Ecumaster é uma empresa especializada no desenvolvimento, fabrico e comercialização de unidades de controlo focado nos mercados do desporto motorizado. Atualmente, a empresa polaca está presente nos quatro cantos do globo.

Para o desenvolvimento desta dissertação optou-se por recorrer à UCE EMU Black (figura 36). A EMU Black é um dispositivo equipado com um software aberto, ou seja, permite que seja feita a sua programação de forma a obter o melhor desempenho. Por se tratar de um software bastante intuitivo, o utilizador não terá grandes dificuldades nas alterações de parâmetros como calibração de sensores, criação de mapas de eficiência volumétrica, mapas do ângulo de avanço da ignição, correções nos tempos dos injetores, entre tantos outros. No Anexo B encontra-se a tabela com as informações técnicas da EMU Black.



Figura 36 - Unidade de controlo Ecumaster EMU Black. [34]

#### 4.2.3. Sensores Utilizados

No subcapítulo 3.5. procedeu-se a uma descrição dos sensores em geral seguido de uma enumeração de quais os mais implementados em motores. Na tabela 5 encontra-se a listagem de todos os sensores necessários para esta dissertação, bem como o local onde os mesmos foram aplicados.

Tabela 5 - Listagem de sensores implementados no desenvolvimento desta dissertação.

Tipo de Sensor	Descrição	Onde se encontra aplicado
<b>Sensor de Temperatura</b>	Sensor IAT – Mede a temperatura do ar na Admissão	Admissão
	Sensor CLT – Mede a temperatura a que o motor está a funcionar	Cabeça do Motor
<b>Sensor TPS</b>	Sensor TPS – Determina a posição da borboleta	Junto à borboleta
<b>Sensor de Oxigénio</b>	Sonda Lambda – Mede a quantidade de oxigénio nos gases de escape	Escape
<b>Sensor de Pressão</b>	Sensor MAP – Mede a pressão absoluta na admissão	Está incorporado na UCE
<b>Sensor de Velocidade</b>	Sensor VR – Determina a posição da cambota e a velocidade de rotação do motor	Volante do motor

### 4.3. Curvas de Desempenho do Motor GX160

Antes de proceder ao início da componente prática desta dissertação, foi necessário compreender e estudar qual o comportamento do motor de acordo com as suas curvas características. Na figura 37 encontra-se presente um gráfico com as curvas características do funcionamento do motor Honda GX160 original.

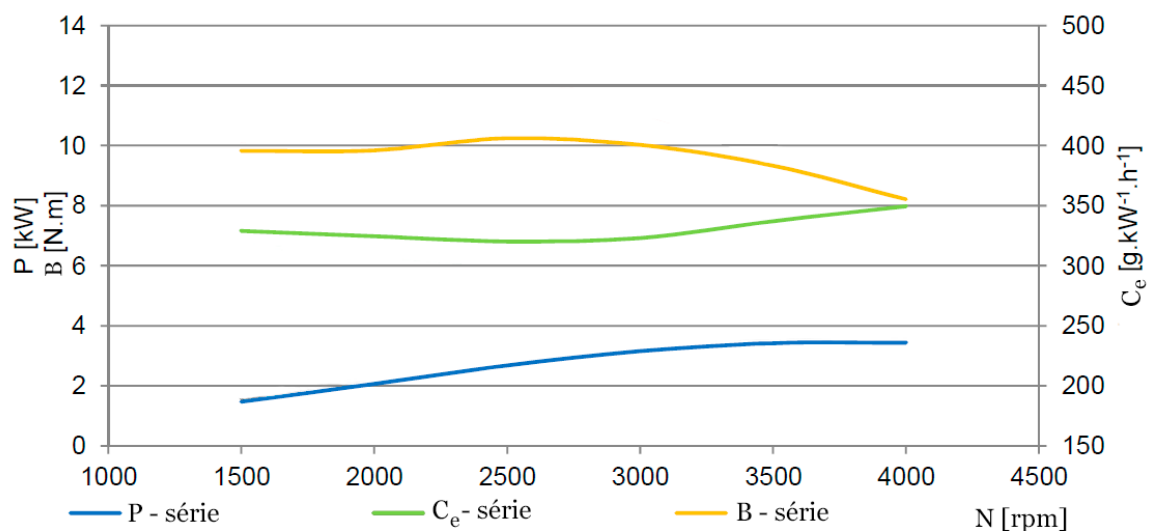


Figura 37 - Gráfico com as curvas de desempenho do motor GX160 de origem. Adaptado de [35]

A partir das curvas características disponibilizadas pela Honda (figura 38), podemos, não só validar as curvas características do gráfico da figura 37, mas também aferir que a gama ideal de funcionamento do motor GX160 se encontra compreendida entre as 2000 e as 3600 rpm.

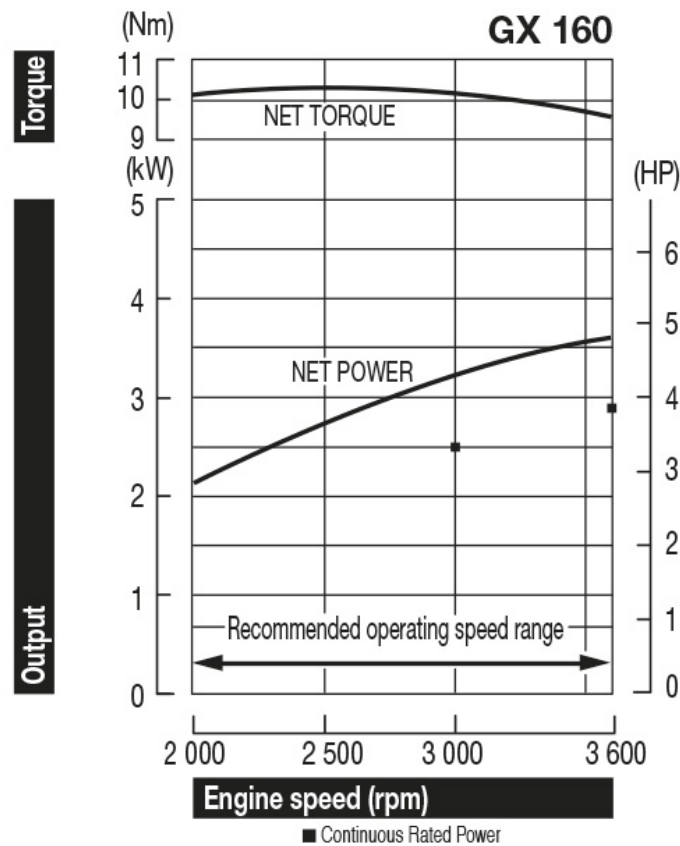


Figura 38 - Curvas características do motor Honda GX160. [36]

A partir do gráfico da figura 37, foi possível determinar quais os valores de binário, potência e consumo específico correspondentes a um conjunto de valores da velocidade de rotação do motor compreendidos entre as 2000 e as 3600 rpm, estando estes compilados na tabela 6. A sua determinação foi feita recorrendo à análise e aproximação gráfica de cada uma das curvas.

Tabela 6 - Tabela resumo com os dados do binário, potência e consumo específico para a gama de funcionamento do motor aconselhada pela Honda.

RPM	Binário [N.m]	Potência [kW]	Consumo Específico [ $g \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1}$ ]
<b>2000</b>	10,13	2,08	323,32
<b>2125</b>	10,22	2,23	321,91
<b>2250</b>	10,27	2,40	320,23
<b>2375</b>	10,31	2,57	319,66
<b>2500</b>	10,36	2,7	318,54
<b>2625</b>	10,33	2,84	318,54
<b>2750</b>	10,31	2,98	319,10
<b>2875</b>	10,24	3,09	320,23
<b>3000</b>	10,16	3,20	321,91
<b>3125</b>	10,09	3,28	324,44
<b>3250</b>	9,96	3,37	328,65
<b>3375</b>	9,82	3,42	332,58
<b>3500</b>	9,67	3,47	336,24
<b>3600</b>	9,51	3,50	339,33

#### 4.4. Eficiência Volumétrica Teórica

De acordo com Heywood [37] e Martins [8], a eficiência volumétrica é definida como sendo a razão entre o volume de ar que é admitido pelo motor em cada ciclo e a sua cilindrada, ou seja, o volume que é deslocado pelo pistão. Este conceito pode ser expresso na equação 1.

$$e_{Vol} = \frac{\text{volume de entrada em cada ciclo}}{\text{cilindrada}} = \frac{\dot{m}_{ar}}{\rho_{ar} \cdot V_v \cdot N} * \frac{T}{2} \quad (1)$$

Onde:

$\dot{m}_{ar}$ : caudal mássico de ar  $\left[\frac{g}{s}\right]$ .

$\rho_{ar}$ : massa específica do ar  $[g/cm^3]$ .

$V_v$ : volume varrido, ou seja, volume deslocado pelo pistão  $[cm^3]$ .

$N$ : velocidade de rotação do motor  $[rad/s]$ .

$T$ : número de tempos do ciclo.

De acordo com o software que se encontra disponibilizado na UCE, a eficiência volumétrica depende da posição da borboleta do acelerador e da velocidade de rotação do motor. Assim, e de acordo com os valores dos referidos parâmetros, é-lhes atribuído um determinado valor de eficiência volumétrica. Na figura 39 podemos observar o mapa base presente no software.

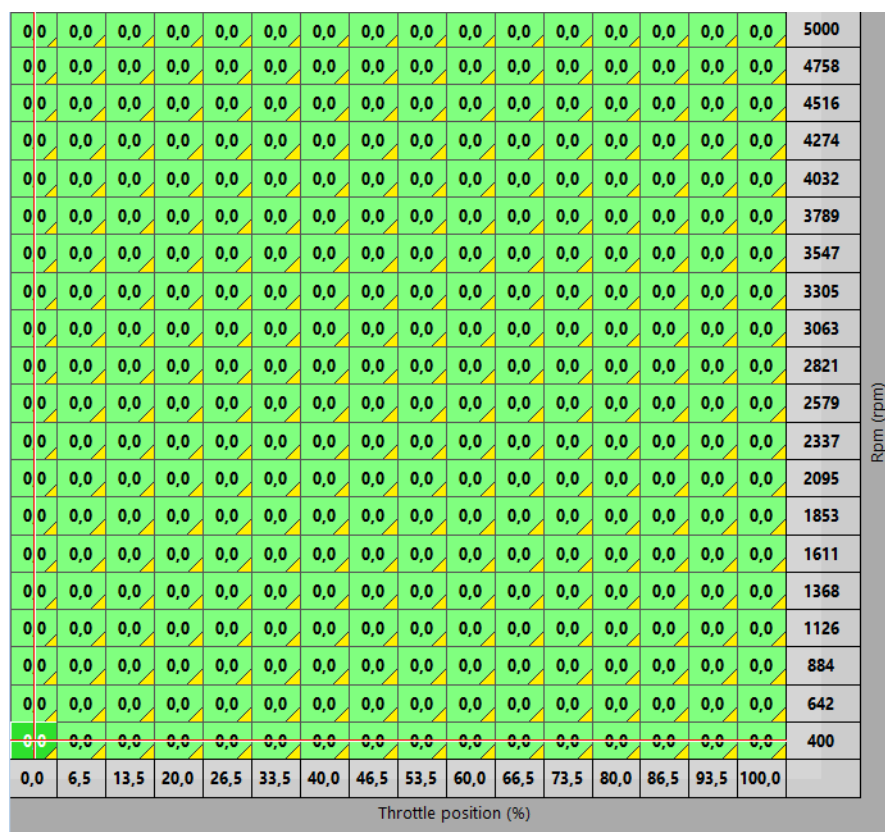


Figura 39 - Mapa base da eficiência volumétrica do software da UCE.

Devido à ausência de um sensor MAF no motor, não nos é possível determinar o caudal mássico de ar admitido e, conseqüentemente, a EV teórica, pelo que teremos de o fazer de uma forma distinta.

Tal como foi referido anteriormente, o motor GX160 apresenta uma gama de funcionamento ideal, recomendada pela Honda, entre as 2000 e as 3600 rpm. Assim iremos proceder ao cálculo da eficiência volumétrica teórica para os valores compreendidos na referida gama de funcionamento.

O consumo específico traduz a quantidade de combustível consumido por unidade de tempo, podendo ser traduzido pela equação 2.

$$C_e = \frac{T_{comb} * 3600}{P} \quad (2)$$

Onde:

$C_e$ : consumo específico  $\left[ \frac{g}{kW.h} \right]$

$T_{comb}$ : taxa de consumo de combustível  $\left[ \frac{g}{s} \right]$

$P$ : potência do motor [kW]

A partir da equação (2), é possível determinar a taxa de consumo de combustível. De acordo com Brunetti [25], a razão estequiométrica entre o ar e a gasolina é de 14,7, ou seja, por cada parte de gasolina é necessário 14,7 partes de ar. Assim torna-se possível calcular a quantidade de ar que lhe corresponde, à qual se dá o nome de taxa de consumo de ar, traduzida pela equação (3):

$$T_{ar} = 14,7 * T_{comb} \quad (3)$$

Recordado a equação (1) referente à eficiência volumétrica, podemos considerar que a taxa de consumo de ar é, na realidade, o caudal mássico do ar admitido. Posto isto poder-se-á substituir cada um dos valores e, assim, determinar o valor teórico da eficiência volumétrica para a gama de funcionamento recomendada para o motor. De seguida irá ser feito o cálculo da eficiência volumétrica para  $N=2000$  rpm.

Tabela 7 - Dados referentes ao caso em que a velocidade de rotação é 2000 rpm.

Dados para 2000 rpm	
<b>N [rpm]</b>	2000
$C_e \left[ \frac{g}{(kW \cdot h)} \right]$	323,32
<b>P [kW]</b>	2,08
<b>Volume Varrido [cm<sup>3</sup>]</b>	163,40
<b>T (tempos/ciclo)</b>	4

A partir dos dados da tabela 7, começa-se por calcular qual o valor da taxa de consumo de combustível para a velocidade de rotação de 2000 rpm. Partindo da equação (2) obtemos que:

$$C_e = \frac{T_{comb} * 3600}{P} \Leftrightarrow T_{comb} = \frac{C_e * P}{3600} \Leftrightarrow T_{comb} = \frac{323,32 * 2,08}{3600} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow T_{comb} = 1,87 * 10^{-1} \left[ \frac{g}{s} \right]$$

Assim que a taxa de consumo de combustível é determinada, o passo seguinte é calcular a taxa de consumo de ar que lhe corresponde.

$$T_{ar} = 14,7 * T_{comb} \Leftrightarrow T_{ar} = 14,7 * 1,87 * 10^{-1} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow T_{ar} = 2,74 \left[ \frac{g}{s} \right]$$

Onde:

$T_{ar}$ : taxa de consumo de ar  $\left[ \frac{g}{s} \right]$

De seguida, e tendo em conta a fórmula para o cálculo da eficiência volumétrica, é necessário determinar qual a massa específica do ar. A partir da tabela 8, obtém-se que:

Tabela 8 - Dados para a determinação da densidade do ar.

Dados	
$p_{atm}$ [kPa]	101,8
$R$ [J/(kg*K)]	287
$T$ [K]	298,15

$$\rho_{ar} = \frac{p_{atm}}{R * T} \Leftrightarrow \rho_{ar} = \frac{101,8}{287 * 298,15} \Leftrightarrow \rho_{ar} = 1,19 * 10^{-3} \left[ \frac{kg}{L} \right] \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \rho_{ar} = 1,19 * 10^{-3} \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

A partir destes dados, podemos calcular qual a eficiência volumétrica teórica para uma velocidade de 2000 rpm.

$$e_{Vol} = \frac{\dot{m}_{ar}}{\rho_{ar} * V_v * N} * \frac{T}{2} \Leftrightarrow e_{Vol} = \frac{2,74}{1,19 * 10^{-3} * 163,4 * \frac{2000}{60}} * \frac{4}{2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow e_{Vol} = 0,845 \Leftrightarrow e_{Vol} = 84,5\%$$

Para os outros valores referentes à gama de funcionamento da recomendada pela Honda, os respetivos resultados encontram-se expostos na tabela 8.

Tabela 9 - Dados da eficiência volumétrica para a gama de funcionamento aconselhada para o motor Honda GX160.

RPM	VE	VE [%]	RPM	VE	VE [%]
<b>2000</b>	0,845	84,50%	<b>2875</b>	0,867	86,70%
<b>2125</b>	0,853	85,30%	<b>3000</b>	0,866	86,60%
<b>2250</b>	0,861	86,10%	<b>3125</b>	0,858	85,80%
<b>2375</b>	0,871	87,10%	<b>3250</b>	0,858	85,80%
<b>2500</b>	0,867	86,70%	<b>3375</b>	0,85	85,00%
<b>2625</b>	0,87	87,00%	<b>3500</b>	0,84	84,00%
<b>2750</b>	0,871	87,10%	<b>3600</b>	0,832	83,20%

## 4.5. Determinação do Mapa de Eficiência Volumétrica

Tal como foi referido no subcapítulo anterior, o motor não se encontra equipado com um sensor MAF, pelo que limita as forma de determinar qual a eficiência volumétrica para cada um dos parâmetros.

Ao analisarmos novamente o conceito de eficiência volumétrica, e sabendo que a posição da borboleta é determinante para o mesmo, uma vez que é ela que impede a entrada de ar para a admissão, podemos aferir que, quando a borboleta está completamente aberta (TPS=100%), em teoria o ar que é admitido para o motor deveria ser igual ao volume varrido, ou seja, possuir uma eficiência volumétrica de 100%. Contudo, e por se tratar de um motor naturalmente aspirado, devido à presença da gasolina e a outras perdas, o volume de ar que entra para o cilindro é inferior ao volume varrido, pelo que a sua eficiência volumétrica será sempre inferior a 100%.

De acordo com esta premissa, e tendo por base os valores teóricos da eficiência volumétrica calculados no subcapítulo anterior, determinou-se que, para um TPS igual a 100%, a eficiência volumétrica teria que estar compreendida entre 70 e 90%. Sendo o binário um dos fatores determinantes para o bom funcionamento de qualquer motor, e tendo em atenção que este varia de acordo com a eficiência volumétrica, o processo de determinação do mapa de eficiência volumétrica foi feito a partir da curva de binário.

Para se poder calcular o binário produzido pelo motor, inicialmente é necessário calcular, não só o momento de inércia do volante de inércia do banco de ensaio, mas também o do motor.

O momento de inércia representa a resistência que um corpo apresenta a uma qualquer alteração no seu movimento rotacional [38]. De acordo com Cardoso [39], para um corpo cilíndrico maciço, como é o caso do volante de inércia do banco de ensaio, o seu momento de inércia pode ser calculado através da equação 4, resultando num momento de inércia igual a  $0,0744827 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . Nesse mesmo artigo é-nos dito ainda que a razão de transmissão entre o motor e o volante de inércia é igual a 2 ( $i = 2$ ).

$$I_v = \frac{1}{2} * m * r^2 \quad (4)$$

Onde:

$I_v$ : Momento de inércia do volante de inércia do banco de ensaio [ $kg.m^2$ ]

$m$ : Massa total do volante de inércia [ $kg$ ]

$r$ : raio do volante de inércia [ $m$ ]

Entende-se por binário como sendo esforço rotacional produzida pelo motor. A partir do momento de inércia, é-nos possível calcular o binário produzido pelo motor. Uma vez que o nosso objetivo é calcular o binário produzido pelo motor, é importante ressaltar que este é influenciado, tanto pelo momento de inércia do motor, como pelo momento de inércia do volante do banco de ensaios. O binário produzido pelo motor pode ser expresso pela equação 5.

$$B = B_{mim} + B_{miv} \quad (5)$$

Onde:

$B$ : Binário produzido pelo motor [ $N.m$ ]

$B_{mim}$ : Componente do binário do motor produzido pelo momento de inércia do motor [ $N.m$ ]

$B_{miv}$ : Componente do binário do motor produzido pelo momento de inércia do volante do banco de ensaio [ $N.m$ ]

Relativamente à componente do binário produzida a partir do momento de inércia do motor, este pode ser traduzido pela equação 6.

$$B_{mim} = I_m * \alpha_m \quad (6)$$

Onde:

$I_m$ : Momento de inércia do motor [ $kg.m^2$ ]

$\alpha_m$ : Aceleração angular do motor [ $\frac{rad}{s^2}$ ]

No caso do momento de inércia do motor, Cardoso [39] diz ainda que o seu valor é, aproximadamente  $0.014859 kg.m^2$ .

Quanto à componente do binário do motor produzida a partir do momento de inércia do volante do banco de ensaios, este pode ser traduzido pela equação 7.

$$B_{miv} = B_v * i \quad (7)$$

Onde:

$B_v$ : Binário produzido pelo volante do banco de ensaios [ $N.m$ ]

$i$ : Razão de transmissão entre o motor e o volante de inércia

Para determinar o binário do volante do banco de ensaio recorre-se à equação 8.

$$B_v = I_v * \alpha_v \quad (8)$$

Onde:

$I_v$ : Momento de inércia do volante do banco de ensaios [ $kg.m^2$ ]

$\alpha_v$ : Aceleração angular do volante do banco de ensaios [ $\frac{rad}{s^2}$ ]

A aceleração angular do volante do banco de ensaio pode ser determinada a partir da equação 9.

$$\alpha_v = \alpha_m * i \quad (9)$$

Substituindo a equação 9 na equação 8, obteve-se que:

$$B_v = I_v * \alpha_m * i \quad (10)$$

Substituindo a equação 10 na equação 7, obteve-se que:

$$B_{miv} = [I_v * \alpha_m * i] * i \Leftrightarrow B_{miv} = I_v * \alpha_m * i^2 \quad (11)$$

Recordado a equação 5, e substituindo os termos pelas equações que lhes são correspondentes, obteve-se que:

$$B = I_m * \alpha_m + I_v * \alpha_m * i^2 \Leftrightarrow B = \alpha_m * (I_m + I_v * i^2) \quad (12)$$

Recordando que a aceleração é a derivada em ordem ao tempo da velocidade de rotação do motor expressa em radianos por segundo, ser-nos-á possível calcular o binário produzido pelo motor.

Partindo de toda esta informação, e recordando que a eficiência volumétrica se encontra compreendida entre 70 e 90%, os ensaios experimentais decorreram da seguinte maneira:

- 1º Serão feitos 11 ensaios experimentais, onde a quantidade de combustível irá variar, de acordo com a EV introduzida. Este valor de EV terá valores compreendidos entre 70 e 90% com um intervalo de 2% (70%, 72%, 74%, assim sucessivamente até atingir os 90%).
- 2º Em cada um dos ensaios, assim que o motor se encontra a funcionar, o mesmo é acelerado ao máximo (TPS igual a 100%) até o motor atingir a gama das 4000 rpm.
- 3º Após atingir as 4000 rpm, o motor é desacelerado e os dados que foram recolhidos pela UCE são armazenados e tratados.
- 4º Com os dados recolhidos, é feito o cálculo do binário para cada um dos valores e a interpretação dos resultados obtidos.

A UCE, durante os ensaios experimentais, faz a aquisição dos dados obtidos por forma a que estes sejam, mais tarde, transferidos para o computador onde serão depois tratados e interpretados. Apesar de ser capaz de analisar uma infinidade de parâmetros, para esta dissertação o tempo e a velocidade de rotação do motor são os dois mais relevantes. A figura 40 apresenta um exemplo de ensaio com os respetivos dados.



Figura 40- Exemplo de um ensaio experimental do motor com os respetivos dados.

Assim que essa informação é disponibilizada, começa-se por analisar a velocidade de rotação do motor, uma vez que é onde podemos determinar quando ocorre a aceleração do motor (figura 41).

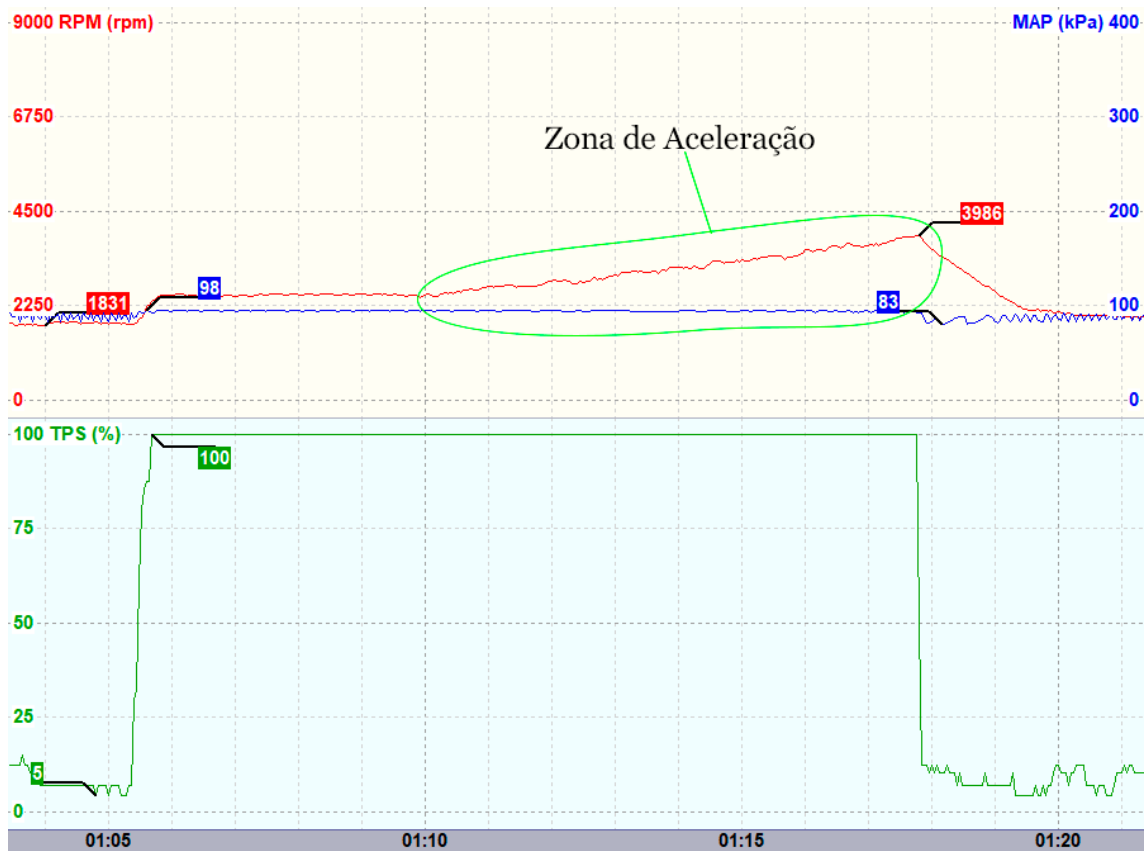


Figura 41 - Representação da zona de aceleração presente num ensaio experimental.

Encontrada a zona de aceleração, procede-se à seleção do referido intervalo de tempo, bem como a velocidade de rotação em cada um dos instantes. De seguida, e porque a velocidade de rotação do motor se encontra em *rpm*, é feita a conversão da mesma para radianos por segundo, recorrendo à equação 13, à qual chamamos de velocidade angular experimental.

$$\omega_{exp} = \frac{\pi * N_{exp}}{30} \quad (13)$$

Onde:

$\omega_{exp}$ : Velocidade angular experimental do motor  $\left[\frac{rad}{s}\right]$

Para facilitar o tratamento e interpretação de todos os valores obtidos, é traçado o gráfico da velocidade angular experimental. A partir deste gráfico é determinada a curva de tendência polinomial de grau 5 que será utilizada para determinar a velocidade angular, à que chamamos de velocidade angular calculada, que dará origem à velocidade de rotação calculada (equação 14).

$$N_{calc} = \frac{\omega_{calc} * 30}{\pi} \quad (14)$$

Onde:

$N_{calc}$ : velocidade de rotação do motor calculada [rpm]

$\omega_{calc}$ : velocidade angular do motor calculada  $\left[\frac{rad}{s}\right]$

A aceleração angular, indispensável para a determinação do binário produzido pelo motor, consiste na derivada da velocidade angular que lhe corresponde (equação 15).

$$\alpha_{motor}(t) = \frac{\Delta\omega_{calc}(t)}{\Delta t} \quad (15)$$

Calculados todos os valores necessários, poder-se-á recorrer à equação 12 e determinar qual o binário produzido pelo motor. No final dever-se-á poder representar o binário produzido pelo motor num gráfico como o da figura 42.

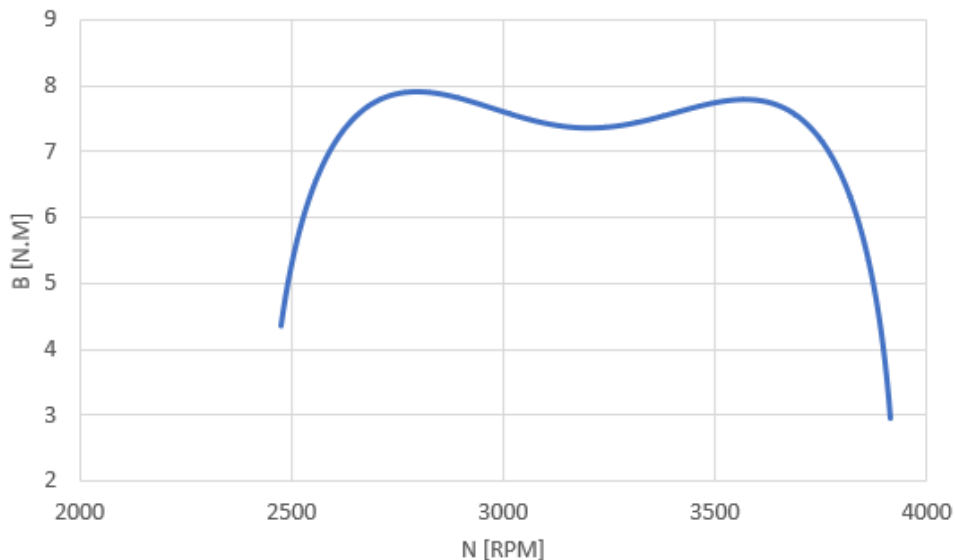


Figura 42 - Exemplo do binário produzido pelo motor para o caso em que foi considerado um valor de EV igual a 74%.

Terminado o cálculo e determinação do binário para as condições anteriormente referidas, o mesmo foi compilado num único gráfico, de modo a facilitar a comparação dos resultados obtidos. Assim, a partir do gráfico presente na figura 43, podemos observar qual o valor de EV que melhor se adequa para um determinado intervalo de velocidade de rotação, que se encontra resumida na tabela 10.

Figura 43 - Curvas de binário resultantes dos ensaios realizados para diferentes valores de EV.

Comparação das curvas de binário para a eficiência volumétrica

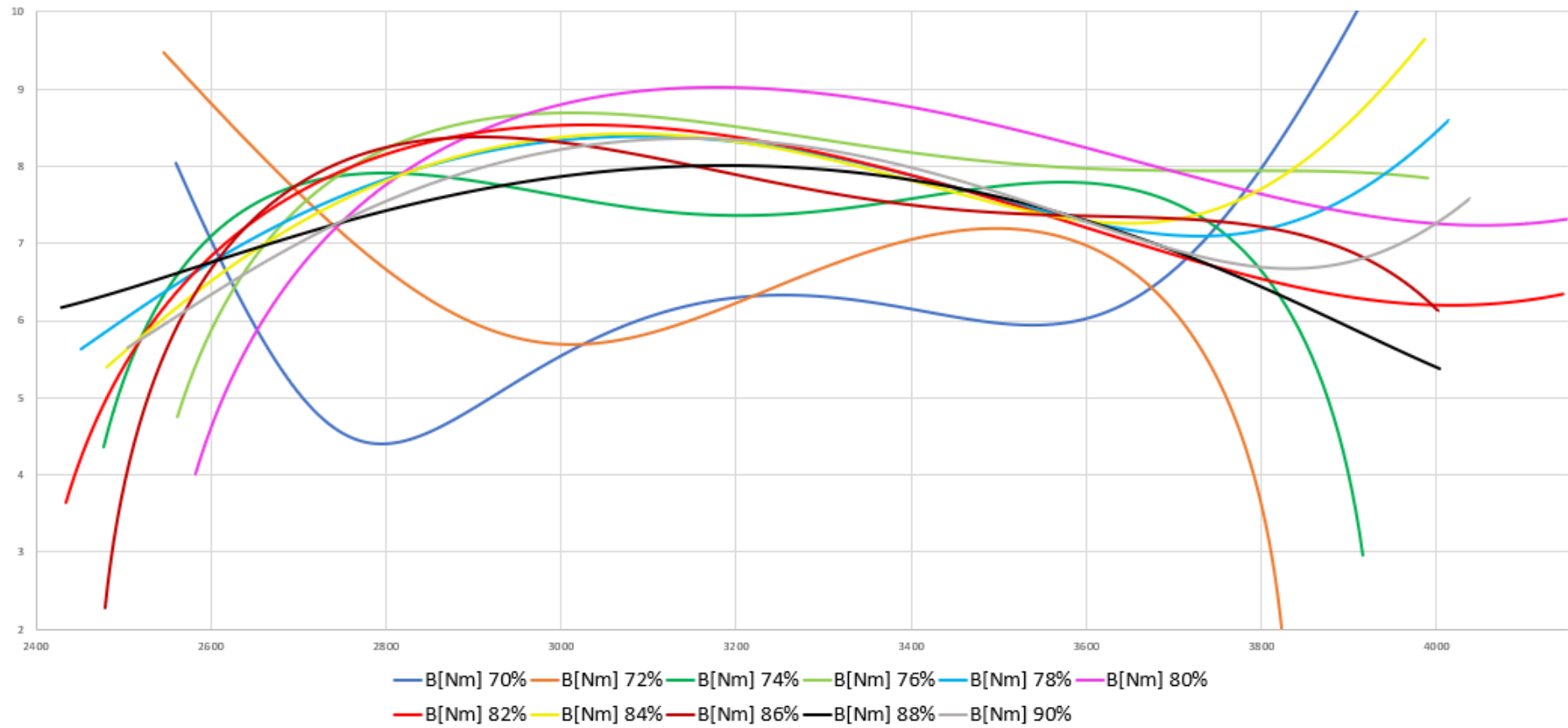


Tabela 10 - Valor da eficiência volumétrica que melhor se adequa consoante a velocidade de rotação do motor.

Intervalo da Velocidade de Rotação	Eficiência Volumétrica
<b>N ∈ [400;2700]</b>	74%
<b>N ∈ [2700;2790]</b>	86%
<b>N ∈ [2790;3000]</b>	76%
<b>N ∈ [3000;3600]</b>	80%
<b>N ∈ [3600;5000]</b>	76%

Como a curva de binário se trata de um equação polinomial, a sua extremidade não se aproxima da realidade, pelo que deve ser desprezada.

A partir dos resultados obtidos da interpretação do gráfico no que diz respeito à determinação de qual a EV que melhor se adequa a um determinado intervalo de velocidade de rotação, procedeu-se à determinação daquele que seria o início do mapa de eficiência volumétrica.

Após analisar os referidos resultados, e sabendo que os mapas de EV devem apresentar uma curva suave, foi decidido que no intervalo  $N \in [2700;2790]$ , a eficiência volumétrica passaria a ser igual a 76% (tabela 11).

Tabela 11 - Dados que servirão de base para a criação do mapa de eficiência volumétrica.

Intervalo da Velocidade de Rotação	Eficiência Volumétrica
<b>N ∈ [400;2700]</b>	74%
<b>N ∈ [2700;3000]</b>	76%
<b>N ∈ [3000;3600]</b>	80%
<b>N ∈ [3600;5000]</b>	76%

Partindo de um mapa base, igual ao representado na figura 35, começou-se por preencher a coluna referente ao TPS igual a 100% que corresponde a borboleta completamente aberta. De acordo com a configuração UBIAN19, configuração anteriormente implementadas pela equipa UBICAR, quando o TPS é igual a 0%, a EV varia entre 50% para as baixas rotações (entre 400 e 1500 rpm) e 45% para as altas rotações (entre 3500 e 5000 rpm). Contudo, e após efetuar algumas tentativas, esta gama de valor provou ser muito baixa, isto porque não foi possível colocar o motor em funcionamento.

Graças a esta informação, e após várias tentativas, conseguiu-se chegar a um valor adequado a este motor: nas baixas rotações (entre 400 e 1500 rpm) a EV rondaria os 56% e nas altas rotações (entre 3500 e 5000 rpm) rondaria os 50%.

Tal como foi anteriormente referido, o mapa de EV deve apresentar uma curva suave, ou seja, a transição entre cada uma das colunas e/ou linhas deve ser gradual, sem que haja no meio do mapa “picos” (valores muito elevados) ou “cavas” (valores muito baixos) quando comparados com os da sua vizinhança. Com os dados referentes ao TPS igual a 0% e 100%, recorreu-se às ferramentas de otimização disponibilizadas pelo software, obtendo assim aquele que será o nosso mapa de eficiência volumétrica (figuras 44 e 45).

50,9	51,5	51,7	52,7	54,2	56,2	58,5	60,9	63,5	65,9	68,3	70,1	71,8	73,3	74,8	76,0	5000
51,0	51,2	51,7	52,8	54,3	56,3	58,6	61,0	63,6	66,0	68,4	70,2	71,9	73,4	74,8	76,0	4758
51,2	51,4	51,9	53,0	54,6	56,6	58,9	61,3	63,8	66,2	68,6	70,4	72,1	73,6	74,9	76,3	4516
51,5	51,7	52,3	53,4	55,1	57,1	59,3	61,7	64,2	66,6	68,9	70,7	72,4	73,9	75,2	76,8	4274
51,8	52,1	52,7	53,9	55,6	57,6	59,9	62,3	64,8	67,1	69,4	71,1	72,7	74,2	75,6	77,7	4032
52,2	52,5	53,2	54,5	56,2	58,2	60,5	62,9	65,4	67,6	69,8	71,5	73,1	74,7	76,4	78,6	3789
52,6	52,9	53,7	55,1	56,8	58,9	61,1	63,6	66,0	68,2	70,3	72,1	73,6	75,3	77,2	79,7	3547
53,0	53,3	54,3	55,7	57,5	59,5	61,8	64,3	66,7	68,8	70,8	72,4	73,9	75,7	77,6	80,0	3305
53,4	53,8	54,9	56,3	58,1	60,2	62,5	65,0	67,2	69,1	71,1	72,5	73,8	75,4	77,2	78,6	3063
53,9	54,5	55,4	56,9	58,7	60,8	63,2	65,6	67,8	69,7	71,5	72,6	73,7	74,8	76,2	77,1	2821
54,4	54,9	56,0	57,5	59,3	61,4	63,8	66,1	68,2	70,0	71,8	72,7	73,6	74,3	75,0	75,8	2579
54,9	55,3	56,4	58,0	59,8	61,9	64,3	66,5	68,6	70,3	71,9	72,7	73,5	74,1	74,6	74,8	2337
55,3	55,8	56,9	58,4	60,3	62,4	64,7	66,9	68,9	70,5	72,1	72,8	73,4	73,8	74,1	74,2	2095
55,7	56,2	57,3	58,8	60,7	62,8	65,0	67,1	69,1	70,6	72,1	72,7	73,3	73,7	74,0	74,0	1853
56,1	56,5	57,6	59,1	61,0	63,2	65,3	67,4	69,2	70,7	72,2	72,8	73,3	73,7	74,0	74,0	1611
56,3	56,8	57,9	59,4	61,3	63,4	65,5	67,5	69,4	70,8	72,2	72,8	73,3	73,7	73,9	74,0	1368
56,5	57,0	58,1	59,6	61,5	63,6	65,7	67,7	69,4	70,9	72,3	72,8	73,3	73,7	73,9	74,0	1126
56,7	57,1	58,2	59,8	61,6	63,7	65,8	67,8	69,5	70,9	72,3	72,8	73,3	73,7	73,9	74,0	884
56,8	57,2	58,3	59,9	61,7	63,8	65,8	67,8	69,5	70,9	72,3	72,8	73,3	73,7	73,9	74,0	642
56,9	57,3	58,4	60,0	61,7	63,8	65,9	67,8	69,5	70,8	72,2	72,8	73,3	73,7	73,9	74,0	400
0,0	6,5	13,5	20,0	26,5	33,5	40,0	46,5	53,5	60,0	66,5	73,5	80,0	86,5	93,5	100,0	

Figura 44 - Mapa de eficiência volumétrica final.

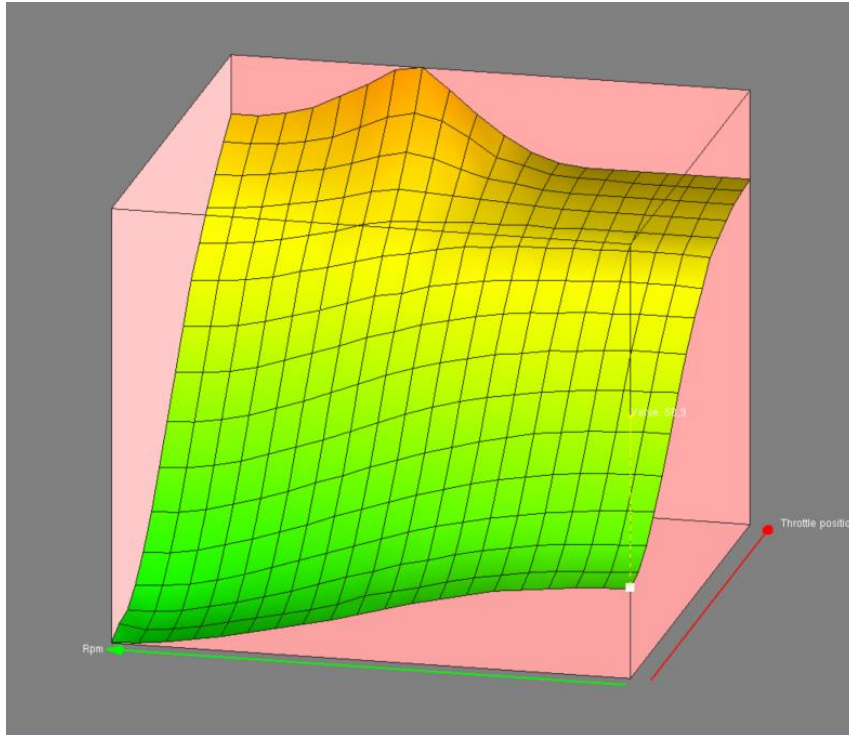


Figura 45 - Gráfico em três dimensões referente ao mapa de eficiência volumétrica final.

## 4.6. Determinação do Mapa do Avanço da Ignição

Tal como foi referido anteriormente no subcapítulo 3.1, quando a explosão ocorre na câmara de combustão, o aumento de pressão e temperatura obriga o pistão a deslocar-se até ao PMI.

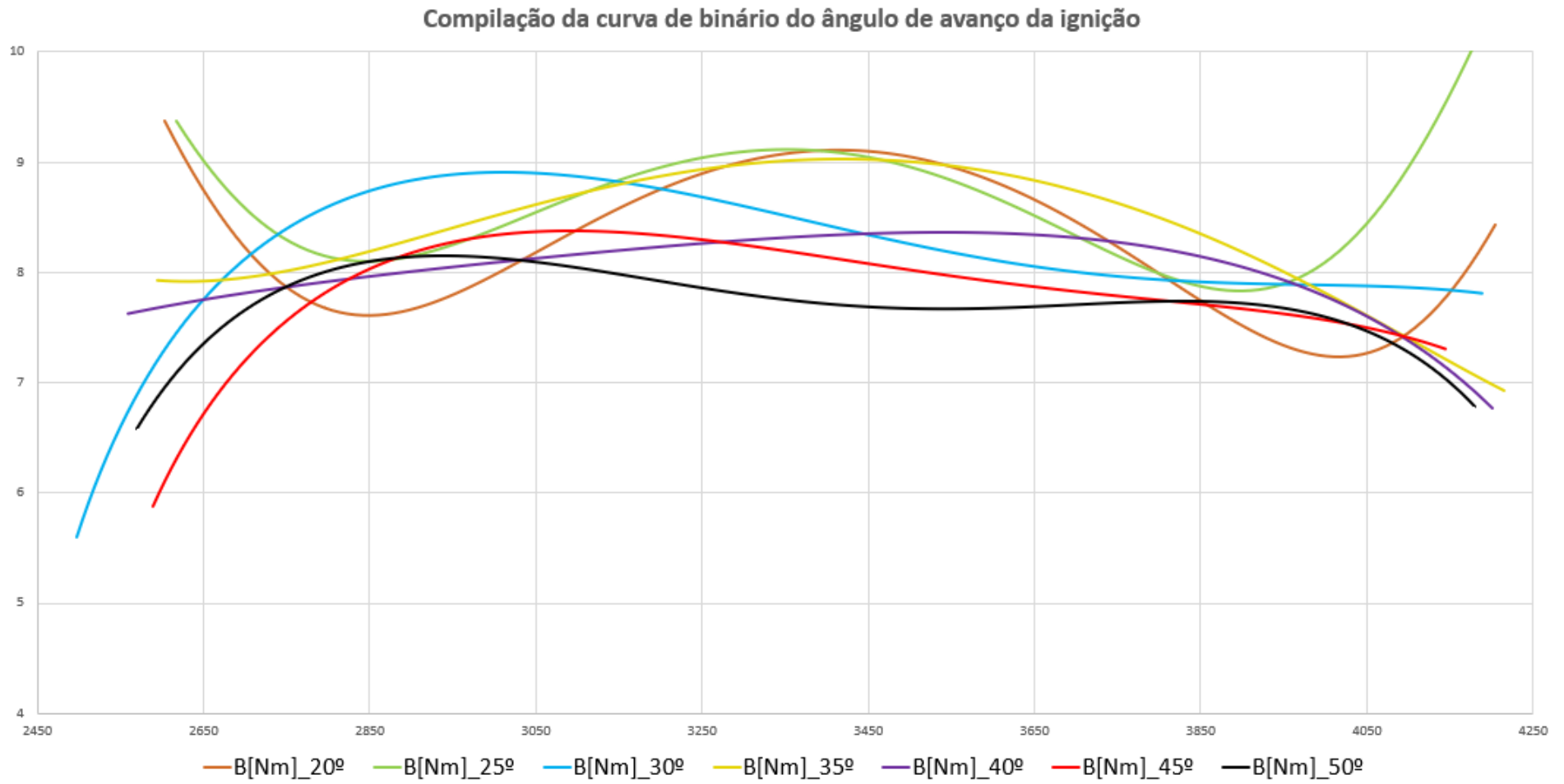
A vela de ignição é um dispositivo elétrico responsável por gerar uma faísca que vai inflamar a mistura de ar e combustível que se encontra no interior da câmara de combustão [40]. Uma vez que a propagação da faísca gerada pela vela pode levar algum tempo para se propagar pela mistura (normalmente frações de segundo), é importante que esta ocorra antes do pistão atingir o PMS. Posto isto, o mapa do AAI determina qual o avanço da ignição conforme a velocidade de rotação do motor e posição do TPS, à semelhança do mapa base da EV presente na figura 39.

Com o aumento da velocidade de rotação do motor, maior será a velocidade que o pistão se irá deslocar no interior do cilindro. Como a velocidade de propagação da faísca na mistura não é proporcional à velocidade de rotação do motor, é necessário antecipar cada vez mais o momento em que a vela gera a faísca, ou seja, quanto maior for a velocidade de rotação do motor, maior será o ângulo de cambota de antecipação da faísca [41].

Como forma de poder determinar qual o mapa do AAI, procedeu-se à realização de um conjunto de ensaios experimentais. No que diz respeito à forma como foram realizados, estes são praticamente idênticos aos ensaios realizados para determinar o EV. Para isso, foi escolhido um intervalo compreendido entre  $20^\circ$  e  $50^\circ$  para o AAI, sendo que cada um dos ensaios seria realizado com diferença de  $5^\circ$ , ou seja, os ensaios serão para  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ , etc., até  $50^\circ$ .

Assim que cada ensaio for feito e encontrada a zona de aceleração correspondente, procede-se ao cálculo do binário produzido pelo motor para essa condição. De seguida são compilados todos os resultados num único gráfico presente na figura 46.

Figura 46 - Curvas de binário resultantes dos ensaios realizados para diferentes valores de AAI.



A partir do gráfico da figura 46, podemos determinar qual o valor do ângulo de avanço que melhor se adequa ao intervalo de valores de velocidade de rotação do motor (tabela 12).

Tabela 12 - Valor do AAI que melhor se adequa consoante a velocidade de rotação do motor.

Intervalo da Velocidade de Rotação	Ângulo de Avanço da Ignição
<b>N ∈ [2700;3100]</b>	30°
<b>N ∈ [3100;3350]</b>	25°
<b>N ∈ [3350;3500]</b>	20°
<b>N ∈ [3500;5000]</b>	35°

Como a curva de binário se trata de um equação polinomial, a sua extremidade não se aproxima da realidade, pelo que deve ser desprezada.

Apesar de estes serem os resultados obtidos pela observação do gráfico do binário produzido pelo motor para cada um dos ensaios, foi decidido que se iria optar por outros dados para a determinação do mapa do AAI. Recordando a informação disponibilizada por Blair [41], quanto maior for a velocidade de rotação do motor, maior terá que ser o ângulo de antecipação da fâisca. Posto isto, os valores para um intervalo de velocidade de rotação compreendido entre 3100 rpm e 3500 rpm não são válidos.

Como as curvas de binário para um AAI igual a 20°, 25° e 35° são muito semelhantes, optou-se por atribuir ao intervalo da velocidade anteriormente referido um ângulo igual a 35°. A tabela 13 faz um resumo dos valores finais escolhidos para o mapa do ângulo de avanço da ignição.

Tabela 13 - Dados que servirão de base para a criação do mapa do ângulo de avanço da ignição.

Intervalo da Velocidade de Rotação	Ângulo de Avanço da Ignição
<b>N ∈ [400;1100]</b>	20°
<b>N ∈ [2700;3100]</b>	30°
<b>N ∈ [3100;5000]</b>	35°

A partir da informação base presente na tabela 13, começou por se introduzir a mesma no mapa. De seguida recorreu-se novamente às ferramentas de interpolação disponibilizadas pelo software, assegurando assim que a sua curva fosse o mais “suave” possível. No final obteve-se o mapa presente na figura 47, bem como o seu gráfico presente na figura 48.

35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	5000
35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	4758
35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	4516
35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	4274
35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	4032
34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	3789
34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	3547
33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	3305
31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	3063
30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	2821
28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	2579
26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	2337
25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	2095
24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	1853
22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	1611
21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	1368
20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	1126
20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	884
20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	642
20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	400
0,0	6,5	13,5	20,0	26,5	33,5	40,0	46,5	53,5	60,0	66,5	73,5	80,0	86,5	93,5	100,0			
Throttle position (%)																		

Figura 47 - Mapa do ângulo do avanço de ignição final.

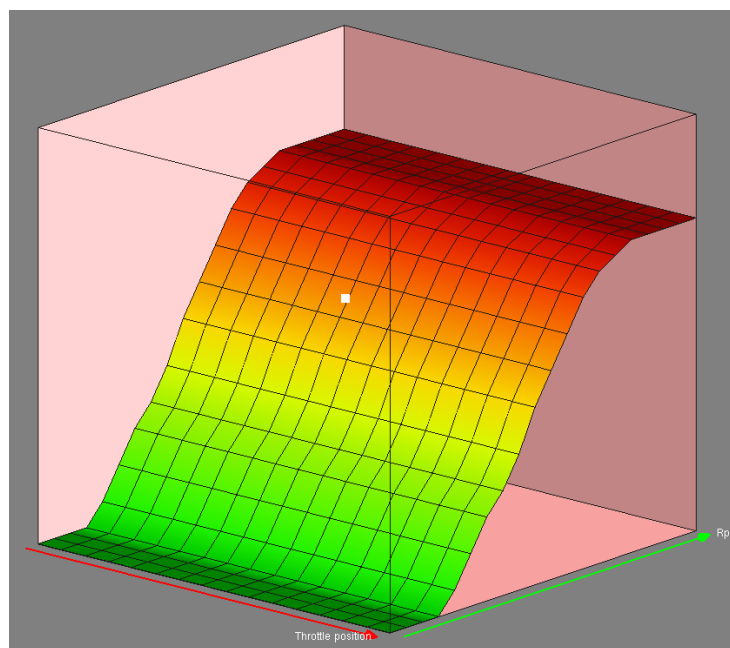


Figura 48 - Gráfico em três dimensões referente ao mapa do ângulo do avanço da ignição.

## **Capítulo 5 – Resultados obtidos**

Ao longo do capítulo cinco é feita a apresentação e discussão dos resultados obtidos após a realização da componente experimental.

O atual motor, antes da realização desta dissertação, já possuía uma configuração na UCE intitulada de UBIAN 19. Contudo esta só foi utilizada como termo de comparação a fim de perceber quais as diferenças encontradas entre a configuração antiga e a configuração desenvolvida nesta dissertação.

### **5.1. Apresentação dos resultados obtidos**

A presente dissertação, tal como foi referido anteriormente, tem como principal objetivo a otimização do motor Honda GX160. Assim recorreu-se a dois parâmetros que nos permitem determinar quais as diferenças que os mapas da eficiência volumétrica e do ângulo do avanço da ignição vêm trazer ao desempenho do referido motor, sendo eles a curva do binário produzido pelo motor e o seu consumo de combustível. Para isso foram feitos dois ensaios: um para a configuração UBIAN19, ou seja, a utilizada pela equipa UBICAR anteriormente, e outro para a configuração desenvolvida nesta dissertação (configuração UBIAN21).

Cada ensaio teria uma duração de aproximadamente 5 minutos e 30 segundos e funcionaria da seguinte maneira: assim que o motor estivesse em funcionamento, ficaria a funcionar durante cerca de 20 segundos e com o TPS igual a 0%, seguido de um período entre 10 a 15 segundos com o TPS a 100%, regressando depois ao estado anteriormente descrito.

A partir dos dados adquiridos pela UCE, e recordando novamente o método descrito no capítulo 5, procedeu-se ao cálculo do binário para cada um dos ensaios, sendo depois compilado no gráfico da figura 49.

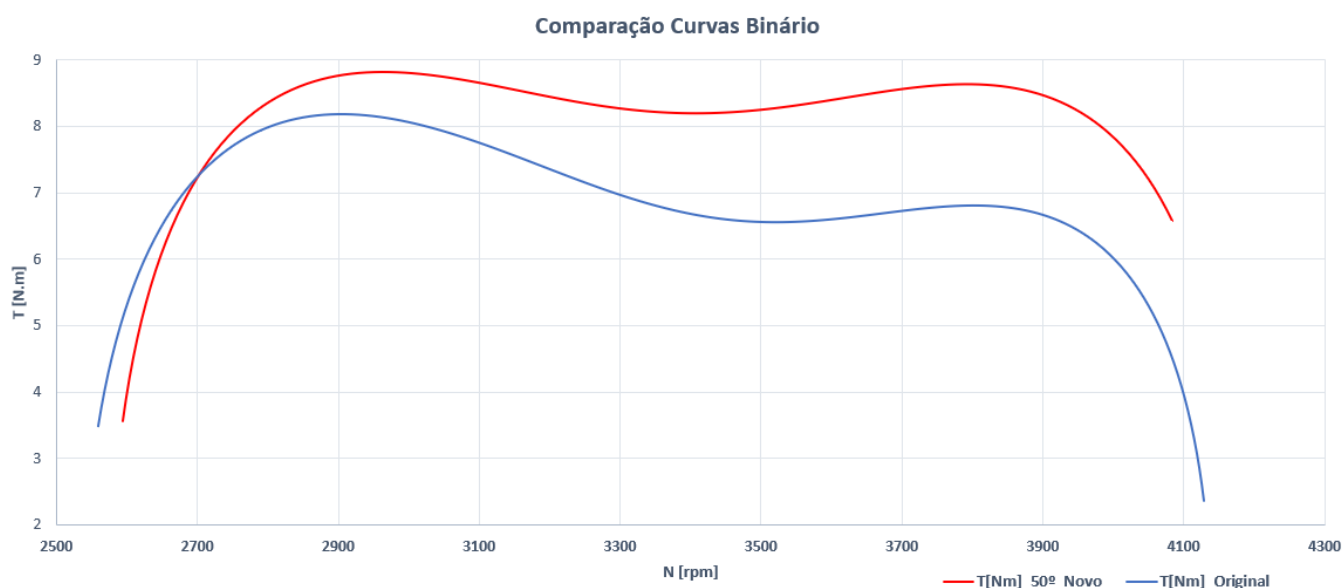


Figura 49 - Gráfico com as curvas de binário produzidas pelo motor nos ensaios finais.

Quanto à determinação do consumo de combustível para cada uma das situações descritas, foi medida a massa do conjunto depósito+gasolina, tanto antes do ensaio, como no final. A tabela 13 apresenta os valores obtidos.

Tabela 14 - Dados relativos à medição da massa do depósito+combustível para cada um dos ensaios.

	Configuração UBIAN19	Configuração UBIAN21
<b>Massa depósito+combustível antes do ensaio</b>	918,66 g	878,49 g
<b>Massa depósito+combustível depois do ensaio</b>	856,25 g	843,35
<b>Massa de combustível consumido</b>	62,41 g	35,14 g

A partir dos dados da tabela 13 podemos quantificar qual a redução entre o consumo médio das duas configurações a partir da equação 16, obtendo-se:

$$r_{consumo} = 1 - \left( \frac{\text{consumo para o UBIAN21}}{\text{consumo para o UBIAN19}} \right) * 100\% \quad (16)$$

$$\Leftrightarrow r_{consumo} = 1 - \left( \frac{35,14}{62,41} * 100\% \right) \Leftrightarrow r_{consumo} = 43,7\%$$

## **5.2. Discussão dos resultados obtidos**

Ao compararmos as curvas do binário produzidas pelo motor para as configurações UBIAN19 e UBIAN21, é notório que para a configuração UBIAN21 houve um aumento significativo do seu binário para quase todas as velocidades de rotação, como é possível constatar na figura 49. Este aumento prende-se pelo facto de ter havido uma correção dos valores de eficiência volumétrica e do ângulo de avanço da ignição que melhor se adequam ao motor Honda GX160. Outra particularidade que se encontra presente no gráfico da figura 49, passa pelo facto de ambas as curvas de binário apresentarem a mesma forma.

Relativamente ao consumo do motor para as configurações UBIAN19 e UBIAN 21, ao compararmos ambos os resultados presentes na tabela 13, é evidente que, para o mesmo intervalo de tempo, o consumo foi reduzido em cerca de 43,7%. Apesar de não se ter conseguido que o motor tenha funcionado exatamente nas mesmas condições, ou seja, os tempos em que se encontra com o TPS igual a 0% e a 100% iguais em ambos os ensaios, pode-se afirmar que é notório que houve uma redução bastante significativa do seu consumo.

## Capítulo 6 – Conclusões

A presente dissertação tem como principal objetivo o estudo e otimização do desempenho do motor Honda GX160, com a finalidade de todas as alterações serem aplicadas no veículo que irá competir na categoria *urban concept* da competição *Shell Eco Marathon*.

A componente prática/experimental foi realizada a partir de ensaios experimentais no banco de ensaios da equipa UBICAR. De acordo com esta metodologia de trabalho, foram variados os dados e as condições nas quais os ensaios ocorreram.

A partir do trabalho desenvolvido foi possível concluir que os valores dos mapas de eficiência volumétrica e ângulo de avanço da ignição que se encontravam anteriormente aplicados no motor não correspondiam aos valores ideais, levando a que este, não só apresentasse uma curva de binário com défice, mas um consumo de combustível bastante elevado, quando comparados com os valores obtidos.

No final desta dissertação, pode-se afirmar que os objetivos propostos no início foram cumpridos.

### 6.1. Sugestão de trabalhos futuros

Como sugestão de trabalho futuro passaria por dar continuidade ao trabalho desenvolvido por esta dissertação. Assim propõe-se que seja feito o estudo e otimização da implementação da sonda Lambda LSU 4.9.

Uma outra sugestão de trabalho futuro passaria por estudar a influência do injetor no processo de otimização do desempenho do motor, nomeadamente se o injetor que se encontra instalado é, de facto, a melhor solução.

Relativamente à admissão, é proposto que se determine qual a influência do diâmetro de entrada e se a mesma é a mais indicada para o motor em estudo.

## Referências

- [1] «Emissões de dióxido de carbono nos carros: factos e números (infografia) | Atualidade | Parlamento Europeu», Mar. 22, 2019. <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20190313STO31218/emissoes-de-dioxido-de-carbono-nos-carros-factos-e-numeros-infografia> (acedido Jan. 24, 2021).
- [2] «Company history». <https://www.shell.com/about-us/our-heritage/our-company-history.html> (acedido Jan. 11, 2021).
- [3] trude, «Royal Dutch Shell – a brief history», *Draugen*, Ago. 08, 2018. <https://draugen.industriminne.no/en/2018/08/08/royal-dutch-shell-a-brief-history/> (acedido Jan. 11, 2021).
- [4] «The Shell brand». <https://www.shell.com.au/about-us/the-shell-brand.html> (acedido Jan. 11, 2021).
- [5] «Shell Eco-Marathon Prototype SEM 03 (2017) review», *CAR Magazine*. <https://www.carmagazine.co.uk/car-reviews/other/shell-eco-marathon-prototype-sem-03-2017-review/> (acedido Jan. 11, 2021).
- [6] vernonchancom, «Shell Eco-marathon: A closer look at the UrbanConcept and Prototype Media Vehicles», *VERNONCHAN.COM*, Mar. 10, 2018. <https://vernonchan.com/shell-eco-marathon-urbanconcept-prototype-media-vehicles/> (acedido Jan. 11, 2021).
- [7] R. de P. Figueiredo, «Aplicação da filosofia Lean ao desenvolvimento de um veículo para competições de eficiência energética», Beira Interior, Covilhã, 2020.
- [8] J. Martins, *Motores de Combustão Interna*, Segunda., 1 vols. Publindustria.
- [9] «John Barber (engenheiro)», *Wikipédia, a enciclopédia livre*. Jul. 10, 2020, Acedido: Jan. 11, 2021. [Em linha]. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=John\\_Barber\\_\(engenheiro\)&oldid=58731962](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=John_Barber_(engenheiro)&oldid=58731962).
- [10] «De Rivaz engine», *Wikipedia*. Nov. 07, 2019, Acedido: Jan. 11, 2021. [Em linha]. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=De\\_Rivaz\\_engine&oldid=925062741](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=De_Rivaz_engine&oldid=925062741).
- [11] «Troca de Óleo – Centrocarmecânica». <https://centrocarmecanica.com.br/troca-de-oleo/> (acedido Jan. 11, 2021).
- [12] «Hidrogênio Veicular», *ricardohartmann*, Out. 30, 2015. <https://ricardohartmann.wordpress.com/2015/10/30/hidrogenio-veicular/> (acedido Jan. 11, 2021).
- [13] Traction, «A Quick Test Will Change Strength», *Rogers Athletic*. <https://www.frogersathletic.com/updates/get-strong-blog-a-quick-test-will-change-strength/> (acedido Jan. 11, 2021).
- [14] «Early Dynamometry and Dynamometers - Gilai Collectibles». [https://www.gilai.com/article\\_26/Early-Dynamometry-and-Dynamometers](https://www.gilai.com/article_26/Early-Dynamometry-and-Dynamometers) (acedido Jan. 11, 2021).

- [15] «1954 Mercedes-Benz 300 SL Gullwing | Mercedes benz 300, Classic mercedes, Benz car», *Pinterest*. <https://www.pinterest.com/pin/772578511063239188/> (acedido Jan. 11, 2021).
- [16] «Goliath GP700», *Wikipedia*. Jan. 03, 2021, Acedido: Jan. 11, 2021. [Em linha]. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Goliath\\_GP700&oldid=997974678](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Goliath_GP700&oldid=997974678).
- [17] «How Fuel Injection Systems Work», *HowStuffWorks*, Jan. 04, 2001. <https://auto.howstuffworks.com/fuel-injection.htm> (acedido Jan. 11, 2021).
- [18] «NSX Prime». <http://www.nsxprime.com/photopost/nsx-prime-member-galleries/p46794-fuel-injector-spray-types.html> (acedido Jan. 11, 2021).
- [19] A. Moreira, «Curso de injeção eletrônica». .
- [20] «K Jet schematic». [http://www.mbs.id.au/tuning/Fuel\\_Injection/K/schematic\\_K.htm#more\\_detail](http://www.mbs.id.au/tuning/Fuel_Injection/K/schematic_K.htm#more_detail) (acedido Jan. 11, 2021).
- [21] H. C. P. Work, «How Car Parts Work: L-Jetronic Fuel Injection System», *How Car Parts Work*, Mar. 24, 2016. <http://howcarpartswork.blogspot.com/2016/03/l-jetronic-fuel-injection-system.html> (acedido Jan. 11, 2021).
- [22] Unknown, «289 High Performance: Injeção Eletrônica Monoponto, Multiponto Direta e Indireta.», *289 High Performance*, Jan. 29, 2016. <http://289hipo.blogspot.com/2016/01/injecao-eletronica-monoponto-multiponto.html> (acedido Jan. 11, 2021).
- [23] «Chama piloto», *Wikipédia, a enciclopédia livre*. Nov. 11, 2020, Acedido: Jan. 11, 2021. [Em linha]. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Chama\\_piloto&oldid=59776375](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Chama_piloto&oldid=59776375).
- [24] «Ignição por tubo quente», *Wikipédia, a enciclopédia livre*. Abr. 28, 2019, Acedido: Jan. 11, 2021. [Em linha]. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Igni%C3%A7%C3%A3o\\_por\\_tubo\\_quente&oldid=54977121](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Igni%C3%A7%C3%A3o_por_tubo_quente&oldid=54977121).
- [25] F. Brunetti, *Motores de Combustão Interna*, vol. 1º. Blucher, 2012.
- [26] «Sensor de revoluciones, control del motor HELLA 6PU 009 146-071 - al mejor precio», *Oscaro.es*. <https://www.oscaro.es/sensor-de-revoluciones-control-del-motor-hella-6pu-009-146-071-778561-3896-p> (acedido Jan. 12, 2021).
- [27] «Qual a função do sensor MAP? 3 sintomas de defeito!» <https://www.carrodegaragem.com/qual-funcao-sensor-map-sintomas-defeito/> (acedido Jan. 12, 2021).
- [28] «Sensor, temperatura do vão do motor HITACHI 137374 Hueco — Compre agora!» <https://www.auto-doc.pt/hitachi/8968745> (acedido Jan. 12, 2021).
- [29] «SENSOR MAF», *SENSOR MAF*. <http://blocktotal.blogspot.com/2014/09/o-sensor-de-massa-de-ar-ou-sensor.html> (acedido Jan. 12, 2021).

- [30] «Sensor do corpo de borboleta (sensor de posição de borboleta) comprar na Loja Online». <https://www.expertautopecas.pt/pecas-online/sensor-do-corpo-de-borboleta> (acedido Jan. 12, 2021).
- [31] «Sonda lambda BOSCH o 258 003 559 online a preços baixos». <https://www.pecasauto24.pt/bosch-1148702.html> (acedido Jan. 12, 2021).
- [32] «GX160 | Produtos de Força». <https://www.honda.com.br/produtos-de-forca/gx160> (acedido Jan. 12, 2021).
- [33] «Honda Engines | GX120 4-Stroke Engine | Features, Specs, and Model Info». <https://engines.honda.com/models/model-detail/mid-gx#Features> (acedido Jan. 12, 2021).
- [34] «ECU Master EMU-BLACK», *ECUMaster Australia*. <https://www.ecumaster.com.au/products/emu-black> (acedido Jan. 19, 2021).
- [35] Branislav Ragan, M. Polóni, A. Chríbik, R. Toman, J. Lach, e M. Bachratý, «Parameters Optimization of Minimotor», KOČOVCE, SLOVAK REPUBLIC, Set. 2015, p. 8, Acedido: Out. 12, 2020. [Em linha]. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/306407837\\_PARAMETERS\\_OPTIMIZATION\\_OF\\_MINIMOTOR](https://www.researchgate.net/publication/306407837_PARAMETERS_OPTIMIZATION_OF_MINIMOTOR).
- [36] «Engine model details - Honda Engines». [https://www.honda-engines-eu.com/es/engine-model-details?p\\_p\\_id=enginedetail\\_WAR\\_enginedetail&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-4&p\\_p\\_col\\_count=1&enginedetail\\_WAR\\_enginedetail\\_display=power-curve&e=14](https://www.honda-engines-eu.com/es/engine-model-details?p_p_id=enginedetail_WAR_enginedetail&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-4&p_p_col_count=1&enginedetail_WAR_enginedetail_display=power-curve&e=14) (acedido Jan. 16, 2021).
- [37] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill, 1988.
- [38] F. P. Beer, E. R. Johnston, J. T. DeWolf, e D. F. Mazurek, *Mechanics of Materials*, 5<sup>a</sup>. McGraw-Hill, 2011.
- [39] D. F. da S. Cardoso, J. M. F. N. Amaro, e P. M. O. Fael, «Inertial dynamometer for Shell Eco-Marathon engine: validation», Universidade da Beira Interior, Jun. 2020, p. 8, [Em linha]. Disponível em: <https://doi.org/10.18502/keg.v5i6.7091>.
- [40] «Vela de ignição», *Wikipédia, a enciclopédia livre*. Nov. 30, 2019, Acedido: Jan. 19, 2021. [Em linha]. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Vela\\_de\\_igni%C3%A7%C3%A3o&oldid=56851993](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Vela_de_igni%C3%A7%C3%A3o&oldid=56851993).
- [41] G. P. Blair, *Design and Simulation of Four-Stroke Engines*. Society of Automotive Engineers, Inc., 1999.
- [42] «black\_booklet.pdf». Acedido: Jan. 28, 2021. [Em linha]. Disponível em: [https://www.ecumaster.com/wp/wp-content/uploads/2016/11/black\\_booklet.pdf](https://www.ecumaster.com/wp/wp-content/uploads/2016/11/black_booklet.pdf).

# **Anexos**

## Anexo A

Tabela 15 - Listagem dos equipamentos utilizados.

<b>Listagem de Equipamento Utilizados</b>		
<b>Nome</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência</b>
<b>Sensor IAT</b>	Mede a temperatura do ar na Admissão	FAE 33160
<b>Sensor CLT</b>	Mede a temperatura a que o motor está a funcionar	FAE 33145
<b>Sensor TPS</b>	Determina a posição da borboleta	904 002
<b>Sonda Lambda</b>	Mede a quantidade de oxigénio nos gases de escape	MTE 9704.50.040
<b>Sensor VR</b>	Determina a posição da cambota e a velocidade de rotação do motor	FAE 79094
<b>Coil</b>	Fornecer a energia necessário à vela de ignição	VW AG 036 905 715 G
<b>Vela de ignição</b>	Gera a faísca	NGK BPR6ES
<b>Unidade de controlo eletrónica</b>	Fornece a informação a todo o sistema	Ecumaster EMU Black
<b>Motor</b>	Motor ciclo de Otto	Honda GX160

## Anexo B

Figura 50 - Especificações técnicas da UCE Ecumaster EMU Black. [42]

GENERAL	
Temperature range	AECQ100 GRADE2 (-40 to +105°C)
Reverse battery protection	Yes, internal
Operating voltage	6-22V, immunity to transients according to ISO 7637
Enclosure	IP 65, custom CNC machined aluminum
Size (mm) and weight(g)	150x72x31, 390
Connectors	1 x 24, 1 x 39 FCI Automotive connector
PC communication	USB (with PC client software), serial, CAN
OUTPUTS	
Injector outputs	6 protected outputs 5A, low side + 2 AUX outputs (for 8 cyl. applications)
Ignition outputs	6 outputs 15A (passive and active coils supported)
Aux outputs	6 protected outputs 5A, low side
Aux outputs	Full bridge up to 7A, can be used as separate outputs or 2 H-Bridges
WBO heater	Protected low side up to 5A
Communication	Communication
INPUTS	
Analog inputs	9 inputs, resolution 10Bits, 0-5V (protected)
EGT inputs	2 for K-Type thermocouple
Knock sensor	2 inputs
Oxygen sensor	LSU 4.2, LSU 4.9 or Narrow band
Trigger inputs	3 (primary, 2 cams) Hall/ VR software selectable
VSS	1 (Hall / VR)
Flex Fuel Sensor	Yes
Switch inputs	3 inputs, switched to ground

SENSORS	
Temperature sensors	IAT, CLT, Oil temperature, AC evap temperature
Pressure sensor	MAP, Oil pressure, Fuel pressure (user defined characteristic), AC pressure sensor
Oxygen sensor	LSU 4.2 or 4.9 (built in controller), Narrow band, external WBO controllers
Speed	Vehicle speed sensor (VR/HALL), Gear sensor (sensor, calculated)
FUELING	
Injectors	Up to 8 HiZ injectors (sequential)
Injection angle control	0-720 deg, start or end of injections
Battery compensation	User defined, wizard for popular injectors
Fueling strategies	VE based speed density, Alpha N
Air charge temp.	Based on IAT and CLT
VE table	2 tables 16x20 (Load x RPM), resolution of 0.1%
Individual cylinder trim	Yes
Staged injection	Yes
Additional correction	Oxygen sensor corrections, EGT correction (per cylinder), BARO, TPS vs MAP, TPS vs RPM, Warmup, Nitrous, LC, ALS, ASE, Fuel pressure, Knock sensor
Lambda based real time correction	Using Lambda/AFR target table
Acc. / Deceleration enrichment	Yes

IGNITION	
Ignition outputs	6 for passive and active coils (software selectable)
Supported triggers	N-1, N-2, N-3, N+1, Multitooth, Subaru triggers, Nissan trigger, Lotus Elise, Audi trigger, Renault Clio Williams / Alpine, Colt 1.5CZ
Ignition angle table	2 tables 16x20 (Load x RPM), resolution of 0.5 Deg
Per cylinder trim	Yes
Dwell time battery compensation	Used defined, wizard for popular coils
Odd fire compatibility	Application dependent
Additional correction	CLT, IAT, TPS vs MAP, Nitrous, Idle, Knock sensor, LC, Pit limiter, ALS, Flat shift, Timers, Acc. enrichment
KNOCK SENSING	
Channels	2
Resonant frequency range	1-20kHz, 3rd order AAF
Sampling	Ignition event driven, knock window
Actions	Ignition retard, fuel enrichment, dashboard indication
VARIABLE VALVE TIMING	
Supported systems	VVTi, MiVec, VANOS, Double Vanos
Number of camshafts	2
Control strategy	PID based closed loop, CAM angle target tables 12x12

IDLE CONTROL	
Control type	PWM solenoids (2,3 wires), drive by wire, stepper motors (bi and unipolar), ignition cut, fuel cut
Control strategy	Open / Close loop, ignition angle control
VE correction	Yes, for Alpha-N
Corrections	AC clutch, coolant fan, analog input
BOOST CONTROL	
Boost ref and target tables	2 sets 10x10 (TPS vs RPM)
Control strategies	Open / Closed loop (PID based)
Corrections	Gear, VSS, IAT, EGT
DRIVE BY WIRE	
Control strategy	Advanced 3D PID + static friction compensation
Supported throttles	All with DC motor and current requirement lower than 6,5 A Wizard for 28 popular electronic throttles
PPS to throttle position characteristic	3D table
BLIP support	Yes
ALS support	Yes
TRACTION CONTROL	
TC strategy	Delta RPM, gear compensation
Torque reduction	Spark cut using 3D table (16x20)
Sensitivity control	10 position rotary switch

<b>FLEX FUEL</b>	
Ethanol content measurement	Yes
Fuel temperature measurement	Yes
Tables blending	VE, IGN, Lambda/AFR, Boost, Cranking fuel, ASE, Warmup
Fuel temperature PW correction	Yes
<b>SPORT</b>	
ALS	2 independent ALS setting, DBW support
Shift light	Per gear shift light
Launch control	Yes
Gear cut	Yes (Open loop), DBW blip supported Source: Switch, load cell, CAN
Pit limiter	Yes
Rolling anti lag	Yes
<b>CAN BUS</b>	
CAN standard	2.0A 125, 250, 500, 1000 kBps
Supported CAN Dashes	ECUMASTER, Motec M800 Set 1, Haltech E8 E11v2, Pectel SQ 6, AEM
Supported OEM CAN streams	BMW E46, Citroen C2, Mazda RX8, Ford ST, Polaris RZR, Mini Cooper R53, Fiat 500, Renault Clio, Lotus, Ford Fiesta, Ford ST EVO X (AYC support),

<b>ENGINE PROTECTION</b>	
Lambda Guard	protects engine against lean condition state by limiting boost, enriching the mixture and partially closing the throttle
Fail safe values for critical sensors	Yes,
Dashboard indication of failures	Yes, user defined
Over temperature engine protection	Yes (oil and coolant), user defined, RPM limit
Low oil pressure protection	Yes, user defined, shut off
Fuel pressure protection	Yes, fuel dose compensation, RPM limit, engine shut off
High exhaust temperature	Alarm, per cylinder fuel trim, boost limit
<b>OTHER</b>	
Unused injection outputs can be used as AUX output	Yes
Output functions	Fuel pump, coolant fan, parametric outputs, nitrous control, PWM 3D table output, AC clutch, main relay, speedometer, tachometer
Password protection	Yes, 2 levels
Timers	Fuel, Ignition, Boost, timers controlled by virtual outputs
Serial dashboard support	AIM, RaceTechnology
Autotune	Yes
Built in trigger scope	Yes
Logging	Real time logging to PC computer, logging on external loggers (serial / CAN)