



Universidade de Aveiro

Ano 2018

Departamento de Engenharia Mecânica

**João André
Domingues
Clemêncio**

**Projeto do sistema de controlo (hardware/software) para
reativação de um banco de ensaio de motores térmicos**



Universidade de Aveiro
Ano 2018

Departamento de Engenharia
Mecânica

**João André
Domingues
Clemêncio**

**Projeto do sistema de controlo (hardware/software) para
reativação de um banco de ensaio de motores térmicos**

Relatório apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Professor Doutor Jorge Augusto Fernandes Ferreira

Professor auxiliar, Universidade de Aveiro

Arguente principal

Professor Doutor Rui Manuel Escadas Ramos Martins

Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

Orientador

Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos

Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

Agradecimentos

À Universidade de Aveiro por me ter oferecido boas condições para estudar e desenvolver as minhas capacidades cognitivas e pessoais e à Renault – Cacia pela oportunidade de efetuar este estágio nas suas instalações.

Ao Eng.º Pedro Ala pela disponibilidade constante, pela ajuda e orientação dada dentro da empresa e ao Professor Doutor José Paulo Santos pelo apoio e orientação proporcionada durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais por todo o apoio e compreensão ao longo destes anos e à minha irmã pelo grande exemplo de trabalho e esforço que representa e me motiva.

Aos meus amigos pelos bons momentos ao longo do meu percurso académico.

palavras-chave

Motor, banco de ensaios motor, bomba de óleo, freio dinâmico, sensores, temperatura, pressão, rotação, binário, controlo

Resumo

A empresa Renault-CACIA pretende reativar um banco de ensaios de motor com a finalidade de analisar o comportamento de bombas de óleo em funcionamento integrado num motor.

Neste sentido, o presente projeto aborda o tema bancos de ensaio de motor.

Numa primeira fase, é feita uma análise de todos os tipos de banco existentes, relativamente aos componentes que os constituem, ao seu modo de funcionamento e objetivos dos mesmos. Nestes últimos, são descritos os ensaios possíveis e sua execução, nomeadamente os ensaios de rodagem, potência máxima e binário máximo, quente/frio e alta velocidade. Os ensaios analisados estão em concordância com as necessidades identificadas pela empresa, com o intuito de validar as bombas de óleo que pretendem produzir.

Numa segunda fase, desenvolveu-se o estudo do banco de ensaios presente na Renault – CACIA, enquadrando-se na investigação previamente realizada. Avançando para a solução laboratorial, é feita uma aproximação ao estado real e uma possível solução a implementar, em pequena escala, cumprindo os objetivos base do sistema: controlar sinais de temperatura e pressão vindos do motor, binário vindo do freio dinâmico (componente principal num banco de ensaios) e simulação de um acelerador. Estes testes foram realizados com o recurso a um microprocessador ESP8266, a módulos de conversão de sinal analógico em digital, a um servomotor e à utilização de comunicação por Wi-fi, base de dados e desenvolvimento de páginas Web.

Numa terceira fase, analisou-se uma proposta de solução apresentada pela empresa HORIBA TCA, sendo apresentados os componentes necessários ao bom funcionamento do banco de ensaios assim como o modo de interconexão entre todos eles.

key words

Engine, engine test bench, oil pump, dynamometer brake, sensors, temperature, pressure, rotation, binary, control

Abstract

The company Renault-CACIA intends to reactivate an engine test bench to analyze the behavior of oil pumps running integrated in a car engine.

In this sense, the present project addresses the theme of car engine test benches.

As a first step, an analysis is made of all the existing types of test benches, regarding their constituents, their mode of operation and their objectives. It is given an example of the different tests and their execution, namely performance tests of endurance, maximum power and maximum torque, hot / cold and high-speed running. The analyzed tests are in accordance with the needs identified by the company, with the intention of validating the oil pumps they intend to produce.

In a second phase, the study of the existing test bench in the Renault-CACIA was developed, in accordance with the previous investigation.

Advancing to the try-out system, an approximation is made to the real state and a possible solution to be implemented, in a small scale, fulfilling the basic objectives of the solution: control signs of temperature and pressure coming from the car engine, torque from the dynamometer (main component in a test bench) and the simulation of an accelerator. These tests were performed using an ESP8266 microprocessor, analog to digital signal conversion modules, a servomotor, and the use of Wi-Fi, and the development of a database and a web page.

In a third phase, it was analyzed a proposal for a solution presented by the company HORIBA TCA, presenting the necessary components for the proper functioning of the test bench as well as the way of interconnection between all of them.

mots clés

Moteur, banc d'essai du moteur, pompe à huile, frein de couple, capteurs, température, pression, rotation, couple, contrôle

Resumé

La société Renault-CACIA a l'intention de réactiver un banc d'essai de moteur afin d'analyser le comportement des pompes à huile en fonctionnement intégrées dans un moteur.

Dans ce sens, le présent projet aborde le thème des bancs d'essais des moteurs.

Dans un premier temps, une analyse est faite de tous les types de sièges existants, en ce qui concerne leurs constituants, leur mode de fonctionnement et leurs objectifs. Dans ce dernier, sont d'écrits les tests possibles et leur exécution, à savoir les essais de fonctionnement, la puissance maximale et le couple maximal, chaud / froid et à grande vitesse sont décrits. Les tests analysés sont en accord avec les besoins identifiés par l'entreprise, avec l'intuition de valider les pompes à huile qu'ils ont l'intention de produire.

Dans une seconde phase, l'étude du présent banc d'essai de la Renault-CACIA a été développée en prenant part à l'enquête précédente. Avancer pour une solution de laboratoire et faire une approximation de l'état actuel de la solution possible à mettre en œuvre sur une petite échelle, la réalisation des objectifs du système de base : le contrôle des signaux de température et provenant de la pression du moteur, le couple du dynamomètre (composant principal un banc d'essai) et simulation d'un accélérateur. Ces tests ont été effectués à l'aide d'un microprocesseur ESP8266, de modules de conversion de signaux analogiques / numériques, d'un servomoteur et de l'utilisation de la communication Wi-Fi, de la base de données et du développement de pages Web.

Dans une troisième phase, une proposition de solution présentée par la société TCA / HORIBA a été analysée, présentant les composants nécessaires au bon fonctionnement du banc d'essai ainsi que le mode d'interconnexion entre chacun d'entre eux.

Índice

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivo	2
CAPÍTULO II – DESCRIÇÃO DOS BANCOS DE ENSAIOS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	3
2.1 Visão Geral	3
2.2 Motores de combustão interna	4
2.3 Operações de controlo e medição	7
2.4 Sensor de temperatura	12
2.5 Transdutor de Pressão	14
2.6 Caudalímetro.....	14
2.7 Tipos de freios dinamométricos.....	15
2.7.1 Características Torque/Velocidade e Potencia/Velocidade.....	16
2.7.2 Freio dinamométrico hidráulico.....	19
2.7.3 Freio dinamométrico de correntes de <i>Eddy</i>	22
2.7.4 Freio dinamométrico elétrico.....	24
2.7.5 Comparação	25
2.7.6 Atuador/Driver do freio dinamométrico de correntes de <i>Eddy</i>	27
2.8 Acelerador do motor.....	27
2.9 Enumeração dos tipos de bancos de ensaio de motores.....	28
2.10 Tipos de ensaio.....	30
2.10.1 Rodagem	31
2.10.2 Potência máxima/ Binário máximo	31
2.10.3 Quente/Frio.....	32
2.10.4 Elevada velocidade.....	33
CAPÍTULO III – ESTUDO DO ESTADO DO BANCO ATUAL.....	35
3.1 Visão Geral	35
3.1.1 Sistema de controlo	36
3.1.2 Freio dinamométrico.....	37
3.1.3 Consumo de combustível.....	38
3.1.4 Medidor de fumos.....	39

3.1.5 Medidor de gases	39
3.1.6 Débito de água ao motor	40
3.1.7 Humidade relativa e temperatura.....	40
3.1.8 Analisador A/F (razão <i>Air/Fuel</i>)	41
3.2 Tipo de comunicação e planta	41
3.3 Controlo.....	44
3.4 Refrigeração	47
CAPÍTULO IV - SOLUÇÃO LABORATORIAL.....	49
4.1 Visão Geral	49
4.2 ESP8266.....	51
4.3 Célula de carga e HX711.....	53
4.4 Sensor de pressão e ADS 1115	56
4.5 Termopar e MAX6675	57
4.6 Potenciómetro e Servomotor	59
4.7 Wi-fi, Base de dados e página WEB.....	61
CAPÍTULO V - PROPOSTA INDUSTRIAL	65
5.1 Introdução.....	65
5.2 Controlador SPARC.....	66
5.3 Aquisição de valores de temperatura	68
5.4 Aquisição de valores de pressão	69
5.5 Medição das condições ambiente da sala de ensaios.....	69
5.6 Supervisão e controlo do banco de ensaios.....	70
CAPÍTULO VI - CONCLUSÃO.....	73
6.1 Síntese da dissertação.....	73
6.2 Considerações finais.....	73
6.3 Trabalhos futuros	74
REFERÊNCIAS.....	75
ANEXOS - I	77
1. Componentes do estado atual do banco de ensaios	77

Lista de Tabelas

TABELA 1 - GRANDEZAS A MEDIR/CALCULAR (7).....	10
TABELA 2 - VALORES OBTIDOS EM ENSAIO.....	11
TABELA 3 - COMPARAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE FREIOS DINAMOMÉTRICOS (11).....	27
TABELA 4 - ENSAIOS EM BMS E BFD (6)	30
TABELA 5 - ENUMERAÇÃO DOS COMPONENTES.....	35
TABELA 6 - PROPRIEDADES DO FREIO DINAMOMÉTRICO	37
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PLU 116H.....	38
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS HMP 230 SÉRIES - TEMPERATURA	40
TABELA 9 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS HMP 230 SÉRIES - HUMIDADE RELATIVA.....	40
TABELA 10 - TIPO DE COMUNICAÇÃO.....	42
TABELA 11 - DADOS RELATIVOS À REFRIGERAÇÃO.....	48

Lista de Figuras

FIGURA 1 - DIAGRAMA ESTRUTURAL DE UM BANCO DE ENSAIOS MOTOR	4
FIGURA 2 - FUNCIONAMENTO 4 TEMPOS DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA (1)	5
FIGURA 3 - CIRCUITO DE COMBUSTÍVEL (2).....	7
FIGURA 4 - SISTEMA ELÉTRICO (3)	8
FIGURA 5 - SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO (4)	8
FIGURA 6 - SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO (5).....	9
FIGURA 7 - TERMOPAR.....	12
FIGURA 8 - CURVA TERMOPAR TIPO E, J, T, K, R, S, B (8).....	13
FIGURA 9 – TERMORESISTÊNCIA.....	13
FIGURA 10 - ESCOLHA DO TRANSDUTOR DE PRESSÃO (9).....	14
FIGURA 11 - CAUDALÍMETRO ELETROMAGNÉTICO (10).....	15
FIGURA 12 - FUNCIONAMENTO GERAL DE UM FREIO DINAMOMÉTRICO (11)	16
FIGURA 13 - CURVA TORQUE E POTÊNCIA DE FREIO DINAMOMÉTRICO AC (11).....	17
FIGURA 14 - CURVA TORQUE E POTÊNCIA DO FREIO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO (11)	18
FIGURA 15 - CURVA TORQUE E POTÊNCIA DO FREIO DINAMOMÉTRICO DE CORRENTES DE <i>EDDY</i> (11)	18
FIGURA 16 – ESQUEMA DO FREIO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO (12)	20
FIGURA 17 - CANAIS DO ROTOR DE UM FREIO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO (12).....	21
FIGURA 18 - ESTATOR DE UM FREIO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO (12).....	21
FIGURA 19 - CONTACTO DO ROTOR E ESTATOR DO FREIO DINAMOMÉTRICO DE CORRENTES DE <i>EDDY</i> (13)	22
FIGURA 20 - MEDIÇÃO DE BINÁRIO NO FREIO DINAMOMÉTRICO DE CORRENTES DE <i>EDDY</i> (13)	23
FIGURA 21 - ESQUEMA DO FREIO DINAMOMÉTRICO DE CORRENTES DE <i>EDDY</i> (13).....	24
FIGURA 22 - CURVA TORQUE E POTÊNCIA DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA (15)	26
FIGURA 23 - SISTEMA DRIVE-BY-WIRE (16).....	28
FIGURA 24 - REGIMES DE ENSAIO P _{MAX} /B _{MAX} (18)	32
FIGURA 25 - REGIME ENSAIO QUENTE/FRIO (19)	33
FIGURA 26 - REGIME ENSAIO ALTA VELOCIDADE (20)	33
FIGURA 27 - LAYOUT DA SALA DO BANCO DE ENSAIOS.....	43
FIGURA 28 - DIAGRAMA DOS COMPONENTES DE CONTROLO	45
FIGURA 29 - DIAGRAMA ELÉTRICO DE CONTROLO	46
FIGURA 30 - DIAGRAMA DE REFRIGERAÇÃO.....	47
FIGURA 31 - DIAGRAMA GERAL DE CONTROLO.....	49
FIGURA 32 - DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO DE CONTROLO	50
FIGURA 33 - ESQUEMA LABORATORIAL.....	51
FIGURA 34 - ESP8266	52
FIGURA 35 - PINOS ESP8266 (23)	53
FIGURA 36 - PONTE DE <i>WHEATSTONE</i> DA CÉLULA DE CARGA (24)	54
FIGURA 37 - HX711 (26)	54

FIGURA 38 - ESQUEMA DE MONTAGEM - CÉLULA DE CARGA.....	55
FIGURA 39 - CÉLULA DE CARGA	55
FIGURA 40 - ADS1115 (27)	56
FIGURA 41 - ESQUEMA DE MONTAGEM - SENSOR DE PRESSÃO.....	57
FIGURA 42 - MAX 6675.....	58
FIGURA 43 - ESQUEMA DE MONTAGEM - TERMOPAR	58
FIGURA 44 - MOTOR.....	59
FIGURA 45 - ESQUEMA DE MONTAGEM - POTENCIÓMETRO.....	60
FIGURA 46 - ESQUEMA DE MONTAGEM - SERVO MOTOR	60
FIGURA 47 - ACELERADOR.....	61
FIGURA 48 - PÁGINA WEB DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	62
FIGURA 49 - DADOS GUARDADOS NA BASE DE DADOS (XAMPP).....	63
FIGURA 50 - CONTROLADOR SPARC.....	66
FIGURA 51 - INTERAÇÃO DO CONTROLADOR COM O DINAMÓMETRO E O MOTOR	67
FIGURA 52 - SIMULADOR E-GAS.....	68
FIGURA 53 - MÓDULO DE LEITURA ETRH-16-K	69
FIGURA 54 - MÓDULO DE LEITURA EP8	69
FIGURA 55 – UNIDADE DE MEDIÇÃO DE HUMIDADE / TEMPERATURA E PRESSÃO BAROMÉTRICA ABSOLUTA	70
FIGURA 56 - LAM002	70
FIGURA 57 - SISTEMA GLOBAL RTA/HORIBA.....	71
FIGURA 58 - AVL 415S	77
FIGURA 59 - AVL 442	77
FIGURA 60 - CELESCO 107	78
FIGURA 61 - KROHNE	78
FIGURA 62 - DINAMÓMETRO BORCHI & SAVERI	79
FIGURA 63 - DRZ 2000.....	79
FIGURA 64 - DRIVER HORIBA E CELESCO.....	80
FIGURA 65 - ACELERADOR IN CELL.....	80
FIGURA 66 - PERMUTADOR DE CALOR ÁGUA/ÁGUA.....	81
FIGURA 67 - REFRIGERAÇÃO DO INTERCOOLER.....	81
FIGURA 68 - CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO	82
FIGURA 69 - PLU 401/116H	82
FIGURA 70 - CAIXA DE TRANSDUTORES (TEMPERATURA E PRESSÃO)	83
FIGURA 71 - VAISALA HMP233.....	83
FIGURA 72 - CONTROLADOR S3000, DRIVER DINAMÓMETRO E DRIVER ACELARADOR (POR ORDEM DESCENDENTE).....	84

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Desde que surgiram os veículos movidos com motores de combustão interna, surgiu também a necessidade da construção de um sistema que permitisse testar e avaliar os mesmos, de forma a conhecer as suas propriedades e curvas características, como a potência, o binário, o rendimento, entre outros. Este sistema é denominado de banco de ensaios de motores.

Existem três técnicas fundamentais de estudo dos motores, são elas:

- Testes em motores recorrendo a um banco de ensaios de motores
- Testes em veículos em banco de rolos
- Testes em veículos nas condições reais de circulação

O presente trabalho foca essencialmente o primeiro teste, pois os outros dois são aplicados a veículos já em produção ou primeiros protótipos, o que não é objeto de estudo deste projeto.

No presente, muito do trabalho de desenvolvimento de novas tecnologias passa pela utilização de softwares de simulação sofisticados. No entanto, para obter uma validação final é sempre necessário que os componentes sejam submetidos a ensaios experimentais em vários bancos de ensaios. Neste aspeto, não falamos só do motor como um todo. É necessário, para além da existência de bancos de ensaios de motores, que simula o trabalho conjunto de vários componentes, desenvolver também bancos de ensaios de órgãos que permitam estudar e validar componentes específicos do motor, como a bomba de água, a bomba de óleo, o alternador, entre outros.

Os bancos de órgãos têm um funcionamento relativamente mais simples que os bancos de motores, pela principal razão de que controlar um motor constituído por dezenas de componentes e módulos é diferente de controlar apenas um componente.

Ainda assim, a necessidade de testar os componentes ou motores não aparece unicamente na fase do projeto. Mesmo depois de validado e produzido, o produto é testado antes de ser enviado para o cliente, ou seja, são feitos ensaios de fim de linha, sendo estes normalmente mais específicos para o componente que se produz.

É a partir da necessidade do estudo e desenvolvimento contínuo e da experimentação prática que surge o âmbito do projeto.

A Renault CACIA, para além da produção de caixas de velocidade, foca-se no desenvolvimento de bombas de óleo, investindo numa equipa de trabalhadores que procuram diariamente novas soluções para melhorar a performance deste componente. Possuem bancos de órgãos que permitem estudar o funcionamento das bombas de óleo isoladas. No entanto, para finalizar a validação da bomba esta é submetida a um ensaio final, sendo incorporada num motor e efetuado um ensaio em banco de motor.

A empresa vê neste ponto a necessidade de reativar um dos bancos de ensaios de motor, que deixou de ser usado há aproximadamente 15 anos, para assim, serem autónomos e validarem a produção de novas bombas de óleo sem necessidade de recorrer a serviços externos de bancos de motores.

1.2 Objetivo

O objetivo principal do projeto é elaborar uma solução para reativar um dos bancos de ensaios de motores para que este permita efetuar os ensaios necessários à validação das bombas de óleo.

Para atingir o objetivo estabelecido, existe primeiramente a necessidade de um estudo intensivo do que é um banco de ensaios, os componentes que fazem parte do mesmo e de que forma é feito o estudo durante e após o ensaio. Visto que um banco de ensaios possui vários componentes auxiliares, a escolha de cada um irá resultar em diferentes tipos de bancos onde será possível proceder também a diferentes tipos de ensaios.

Torna-se necessário analisar o tipo de banco existente, todos os seus componentes, para poder definir o que se pode aproveitar e o que é necessário instalar de novo para efetuar os ensaios necessários à validação das bombas de óleo.

Com os componentes físicos todos presentes passaremos ao controlo de todo o ensaio, desenvolvendo primeiramente um projeto laboratorial onde se irá simular em pequena escala um ensaio de motores, para posteriormente analisar a fiabilidade e a possibilidade de implementação real.

Para atingir o objetivo, é feita, numa primeira fase, a análise ao funcionamento dos bancos de ensaios de motores de combustão interna, apresentando o funcionamento dos motores e dos freios dinamométricos, assim como as operações de controlo e medição no motor a efetuar durante cada tipo de ensaio.

Numa segunda fase apresentam-se os componentes presentes no banco de ensaios na empre Renault CACIA assim como o funcionamento do controlo.

Assim, é possível proceder ao desenvolvimento da solução laboratorial e por último a análise à proposta industrial.

CAPÍTULO II – DESCRIÇÃO DOS BANCOS DE ENSAIOS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

2.1 Visão Geral

Os sistemas de ensaio de motores de combustão interna são um auxílio ao desenvolvimento de novas tecnologias do motor. Servem também para finalizar a validação tanto do motor como de órgãos acoplados ao mesmo, como é o caso, validação de bombas de óleo. Com estes ensaios pretende-se garantir os requisitos obrigatórios de desempenho, confiabilidade, durabilidade, níveis de ruído, poluição, entre outros.

Existem variados ensaios, onde é aplicada uma sequência de regimes com diferentes velocidades de rotação do motor e binário aplicado ao mesmo, diferentes temperaturas de funcionamento, entre outros parâmetros. Neste mesmo ponto, existem ensaios onde os regimes são constantes e por isso se denominam de ensaios estáticos, mas é possível também efetuar ensaios onde os regimes estão em constante mudança, tornando-se até de facto mais reais, aproximando-se de uma condução realista, onde os ensaios se denominam de dinâmicos. Para efetuar diferentes tipos de ensaios serão necessários diferentes tipos de bancos de teste, onde cada um com as suas características permite ou não efetuar cada ensaio.

Um banco de ensaios típico é constituído por um freio dinamométrico (ou dinamómetro), uma balança de combustível, um analisador de gases, um opacímetro, um sistema de aquisição de dados através da ficha OBD e um sistema de aquisição e controlo de dados que permite o registo de informações relativas aos ensaios, nomeadamente o binário, velocidade de rotação, consumo de combustível, temperaturas e pressões de funcionamento, valores de emissão de gases de escape e opacidade.

A base de um banco de ensaios está num freio dinamométrico que permite absorver energia produzida pelo motor, definindo o regime de funcionamento deste a partir de um par de parâmetros, velocidade de rotação e binário resistente. Todos os componentes auxiliares permitem o cálculo e o controlo de parâmetros do ensaio como já mencionados anteriormente. Outro aspeto importante na realização dos ensaios são as infraestruturas anexas, de onde se destaca o circuito de combustível, o circuito de refrigeração, o sistema de ventilação, o sistema de anti-incêndio, o sistema de isolamento acústico e o sistema elétrico.

Na Figura 1 é apresentado um esquema do conceito de funcionamento de um banco de ensaios, onde no cerne temos sistema de acoplação entre o motor e o freio dinamométrico e como anexos a este sistema são necessários sistemas de arrefecimento para ambos, assim como admissão de ar e de combustível ao motor. Na saída do motor é necessário medir a vazão de gases que escapam pelo cárter e analisar os gases de escape, com recurso aos componentes que permitem analisar a opacidade, a quantidade de carbono existente e a riqueza ar combustível. Todos estes sistemas têm ligação ao sistema de aquisição e controlo responsável por manter o bom funcionamento do ensaio.

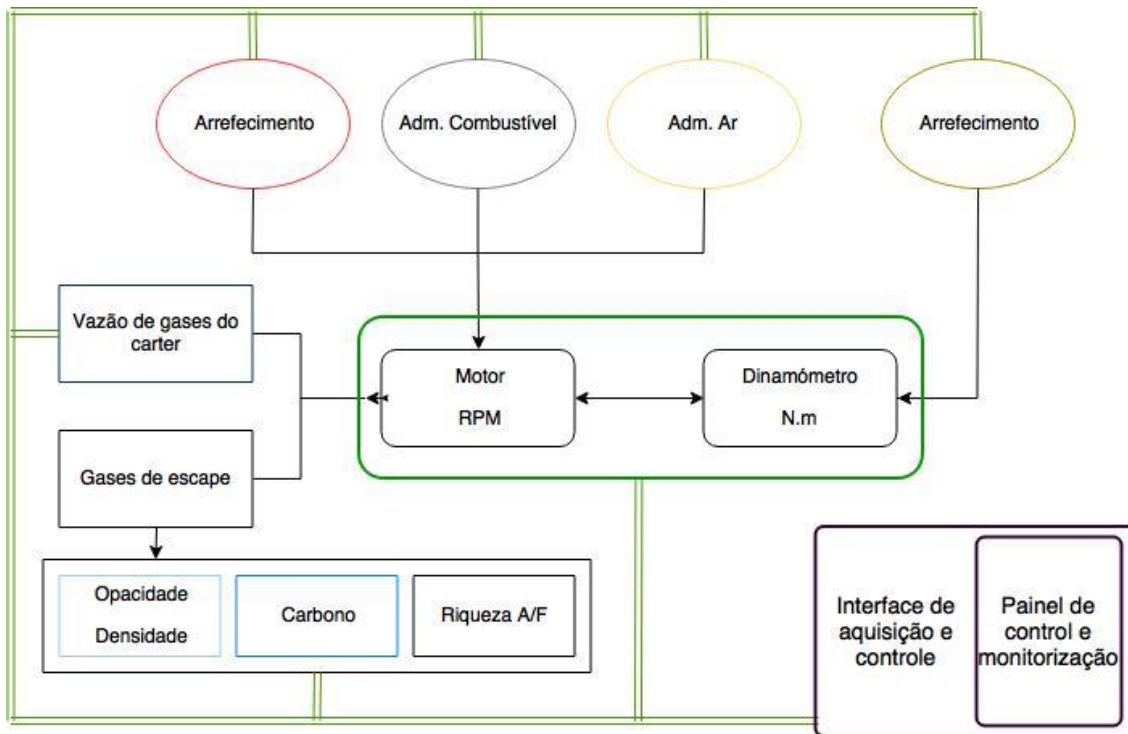


Figura 1 - Diagrama estrutural de um banco de ensaios motor

2.2 Motores de combustão interna

Antes de avançar para todo o processo de ensaio de um motor de combustão interna, é relevante fazer uma breve introdução aos motores.

Os motores de combustão interna são máquinas térmicas que transformam energia de uma reação química em energia mecânica. Para atingir este objetivo faz-se uso de ciclos termodinâmicos de expansão, compressão e mudança de temperatura dos gases de combustão.

A reação química anteriormente mencionada é o que impulsiona os pistões devido a um aumento de pressão interna no cilindro.

Os dois diferentes ciclos termodinâmicos aplicáveis nesta máquina térmica que nos interessam analisar são o ciclo Otto e o Diesel. O ciclo Otto, conhecido por motores a gasolina, caracteriza-se por a ignição ser feita com faísca. O ciclo Diesel, que como o próprio nome indica, conhecido por motor gasóleo, a ignição é feita por compressão.

Deste modo, o conceito principal de um motor de combustão interna é fazer mover um êmbolo que fará rodar um eixo e levará energia mecânica às rodas que permitirá o veículo mover-se (1).

Na Figura 2 podemos ver os usuais 4 tempos que se repetem enúmeras vezes no funcionamento de um motor.

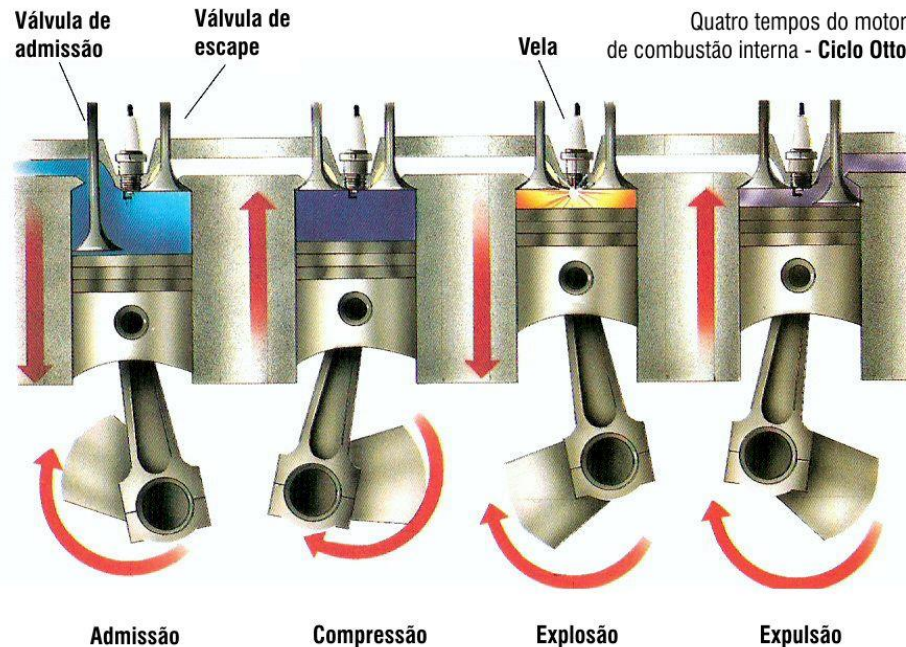


Figura 2 - Funcionamento 4 tempos de um motor de combustão interna (1)

Mas na análise a um ensaio de motores não devemos simplesmente olhar para este sistema, pois o motor é constituído por muitos sistemas auxiliares que permitem a boa condição do motor, longevidade, rentabilidade, entre outros fatores.

Os sistemas principais auxiliares de um motor de combustão interna são: de válvulas, de alimentação, elétrico, de arrefecimento e de lubrificação.

Nas próximas descrições dos sistemas do motor não serão apresentadas as devidas imagens de cada sum que ajudariam a perceber o modo de funcionamento, mas serão apresentadas no capítulo seguinte de forma a cumprir o objetivo deste capítulo assim como o objetivo do seguinte.

Sistema de válvulas

O sistema de válvulas é responsável pela admissão e escape dos gases que fluem no cilindro. Como se pode ver na Figura 2, no primeiro tempo, admissão, necessitamos que a válvula de admissão abra para inserir a mistura no cilindro, e no quarto tempo, expulsão, necessitamos que a válvula de escape abra para que os gases queimados saiam da câmara. Ao variarmos o intervalo de tempo em que as válvulas estão abertas e fechadas teremos diferentes comportamentos do motor como é perceptível.

Sistema de alimentação de ar e combustível

O sistema de alimentação está dividido em dois circuitos, o de ar e o de combustível. Este sistema é responsável por efetuar uma mistura de gases que torne o motor mais eficiente ou mais potente dependendo se a razão de ar/combustível é mais rica ou pobre. Ainda neste sistema é importante salientar a existência de um sistema presente em muitos motores que é o turbocompressor. Este sistema tem como objetivo principal acelerar a velocidade com que os gases circulam, tanto na admissão como no escape. A aceleração destes mesmos gases irá provocar aumento de temperatura dos mesmos, que pode vir a ser prejudicial principalmente na admissão, pois um aumento de temperatura da mistura provoca também uma diminuição de densidade dos gases, isto é, ao inserir certo volume de mistura na câmara de combustão, a quantidade mássica presente será menor. Para atenuar este acontecimento existe a necessidade de arrefecer os gases de admissão, através do *intercooler*.

No circuito de combustível é preciso ter atenção que o caudal necessário na mistura não é sempre igual. A melhor forma de cumprir o objetivo pretendido é manter um circuito fechado com pressão constante e “retirar” a quantidade de combustível necessária a este circuito para alimentar a câmara de combustão

Sistema elétrico

O sistema elétrico tem como objetivo alimentar eletricamente todos os componentes auxiliares do veículo assim como, apenas no caso de motores a gasolina, ciclo Otto, efetuar a faísca de ignição. Os componentes principais deste sistema são a bateria, o alternador e o motor de partida. Sucintamente, o próprio movimento do eixo do motor faz rodar também o alternador, que converte esta energia mecânica em energia elétrica, abastecendo a bateria.

Sistema de refrigeração

Neste processo, nem toda a energia gerada é transformada em energia mecânica, existe muita energia que se transforma na forma de calor, sendo mais preciso, cerca de 70% da energia gerada é transformada em calor. De forma a dissipar esta energia, os meios arrefecedores são a água, o ar e o óleo. O sistema mais utilizado de arrefecimento é o de água, sendo constituído essencialmente por uma bomba que faz circular a água pelas mangueiras envoltas do motor, um radiador para retirar energia que a água recebe após completar o percurso no motor, e uma válvula termostática para controlar o caudal com que a água circula, para que o motor mantenha uma temperatura ótima e constante.

Sistema de lubrificação

Lubrificante é o elemento que é colocado entre as superfícies que se atritam, satisfazendo os objetivos da lubrificação, são eles, a redução do atrito e do desgaste dos componentes, diminuir o ruído, eliminar impurezas da combustão que ocorre nas câmaras e tem alguma ação arrefecedora. Essencialmente, o lubrificante usado é o óleo, e o comportamento deste sistema passa pelo recurso a uma bomba de óleo, fazendo o mesmo circular até aos sistemas dinâmicos e deixá-lo, por gravidade, escorrer até ao cárter.

2.3 Operações de controlo e medição

Durante o ensaio é necessário controlar e medir certos parâmetros, tanto para serem analisados no final do ensaio assim como durante, para garantir que não se ultrapassam limites indesejáveis.

Relativamente ao movimento efetivo do motor somos capazes de medir a que velocidade roda, que binário produz, a posição do acelerador e com isto calcular a potência de funcionamento do motor.

No que diz respeito ao circuito de combustível, as medidas importantes a analisar são o débito instantâneo de combustível, o consumo específico e a temperatura e pressão tanto de entrada como de saída de combustível. Dependendo do motor em estudo, a entrada será normalmente antes da bomba de alta pressão (bomba que está imediatamente antes da régua que alimenta os injetores e tem como função alimentar combustível aos injetores com elevada pressão), e à saída, antes de retornar ao tanque de combustível. A seguinte Figura 3 explica tanto o circuito como onde se deve calcular cada grandeza identificada anteriormente.

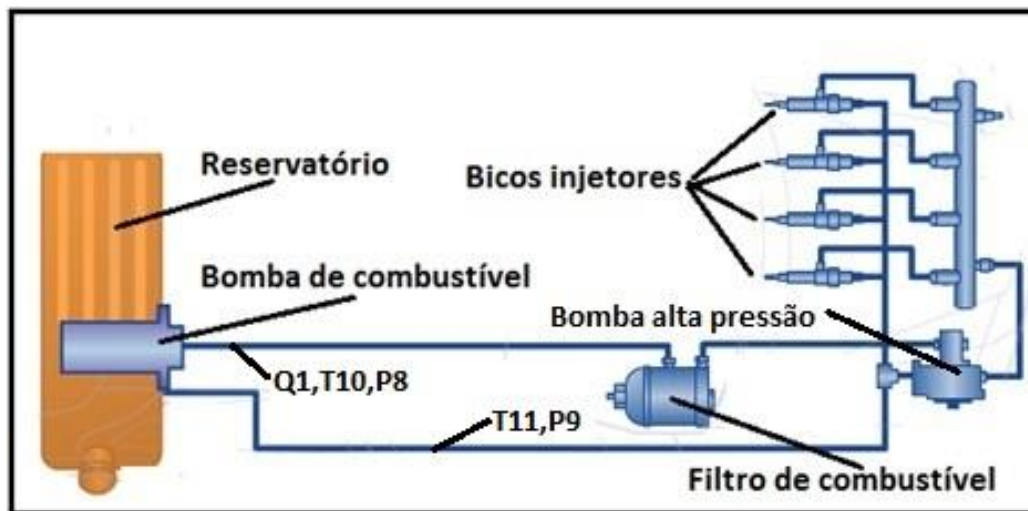


Figura 3 - Circuito de combustível (2)

No sistema elétrico importa medir a tensão e intensidade que flui no alternador. O sistema elétrico está demonstrado na seguinte Figura 4. Como se pode analisar, o alternador gera energia elétrica com a própria rotação do motor, abastecendo a bateria. A intensidade e a diferença de potencial são medidas, como se pode analisar, no alternador.

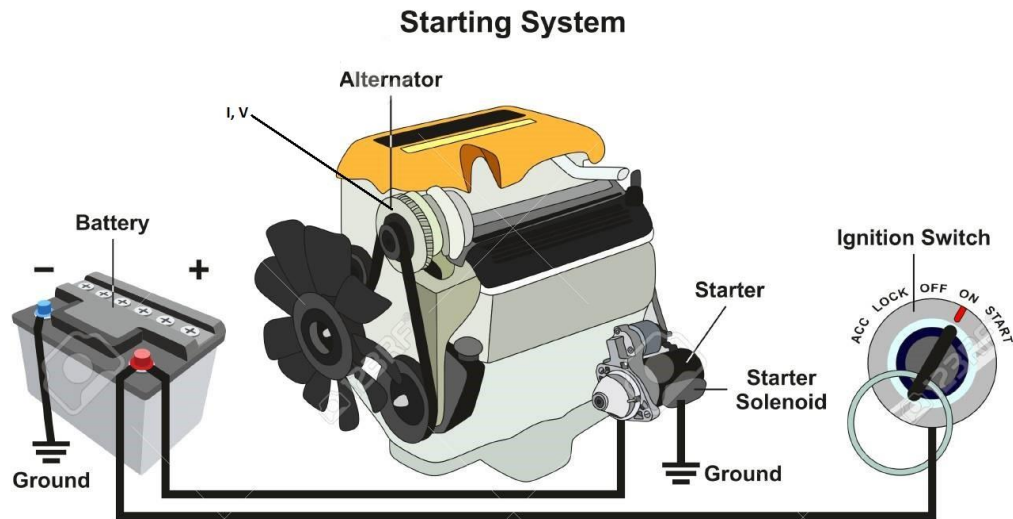


Figura 4 - Sistema elétrico (3)

Relativamente ao sistema de refrigeração, é importante medir a temperatura da água tanto à entrada como à saída do motor assim como a pressão no circuito. Na Figura 5 é apresentado o sistema de refrigeração. É de notar que num ensaio não se tem acesso ao radiador, por isso o arrefecimento da água é feito através de um permutador, inserido num sistema de refrigeração devidamente projetado de forma a simular o radiador.

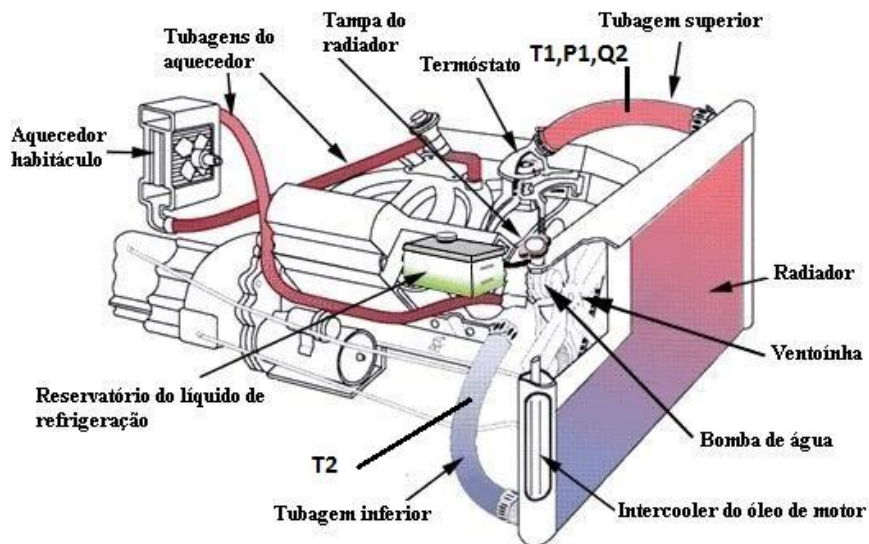


Figura 5 - Sistema de refrigeração (4)

Por último, no sistema de lubrificação, analisa-se o comportamento do óleo, por isso medimos a temperatura e pressão do óleo tanto na entrada (na rampa) como na saída (no cárter inferior). Na Figura 6 é apresentado o sistema de funcionamento assim como as duas zonas de medição. A zona inferior do motor, o cárter, funciona como um depósito de óleo. É a partir daí que o bomba de óleo faz a sucção do mesmo e o faz circular até aos sistemas de fricção do motor, como por exemplo, o contacto entre o cilindro e o pistão e o contacto entre a árvore de cames (ou comando).

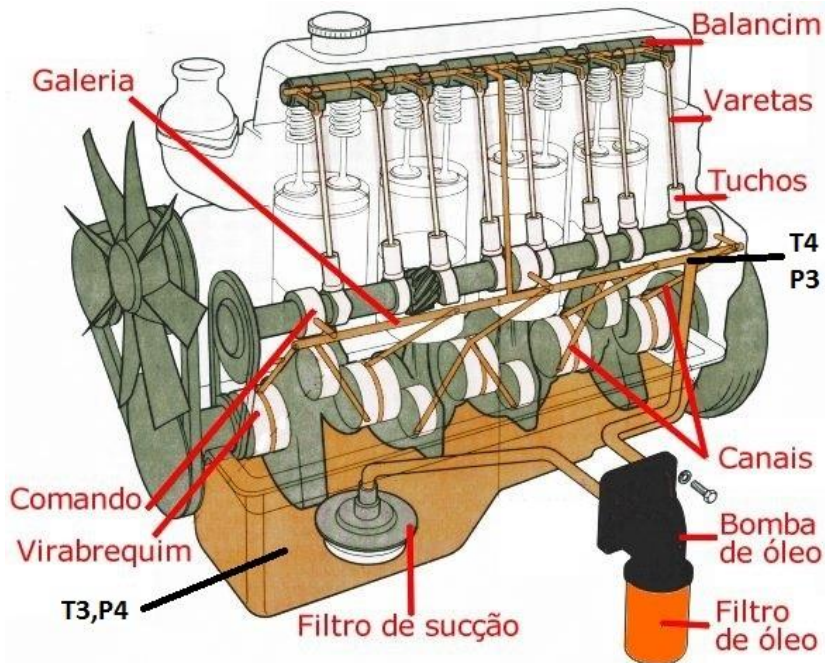


Figura 6 - Sistema de lubrificação (5)

As grandezas a medir e controlar durante o ensaio estão descritas na seguinte Tabela 1. Esta informação foi retirada do manual de procedimentos de ensaio elaborado pelo grupo Renault, “Condições de ensaio, manutenção, seguimento e controlo” (6). Analisa-se desta forma que é necessário medir e controlar a temperatura e a pressão nos sistemas anteriormente mencionados, o de água de refrigeração (T1, T2 e P2), o de óleo (T3, T4, P3 e P4), o de admissão de ar e combustível assim como do sistema que simula o *intercooler* (T5, T6, T7, T9, T10, T11, P5, P6, P8 e P9). Para além das pressões e temperaturas, é necessário medir os valores de caudal de água para a refrigeração do motor (Q2) e de combustível (Q1). No alternador é possível medir a intensidade e a diferença de potencial da energia elétrica gerada.

Tabela 1 - Grandezas a medir/calcular (7)

Sensor	Nomenc	Designação	Unidade	Frequencia de aquisição mínima	Tipo de nota
N	N	Regime motor	RPM	10 Hz	Medir
	P_BRT	Potencia bruta	kW	1Hz	Calcular
	P_CRG	Potencia corrigida (controlo da ignição motor atmosferico)	kW	1 Hz	Calcular
B	C_BRT	Binário bruto	Nm	10 Hz	Medir
	C_CRG	Binário corrigido (gasolina atmosferico)	Nm	1 Hz	Calcular
Pos	ACCEL	Posição do acelerador	%	10 Hz	Medir
Q1	QE	Debito de combustivel	kg/h	1 Hz se possivel	Medir
	CSE	Consumo especifico de combustivel	g/kW.h	1 Hz se possivel	Calcular
	QEMGC	Debito de combustivel (diesel)	mg/cp	1 Hz se possivel	Calcular
	QA	Debito de ar (gasolina)	kg/h	1 Hz se possivel	Calcular
A/F	RICONDIA	Riqueza da mistura (gasolina)	-	1 Hz	Medir
	FUMBO	Indice de fumo (motor diesel com linha de escape do banco somente)	FSN ou IB	Cada registo	Medir
	HYGRO	Taxa de higrometria (gasolina atmosferico)	%	1 Hz	Medir ou calcular
	THYGRO	Temperatura do ponto de orvalho	°C	1 Hz	Medir
	REDFAC	Fator de correção ISO82 (se presente & gasolina atmosferico)	-	1 Hz	Calcular
T1	T_SE	Temperatura da água à saída do motor	°C	1 Hz	Medir
T2	T_EE	Temperatura de água à entrada do motor		1 Hz	Medir
T3	T_HLE	Temperatura do óleo no carter inferior		1 Hz	Medir
T4	THRPE	Temperatura do óleo na rampa		1 Hz	Medir
T5	T_AIR	Temperatura admissão de ar (entrada do filtro de ar)		1 Hz	Medir
T6	T_ADM	Temeratura do ar combustivel (se presente)		1 Hz	Medir
T7	T_APE	Temperatura do ar intercooler		1 Hz	Medir
T8	T_ECH	Temperatura do gás no escape		1 Hz	Medir
T9	T_AVT	Temperatura do gás antesda turbina (se present)		1 Hz	Medir
T10	T_ECAR	Temperatura entrada gasolina		1 Hz	Medir
T10	T_EGO	Temperatura entrada diesel		1 Hz	Medir
T11	T_SGO	Temperatura saída diesel	1 Hz	Medir	
P1	BARO	Pressão atmosferica	mbar	1 Hz	Medir
P2	P_R_EAU	Pressão água	bar	1 Hz	Medir
P3	P_R_HLE	Pressão óleo	bar	1 Hz	Medir
P4	P_R_CART	Pressão carter inferior	mbar	1 Hz	Medir
P5	P_R_COL	Pressão ar de admissão	mbar	1 Hz	Medir
P6	P_R_APE	Pressão ar intercooler	mbar	1 Hz	Medir
P7	P_R_ECH	Pressão escape	mbar	1 Hz	Medir
P8	P_R_CARB	Pressão entrada gasolina	bar	1 Hz	Medir
P8	P_R_EGO	Pressão entrada diesel	mbar	1 Hz	Medir
P9	P_R_SGO	Pressão saída gasóleo	mbar	1 Hz	Medir
Q2	Q_EAU	Débito de água	m3/h	1 Hz	Medir
V	VLT	Tensão alternador	V	1 Hz	Medir
I	AMP	Intensidade alternador	A	1 Hz	Medir
	H_MOT	Hora do motor	Formato	1 Hz	Medir
	H_ESSAI	Hora do ensaio	horario	1 Hz	Medir

Muitas destas grandezas são calculadas diretamente no motor, mas, para outras há necessidade de recorrer a módulos auxiliares para a determinação das mesmas. É exemplo disso o caudal de água no sistema de refrigeração, a razão ar/combustível, o índice de fumo, entre outros.

Foram ainda estudados alguns valores obtidos num ensaio, no caso, de Pmax/Bmax (Potência máxima e Binário máximo), para saber mais à frente que valores se espera obter e também determinar que tipo de sensores se necessitam. Esses valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores obtidos em ensaio

	Intervalo de valores em Pmax	Intervalo de valores em Bmax
Potencia máxima [kW]	120 a 128	-
Binário corrigido [N.m]	-	320 a 370
Debito combustível [mg/CD]	80 a 85	80 a 95
T descarga [°C]	620 a 630	480 a 530
P sural [mbar]	2800 a 3050	2200 2400
Fumo [iB]	1,5 a 2,3	1,5 a 3,5
Consumo específico [g/kWh]	240 a 260	230 a 260
P água no bocal [mbar]	600 a 1200	700 a 1100
P óleo na rampa [bar]	3,7 a 4,5	2,8 a 3
Depressão no cárter [mbar]	0 a -2.5	0 a -2,5
T água à saída do motor [°C]	100 a 102	98 a 102
T óleo cárter [°C]	131 a 137	105 a 118
T ar do turbo depois do permutador [°C]	50 a 60	30 a 40
P de descarga [mbar]	560 a 520	60 a 90
Débito do motor [m ³ /h]	5 a 5,5	2,2 a 2,5

2.4 Sensor de temperatura

Os sensores mais simples e amplamente utilizados são os termopares, por serem robustos e de baixo custo.

O seu modo de funcionamento faz-se a partir de duas ligas distintas unidas em uma das extremidades. Quando há uma diferença de temperatura entre a extremidade unida e as extremidades livres, surge uma diferença de potencial que pode ser medida e, com a calibração certa, equivale a uma temperatura, conhecido como efeito de Seebeck. Quaisquer dois diferentes metais podem ser usados, mas utilizam-se apenas algumas combinações normalizadas pois possuem tensões de saída previsíveis e que suportam grandes gamas de temperatura.

Diferentes combinações de metais resultarão em diferentes tipos de termopares. Existem termopares do tipo K, E, J, N, B, R, S, e T (Figura 7).

Este tipo de sensores é também denominado de sensores analógicos.



Figura 7 - Termopar

No presente estudo serão analisados os termopares do tipo K pois são os presentes no banco de ensaios e os que cumprem os requisitos por lerem temperaturas até 1200°C com boa precisão. A constituição dos mesmos é feita de Cromel e Alumel. Tem um custo reduzido e cobrem temperaturas entre os -200 e os 1200 °C tendo sensibilidade de aproximadamente 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

A curva tipo de um termopar de cada combinação é apresentada na Figura 8. No gráfico observamos que o sensor tipo K é o intermédio de todos os existentes. Os sensores do tipo R, S e B tem capacidade de medição de elevadas temperaturas, até 1800 °C mas com uma diferença de potencial baixa, até 30mV, o que pode tornar uma desvantagem pois a medição será menos constante e o ruído será mais notado. Os sensores do tipo E, J e T têm a sua curva característica abrangendo maior intervalo de diferença de potencial, mas permitem medições de temperaturas relativamente mais baixas que os anteriores.

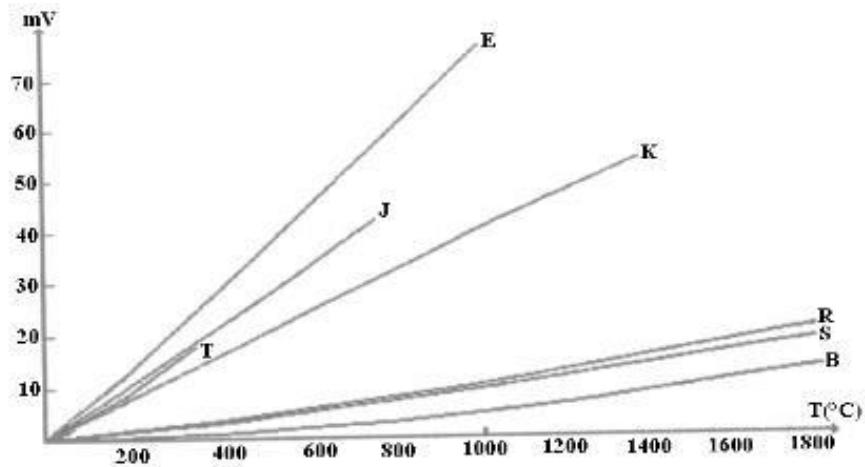


Figura 8 - Curva termopar tipo E, J, T, K, R, S, B (8)

Para além deste tipo de sensores, existem também equipamentos de medição de temperatura denominados de termoresistências

Uma termoresistência é um instrumento que permite conhecer a temperatura recorrendo à relação entre resistências elétricas (Figura 9). A denominação de uma termoresistência indica o tipo de material e a resistência que apresenta a 0°C. Uma PT100 é uma termoresistência de platina que apresenta uma resistência de 100 Ω (Ohm) a 0°C. Uma NI500 é uma termoresistência de níquel que apresenta uma resistência 500Ω a 0°C.

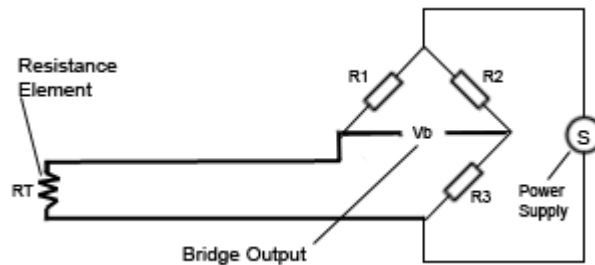


Figura 9 – Termoresistência

Consoante o material de que é feita a termoresistência, varia a sua linearidade, bem como a medida e a sensibilidade. Numa resistência de platina a sensibilidade é de aproximadamente 0,38 Ω/°C

2.5 Transdutor de Pressão

Um transdutor de pressão é um dispositivo que transforma um valor de pressão num sinal elétrico.

O sensor a analisar será da marca Druck (Figura 10), da série PDCR 4000 e PDCR800 pois são os existentes na empresa (Figura 10).



Figura 10 - Escolha do transdutor de pressão (9)

Relativamente às conexões elétricas, este tipo de sensor possui dois fios de alimentação e dois de saída de sinal elétrico, sendo que alguns contêm ainda um quinto fio de calibração. A alimentação deve ser feita com 10V e o output depende das medidas a efetuar. Pode ser calibrado para a escala de 0 a 900psi ou para valores superiores a 1000 psi.

2.6 Caudalímetro

O caudalímetro tem a função de medir o caudal que passa numa tubagem.

Existem caudalímetros de deslocamento positivo, eletromagnéticos, helicoidais, mássico *Coriolis*, mássicos térmicos para gases, plásticos, rodas dentadas, turbina, ultrassónicos e vortex.

O caudalímetro existente na empresa, é um KROHNE IFC 010F, que é um caudalímetro eletromagnético (Figura 11), onde a alimentação elétrica é feita, dependendo da versão, com 200 ou 240 V. Como saída, envia uma tensão de 15V DC.



Figura 11 - Caudalímetro eletromagnético (10)

2.7 Tipos de freios dinamométricos

Neste capítulo há o interesse de estudar como medir o torque e calcular a potencia através do uso de um freio dinamométrico. A forma como se absorve e se mede o torque e se controla a rotação do motor é fundamental para a precisão no cálculo da potência e de todos os outros componentes a ser testados. A primeira questão centra-se no tipo e no tamanho do freio dinamométrico que melhor serve ao tipo de teste, problema que será abordado neste capítulo.

A unidade SI (Sistema Internacional) do torque é em Newton metro, N.m, que resulta da força aplicada num braço.

$$T = r \times F$$

A relação entre o torque e a potência é:

$$P = \frac{T \times \omega}{9549}$$

Onde P é a potência em quilowatts, o Torque o momento em Newton metro e ω a velocidade de rotação em rotações por minuto.

A Figura 12 mostra a montagem de um freio dinamométrico e de que forma é contruído o braço para o cálculo do Torque.

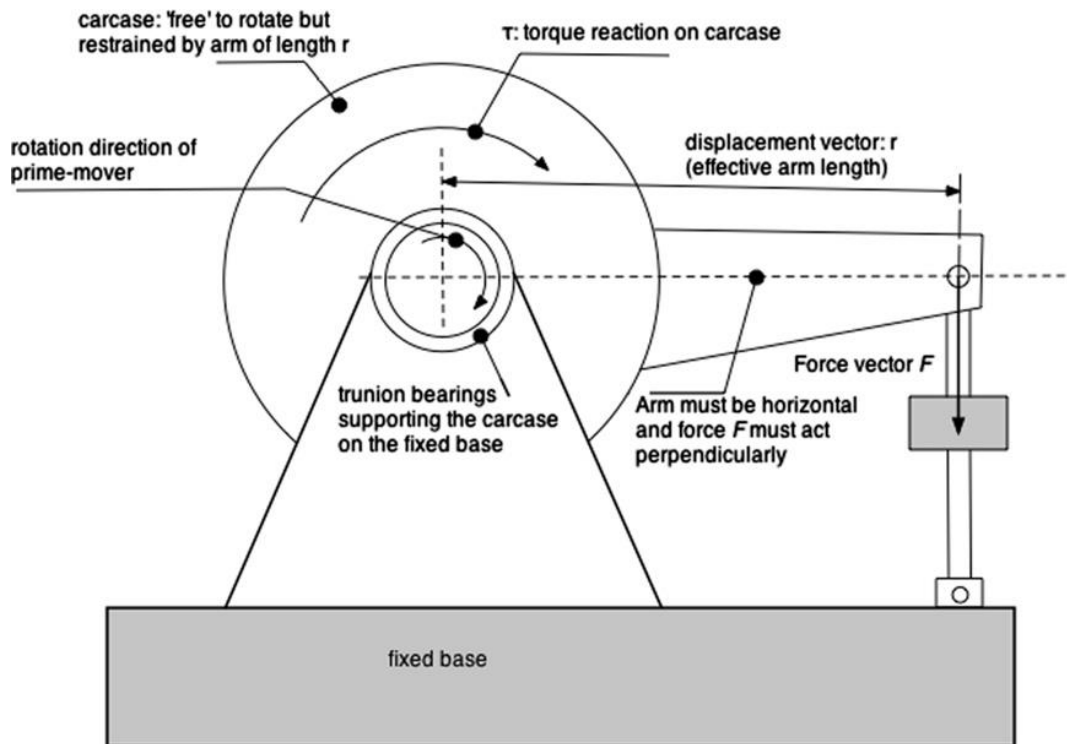


Figura 12 - Funcionamento geral de um freio dinamométrico (11)

.7.1 Características Torque/Velocidade e Potência/Velocidade

Dependendo do tipo de freio dinamométrico, as curvas torque-velocidade e potência-velocidade variam significativamente. O tipo de curva influencia na escolha dependendo da aplicação pretendida.

A Figura 13, Figura 14 e Figura 15 apresentam as várias curvas dos diferentes tipos de freios dinamométricos.

A Figura 13 apresenta o torque e a potência que um freio dinamométrico AC (corrente alterna) é capaz de produzir a cada velocidade de rotação do motor. Até o motor atingir 4000 rotações por minuto, o freio dinamométrico é capaz de produzir entre 250 a 300 N.m aproximadamente, e a potência irá variar de forma linear entre 0 potência a 0 rotações por minuto, até cerca de 120 kW quando se atinge aproximadamente 4500 RPM. A partir deste ponto, o binário (torque) que o freio dinamométrico AC produz irá decrescer de forma visível na figura até cerca de 80Nm quando se atinge a rotação máxima de 12000RPM, ao passo que a potência se manterá constante nos 120kW até atingir 10000RPM, decrescendo posteriormente até 100 kW quando atinge a velocidade de 12000RPM.

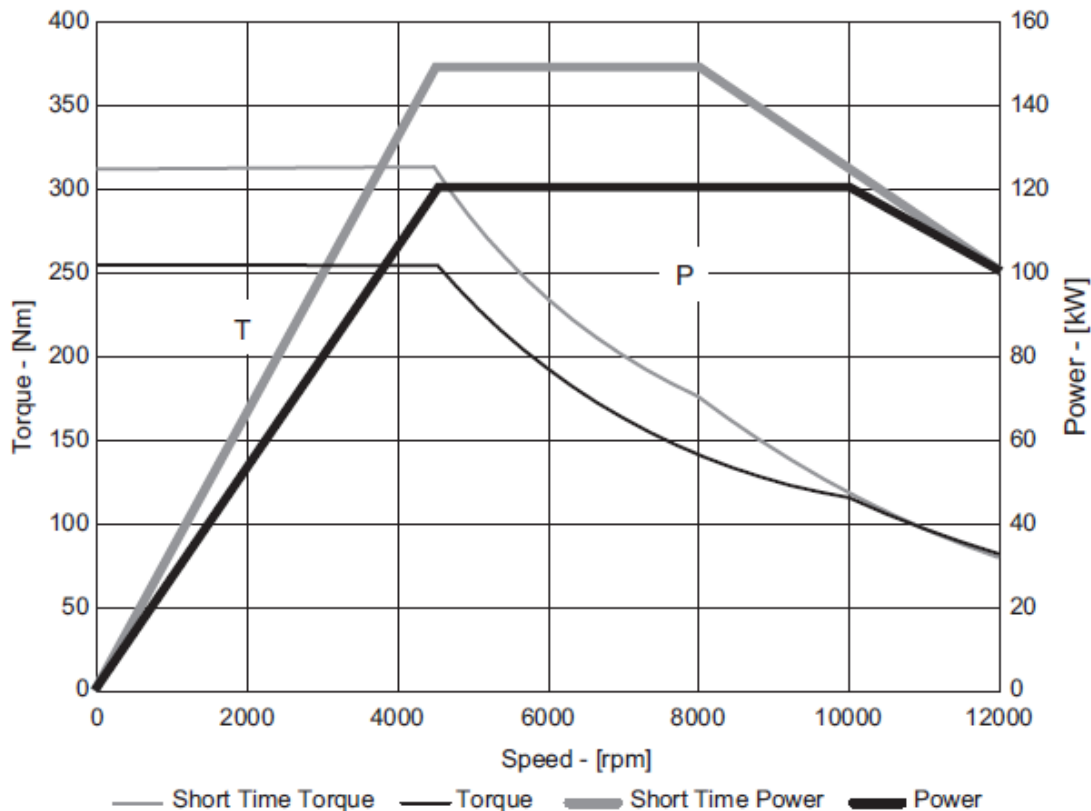


Figura 13 - Curva Torque e Potência de freio dinâmico AC (11)

A Figura 14 e Figura 15 analisam as curvas de binário e potência típicas de um freio dinâmico hidráulico e de um freio dinâmico de correntes de *Eddy* respetivamente. As curvas são relativamente parecidas visto os dois freios dinâmicos serem do tipo mecânicos. Analisa-se nestes gráficos que, ao contrário do freio dinâmico elétrico, não é possível produzir binário quando a velocidade de rotação é 0. Pode-se analisar que o freio dinâmico de correntes de *Eddy* consegue atingir binário máximo a velocidades mais baixas comparativamente ao freio dinâmico hidráulico. Ambos permitem binário máximo até cerca de 50% da velocidade máxima, começando a decrescer a partir deste ponto de forma quadrática até atingir cerca de 50% do binário máximo quando se atinge a rotação máxima. Relativamente à potência, a evolução acontece de forma diferente entre os dois tipos de freios dinâmicos, mas denota-se que a potência atinge o seu valor máximo quando se atinge cerca de 50% da velocidade máxima nos dois casos, sendo que, a partir deste ponto ambos produzem potência máxima até atingir a velocidade máxima.

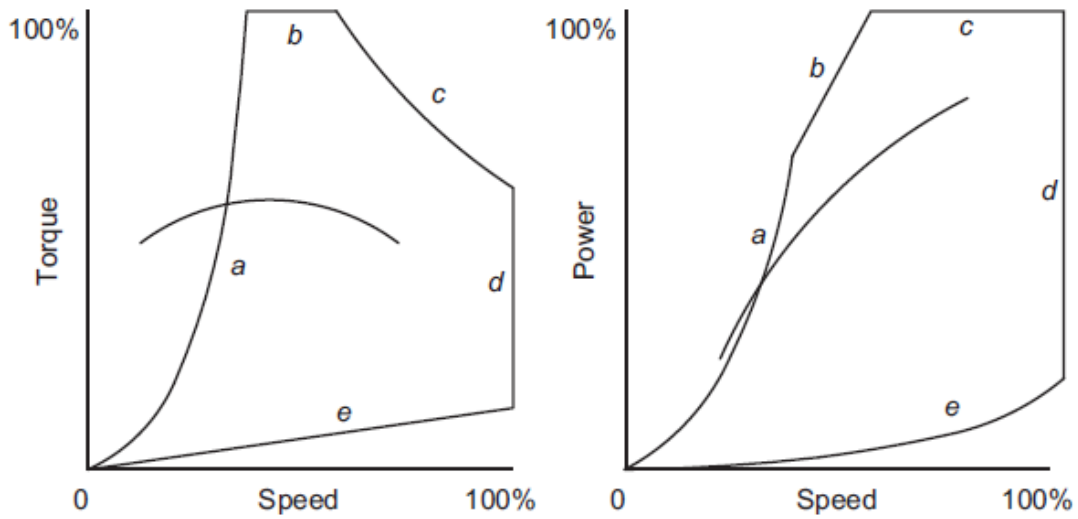


Figura 14 - Curva Torque e Potência do freio dinamométrico Hidráulico (11)

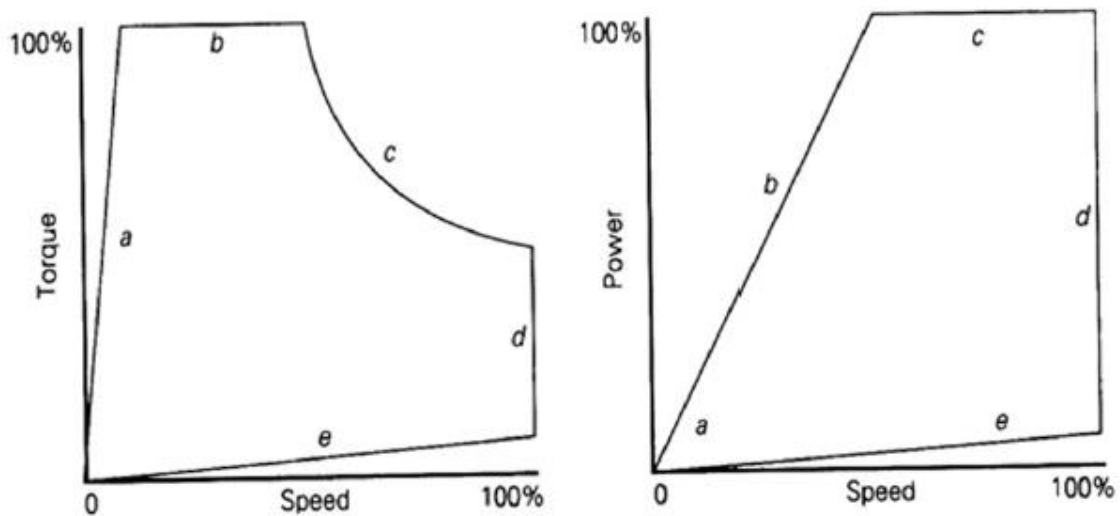


Figura 15 - Curva Torque e Potência do freio dinamométrico de correntes de *Eddy* (11)

Legenda:

- a. A baixa velocidade, o torque corresponde ao máximo permitido pela excitação das bobinas
- b. Performance limitada pelo torque máximo permitido pelo eixo
- c. Performance limitada pela máxima potência permitida, a qual é função da capacidade de refrigeração e máxima temperatura atingida
- d. Máxima velocidade permitida
- e. Torque mínimo correspondente à magnetização residual, fricção e resistência ao ar

Após a análise dos três dinamómetros concluímos que, dinamómetros AC conseguem produzir torque com velocidade a 0, ao passo que o dinamómetro hidráulico e correntes de *Eddy* tem um intervalo significativo junto ao eixo Y.

Estas curvas significam os limites seguros de teste para os quais as máquinas foram testadas. Para manter a segurança não são permitidos regimes de funcionamento que saiam fora do gráfico fornecido pelo fabricante.

O fator que mais influencia a limitação de certos regimes é a capacidade de refrigeração, os componentes conseguem ser robustos o suficiente para aguentar as cargas envolvidas, mas a dissipação de calor é mais difícil de se obter.

Altas velocidades também são limitadas particularmente por estarem envolvidas elevadas temperaturas, podendo haver cavitação o que danificará de imediato o banco de ensaios.

As considerações a ter na escolha do dinamómetro são [10]:

1. A velocidade de resposta necessária para efetuar a sequência de regimes a executar durante o ensaio. Para definir este atributo costuma-se denominar os dinamómetros de: *steady state*, *transient*, *dynamic* ou *hyper dynamic*.
2. Tempo de funcionamento anual. Dependendo das horas de funcionamento que se pretendem utilizar o dinamómetro, os aspetos de corrosão poderão ser considerados.
3. Sobrecarga. Se se pretender de vez em quando entrar em regimes fora das curvas predefinidas, como por exemplo para o ensaio de motores desportivos, deve-se escolher o dinamómetro que normalmente é sobredimensionado, como é o caso dos dinamómetros hidráulicos.
4. Grandes e frequentes variações de torque. Este aspeto cria maiores problemas no dinamómetro de correntes de Eddy.
5. Variedade no tamanho de motores a serem testados.
6. Possuir um encaixe próprio ao eixo para auxiliar no arranque do motor
7. Existir um sistema adequado de refrigeração (chiller)
8. Pressão de água na refrigeração a pressão contante. A variação de pressão, pulsos, no sistema de refrigeração pode afetar a estabilidade dos dinamómetros hidráulicos. Nos de corrente de Eddy, este ponto não é tao relevante.
9. Sistema elétrico seguro.
10. A forma como se acopla o motor ao dinamómetro.

2.7.2 Freio dinamométrico hidráulico

A constituição típica de um freio hidráulico consiste na montagem do estator com o rotor, sendo este último suportado pelo veio que lhe transmite binário originado pelo motor em teste. Na Figura 16 é apresentado o esquema do freio dinamométrico hidráulico.

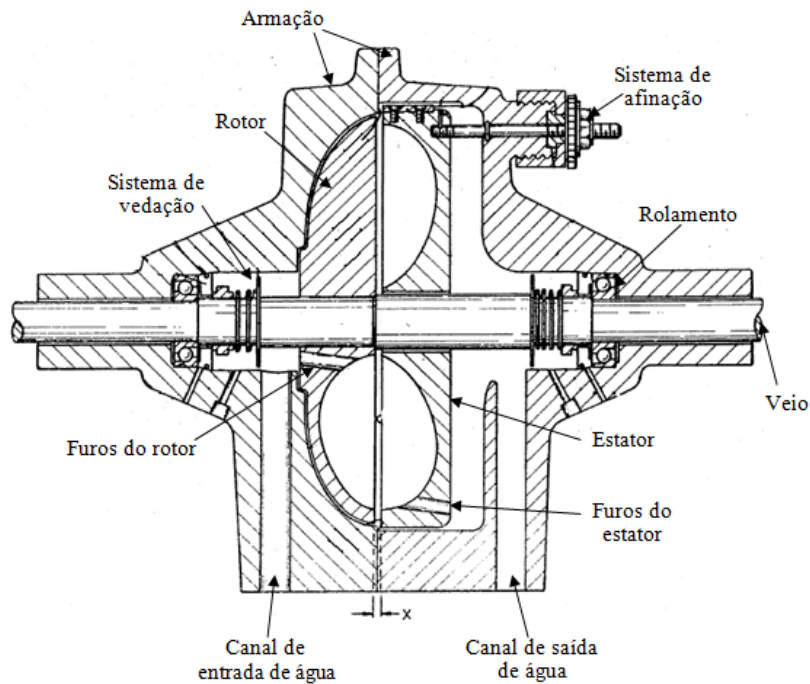


Figura 16 – Esquema do freio dinâmico Hidráulico (12)

O rotor e o estator apresentam uma estrutura física com cavidades que, quando é fornecido líquido ao compartimento da armação, são geradas tensões no líquido entre o estator e o rotor, originando forças de travagem no rotor, correspondendo a um binário aplicado ao estator e por consequência à armação.

A energia mecânica fornecida pelo motor em ensaio é absorvida e convertida em calor pelo dinamómetro através de um fluxo de fluido que circula entre os talhos existentes no estator e no rotor. O binário absorvido pelo estator obriga a carcaça a um movimento de rotação no sentido inverso e com igual intensidade. Este esforço é transmitido, por meio de um braço, a uma célula de carga localizada a uma distância fixa do centro do dinamómetro, possibilitando assim o cálculo do binário.

O freio dinâmico hidráulico é conhecido por estabelecer um circuito fechado permitindo a recirculação do fluido, sendo deste modo necessário que o dinamómetro possua um sistema de alimentação do fluido (geralmente uma bomba), um reservatório e uma válvula de descarga. O fluido, depois de passar pela válvula de entrada, é forçado a atravessar o canal de entrada da carcaça, obrigando-o a fluir pelos canais presentes no rotor - Figura 17.

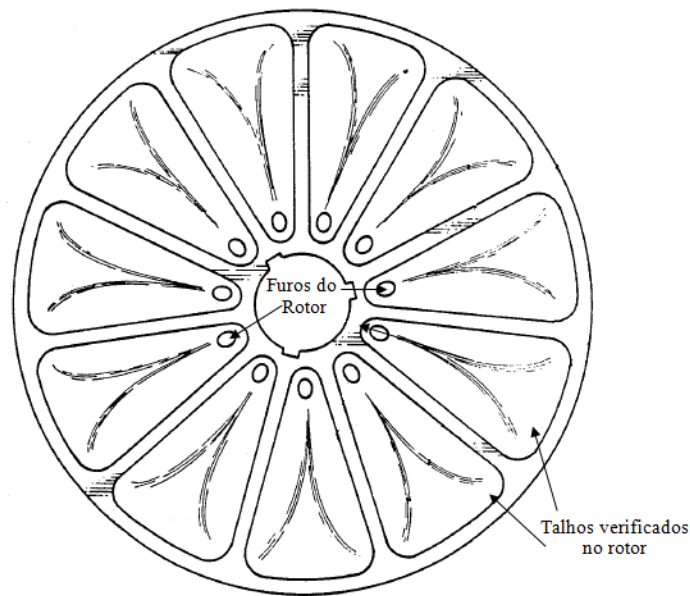


Figura 17 - Canais do rotor de um freio dinâmico Hidráulico (12)

O rotor e o estator estão colocados de maneira a que as suas ranhuras possam interagir através da presença de fluido. Quando existe rotação do rotor o fluido passa através dos furos nele existentes, o seu fluxo expande-se por toda a cavidade do rotor que, com a rotação, leva o fluxo de água a estender-se às cavidades do estator, originando o aparecimento de tensões devido à variação de movimento entre o estator e o rotor. Existem também, nas ranhuras do estator (Figura 18), furos que possibilitam a saída e a recirculação de fluido proveniente do contacto entre o rotor e o estator, eliminando parte do calor absorvido no contacto.

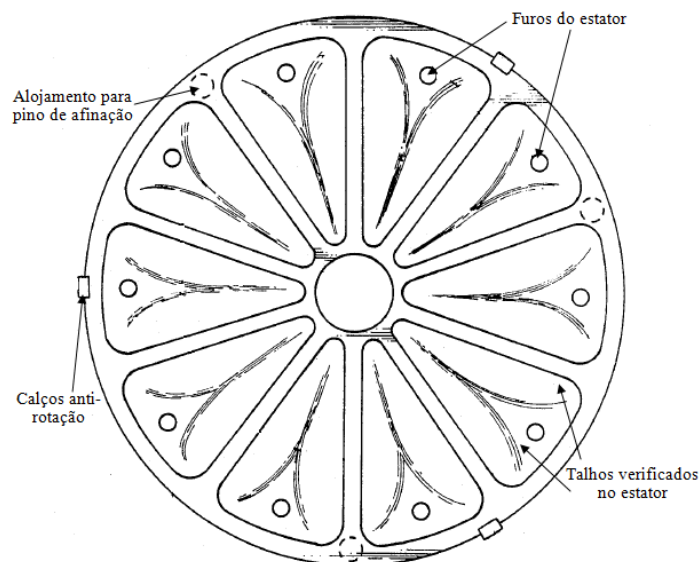


Figura 18 - Estator de um freio dinâmico Hidráulico (12)

A potência absorvida pelo freio dinamométrico depende da velocidade de rotação e da quantidade de fluido existente no interior da câmara do rotor. O nível de água na câmara do rotor é modulado através do controlo das válvulas de entrada e saída.

Devido à possibilidade de realizar binários elevados, são colocados três calços anti rotação regularmente espaçados entre si, de maneira a garantir que, mediante qualquer binário exercido, não exista rotação do estator em relação à armação/carcaça principal. Este dinamómetro é caracterizado também por possuir três pinos que permitem a afinação da distância entre o estator e o rotor. Tal facto possibilita o teste de uma maior gama de motores, permitindo a variação de caudal de fluido entre o estator e o rotor, garantindo uma maior longevidade do dinamómetro (diminuindo a probabilidade de aquecimento) e uma melhor capacidade de ensaio visto existir a proporção correta de caudal de fluido dentro da zona de trabalho.

2.7.3 Freio dinamométrico de correntes de *Eddy*

O princípio de funcionamento deste freio dinamométrico baseia-se na atuação de binário contrário com recurso às correntes de *Eddy*. Ao energizar o travão eletromagnético desenvolve-se um binário resistente no rotor e um binário de reação no estator.

Um binário resistente é desenvolvido ao energizar a bobina, o que provoca a geração de um campo elétrico no anel indutor e no rotor. O contorno cónico do dentado do rotor varre a superfície interna do anel indutor (Figura 19) pelo que qualquer ponto na superfície interna do anel indutor está sujeito a uma penetração pelo fluxo, que varia de intensidade consoante a posição do contorno do dente adjacente ao ponto em causa. Assim a rotação contínua do rotor faz variar a intensidade do fluxo magnético na superfície interna do anel indutor.

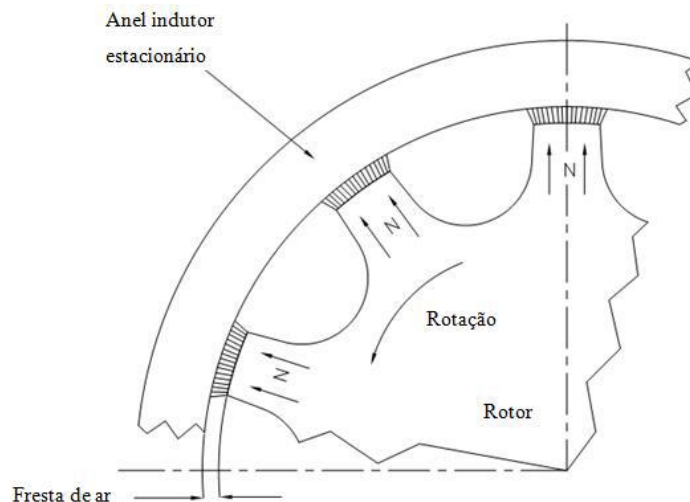


Figura 19 - Contacto do rotor e estator do freio dinamométrico de correntes de *Eddy* (13)

A variação de intensidade do fluxo no anel indutor cria uma corrente que deriva na superfície do diâmetro interior do anel. Estas correntes criam um campo eletromagnético que reage com o campo verificado nos dentes do rotor. A reação entre estes campos eletromagnéticos cria uma atração numa direção tangencial ao rotor e ao estator desenvolvendo, assim, um binário resistente proporcional à corrente reativa proporcionada pelos dentes do rotor. A força do campo eletromagnético do anel indutor é controlada ajustando a corrente de excitação da bobina.

O binário de reação pode ser determinado aplicando uma célula de carga a uma distância específica do centro da carcaça, denominado braço e referenciado na Figura 20. A força medida pela célula de carga e o braço possibilitam a determinação do binário que, combinado com a velocidade de rotação do veio que suporta o rotor, possibilita o cálculo da potência.

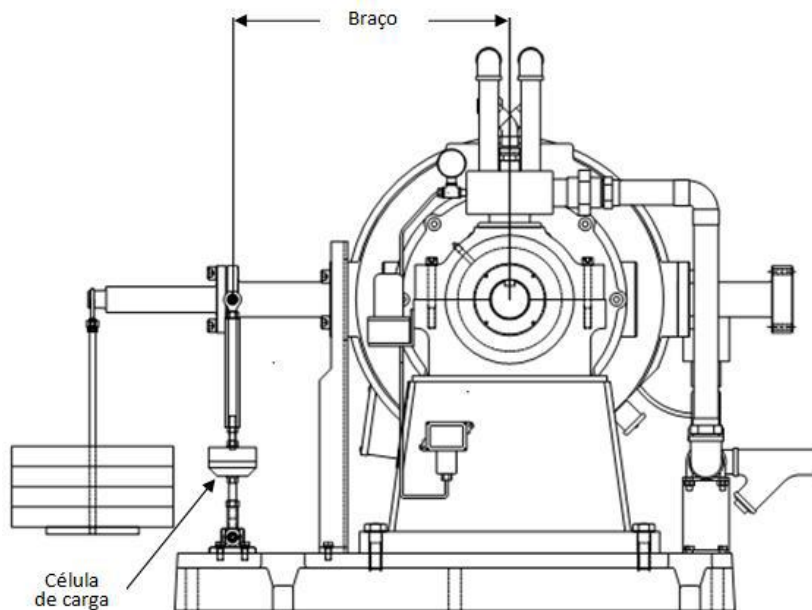


Figura 20 - Medição de binário no freio dinâmico de correntes de *Eddy* (13)

O dinamómetro é constituído por uma carcaça suportada por rolamentos que permite à mesma ter uma rotação livre sendo, no entanto, delimitada por batentes. Estes rolamentos de esferas são de contacto angular e apresentam uma boa tolerância interna, permitindo obter um maior número de ciclos em ambiente magnético e de elevada temperatura que se verifica no dinamómetro.

Os elementos ativos são o veio/rotor e o estator. O estator tem múltiplas secções em ferro fundido onde pode ser instalada uma ou mais bobinas. Na carcaça do estator são ainda fixados um conjunto de anéis que permitem a circulação de um fluido de arrefecimento.

O conjunto rotor/veio é colocado no interior da carcaça, com ambas as extremidades do veio estendendo-se para fora dela, ficando o conjunto suportado pelos rolamentos alojados na carcaça do

estator visando, desta forma, a minimização de erros na determinação do binário. A apresentação deste conjunto é ilustrada na Figura 21.

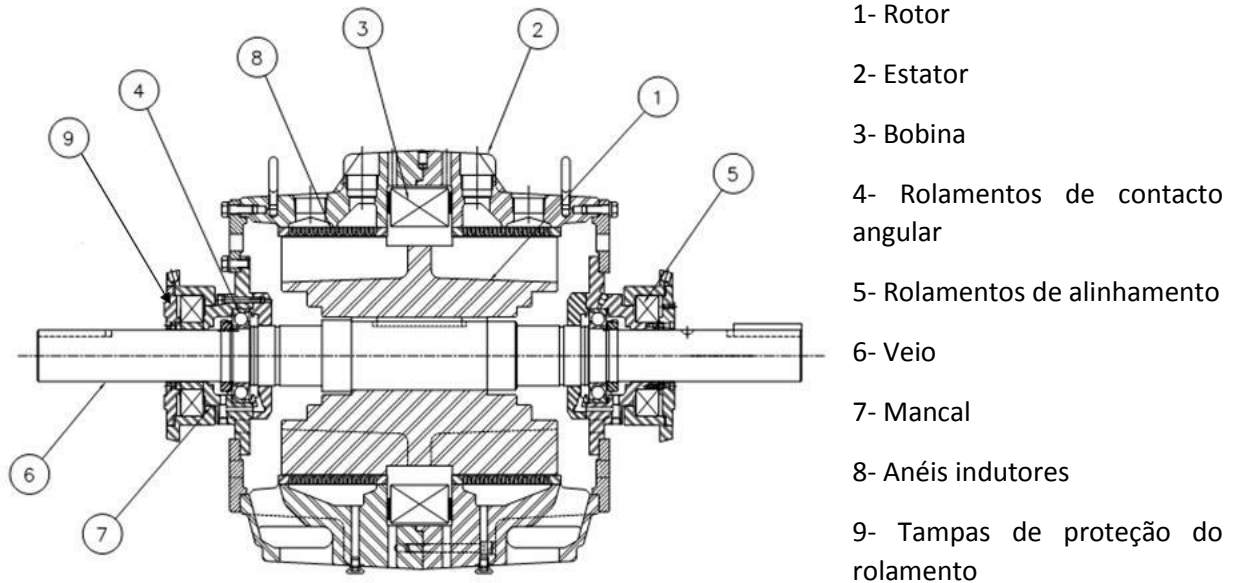


Figura 21 - Esquema do freio dinâmico de correntes de *Eddy* (13)

Neste dinamómetro a potência transmitida da unidade para o veio é convertida em calor, devido ao efeito do campo magnético aí produzido. O calor desenvolvido é gerado quase totalmente na zona da superfície interna do anel indutor e na superfície periférica do rotor. O fluido refrigerante circula entre a carcaça do estator e os anéis indutores. No entanto para uma maior capacidade de absorção da energia calorífica gerada, o fluido refrigerante é também injetado numa abertura existente entre o anel indutor estacionário e a bobina. Depois de arrefecer a retaguarda do anel de indução, o fluido passa no entreferro existente entre o anel indutor estacionário e o rotor, após o qual flui nos dois sentidos paralelos ao eixo do rotor. A pressão produzida pelo sistema de refrigeração induz uma velocidade axial ao fluido na zona do entreferro. O movimento de rotação do rotor sujeita o fluido a uma velocidade tangencial. A combinação destes dois tipos de trajetórias resulta no fluido um movimento de “parafuso”, originando uma absorção de calor mais eficiente aquando da sua passagem no entreferro.

2.7.4 Freio dinâmico elétrico

O freio dinâmico/motor elétrico (DC ou AC) pode funcionar como gerador ou motor. Este atua como gerador quando a própria máquina está a ser conduzida por um sistema em teste. Na situação oposta, quando a máquina está a realizar uma carga motora, o binário resistente é desenvolvido pelo

sistema em teste, encontrando-se o dinamómetro a funcionar como motor. A máquina eléctrica pode integrar um sistema regenerativo, o que a leva a ser mais cara e complexa, devido à inclusão de elementos que possibilitam o reaproveitamento da energia mecânica transmitida pelo sistema em ensaio, possibilitando recuperar energia e devolvê-la à rede.

Quando o dinamómetro desempenha a função de gerador, a resistência à rotação do veio motor é originada devido a forças eletromagnéticas criadas entre a bobina e a armadura, transformando-se em calor a energia daí a resultante. A potência pode ser determinada através da leitura da corrente e da tensão do circuito da armadura, assim como do conhecimento de algumas características do dinamómetro, como por exemplo o rendimento.

Os motores eléctricos AC podem ser síncronos ou assíncronos. Nos motores síncronos a velocidade angular do eixo é constante e igual à velocidade do campo girante, variando ligeiramente com a carga aplicada ao eixo, tendo como limite a potência nominal da máquina. Nos motores assíncronos há uma queda da velocidade quando sujeita a uma carga. A principal diferença entre os motores encontra-se na construção do rotor. (14)

2.7.5 Comparação

Conforme já referido, o dispositivo deve realizar um binário de carga de forma a possibilitar a medição de binário e potência num veículo de combustão interna. As curvas típicas de um motor são visíveis Na Figura 22. Desta forma é possível analisar que o modo de funcionamento típico de um motor de combustão interna produz aproximadamente um binário de 180 N.m e uma potência de 15kW em baixas rotações, 1000 RPM. A partir deste ponto ambas as curvas são crescentes, sendo que o binário do motor atinge o máximo de 235 N.m quando o motor roda com 3500 RPM, sendo que coincide com a interseção entre ambas as curvas, de potência e binário e a partir daí o binário decresce até 120 N.m ao atingir a velocidade máxima de 6500 RPM. Já a potência produzida pelo motor é crescente até o motor atingir 5500 RPM atingindo 110 kW, decrescendo a partir desse ponto até atingir a velocidade de rotação máxima, a potência chega até cerca de 90 kW.

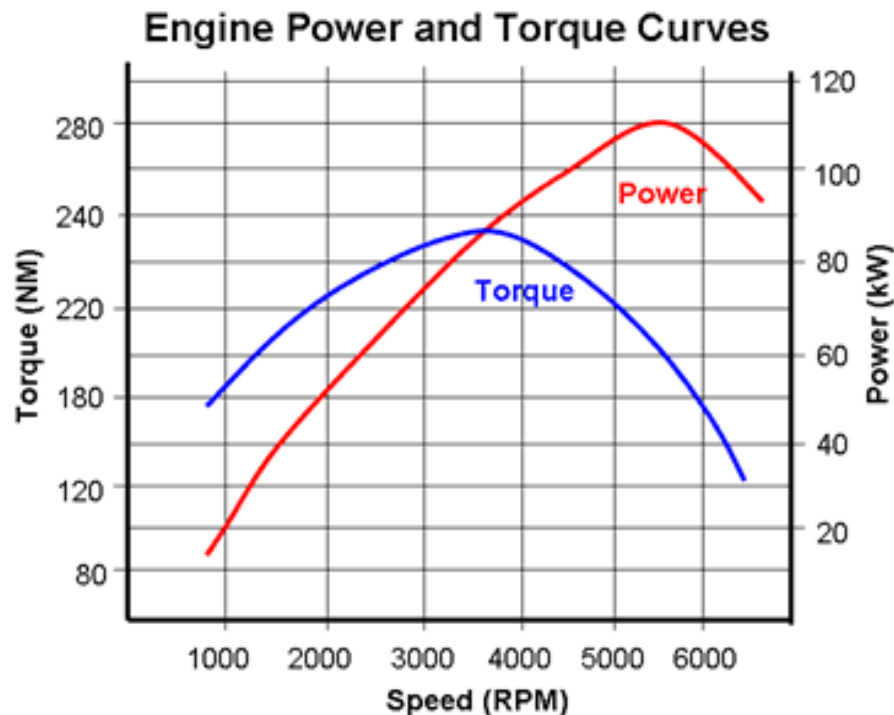


Figura 22 - Curva Torque e Potência de um motor de combustão interna (15)

Os freios dinamométricos mais tradicionais são os mecânicos, sendo exemplo os de correntes de Eddy e o hidráulico. Estes dinamómetros são utilizados para executar ensaios estacionários e são os que vamos utilizar no presente estudo.

Este tipo de dinamómetros são os mais apelativos na indústria por requererem menor investimento e por necessitarem de manutenção reduzida. Têm como desvantagem a falta de resposta dinâmica e o facto de o seu modo de funcionamento se basear na dissipação total de energia absorvida em calor, o que obriga à existência de um circuito de refrigeração.

No caso de freios dinamométricos elétricos, há uma resposta com maior dinâmica, devido à baixa inércia do seu órgão rotacional e aos avanços verificados no controlo de motores elétricos. Como desvantagem têm o valor de investimento que é bem mais elevado.

A Tabela 3 apresenta as características dos quatro diferentes tipos de freios dinamométricos.

Podemos assim analisar e concluir que apenas os freios dinamométricos mecânicos necessitam de refrigeração e que nos restantes parâmetros, controlo de binário, tempo de reação, origem de vibrações repetibilidade, estabilidade do sistema, e custo de operação, o dinamómetro elétrico é o que apresenta melhores resultados. Embora o dinamómetro elétrico tenha uma clara vantagem em termos técnicos, tem a desvantagem de ter um custo de investimento muito alto, o que por vezes não é suportável para as empresas.

Tabela 3 - Comparação entre os tipos de freios dinamométricos (11)

Características	Tipo de dinamómetro			
	AC	DC	Eddy-Current	Hidráulico
Sistema de arrefecimento por fluido	Não	Não	Necessário	Necessário
Controlo de binário em tempo real	Muito bom	Muito bom	Bom	Normal
Tempo de reacção	Milissegundos	Milissegundos	0.1 Segundos	Segundos
Avanço tecnológico	Alto	Alto	Normal	Normal
Origem de vibrações	Baixo	Baixo	Normal	Normal
Repetibilidade	Alta	Alta	Normal	Normal
Estabilidade do sistema	Alta	Alta	Muito alta	Normal
Custo de investimento	Alto	Muito alto	Normal	Baixo
Custo de operação	Baixo	Baixo	Alto	Alto

2.7.6 Atuador/Driver do freio dinamométrico de correntes de Eddy

Como já analisado, o freio dinamométrico de correntes de *Eddy* funciona com a formação do campo magnético produzido pelas bobinas. Assim, para variar o campo magnético gerado, é necessário variar a diferença de potencial nos terminais da mesma. Para este efeito, existe um módulo de potência, o atuador do dinamómetro, que fornecerá diferente energia eléctrica para a máquina exercer maior ou menor binário sobre o motor.

Este módulo de potência funciona a 230V ac a 50/60 Hz e 10A (aproximadamente 2500VA).

Como saída tem 200V dc de 0 a 10A.

2.8 Acelerador do motor

Este equipamento é responsável por fornecer informação ao motor se deve acelerar ou desacelerar.

No dia de hoje, o controlo da aceleração de um veículo é feito pelo sistema denominado por *Drive-by-wire*. O princípio de funcionamento deste sistema passa por, ao pressionar o pedal de aceleração, o mesmo contém um sensor de posição que determina o sinal que se vai enviar ao módulo de controlo de atuação da válvula borboleta, o que por sua vez comunica diretamente com a válvula e a fará abrir mais ou menos, consoante o sinal enviado. De forma a melhor exemplificar o sistema é apresentada a

Figura 23, onde se analisa o sinal enviado a partir do potenciómetro do acelerador até à centralina e posteriormente até ao acionamento da válvula borboleta, que é a responsável por controlar a quantidade de entrada de combustível na câmara de combustão.

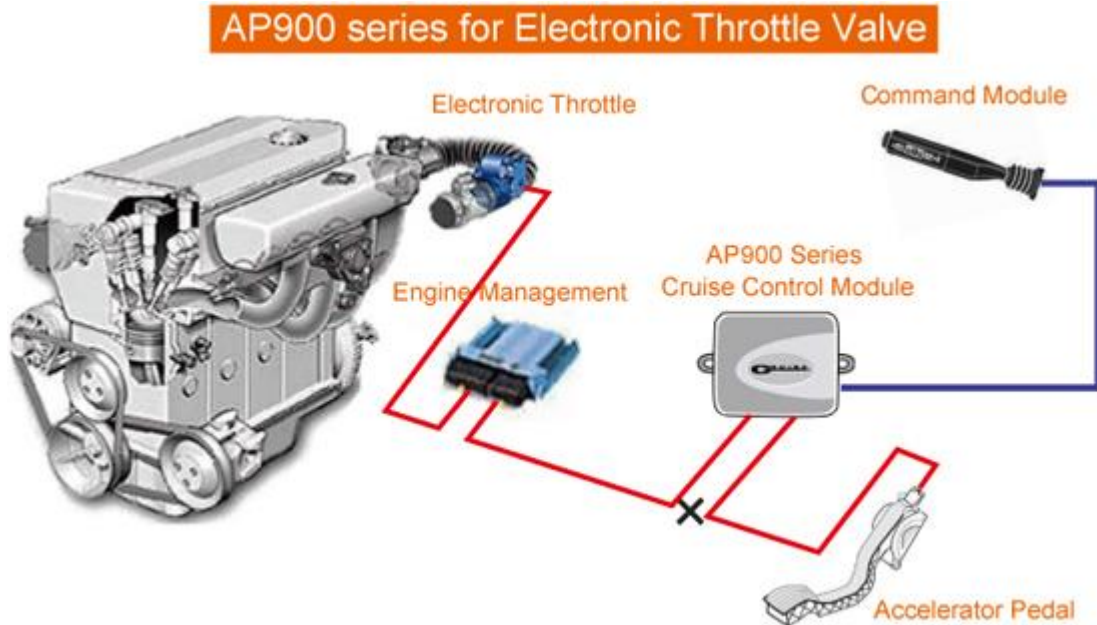


Figura 23 - Sistema Drive-by-wire (16)

Assim, num banco de ensaios o atuador do motor será algo que se compara ao AP900 Serie Cruise Control Module. Este equipamento envia um sinal CAN bus à centralina, ECU, que depois é responsável por ativar devidamente a válvula borboleta.

2.9 Enumeração dos tipos de bancos de ensaio de motores

Os tipos de bancos de ensaios distinguem-se principalmente pelo tipo de freios dinamométricos.

Um dinamómetro mecânico, como é exemplo o hidráulico ou o de correntes de *Eddy*, são bastante limitados, limitando a quantidade de ensaios a fazer.

Já os freios dinamométricos elétricos, para além de abrangerem os ensaios disponíveis nos anteriores, têm capacidade para realizar outros tipo de ensaios. Isto deve-se essencialmente ao facto de os dinamómetros elétricos poderem exercer binário contrário ao motor bem como binário a favor, o que não é possível nos mecânicos, que apenas funcionam como travão. Para além disso, os dinamómetros elétricos permitem maior dinâmica durante o ensaio, maior velocidade de reação, ao passo que nos dinamómetros mecânicos não se aconselha variações bruscas de rotação e binário.

De seguida enumeram-se os tipos de banco de ensaios existentes:

- BMS – Banco de ensaios motor estacionário
- BME – Banco de ensaios motor evolutivo
- BFD – Banco de ensaios motor de dinâmica fraca
- BFD *Froid* – Banco de ensaios motor de dinâmica fraca a frio
- BHD – Banco de ensaio motor de dinâmica alta
- BGMP – Banco de ensaios do grupo motor propulsão
- B \grave{a} V – Banco de ensaios motor de rotação livre

Vamos focar no BMS por ser este o tipo de banco existente nas instalações da Renault – CACIA.

Tendo como objetivo validar bombas de óleo, sabemos que os ensaios necessários para a mesma são os de rodagem, potencia máxima/ binário máximo (P_{max}/C_{max}), Quente/Frio (*Chaud/froid*) e o ensaio de elevada velocidade (*Super High Speed*). Todos estes fazem parte dos ensaios do tipo *MAP* mecânico, executáveis num BMS.

Os ensaios possíveis num banco BMS assim como num BFD estão descritos na Tabela 4. É perceptível através da tabela que um banco BFD tem capacidade para executar os ensaios que um banco BMS é capaz, mas o contrário não se verifica, isto porque um BFD é um BMS melhorado, com mais componentes, que permitem executar os mesmos e ainda outros tipos de ensaio.

Os ensaios dividem-se em ensaios do tipo energéticos ou mecânicos e a grande diferença entre um tipo de ensaio e outro está essencialmente no facto de nos ensaios energéticos ser necessário analisar os gases de escape, o que não acontece nos ensaios mecânicos.

Assim, interessa saber que componentes fazem parte de um BMS:

- Freio dinamométrico
- Sistema de controlo
- Sistema de exaustão
- Alternador
- Calorímetro
- Climatização
- *Blow By Meter*

Tabela 4 - Ensaios em BMS e BFD (6)

		Ensaio	
BFD	BMS	Comum a MAP Mec e NRJ	Rodagem
		MAP energetico	MEA (colocar em ação 20°C)
			Plena carga
			Escaneamento paramétrico
			Caracterização do campo do motor
			Acoplamento (ensaio de carga transitoria)
			Eliminação Nox / Desulfuração
			Fase qualquer tipo
		MAP mecanico	Caracterização
			Quente/frio
			Controlo de performance
			Alta velocidade
			Cmax/Pmax
			Choque termico no escape
	Tubo EGR termico		
	Coold go Stop		
	gripagem do piston		
	termometria piston		
	termometria válvula		
			NARDO
			NEDC
			FTP
			ARTEMIS CARAFAP
		DYNTUNE (metodo em rotura)	
		ISODYN (medotodo em rotura)	
		NOX-TRAP	
		RTC	
		Pé a fundo	

2.10 Tipos de ensaio

Para cada tipo de ensaios são cumpridos regimes de velocidade de rotação, binário resistivo, temperatura de funcionamento, entre outros parâmetros.

Neste tópico iremos abordar o que cada ensaio de validação das bombas de óleo tem como base nos seus diversos regimes de funcionamento.

As informações seguintes foram retiradas dos manuais técnicos do grupo Renault, sendo de certa forma confidenciais, motivo pelo qual será apresentada uma visão geral sem entrar em demasiados pormenores.

2.10.1 Rodagem

Este ensaio faz parte do aquecimento do motor, procedimento prévio necessário em qualquer um dos outros ensaios.

Tem duração de 10 horas e cumpre 20 regimes que correspondem aproximadamente aos pontos de utilização num veículo.

Durante este ensaio a válvula de controlo do débito de água deve estar completamente aberta.

20 regimes de ensaio são realizados para diferentes condições de rotação e potência sendo que a duração de cada ponto é de 30 minutos. O primeiro ponto é executado para uma rotação de 1500 RPM ao relanti, o que significa que não se produz qualquer potência. A partir daí aumenta-se tanto as rotações como a potência, atingindo no ponto 20 a rotação máxima do motor com a potência máxima do mesmo. A rotação máxima assim como a potência máxima são valores que dependem do motor a ensaiar.

No final é necessário medir o consumo de óleo (17)

2.10.2 Potência máxima/ Binário máximo

Este procedimento de ensaio é um método de avaliar a fadiga para um elevado número de ciclos e a resistência de base do motor. Os principais fatores são a pressão de combustão assim como a temperatura dos gases de combustão.

Como preparação do ensaio existe uma lista de procedimentos relativos ao sistema de refrigeração, decantação do óleo, sistema de lubrificação, circuito de combustível, admissão de ar e instalação do motor a cumprir segundo normas da empresa denominadas no BMIR. Também durante o ensaio se devem efetuar algumas manutenções e controlar certos parâmetros como o consumo de óleo de 50 em 50 horas e o controle das velas de ignição de 100 em 100 horas. O controlo visual também é bastante necessário durante qualquer ensaio.

Relativamente aos regimes de ensaio, este tipo de ensaio contém dois regimes, como o nome indica, o regime do o motor com funcionamento de potência máxima e outro, de binário máximo. Estes pontos estão presentes nas curvas características do motor, como foi apresentado na Figura 22. Na primeira fase deve-se trabalhar com o motor a potência máxima. No final do primeiro regime, parar o ensaio e efetuar manutenção especificada e avançar para o segundo regime, binário máximo. A duração do ensaio depende do motor em teste, e varia entre 200 a 300 horas para cada fase.

Para além de definir o regime a que o motor trabalha, torna-se também necessário garantir que na fase Pmax a temperatura de óleo é de 140°C e a temperatura da água é de 110° e que na fase Bmax a

temperatura do óleo é de 110°C e a da água de 88°C, como apresenta a Figura 24, sendo que estes valores são para motores a gasolina.



Figura 24 - Regimes de ensaio Pmax/Bmax (18)

Como análise ao ensaio, deve-se ver a performance geral. Verificar todas as temperaturas e pressões dos pontos referidos no tópico 2.2, parâmetros do motor como o débito *blow-by*; consumo de óleo; o estado das velas; a pressão de combustão em cada fase, a tensão das correias e ainda inspecionar visualmente o estado das vedações no cárter, nos cilindros, nos circuitos de ar, do óleo e combustível entre outros componentes. (18)

2.10.3 Quente/Frio

Este tipo de ensaio é responsável por testar a fadiga de baixo número de ciclos e a resistência das peças base do motor.

Mais uma vez existe uma preparação segundo as mesmas do BMIR efetuadas no ensaio anterior, assim como as atividades de manutenção durante o ensaio.

A diferença para o ensaio anterior está nos regimes de ensaio, onde apenas se efetuam dois regimes, a potência máxima e ao relanti. Neste ensaio, fazem-se variar as temperaturas de água e de óleo, Figura 25.

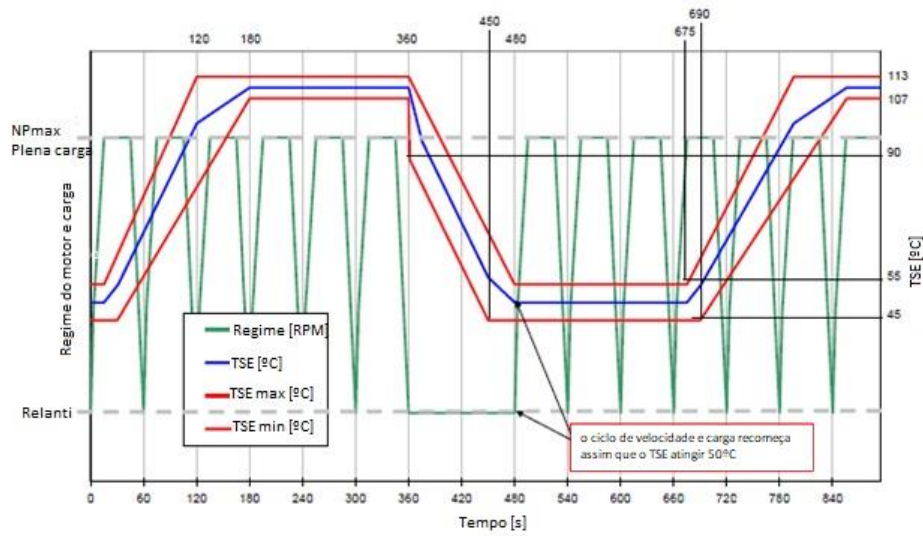


Figura 25 - Regime ensaio Quente/Frio (19)

A duração do ensaio para validar bombas de óleo é de 300 horas.

Toda a análise posterior ao ensaio é igual ao do ensaio anterior.

2.10.4 Elevada velocidade

Este ensaio também tem como objetivo, testar a resistência à fadiga devido a um elevado número de ciclos. Como é hábito, é efetuada a preparação e manutenção durante o ensaio segundo as mesmas normas BMIR.

Relativamente ao procedimento de ensaio - Figura 26, o regime do motor varia de potência máxima e velocidade máxima, mantendo a temperatura do óleo entre 105 e 115 °C e a temperatura da água a 88°C com um erro de +/-3 °C

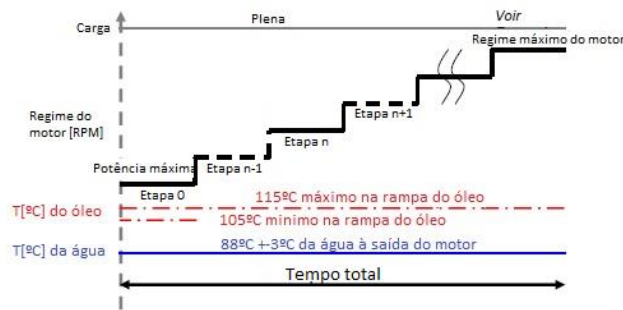


Figura 26 - Regime ensaio Alta Velocidade (20)

CAPÍTULO III – ESTUDO DO ESTADO DO BANCO ATUAL

3.1 Visão Geral

Neste capítulo é estudado o estado atual do banco de ensaios, sendo avaliados todos os componentes de teste e de auxílio ao mesmo, a sua forma de funcionamento e a sua forma de comunicação.

Começou-se assim pela elaboração da Tabela 5 com a enumeração de todos os componentes.

A partir da mesma, foram avaliados, um a um, os diferentes dispositivos com recurso às fichas técnicas fornecidas pelo fabricante de cada componente.

Tabela 5 - Enumeração dos componentes

Banco de ensaios BMS em CACIA (S1808)				
Função		Fabricante		Modelo
1	Sistema de controlo	Hardware	RICARDO	Série 3000
		Software	RICARDO	Taskmaster 2000
2	Freio Dinamométrico	BORGHI & SAVERI	FE 350s (1400N.m; 8000tor/min)	
3	Medição do consumo de combustível	PIERBURG	PLU 401/116H	
4	Medição de fumos (Smokemeter)	AVL	415S	
		CELESCO	Model 107	
5	Medição de gases (Blow-by Meter)	AVL	442	
6	Medição de débito de água ao motor	KROHNE	IFC010F (0-20 m ³ /h)	
7	Medição de humidade relativa e temperatura	VAISALA	HMP230 Series Transmitters	
		VAISALA	HMK15 Humidity Calibrator	
8	Medição de riqueza dos gases	HORIBA	A/F Analyzer Mexa 700λ	
9	Medição de tensão na correia	CLAVIS		
10	Medição de estanquicidade	DRZ 2000		
11	Medição de pressão no cilindro	Amplificador	BRUEL & KJAER	Type 2525
		-	KISTLER	Type 5011
		-	KISTLER	Module 1232R/VU
12	Carga do alternador	SAEME	Type 4091	
13	Permutador de calor água/água	PICKERS	GH17	
			GH21	
14	Ventiladores (escape)	SUPER COBRA		

3.1.1 Sistema de controlo

O sistema de controlo presente nas instalações da Renault - CACIA trata-se de um sistema automático de controlo de bancos de ensaios para motores da empresa RICARDO TESTE AUTOMATION, composto por *hardware* informático e *software* de aplicação.

O *hardware* informático é composto por:

- Um módulo de interface E/S (Entradas/Saídas), com os seguintes canais:
 - 32 entradas analógicas – 14 bits
 - 8 saídas analógicas – 14 bits
 - 16 entradas digitais
 - 24 saídas digitais
 - 4 contadores de tempo – 100 KHz / 32 bits

- Um controlador do banco de ensaio. Talisman II

Montado no armário-*rack* de 19", é o controlador efetivo do banco de potência. Consiste num computador do tipo PC industrial com disco duro, disquete 3.5" e um conjunto de placas de interface. Tem como função realizar o controlo das entradas e saídas, programa de aplicação, ligação aos periféricos e interliga o módulo E/S com o ordenador de operações do banco de ensaios.

- Um computador pessoal das operações do banco de ensaios

Do tipo PC compatível com IBM, processador Pentium 166 MHz, monitor de 17", teclado, leitor de disquete, disco duro de 2 Gb IDE/SCSI, memória RAM de 40Mb, placa gráfica de 2Mb e interface de rede LAN. Por fim, tem o sistema operativo Windows NT de 32 bits.

- Uma impressora gráfica, HP 690

- Prestações gerais do TASKMASTER 2000
 - Controlo automático do banco
 - Controlo assistido por computador
 - Funcionamento seguro sem operador
 - Medição de parâmetros durante o ensaio
 - Visualização contínua dos parâmetros
 - Registo e recuperação dos dados do ensaio
 - Medição dos parâmetros calculados
 - Tratamento posterior dos dados

- Geração de gráficos
- Registo dos dados pré-falha
- Comunicação com computador central
- Expansível a aplicações especiais do cliente
- Comunicação e controlo de equipamentos de medição específicos

3.1.2 Freio dinamométrico

O freio dinamométrico presente na sala de teste é um B&S FE 350s.

Um freio dinamométrico é um equipamento capaz de medir a força, e a partir daí calcular a potência exercida por qualquer motor.

O motor faz rodar o freio que está interligado ao rotor do dinamómetro. Se nada acontecer, o mesmo roda livremente. O objetivo do dinamómetro é exercer resistência a este movimento, ou seja, aplicar um binário contrário o que, conseqüentemente, fará diminuir a velocidade de rotação do motor. Ao sermos capazes de calcular a que velocidade roda o motor, RPM, e que binário é aplicado ao mesmo, N.m, somos assim capazes de calcular a potência que o motor está a exercer, W.

O que varia entre os vários tipos de dinamómetro é a forma como se exerce o binário contrário.

No caso do dinamómetro Borgi & Savari – FE350, é um dinamómetro de correntes de *Eddy*. Este tipo de dinamómetro executa o “travão” através da alimentação de intensidade de corrente elétrica aplicada nas bobinas situadas no estator que criam um campo magnético em sua volta. Visto que o rotor é um componente metálico, que está interligado diretamente à rotação do motor, irá sentir uma força contrária à sua rotação devido à existência deste campo magnético, e assim é criado o binário contrário à rotação do motor. Quanto maior a tensão elétrica exercida nas bobinas, maior o campo magnético e logo maior o binário resistente.

Para concluir, visto que existe absorção de energia, irá ser libertado calor, por isso há necessidade de ter um circuito de refrigeração, composto por água.

A Tabela 6 apresenta as propriedades técnicas do freio dinamométrico Borgi & Savari – FE350.

Tabela 6 - Propriedades do freio dinamométrico

Diâmetro Eixo [mm]	Diâmetro Rotor [mm]	Max Torque [N.m]	Max Rot [RPM]	Potência [hp][kW]	Inércia [Kg/m ²]	Rigidez torcional [Nm/rad]	Peso [Kg]
60	506	1400	8000	350 / 257,4	0,618	649,48	723

3.1.3 Consumo de combustível

O equipamento que calcula o consumo de combustível fornecido ao motor é um PLU 401/116H.

Este equipamento é um medidor volumétrico de consumo de combustível. Contém saídas analógicas e em frequência que permitem determinar o caudal volumétrico consumido pelo motor.

Este sistema está inserido num armário normalizado com os seguintes equipamentos:

- Caudalímetro, PLU 116H
- Separador de borbulhas do combustível de retorno
- Permutador de calor do combustível de saída
- Permutador de calor do combustível de entrada
- Bomba de combustível, reguladores de pressão e manómetro
- Filtro de combustível de malha fina
- Sensor de temperatura na saída do combustível
- Válvulas de corte de combustível
- Acessórios de conexão a combustível e água

A Tabela 7 apresenta as características técnicas.

Tabela 7 - Características técnicas PLU 116H

Caudalímetro	PLU 116H
Alcance	0,5-60 l/h ou 1-120 l/h
Precisão	1%
Incerteza	Max. 0,5%
Freq. Saída	45-2800 Hz
Saída analógica	0-9 V CC
Temperatura ambiente	(-10)-(+50) °C
Pressão Entrada	0,1-0,3 bar
Pressão Saída	0,1-0,8 bar
Pressão Retorno	0,1-0,8 bar
Tipo de combustível	Gasolina, Gasóleo, Misturas, M100, E100

3.1.4 Medidor de fumos

O equipamento responsável por avaliar os gases de escape é o AVL 415S

Este equipamento avalia a composição dos gases de exaustão do motor de combustão, mais precisamente, a quantidade de carbono, denominado de *soot*.

Este equipamento utiliza a seguinte terminologia:

- *Particulate and Diesel Soot*: analisador de fumos que usa um filtro de papel para medir o carbono existente nos gases de exaustão, denominados de *soot*.
- *Paper Blackening* PB: O filtro de papel é branco, e ao ser atravessado um fluido com carbono fica mais escuro. Um sensor ótico mede, de uma escala de 0 a 10, quanto mais escuro fica.
- *Filter Smoke Number* FSN: definido no ISSO 10054 (unidade que mede o *soot* contido nos gases de exaustão)
- *Soot concentration*: concentração de soot (carbono) em mg/m³ a 1 bar e 25°C

O princípio de funcionamento deste componente passa por retirar uma amostra do tubo de exaustão e fazer passar por um filtro de papel limpo, procedendo-se da seguinte forma:

- Medição do volume que passa pelo filtro;
- Calcula-se o comprimento efetivo (V_{eff}/A);
- Calcula-se a cor do filtro com um sensor ótico;
- Determina-se a quantidade de carbono através do *paper blackening* e o comprimento efetivo;
- O output FSN ou *soot concentration* (mg/m³) ou nível de poluição (%).

Ainda para avaliar os gases de escape é também utilizado o equipamento Celesco,107.

Este equipamento tem a finalidade de medir a opacidade e a densidade dos fumos de exaustão.

Para efetuar esta medição é utilizado um emissor de luz e um recetor. A perda relativa de energia da luz é traduzida na opacidade e na densidade do fumo.

3.1.5 Medidor de gases

Para medir a quantidade de gases que escapem pelo cárter utiliza-se o AVL 442

Este equipamento é responsável por medir a quantidade de gases que escapam através dos vazamentos dos pistons, anéis dos pistons, válvulas de guiamento entre outros. Estes gases entram no cárter e escapam pelo respirador do cárter. A este tipo de gases denomina-se de *Blow-by gases*.

O volume de gás que escapa é um indicador do estado dos componentes, do pistão, da parede do cilindro, tanto nos motores em desenvolvimento como nos que já estão em produção e uso. A observação de testes mostrou que o volume de gás que escapa pelo cárter pode dobrar quando existe algum problema nos componentes. Por outro lado, se este volume diminuir, pode também indicar a formação de depósitos, pois num motor intacto os gases escapam sempre por baixo, pelo cárter.

3.1.6 Débito de água ao motor

O Krohne IFC010F é o equipamento que tem a função de calcular o caudal de água de refrigeração no motor, instalado em linha. Contém ainda um dispositivo para visualização do caudal em várias unidades predefinidas.

3.1.7 Humidade relativa e temperatura

O equipamento que tem a função de calcular a humidade relativa e a temperatura é o VAISALA, HMP 230 series

No presente caso, o sensor em utilização é o HMP233.

Possui entradas para dois condutores. Um para temperaturas até 80°C e outro para temperaturas até 120°C. Este tipo de sensor fornece a capacidade de colocar o sensor diretamente no processo sem ser necessário retirar uma amostra de fluido.

As Informações técnicas estão descritas na Tabela 8 para o sensor de temperatura e na Tabela 9 para o sensor de humidade relativa.

Tabela 8 - Características técnicas HMP 230 Séries - Temperatura

Alcance de medida	(-40)-(+120) °C
Sensor	PT100 RTD 1/3 DIN 43760B
Sensibilidade	+/-0,1 °C a +20 °C
Rácio Temperatura	+/-0,005 °C/°C

Tabela 9 - Características técnicas HMP 230 Séries - Humidade Relativa

Alcance de medida	0-100% HR
Precisão	+/-2% HR (0-90%HR)

	+3% HR (90-100%HR)
Tempo de resposta	15s
Sensor	HUMICAP H-Sensor

3.1.8 Analisador A/F (razão *Air/Fuel*)

Para analisar a razão ar/combustível utiliza-se o equipamento HORIBA – MEXA-110 λ

O princípio de funcionamento deste equipamento passa por, numa pequena camada, o dispositivo ser responsável por manter sempre a quantidade de oxigénio fixa.

Em misturas pobres, os gases de exaustão vão conter maior quantidade de oxigénio, neste caso o dispositivo é responsável por retirar oxigénio a este fluxo para manter uma quantidade do mesmo predefinido.

Em misturas ricas, os gases de exaustão contêm monóxido de carbono e hidrogénio, tendo o dispositivo que inserir oxigénio na mistura para, mais uma vez, manter os níveis do mesmo constante.

Dependendo de se o dispositivo adiciona ou retira certa quantidade de oxigénio, é calculado com este dado a riqueza da mistura.

3.2 Tipo de comunicação e planta

Em suma, elaborou-se a Tabela 10 por forma a identificar de que forma é feita a comunicação de cada componente com o software de controlo.

Todos os componentes comunicam através do protocolo RS-232 à exceção dos componentes que calculam o consumo de combustível e a opacidade e densidade dos gases de escape, que comunicam de forma analógica, retornando um sinal em diferença de potencial.

Tabela 10 - Tipo de comunicação

Componente	Fabricante e designação	Tipo de comunicação
Consumo Combustível	PLU 401/116	0 - 9 V proporcional ao caudal
Medidor Fumos	AVL 415S	RS-232
	CELESCO 107	Opacidade - 0-1V (0-100%) Densidade - 100mV por 1m ⁻¹ (19,9m ⁻¹ limite painel)
Medidor Gases	AVL 442	RS-232C
Medidor HR e T	Vaisala 233	RS-232C
Analizador A/F	Horiba Mexer-110	RS-232C

Para melhor compreensão do sistema existente, passa-se a apresentar uma aproximação da planta da sala de teste, Figura 27.

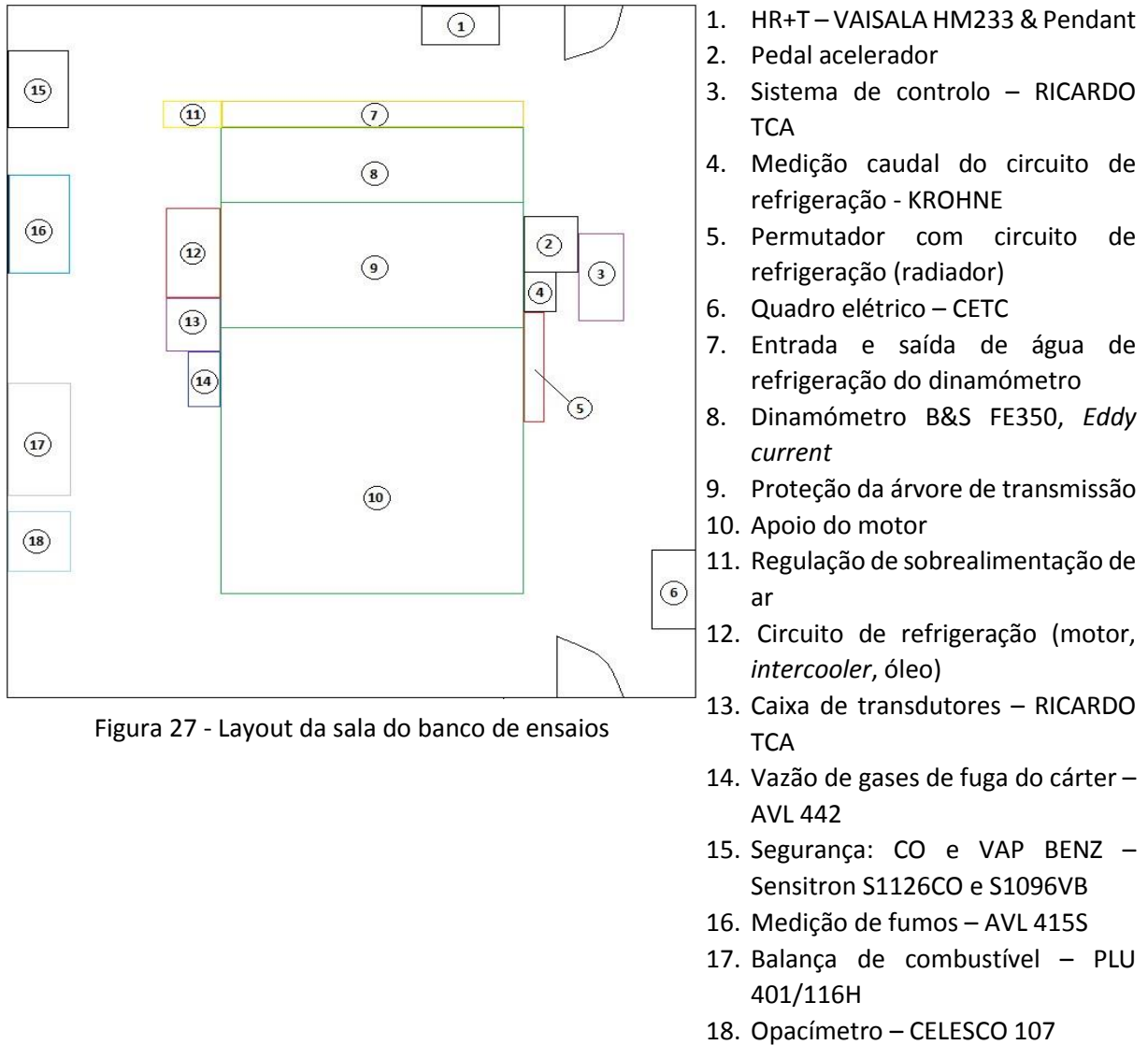


Figura 27 - Layout da sala do banco de ensaios

3.3 Controlo

Com o recurso a três documentos presentes na Renault – CACIA - “*Test Bed manual*”; “*S3000 manual*” e “*Taskmaster2000*”, relativos respetivamente ao banco de ensaios em geral, ao controlador manual presente no armário de controlo e ao *software* de aplicação, conseguimos perceber de que forma era feito o controlo dos ensaios.

Também a investigação prática, desmontando alguns componentes e procurando as ligações físicas dos equipamentos, permitiu a elaboração de alguns esquemas que irão ajudar a compreender o sistema de controlo.

É ainda apresentado um diagrama de blocos, Figura 28, com o objetivo de esclarecer de que forma o dinamómetro, o motor, o controlador, o *software* e os sensores comunicam entre si.

Na sala onde ocorre o ensaio existe uma caixa de transdutores (*Transducer box*) onde estão conectados todos os sensores de temperatura e pressão vindos do motor. É a partir desta que os sinais são enviados posteriormente para um módulo de entradas e saídas analógicas e digitais presente no armário de controlo (no exterior à sala de ensaio) onde os sinais são processados e enviados através de comunicação *ethernet* para o computador, chegando assim ao *software* de controlo do banco de ensaios.

Existe ainda um controlador manual presente no armário de controlo, no qual se centram todas as operações. Este equipamento comunica via *ethernet* com o computador e *software*, assim como é o responsável por comunicar diretamente com o dinamómetro e com o acelerador do motor. É a partir deste controlador S3000 que se envia o sinal ao dinamómetro da quantidade de binário que deve exercer e ao potenciómetro acelerador do motor a rotação que também se pretende.

Visto as potências no dinamómetro e no acelerador serem elevadas, há necessidade do sinal que vem do controlador passe por drivers de potência, denominados na Figura 28 de driver dinamómetro e driver *engine*, para que o sinal chegue aos atuadores físicos da forma exata que se pretende.

É de notar que o circuito entre o controlador e o dinamómetro, assim como, o controlador e o acelerador são fechados. Isto deve-se ao controlo ser feito com recurso ao método de controlo PID (*Proportional Integral Derivate controller*) que é um mecanismo de controlo em malha fechada, isto é, o controlador envia o valor de binário que pretende que o dinamómetro efetue e o mesmo retorna o binário efetivo que está a exercer onde resultará sempre uma pequena diferença, ou seja o erro. É com este erro que o controlador continuamente corrige o valor enviado, sendo definida esta resposta através de três parâmetros - proporcional, integral e derivativo. (21)

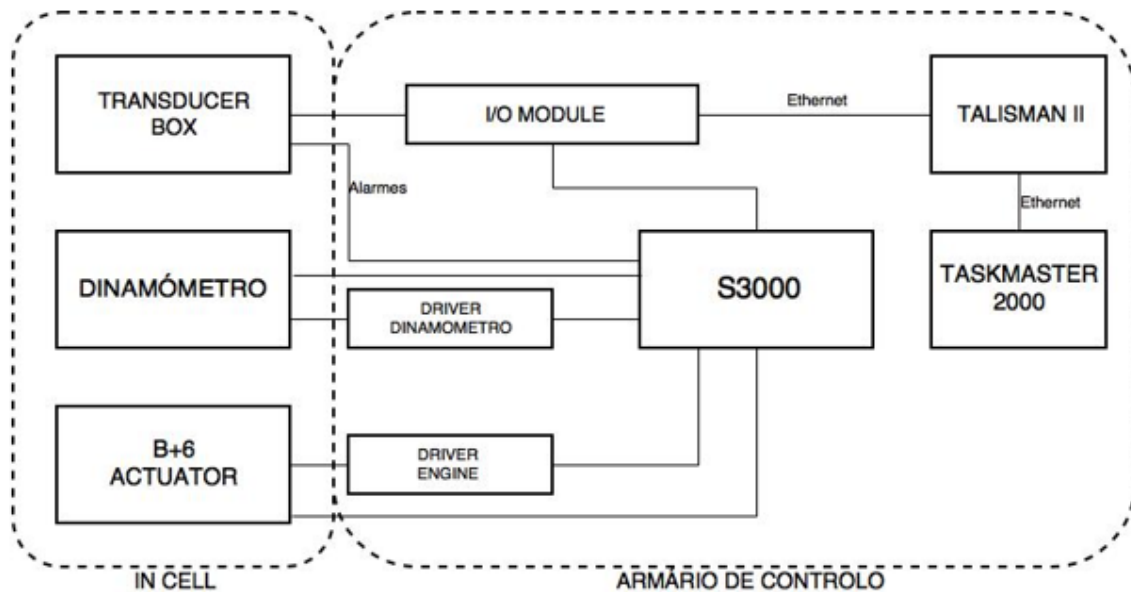


Figura 28 - Diagrama dos componentes de controlo

Outro diagrama foi elaborado, Figura 29, para ilustrar as ligações físicas no armário de controlo. O controlador S3000 é o responsável pela comunicação direta com o dinamómetro e com o acelerador, mas há a necessidade do recurso a drivers de potência de forma a cumprir os requisitos de sinal de cada componente. Desta forma, depois de enviado o sinal do controlador para o driver do dinamómetro, o mesmo transforma o sinal necessário a fornecer nas extremidades das bobinas do dinamómetro, CC1- e CC2+. O dinamómetro retorna sinais de forma a fechar o controlo PID e de controlo do estado do dinamómetro. Através do recurso a uma célula de carga, é enviada para o controlador S3000 o binário que o dinamómetro exerce a cada instante (L+IP, L-IP, L+EX e L-EX), onde duas entradas, EX, são de excitação da célula de carga e os outros dois sinais, IP são responsáveis pelo retorno de uma diferença de potencial que corresponde a um binário, tendo a calibração correta. Da mesma forma, o controlador comunica com o driver de potência do acelerador, sendo este responsável por transformar o sinal e enviar o respetivo através de SW e SY. Mais uma vez, de forma a fechar o controlo PID, existe uma comunicação com o controlador através de SV.

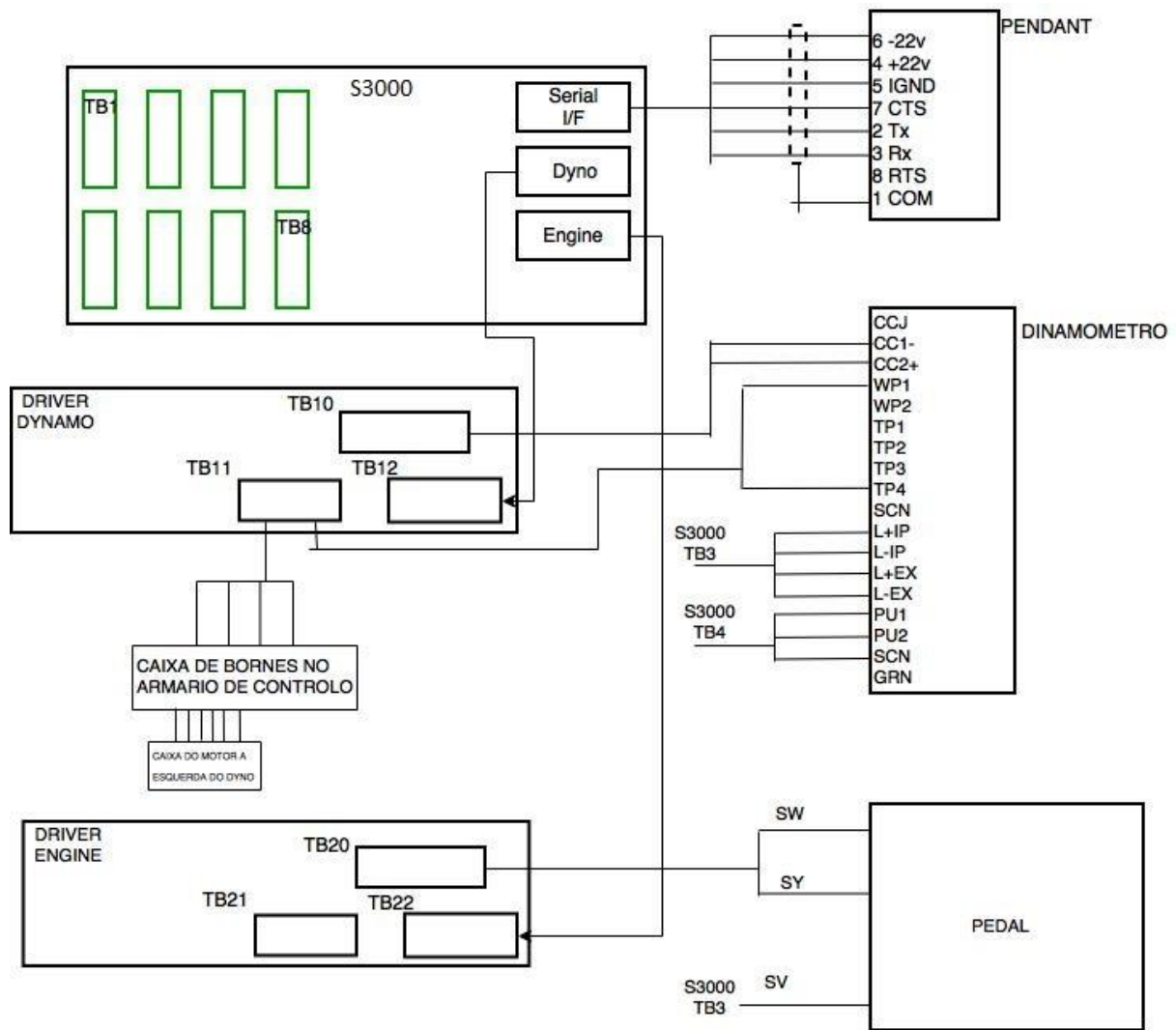


Figura 29 - Diagrama elétrico de controlo

Após análise das Figura 28 e Figura 29 conclui-se que o módulo S3000 é o maior responsável pelo controlo do ensaio. Este módulo contém os controlos PID do dinamómetro e do acelerador. Através das duas fichas que ligam em TB10 e TB20 é enviado o sinal aos drivers de potência da quantidade de binário a exercer pelo dinamómetro e a posição do pedal para acelerar o motor. Nas entradas TB3 e TB4 é recebido um valor que fecha o controlo PID, no caso do dinamómetro através de uma célula de carga que mede efetivamente o valor de binário a cada instante, e vindo do acelerador um sensor que retorna à posição efetiva do pedal. O módulo S3000 e os módulos de potencia estão localizados na sala de controlo, enquanto que o dinamómetro, o pedal e o pendente estão localizados dentro da sala de ensaios, como já foi constatado na Figura 27.

3.4 Refrigeração

Visto que o ensaio é efetuado dentro de uma sala fechada e o dinamómetro tem um comportamento mecânico e por isso libertação de bastante energia na forma de calor, é importante analisar de que forma se mantém o sistema à temperatura requerida.

No estado atual, a torre de refrigeração (ou *chiller*) foi removida, existindo assim necessidade de obter uma nova torre de refrigeração.

Os motores que fazem a circulação da água refrigerante mantiveram-se assim como o depósito. Deste modo, o circuito de refrigeração, apresentado na Figura 30, contém um depósito com a água retornada do banco de ensaios. A partir deste, com recurso às bombas B1 e B2 a água circula até à torre de refrigeração e posteriormente até ao banco de ensaio, sendo a partir daqui distribuída pelos diferentes componentes que necessitam de remoção de calor, o dinamómetro, o motor, o *intercooler* o opacimetro e o alimentador de combustível.

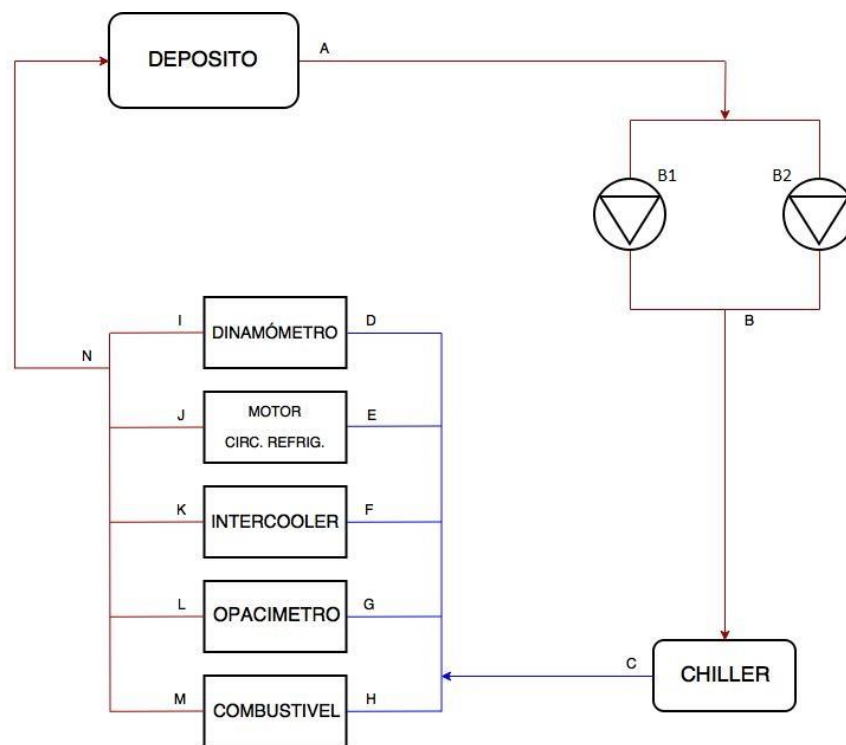


Figura 30 - Diagrama de refrigeração

Para determinar a capacidade necessária de uma nova torre de refrigeração foram analisados tamanhos de tubagem e consumos de energia de cada componente, apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Dados relativos à refrigeração

	Ramal	Tubagem		Caudal [m ³ /h]	Pressão [bar]
		Comprimento [m]	Diâmetro [m]		
	A	1,0	0,150		
	B	*	0,150		
	C	*	0,080		
IN	D	2,0	0,050	11	1,0
	E	2,0	0,060	8**	
	F	2,0	0,030		2,0
	G	2,8	0,022	0,0013	
	H	2,5	0,220		
OUT	I	2,0	0,050	11	0,6
	J	2,0	0,060	8	
	K	2,0	0,030		2,0
	L	3,0	0,022	0,0013	
	M	3,0	0,022		
	N	50,0	0,150		

* A definir em função do sítio de implantação do chiller

Existem duas bombas em paralelo apenas para garantir que se uma avariar, a outra poderá substituir instantaneamente para cumprir o objetivo. As bombas têm um caudal de 81 m³/h, uma altura manométrica de 58m.

O dinamómetro necessita de 1bar como pressão de entrada, verificando 0,6 bar à saída e o caudal no mesmo é de 11m³/h.

A temperatura a que o motor deve funcionar varia dependendo do ensaio, mas regra geral o líquido refrigerante ronda temperaturas de 90°C com um caudal de 8m³.

O *intercooler* tem uma pressão máxima de 2bar.

Relativamente à refrigeração do combustível, a temperatura de entrada pode ser no máximo de 40°C estando à saída entre os 15 e 30°C. A pressão de entrada é ate 0,2 bar e de saída entre 0,1 e 0,8 bar.

CAPÍTULO IV- SOLUÇÃO LABORATORIAL

4.1 Visão Geral

De forma a simular o funcionamento de um banco de ensaios, desenvolveu-se uma proposta laboratorial em pequena escala.

Os objetivos a cumprir são: ler os sensores de temperatura; a pressão; a força exercida pelo dinamómetro e ainda desenvolver um mecanismo que simule a atuação do pedal do motor. Estes objetivos são definidos após a análise do sistema de controlo atual, apresentado na Figura 31 e que advém dos conhecimentos obtidos no capítulo 3.

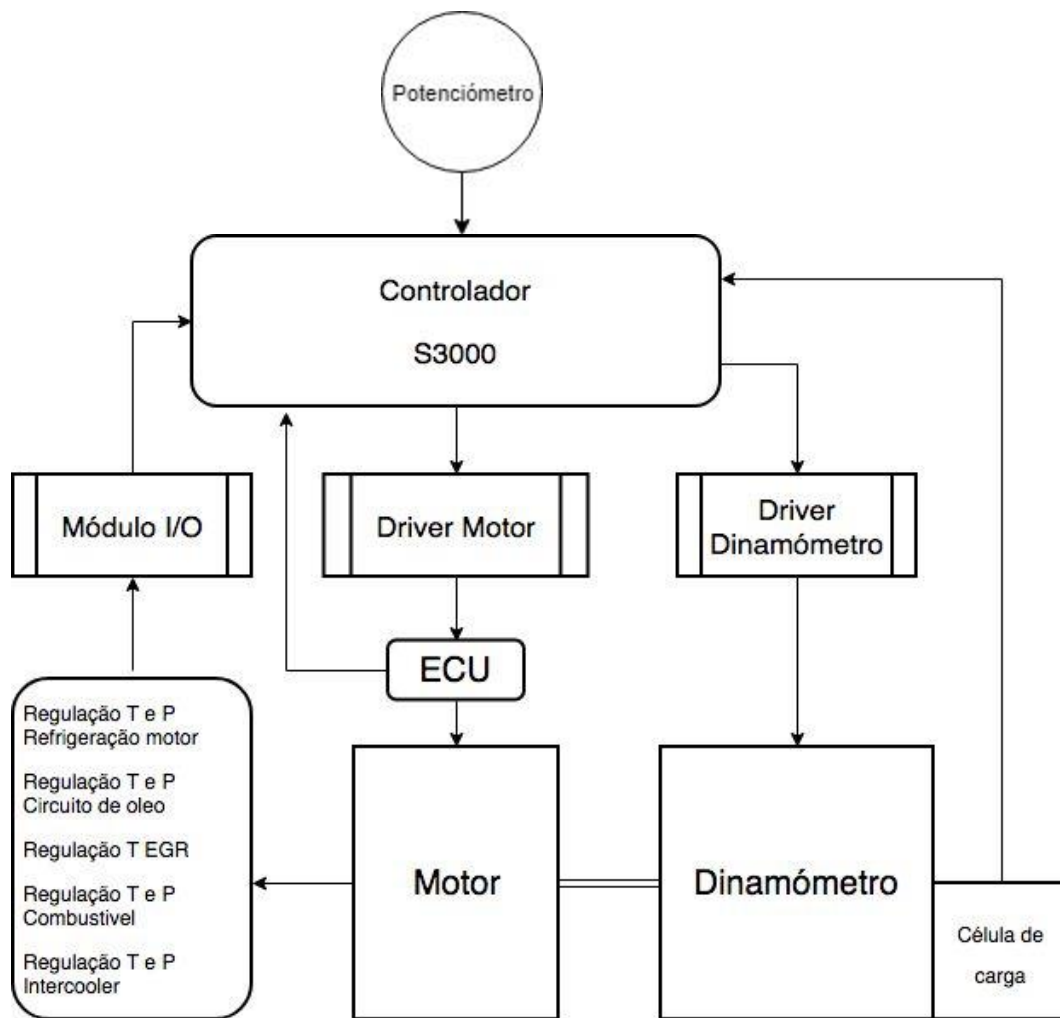


Figura 31 - Diagrama Geral de Controlo

Desta forma, iremos utilizar um microprocessador, ESP8266, substituindo o controlador S3000. Relativamente ao sistema de aquisição de valores de pressão e temperatura, assim como na aquisição do valor da célula de carga de forma a fechar o controlo PID do binário produzido pelo dinamómetro, inserir-se-á na solução laboratorial módulos que transformam todos estes sinais analógicos em digitais, pois o ESP 8266 funciona preferencialmente com sinais digitais. Por forma a enviar o sinal ao motor/ECU do valor da aceleração utilizar-se-á um sistema de potenciómetro e servomotor que substituirá o pedal de aceleração.

Deste modo, o diagrama geral de controlo é apresentado na Figura 32.

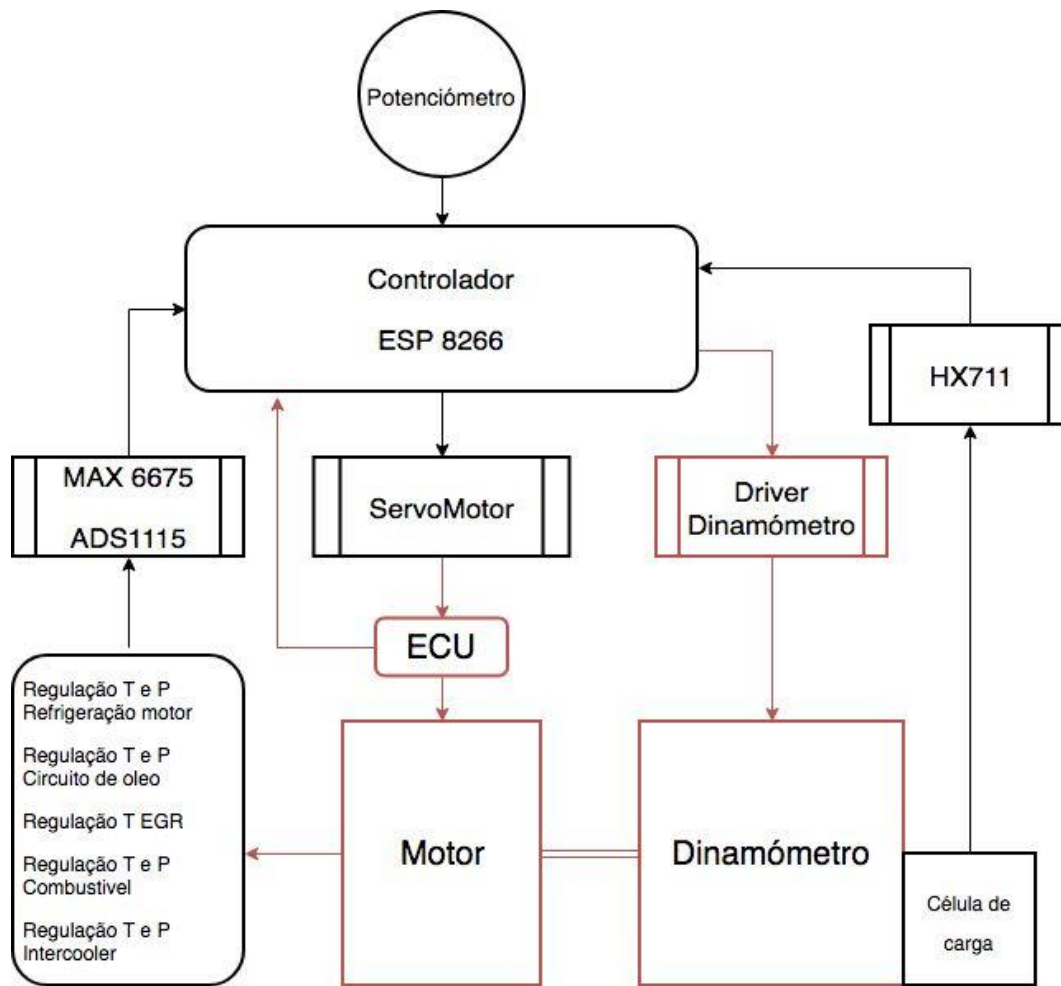


Figura 32 - Desenvolvimento da solução de controlo

A contorno vermelho representam-se os componentes não inseridos na solução laboratorial - a comunicação com a centralina que comunicará posteriormente com o motor, assim como a comunicação efetiva com o dinamómetro. Tal facto deve-se a razões de segurança e por o trabalho ser desenvolvido do ponto de vista académico.

Para cumprir estes requisitos o ESP8266, tem a função de ler e atuar todas as variáveis e ainda ter a capacidade de, através de Wi-fi, enviar os mesmos para uma base de dados (XAMPP) e assim, a partir desta comunicar com uma página de apresentação de resultados WEB.

Relativamente aos sensores de temperatura, pressão e força, sendo que os sensores existentes são todos analógicos, houve necessidade de utilizar módulos que transformem o sinal analógico em digital, por forma de o ESP8266 conseguir avaliar estes sinais. Esses mesmos módulos são o HX711 para ler a célula de carga, o ADS711 para ler o valor de pressão e o MAX6675 para ler o valor de temperatura.

Quanto à simulação do pedal do motor utilizou-se um potenciómetro que atua num servomotor, com a capacidade de rodar entre os 0 e 180 º.

A Figura 33 ilustra o esquema do projeto a elaborar.

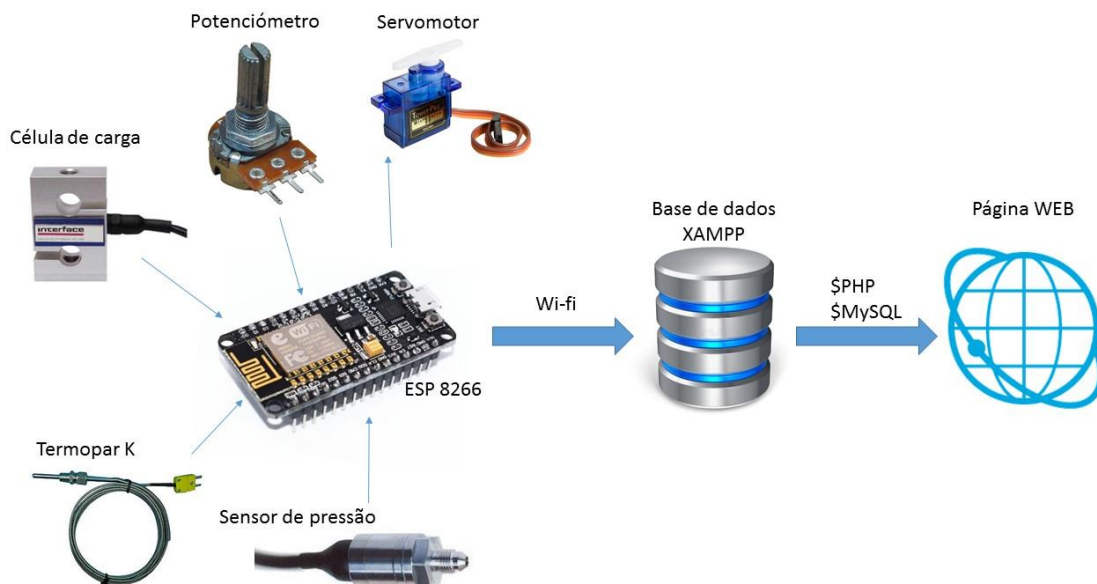


Figura 33 - Esquema laboratorial

4.2 ESP8266

Este equipamento é um microprocessador, fabricado pela empresa *Espressif*.

A grande diferença deste dispositivo para outros microcontroladores disponíveis no mercado é a de incluir a capacidade de comunicação por Wi-fi, o que vem a ser relevante no presente projeto (22).

As características principais deste microcontrolador são:

- CPU 32-bit RISC;
- 64 KB de memória RAM de instruções e 96KB de dados;
- Flash QSPI Externo – até 4 MB
- IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi
- 16 pinos de GPIO
- Comunicações – SPI e I2C

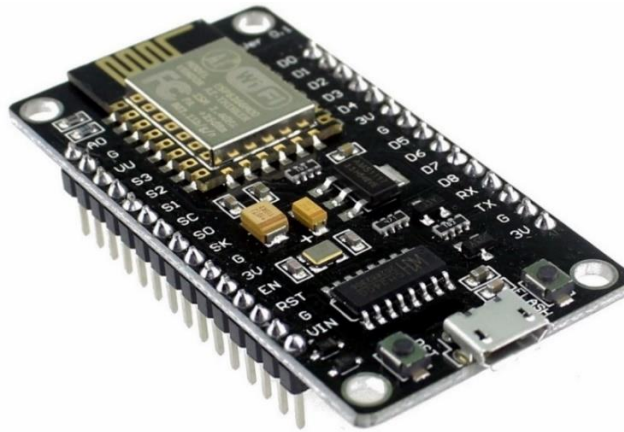


Figura 34 - Esp8266

Pela Figura 34 é perceptível ver nos pinos da direita 8 entradas/saídas Digitais, 2 pinos reservados a 0V e 1 pino a 3,3V e ainda 2 pinos de RX e TX que permitem comunicar com o protocolo RS232.

Sobre o lado esquerdo existe 1 pino que permite receber sinais analógicos (A0), 3 pinos de 0V, 1 pino de 3,3V e 2 pinos de 5V, VV e VIN. Existem ainda outros pinos que permitem comunicar por SPI e I2C.

A definição de cada pino está descrita na Figura 35.

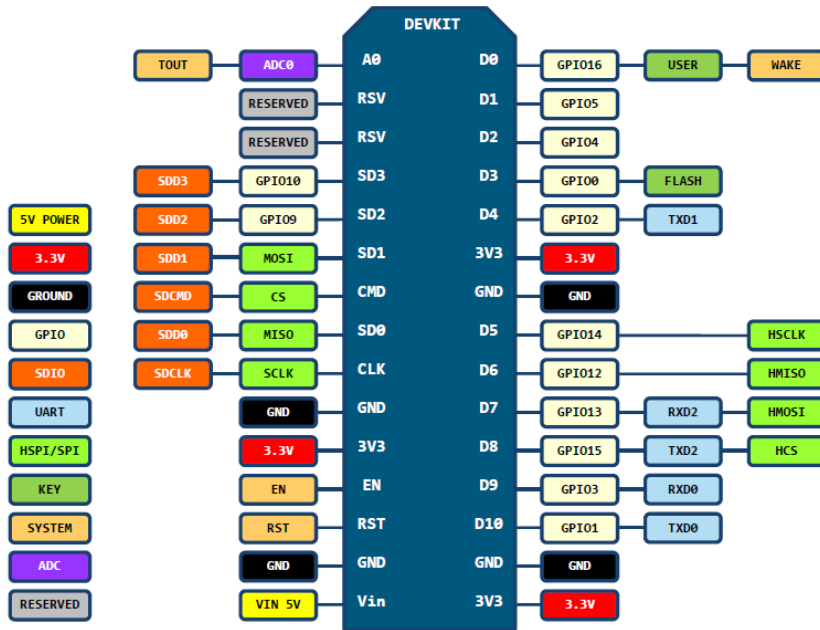


Figura 35 - Pinos Esp8266 (23)

4.3 Célula de carga e HX711

A célula de carga é um equipamento capaz de medir força.

O objetivo da célula de carga é calcular a força que o dinamómetro exerce a cada instante.

A célula de carga existente no sistema da Renault é do tipo extensómetro de folha, sendo o modo de funcionamento constituído por dois extensómetros resistentes acoplados num circuito de ponte de *Wheatstone*. Deste modo, calculando a diferença de potencial entre os dois pontos corretos, como descrito na Figura 36, Output + e Output -, teremos o equivalente a um valor de força.

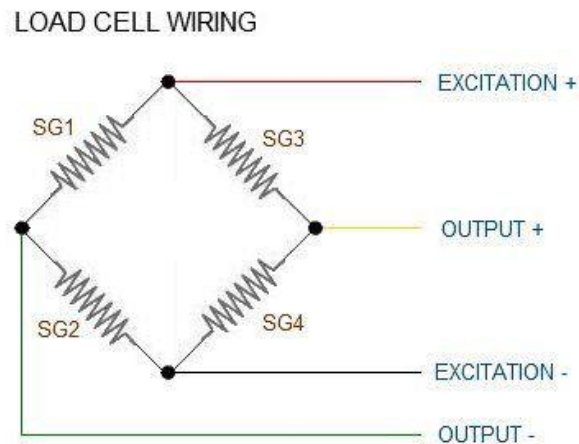


Figura 36 - Ponte de *wheatstone* da célula de carga (24)

Sendo que o valor varia em tensão, e que o ESP 8266 apenas tem uma entrada analógica, houve necessidade de transformar o sinal analógico em digital para poder ser lido pelo equipamento ESP 8266. Para o efeito, utilizou-se um equipamento denominado de HX711 (Figura 37).

Este equipamento é um amplificador de sinal de células de carga, permitindo ler o valor de duas células ao mesmo tempo, tendo uma precisão de 24-bit e a possibilidade de programar um ganho de até 128 vezes o valor nominal lido (25).

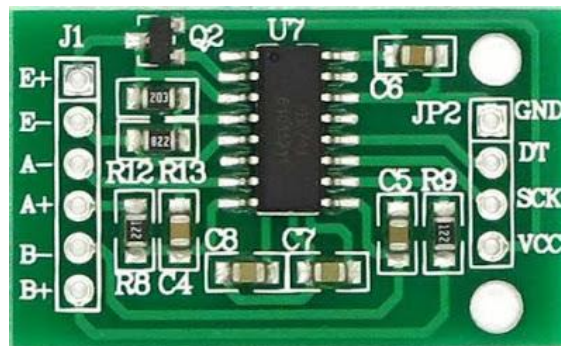


Figura 37 - HX711 (26)

A Figura 38 apresenta o esquema de montagem da célula de carga, do HX711 e do ESP8266.

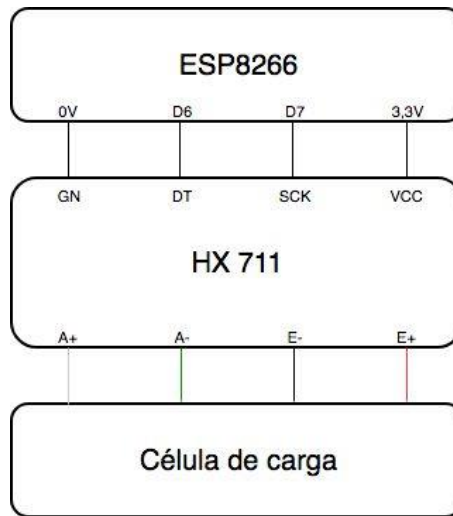


Figura 38 - Esquema de montagem - Célula de carga

As entradas E- e E+ funcionam como excitação da ponte de *wheatstone*, ao passo que as saídas A+ e A- são as responsáveis por calcular a diferença de potencial que varia consoante a força aplicada. Na ligação do microcontrolador existem dois pinos de alimentação e outros dois de comunicação, DT e SCK. Esta comunicação é do tipo SPI.

A célula de carga está colocada junto ao dinamómetro - Figura 39.



Figura 39 - Célula de carga

4.4 Sensor de pressão e ADS 1115

O sensor de pressão, já abordado no ponto 2.5, é o responsável por medir vários parâmetros no motor, mencionados na Tabela 1, como por exemplo a pressão do óleo, da água, de admissão de combustível, entre outros.

Como já previamente mencionado, o sensor de pressão retorna um valor em tensão, analógico, o que leva, mais uma vez, à necessidade de um equipamento que transforme o valor em digital. Para o devido efeito utilizou-se o equipamento ADS 1115 (Figura 40). Este contém 4 entradas analógicas e comunica posteriormente com o ESP 8266 por I2C, com precisão de 16-bit (existe também versão ADS 1015 com precisão de 12-bit). Este equipamento é capaz de receber e analisar entradas analógicas únicas, *singleended*, assim como entradas analógicas duplas, diferenciais. No caso do transdutor de pressão, o sinal analógico é adquirido através de dois condutores, por isso comparativo. O ADS 1115 permite ainda uma leitura em simultâneo, neste caso, ler o sensor de pressão em dois pinos de forma diferencial e ao mesmo tempo ler o valor de um potenciômetro mencionado nos próximos capítulos em um pino, *singleended*.



Figura 40 - ADS1115 (27)

O esquema de montagem é apresentado na Figura 41.

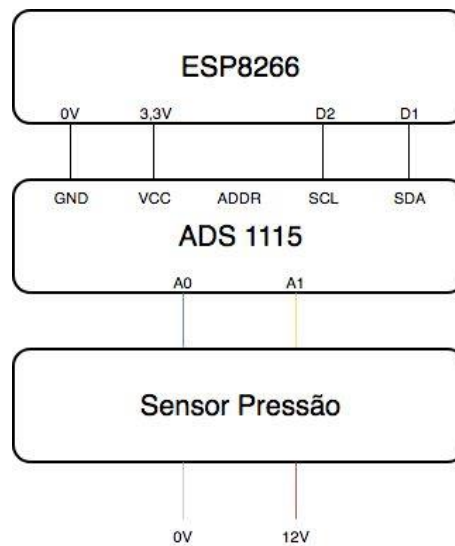


Figura 41 - Esquema de montagem - Sensor de pressão

O sensor de pressão precisa de ser alimentado a 12V, com o recurso a uma fonte de tensão, retornando um sinal em tensão comparativo como já mencionado. O equipamento ADS 1115 contém dois pines de alimentação e dois de envio de data, SCL e SDA, efetuando uma comunicação do tipo I2C. O pino ADDR serve para atribuir um endereço da mensagem, onde, se conectado a 0V irá enviar uma mensagem com 0x48 de endereço, ao passo que se for conectado a 3,3V irá enviar uma mensagem 0x49 de endereço. Esta funcionalidade serve para o caso de existirem dois equipamentos ADS1115 que comunicam por I2C e podermos diferenciar a mensagem que vem de um equipamento ou de outro (28).

4.5 Termopar e MAX6675

O sensor de temperatura utilizado neste projeto é um termopar do tipo K, mencionado no ponto 2.4, tem o objetivo de medir a temperatura em vários pontos de controlo do motor, apresentados na Tabela 1.

O dispositivo que transforma o sinal analógico do termopar, também de forma comparativa, em valor digital para ser lido pelo ESP 8266, é o MAX 6675 (Figura 42). Este equipamento foi desenvolvido com o propósito direto de ler o valor de temperatura de termopares do tipo K unicamente, tendo uma resolução de 12-bit e comunicando da forma SPI (29).

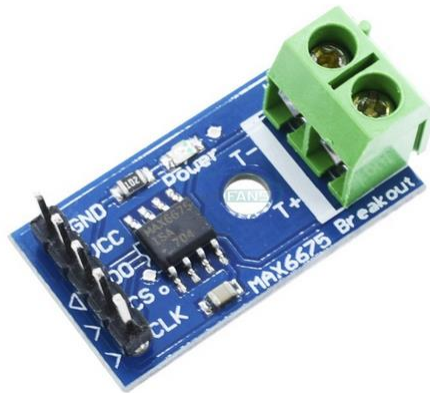


Figura 42 - Max 6675

A Figura 43 apresenta o esquema de montagem do termopar ao MAX 6675 e posteriormente ao microcontrolador ESP8266.

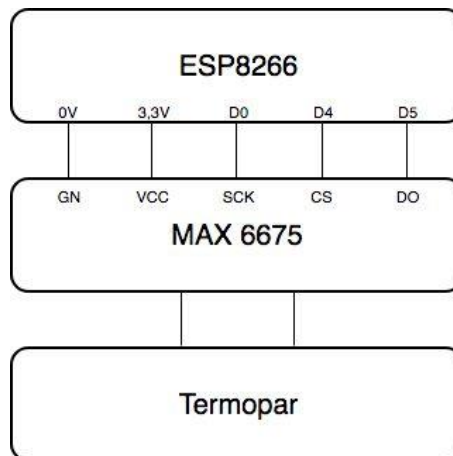


Figura 43 - Esquema de montagem - Termopar

O termopar liga-se diretamente no MAX 6675, que contém 3 pinos de alimentação e 3 de comunicação, SCK, CS e DO.

O termopar integra no motor como apresenta a Figura 44. Com círculos verdes assinalam-se sensores de temperatura e pressão que comunicam diretamente com a centralina, de onde se poderão retirar muitos dos valores necessários para o controlo e supervisão do ensaio. No exemplo, o termopar é colocado depois da bomba de óleo que puxa o óleo do cárter e o leva pelos canais de distribuição do motor.

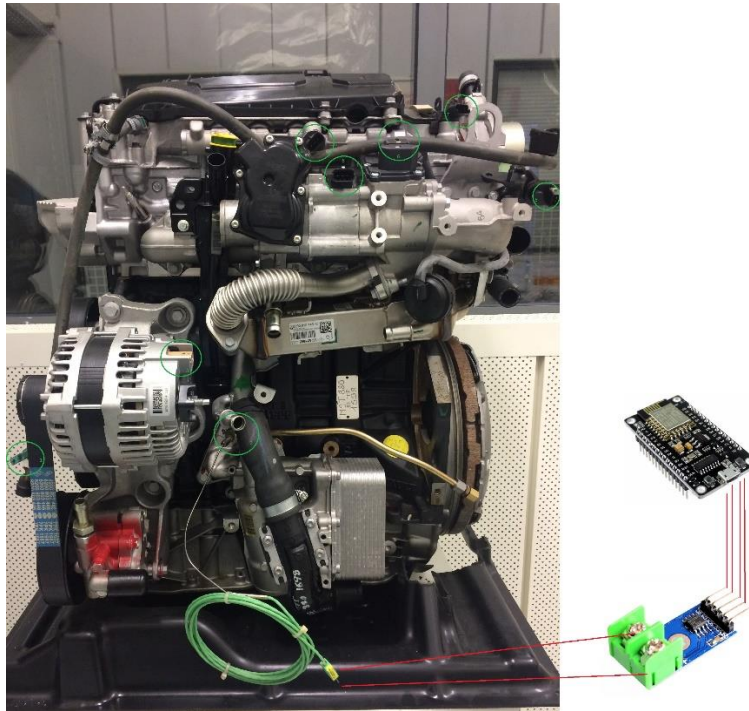


Figura 44 - Motor

4.6 Potenciómetro e Servomotor

De forma a simular um acelerador, utilizou-se um potenciómetro que fará rodar um servomotor.

As diferentes posições do potenciómetro geram um sinal analógico diferente. Este sinal é enviado para o módulo ADS 1115 que envia posteriormente uma mensagem digital para o EPS 8266 - Figura 45.

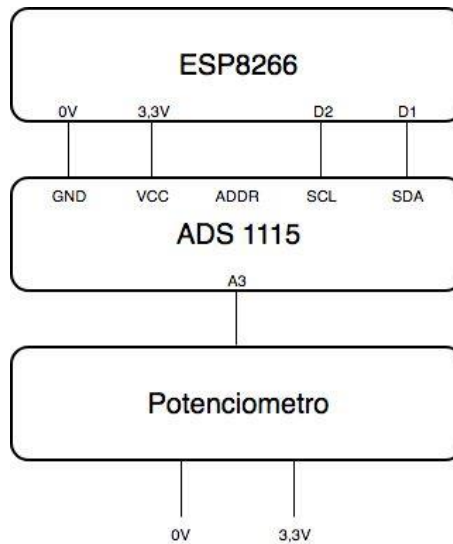


Figura 45 - Esquema de montagem - Potenciômetro

O ESP 8266 está programado para receber o valor do potenciômetro e o converter numa escala de 0 a 100% visto que o potenciômetro roda cerca de 300°. Este valor é transformado numa escala de 0 a 180° para poder ser inserido no servomotor. Com um sinal PWM enviado pelo ESP8266 irá para a posição pretendida, onde a posição 0° corresponde a um PWM de 1,5ms, 90° corresponde a 2ms e 180° corresponde a um pulso de 1ms (30).

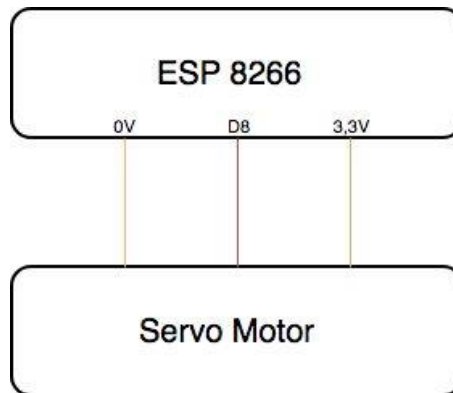


Figura 46 - Esquema de montagem - Servo Motor

A Figura 46 apresenta o diagrama de montagem do servo motor. Este necessita de alimentação em dois pinos e o pino conectado a D8 é o utilizado pelo ESP 8266 para enviar o sinal PWM.

Este mecanismo de potenciômetro e servomotor substitui o que era anteriormente utilizado, fazendo uso de um pedal, Figura 47.

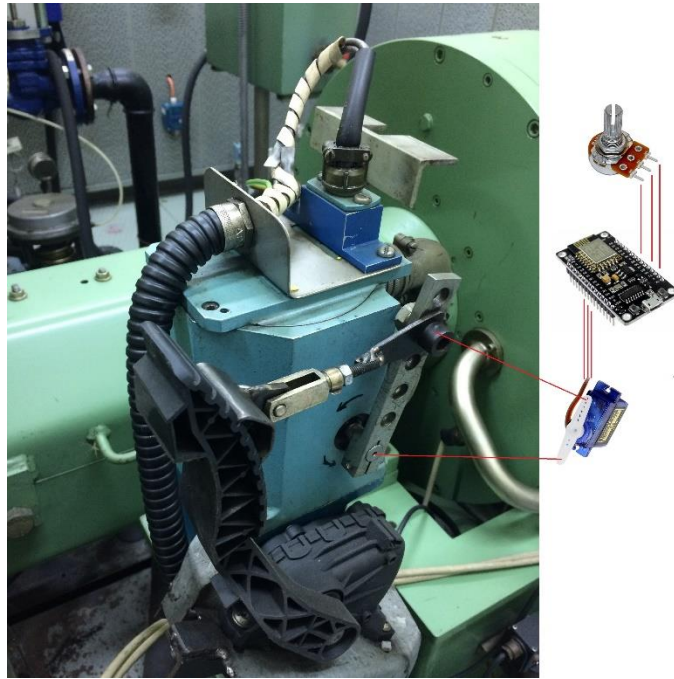


Figura 47 - Acelerador

4.7 Wi-fi, Base de dados e página WEB

Com a receção dos valores de força, pressão e temperatura e com o mecanismo potenciómetro/servomotor funcionais, houve a necessidade de criar uma aplicação iterativa ao utilizador. Para cumprir este requisito, entra a melhor funcionalidade do ESP 8266 - poder enviar mensagens via Wi-fi para um *router*. Assim, no programa do microcontrolador, é incorporada uma ligação Wi-fi do tipo *slave* onde é enviada uma mensagem para o servidor com os valores das variáveis.

Posteriormente, tornou-se necessário criar uma base de dados. Optou-se pelo XAMPP por este permitir criar um *Apache* no computador, por onde se transmitem as mensagens do ESP, do servidor e da base de dados. Este software de distribuição *Apache* contém também PHP, MySQL e Perl, sendo os dois primeiros os mais relevantes para o projeto.

O primeiro passo foi construir a tabela na base de dados, para onde o ESP 8266 enviará os seus dados. Posteriormente criou-se uma página PHP que permitiu a ligação e o *post* das variáveis do microcontrolador na base de dados (31).

Com a atualização dos valores dos sensores na base de dados concluída, podemos criar uma página WEB onde, mais uma vez, com recurso à linguagem PHP, conseguimos recolher os valores da base de dados e inserir nos gráficos que serão apresentados ao utilizador. O *layout* dos gráficos foram obtidos com o recurso ao HighCharts, um website que disponibiliza gráficos iterativos em JavaScript (32).

Desta forma foi possível desenvolver uma página WEB de apresentação dos resultados - Figura 48. Nesta página é possível ver nos primeiros dois gráficos semicirculares o valor de binário lido pela célula de carga e a posição do acelerador, servomotor. O limite na demonstração de binário é de 600 kg visto a célula de carga ter capacidade para 5000N, aproximadamente 500 kg, assim como o limite de amostragem de aceleração ser de 200º visto que o servomotor roda entre as posições 0 e 180 º.

Nos dois gráficos em baixo dos semicirculares é feita a cada instante a atualização dos dados que estão a ser inseridos na base de dados. No gráfico da esquerda apresentam-se os valores de temperatura a contorno azul em graus Celcius (°C) e de pressão a contorno preto em milibars (mb).

As legendas de valores estão representadas nos eixos verticais à esquerda e direita, temperatura e pressão respetivamente. No eixo horizontal é mostrado a altura, em tempo, em que os dados foram registados.

Da mesma forma, foi construído o gráfico sobre direita, onde é mostrado ao utilizador os valores de aceleração e binário ao longo do tempo. Os valores de aceleração são assinalados com contorno azul, tendo o seu eixo vertical de enumeração dos valores sobre a esquerda e os valores de binário são apresentados com contorno preto, tendo da mesma forma os valores assinalados sobre a direita. É ainda possível com o cursor do computador ver o valor exato no gráfico a cada momento.

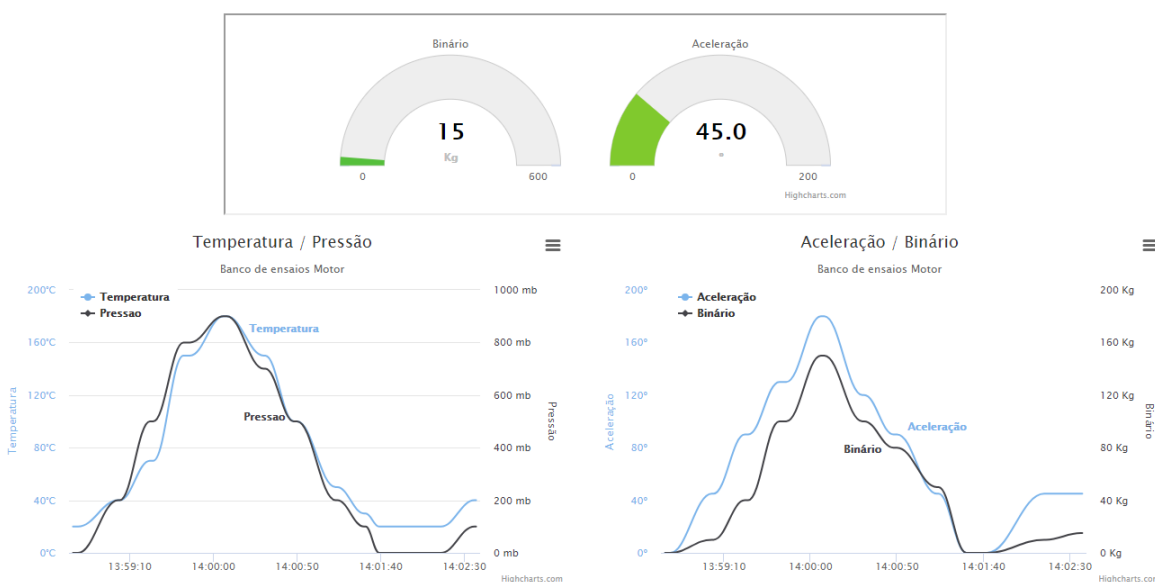


Figura 48 - Página WEB de apresentação de resultados

Os dados adquiridos ao longo de todo o ensaio são também registados e guardados na base de dados. Deste modo, em substituição à construção de documentos Excel como já foi analisado que era o procedimento antigo, teremos os dados disponíveis na rede.

Na Figura 49 podemos analisar uma amostragem de resultados guardados, onde a coluna “idx” é um auto incrementador que soma um valor cada vez que é inserida uma nova linha, a coluna “angulo” representa o valor da posição do servomotor, a coluna “carga” indica o valor de peso sentido pela célula de carga, a coluna “pressão” guarda o valor de pressão lido pelo transdutor a cada instante, a coluna “temperatura” guarda o valor de temperatura lido pelo sensor de temperatura do tipo K e por último, na coluna “time”, é registado a data precisa de quando foi inserida a nova linha.

		idx	angulo	carga	pressao	temperatura	time		
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	1606	130	100	800	150	2018-06-05 13:59:44
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	1607	130	100	800	150	2018-06-05 13:59:44
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	1608	130	100	800	150	2018-06-05 13:59:45
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	1609	130	100	800	150	2018-06-05 13:59:46
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	1610	180	150	900	180	2018-06-05 14:00:06
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	1611	180	150	900	180	2018-06-05 14:00:07
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	1612	180	150	900	180	2018-06-05 14:00:08
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	1613	180	150	900	180	2018-06-05 14:00:08
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	1614	120	100	700	150	2018-06-05 14:00:30
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	1615	120	100	700	150	2018-06-05 14:00:31
<input type="checkbox"/>	 Edita	 Copiar	 Apagar	1616	120	100	700	150	2018-06-05 14:00:31

Figura 49 - Dados guardados na base de dados (XAMPP)

CAPÍTULO V- PROPOSTA INDUSTRIAL

5.1 Introdução

Por forma a detalhar da melhor forma o funcionamento de um banco de ensaios foram investigadas empresas que se focam nesta área de negócio. As empresas produtoras de bancos de ensaios de motores com ligações ao grupo Renault são a AVL e a TCA/Horiba. A razão do número limitado de especialistas neste ramo deve-se ao facto de ser um tema bastante complexo e por isso é necessário investir no desenvolvimento de soluções para um mercado restrito. Existem várias empresas que tentaram integrar este ramo, mas todas elas foram falhadas, não conseguindo apresentar soluções competitivas frente às duas empresas mencionadas.

Desta forma, fez-se o contacto com a empresa TCA/Horiba para conhecer qual seria a solução standard que solucionaria o problema da Renault – CACIA, solução essa que será avaliada no presente capítulo, onde se apresentarão os equipamentos necessários ao funcionamento ótimo assim como a interação entre os mesmos.

Primeiramente há necessidade de uma unidade de controlo, denominada de SPARC para comunicação e controlo do freio dinamométrico assim como com o acelerador do motor.

A comunicação entre a unidade de controlo e o freio dinamométrico é feito através de um módulo de potência, LEW2002. Da mesma forma, para comunicar com o acelerador do motor é utilizado um simulador de potenciómetro, E-GAS.

Para estabelecer a interação entre os valores de temperatura e pressão lidos no motor e o software de controlo há necessidade de utilizar um módulo de entradas e saídas analógicas e digitais.

Ainda para supervisão e controlo do ensaio relativamente aos valores de temperatura e pressão nos vários sistemas do motor apresentados no ponto 2.3, são utilizados módulos de temperatura com 8 canais para sensores PT100 e 8 canais para sensores do tipo termopar e módulos de pressão com 8 canais para transdutores de pressão.

É necessário ainda incorporar um equipamento com a capacidade de supervisionar os valores de temperatura e humidade relativa do ambiente da sala onde decorre o ensaio.

Para medir o caudal de ar utilizado na admissão aos cilindros existem duas soluções: Incorporação de um equipamento próprio para o devido efeito ou, caso se tenha comunicação com a centralina, ECU, obter o valor de caudal de ar a partir da mesma.

Para medir a opacidade dos gases de escape é utilizado um equipamento da marca AVL em conjunto com o driver de comunicação.

Para medir o consumo de combustível é utilizado o PLU/AVL KM4000 com o driver apropriado de leitura.

De forma a comunicar com a centralina, ECU, é utilizado o sistema ASAM ASAP 3, por forma a obter os valores necessário da mesma.

5.2 Controlador SPARC

Este equipamento tem a função de controlar o torque produzido pelo dinamómetro, a velocidade de rotação do motor e a posição angular do acelerador. Apresenta ao utilizador a velocidade, o torque, a potência, a temperatura e a pressão do óleo, a temperatura da água de refrigeração e um segundo valor de velocidade para deteção de falha mecânica no eixo.

O controlador SPARC (Figura 50) contém um módulo de CPU, alimentação, comunicação CAN e um módulo de entradas e saídas (I/O) interativos com o dinamómetro e com o motor.



Figura 50 - Controlador SPARC

O controlador SPARC é o responsável por atuar de forma correta no dinamómetro e no motor, sendo o substituto do controlador S3000.

Relativamente à comunicação com o dinamómetro, o controlador SPARC envia um sinal ao driver do dinamómetro que posteriormente irá exercer o binário pretendido.

Relativamente ao controlo da aceleração do motor pode ser feito de duas formas.

A primeira é manter o sistema atual de acelerador, onde o controlador comunica com um driver de potência, que atuará num pedal acelerador (potenciómetro) presente na sala de ensaios, e este pedal fornece a informação necessária à centralina para acelerar o motor. Este sistema de controlo do dinamómetro e do motor é exemplificado na Figura 51.

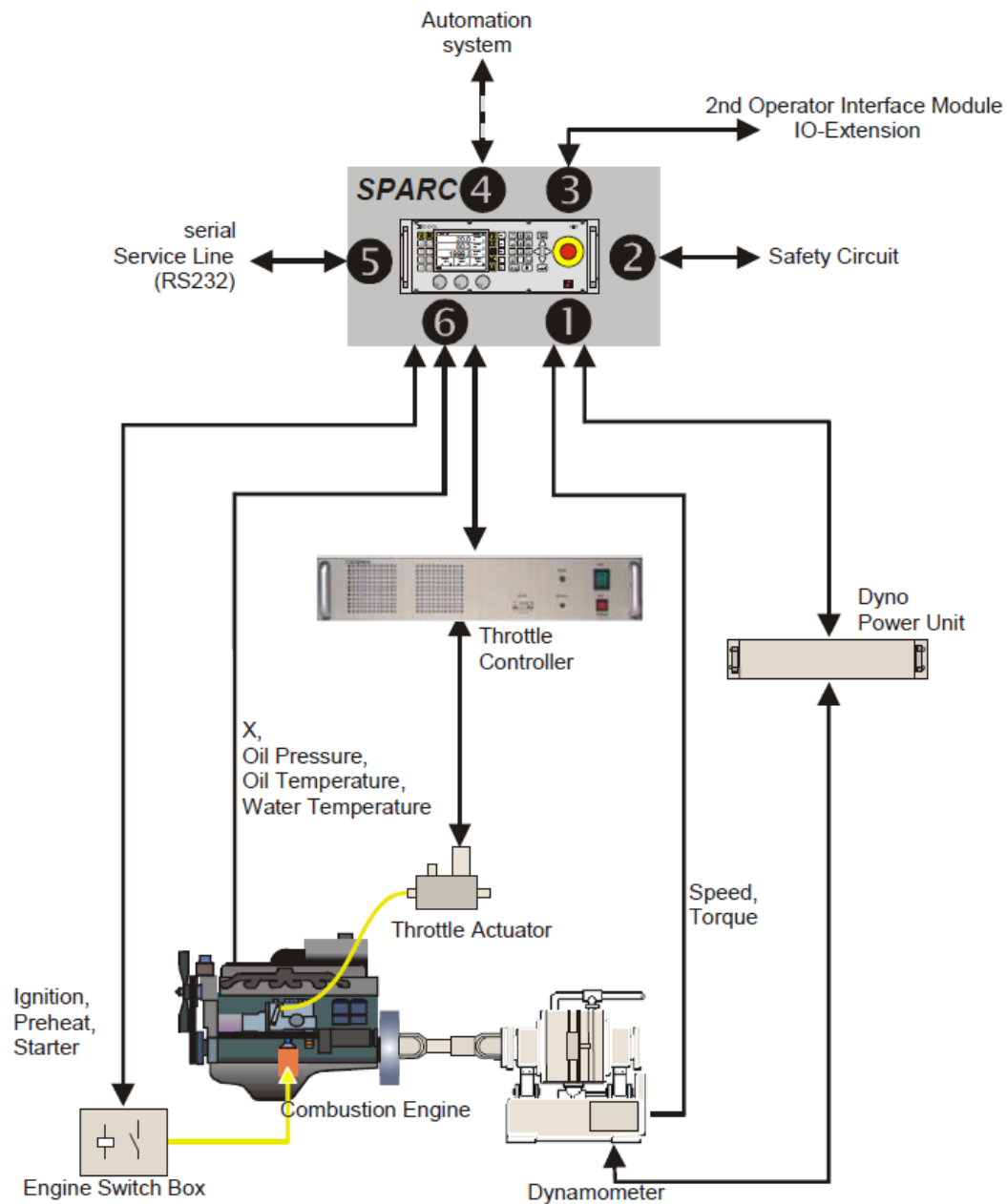


Figura 51 - Interação do controlador com o dinamómetro e o motor

Outra forma de atuar no motor é com o recurso à simulação de um potenciómetro ligado diretamente à centralina do motor. Este equipamento é denominado de simulador E-GAS (Figura 52) e, segundo a empresa TCA/Horiba, seria a melhor solução a implementar.



Figura 52 - Simulador E-GAS

O simulador de potenciómetro E-GAS contém duas entradas analógicas de medição específica do controlo do motor, duas saídas analógicas que simulam o pedal do motor e duas saídas digitais para colocar o acelerador na condição de zero ou de máximo de valor de aceleração.

5.3 Aquisição de valores de temperatura

Com o objetivo de medir a temperatura em determinadas zonas do motor, utilizam-se sensores do tipo resistores PT100 para medir temperaturas até 200°C e termopares do tipo K para medir temperaturas até 1000°C

Para analisar os valores obtidos dos sensores utiliza-se um módulo de medição de temperaturas ETRh16-K (Figura 53). Este módulo, como anteriormente mencionado, contém 8 canais para PT100 e 8 canais para termopares do tipo K, sendo que posteriormente comunica com o software de controlo através de EtherCAT.



Figura 53 - Módulo de leitura ETRh-16-K

O tipo de comunicação EtherCat tem a vantagem de ser rápida, tendo uma frequência de leitura de 1kHz por canal, ter elevada precisão na leitura dos sinais, com resolução de 24bits, apresentando um erro máximo de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para sensores do tipo K e $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ par sensores do tipo PT100, ter uma configuração simples e ser um protocolo aberto.

5.4 Aquisição de valores de pressão

Para aquisição dos valores de pressão nos vários sistemas do motor são utilizados sensores de pressão do tipo Gauge, ECO series, capazes de medir pressões de gases ou de fluidos, sendo que existem 24 sensores a escolher dependendo da gama de valores a medir, desde a gama entre 0 a 10 kPa até à gama de 0 a 2000 kPa.

Para medir a pressão absoluta ambiente da sala onde decorre o ensaio, são utilizados sensores de pressão barométricos do tipo AB capazes de medir valores de pressão absoluta entre 70 e 120 kPa.

Para analisar e converter os valores lidos dos sensores de pressão utiliza-se um módulo de medição de pressões, EP8 (Figura 54) comunicando com o software de controlo através de EtherCAT, assim como acontece com o módulo de medição de temperaturas.

Este módulo apresenta uma resolução de 24 bits na leitura dos sensores de pressão com precisão de até 0,05% e frequência de sinal de 1kHz por canal.



Figura 54 - Módulo de leitura EP8

5.5 Medição das condições ambiente da sala de ensaios.

Para supervisionar as boas condições ambientais para efetuar os ensaios é necessário calcular a pressão atmosférica absoluta, humidade relativa e temperatura ambiente (Figura 55).

Para cumprir este objetivo utiliza-se um sensor de pressão absoluto barométrico e um sensor combinado de humidade relativa e temperatura do ar.



Figura 55 – Unidade de medição de humidade / temperatura e pressão barométrica absoluta

5.6 Supervisão e controlo do banco de ensaios

Para além da necessidade de supervisionar e controlar a velocidade do motor, o binário do freio dinamométrico e os valores de pressão e temperatura dos sistemas do motor, há também a necessidade de medir certos parâmetros que advêm de equipamentos periféricos.

Esses parâmetros são o caudal de ar utilizado na admissão aos cilindros, o consumo de combustível, o estado da válvula de contrapressão no escape, o estado da válvula termostática de controlo do caudal de refrigeração no motor, entre outros. Desta forma, é necessário utilizar um módulo I/O para controlo de todos os parâmetros extra que poderão vir a ser necessário, LAM002 (Figura 56). Este equipamento é programado pelo software de controlo STARS para definir o que ler em cada entrada.



Figura 56 - LAM002

Para o controlo de parâmetros como alarmes, de ativação dos módulos de potência e de outros componentes periféricos e ligar ou desligar o motor é utilizado um módulo I/O que comunica diretamente com o software, módulo denominado de STARS *basic stand* I/O.

A visão geral de supervisão e controlo do banco de ensaios é mostrado na Figura 57. Através do software de controlo é possível comunicar com o controlador SPARC que é o responsável por atuar no dinamómetro e no motor (*loading system*). Para que o ensaio seja possível é necessário que o motor tenha acesso a um sistema de óleo de lubrificação, a um sistema de água de refrigeração e a um sistema de alimentação de combustível (*media conditioning*). Para poder estudar o ensaio é necessário obter os valores de pressão e temperatura nos vários sistemas do motor, com recurso a módulos I/O de conversão do sinal analógico em valores que o software do computador possa ler, ou através de comunicação RS232 como é o exemplo do consumo de combustível (*data logging*).

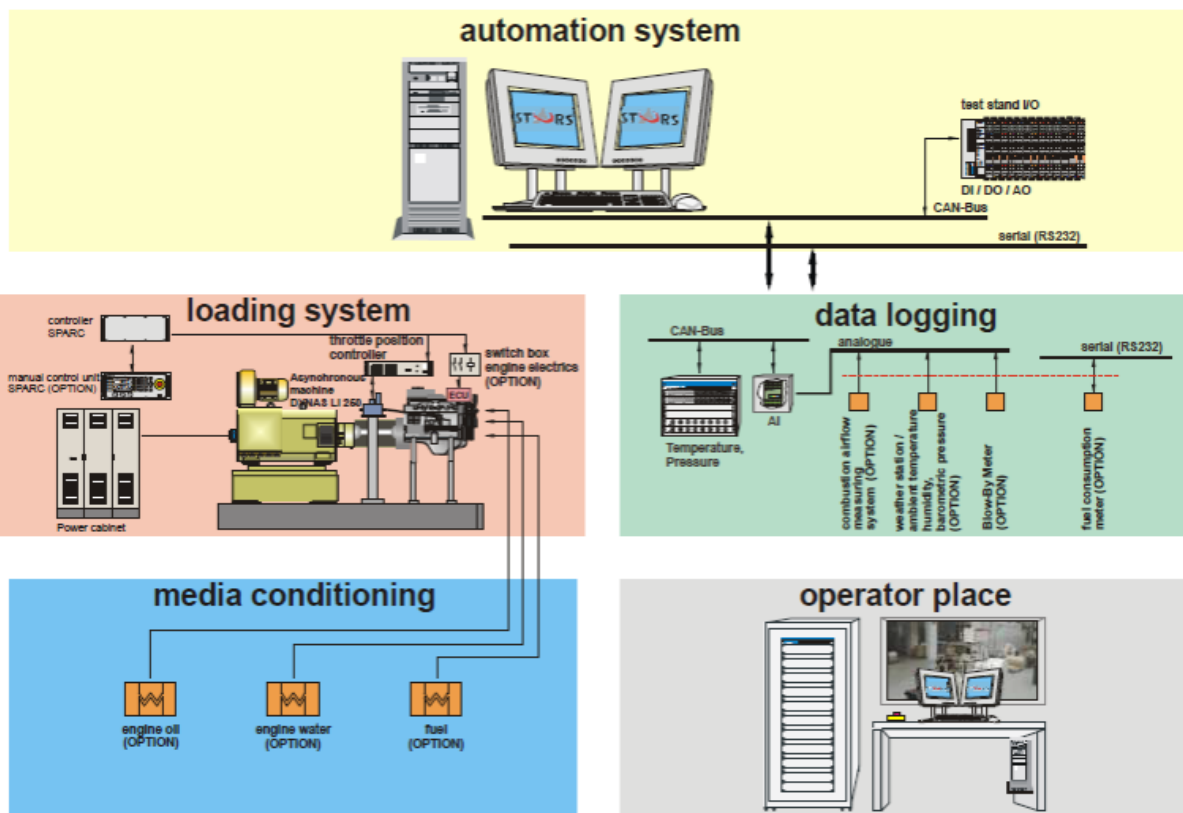


Figura 57 - Sistema global RTA/Horiba

CAPÍTULO VI- CONCLUSÃO

6.1 Síntese da dissertação

Com este projeto pretendeu-se elaborar um sistema de controlo e aquisição de dados com recurso a instrumentação não convencional em bancos de ensaio na atualidade, apresentando uma solução inovadora e integrando o novo conceito de IoT (*Internet of Things*).

No capítulo 2 foi elaborado o estudo do funcionamento de um banco de ensaios de motores, quais os componentes necessários, os diferentes tipos de dinamómetros e comparação entre os mesmos, assim como o estudo dos ensaios necessários à validação de bombas de óleo elaborados pelo grupo Renault.

No capítulo 3, após a exploração do que existe no mercado, foi feita a análise dos componentes presentes no banco de ensaios desativado há mais de quinze anos nas instalações da Renault-CACIA. Para além da análise a cada componente, foi estudado como o sistema de controlo funciona globalmente, para com isso se poder encontrar a arquitetura da solução apresentada.

No capítulo 4 foi elaborada e apresentada a solução laboratorial desenvolvida na Universidade de Aveiro, visando exemplificar um procedimento de ensaio. Com recurso a instrumentação de conversão de sinais analógicos para digitais e com a utilização de um microprocessador, ESP8266, com Wi-fi integrado foi possível desenvolver uma solução IoT para supervisão e controlo do banco de ensaios.

No capítulo 5 foi analisada uma solução industrial apresentada pela empresa RTA/Horiba. São analisados os componentes necessário ao bom funcionamento do banco de ensaios, o controlador, o software e a obtenção dos valores de supervisão e controlo de temperatura, pressão, consumos de ar, combustível e água.

6.2 Considerações finais

Com este projeto foi possível demonstrar que uma solução bem diferente das ideias normalizadas pelos produtores de bancos de ensaios de motores pode trazer várias vantagens. Uma das principais vantagens é a utilização de equipamentos muito menos dispendiosos do ponto de vista económico, sendo o valor de investimento da nova solução bastante reduzido em comparação com os valores praticados em bancos de ensaio padrão (1.5 milhões de euros). Outra vantagem prende-se com a orientação desta solução para o pensamento da indústria 4.0, na qual se pretende reduzir a utilização de cabos de comunicação e integrar o recurso ao Wi-fi, assim como o armazenamento de todos os dados na *nuvem*, conseguido através da utilização de uma base de dados (MySQL).

Não obstante, a nova solução apresenta algumas limitações. A necessidade de contante ligação do ESP 8266 ao servidor para envio de dados de controlo origina um grande intervalo de tempo de cadência

dos valores. Relativamente ao tipo de instrumentação utilizada, seria importante analisar até que ponto tanto os conversores de sinal como o ESP 8266 são viáveis, estáveis e robustos o suficiente para uma implementação industrial. Ainda, tendo em conta a presença de um motor bastante reativo dentro de uma sala, importaria rever as regras de segurança, pela presença de uma atmosfera explosiva (ATEX).

6.3 Trabalhos futuros

De forma a finalizar o estudo e implementação laboratorial será necessário fechar os circuitos em falta visíveis na Figura 32. Para cumprir esse objetivo é necessário primeiramente analisar profundamente de que forma o driver de potência do dinamómetro funciona, que sinal está à espera de receber do controlador, como é feita a transformação de sinal e é enviado posteriormente para o dinamómetro, para com isso poder exercer o binário que se pretende. O mesmo acontece com a ligação do servo motor com a centralina e posteriormente com o a válvula borboleta do motor. Entender e adquirir o software de comunicação com a centralina para desta forma ser possível transformar a posição do potenciómetro do acelerador, servomotor, na velocidade de rotação do motor que se pretende. Para concluir o circuito, depois de resolvidos os dois últimos problemas e ter o motor em funcionamento, colocar os sensores devidos no motor e verificar se os resultados são os esperados.

Como melhoria da solução proposta seria necessário resolver uma das desvantagens apresentadas no último capítulo, reduzir o tempo de ligação entre o microprocessador ESP8266 com o router para enviar os dados para a base de dados e, se possível, evitar que em todos os *loops* executados pelo mesmo se evite este processo de ligação. Teoricamente a melhor solução seria conectar apenas uma vez com o router e a partir daí, em todos os *loops*, apenas enviar os dados do ensaio para a base de dados.

REFERÊNCIAS

1. **Mecanica Online.** Mecânica em Dias | O motor de combustão interna. <http://mecanicaonline.com.br/wordpress/2016/02/10/coluna-mecanica-em-dias-o-motor-de-combustao-interna/>. [Online] 10 de Fevereiro de 2016.
2. **Edsolique - eletroinjetores.** <http://www.edsolique.com/eletroinjetores/>. [Online]
3. **123RF.** https://es.123rf.com/photo_87963543_diagrama-infogr%C3%A1fico-del-sistema-de-arranque-y-carga-con-todas-las-piezas-incluyendo-el-solenoid-de-a.html. [Online]
4. **Futura aditivo - Sistema de arrefecimento.** <http://www.futuraaditivo.com.br/n/4/sistema-de-arrefecimento>. [Online]
5. **Lubrita.** <http://www.lubrita.com/news/78/671/How-The-Lubrication-System-Works-In-An-Engine/>. [Online]
6. **Groupe Renault.** Moyen Banc Moteur. *BMS vs BFD*. 2018.
7. **Groupe Renault.** BANC MOTEUR & BANC GMP. *CONDITIONS D'ESSAIS, MAINTENANCE, SUIVI ET CONTROLES*. 2018.
8. **Ebah - Instrumentação Industrial.** <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABOV8AG/instrumentacao-industrial?part=9>. [Online]
9. **Druck.** PDCR4000 Series.
10. **Contimetra.** Medição e controlo de caudal. [Online] https://www.contimetra.com/Conteudos_F/IA/Instrumentacao/instrumentacaomedcontcaudal.pdf.
11. **Plint, A. J. Martyr and M.A.** *Engine Testing (Third Edition)*. s.l. : BH, 2017.
12. **Stahl, J.F.** *Hydraulic Dynamometer*. U.S.A. : s.n., 1989.
13. **DyneSystem.** *Water Cooled Current Dynamometer*. Wisconsin : s.n., 2009.
14. **Paiva, J.E.M.d.S.** *Motores Sincronos*. 2009.
15. **Quora - Power Torque Curves.** <https://www.quora.com/Why-is-it-that-the-output-torque-of-an-engine-starts-reducing-after-reaching-a-peak-even-though-the-RPM-is-increasing>. [Online]
16. **Dunyoung - AP900 Series.** <http://web.dunyoung.com/en/product/ccs>. [Online]
17. **Groupe Renault.** Moteurs - Procédures de rodage. 1993.
18. **Groupe Renault.** Pmax-Cmax Alliance - Moteur - Endurance - Banc moteur. 2010.
19. **Groupe Renault.** Chaud Froid Alliance - Moteur - Endurance - Banc moteur. 2010.
20. **Groupe Renault.** SHES - Moteurr - Endurance - Banc moteur. 2011.
21. **Wikipedia.** en.wikipedia.org/wiki/PID_controller. [Online]

22. **ESP8266, Wikipedia** -. <https://pt.wikipedia.org/wiki/ESP8266>. [Online]
23. **Github - ESP8266 DevKit**. <https://github.com/nodemcu/nodemcu-devkit-v1.0>. [Online]
24. **Pinterest**. <https://www.pinterest.pt/pin/401946335477896498>. [Online]
25. **Avia semiconductor - HX711**. https://www.mouser.com/ds/2/813/hx711_english-1022875.pdf. [Online]
26. **ABSOLEM**. <http://dangerelectron.blogspot.com/2015/06/hx711-adc-24-bit-para-celulas-de-carga.html>. [Online]
27. **Adafruit**. <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-4-channel-adc-breakouts.pdf>. [Online]
28. **Texas Instruments - ADS 111x**. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf>. [Online]
29. **Maxim Integrated Products - MAX 6675**. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf>. [Online]
30. **Tower Pro - SG90 9g MicroServo**. <http://akizukidenshi.com/download/ds/towerpro/SG90.pdf>. [Online]
31. **XAMPP - Ambiente de desenvolvimento PHP**. https://www.apachefriends.org/pt_br/index.html. [Online]
32. **HighCharts**. <https://www.highcharts.com/>. [Online]
33. **Analogue Devices**. Low Voltage Temperature Sensors. *TMP 35 36 37*.

ANEXOS - I

1. Componentes do estado atual do banco de ensaios

De seguida apresentam-se as figuras que demonstram todos os componentes presentes no banco de ensaios atual na Renault CACIA



Figura 58 - AVL 415S



Figura 59 - AVL 442



Figura 60 - CELESCO 107



Figura 61 - KROHNE

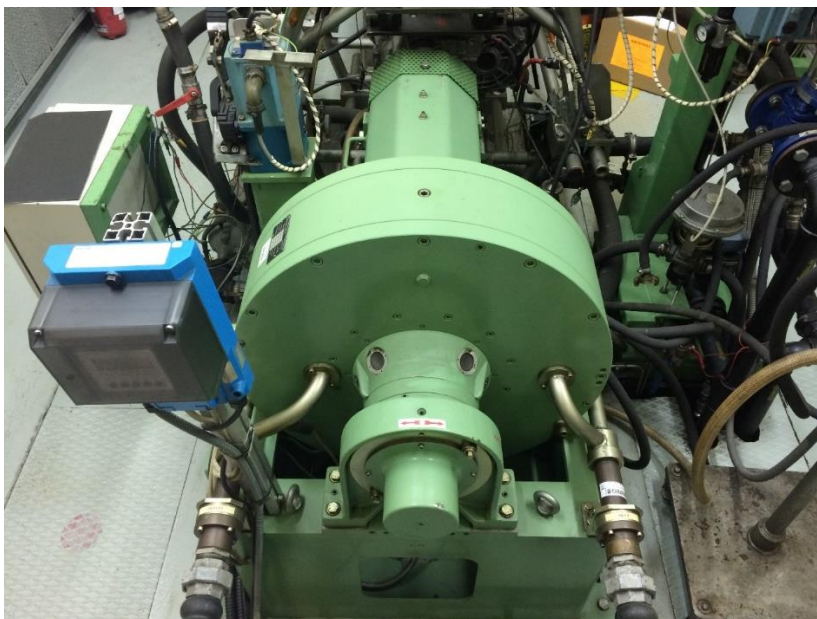


Figura 62 - Dinamómetro BORGHI & SAVERI



Figura 63 - DRZ 2000

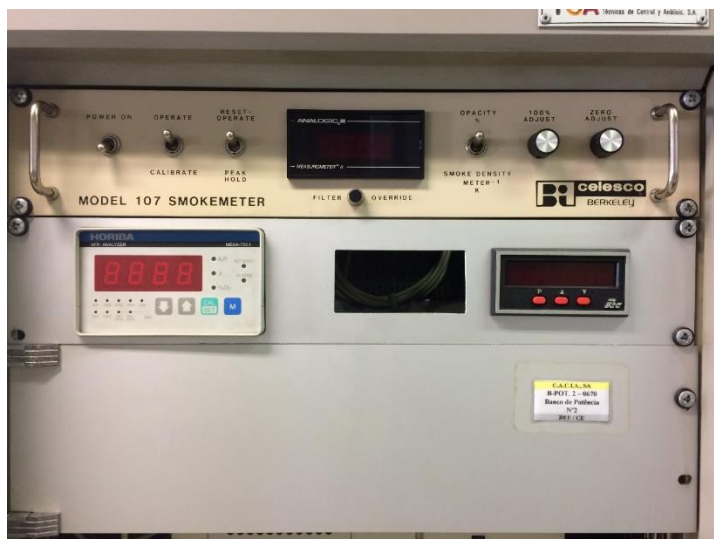


Figura 64 - Driver Horiba e CELESCO



Figura 65 - Acelerador In Cell

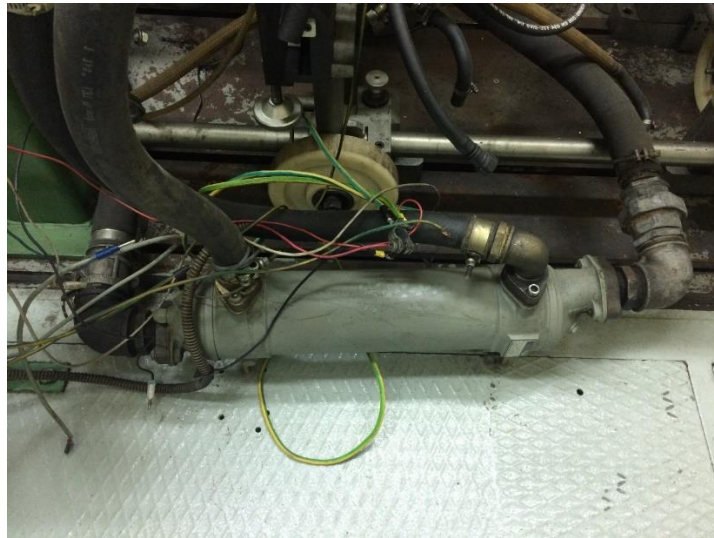


Figura 66 - Permutador de calor água/água



Figura 67 - Refrigeração do Intercooler



Figura 68 - Circuito de refrigeração



Figura 69 - PLU 401/116H



Figura 70 - Caixa de transdutores (temperatura e pressão)



Figura 71 - VAISALA HMP233

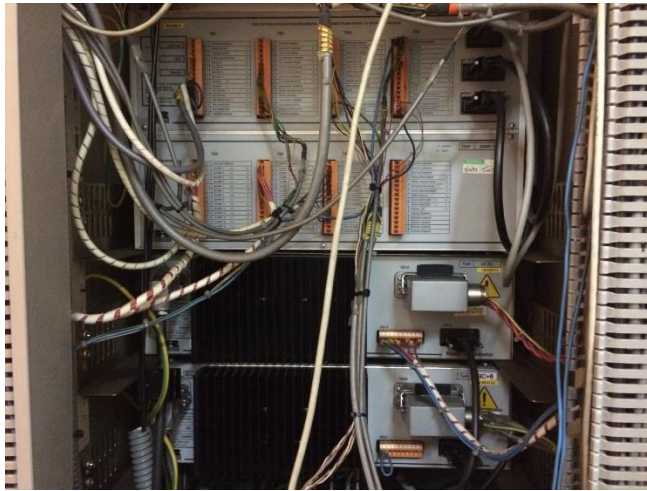


Figura 72 - Controlador S3000, Driver Dinamómetro e Driver acelerador (por ordem descendente)