



Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA

Bancada Didática de Análise de Motor a Combustão

Ponto de Controle II

Brasília, DF
2017



Autores

Nome	Matrícula	Curso
Arthur Neme	10/0007848	Engenharia Automotiva
Bruno Ivo	12/0008602	Engenharia Eletrônica
Ebenezer Andrade da Silva	12/0060213	Engenharia de Software
Heleno da Silva Morais	12/0120038	Engenharia Eletrônica
João Paulo Teodoro Mendoça	11/0014243	Engenharia Automotiva
Leonardo Oliveira	13/0012661	Engenharia Aeroespacial
Luís Cláudio F. Santos	15/0157355	Engenharia de Energia
Matheus Silva Pereira	13/0015369	Engenharia de Software
Maxwell de Oliveira Cardoso	12/0019108	Engenharia de Software
Omar Faria dos Santos Junior	13/0015920	Engenharia de Software
Pedro Henrique Barbosa Araújo	15/0144288	Engenharia Automotiva
Renata Gonçalves Vieira	14/0050230	Engenharia de Energia
Ricardo Lupiano Andrade	13/0016969	Engenharia Eletrônica
Rita de Cássia Figueiredo	12/0041308	Engenharia de Energia

Lista de ilustrações

Figura 1 – Berço do Motor Conectado.	13
Figura 2 – a) Suporte da ECU e b) ECU Acoplada ao Suporte.	14
Figura 3 – a) Vista Traseira do Radiador e b) Vista Dianteira do Radiador.	15
Figura 4 – Caixa Estabilizadora sobre o Container.	16
Figura 5 – Sistema de Exaustão.	17
Figura 6 – Célula de carga.	18
Figura 7 – Flange de Acoplamento do Motor.	19
Figura 8 – Tensão Equivalente na Peça.	19
Figura 9 – Fator de Segurança.	19
Figura 10 – Modelo simplificado da estrutura em CAD 3D para análise numérica.	20
Figura 11 – Dimensionamento da Estrutura.	21
Figura 12 – Condições de contorno para a análise estática.	21
Figura 13 – Condições de Contorno para a Análise Modal.	22
Figura 14 – Resultado de Deformação da Estrutura.	22
Figura 15 – Respostas de tensão equivalente da estrutura em Mega Pascal.	23
Figura 16 – Coeficiente de segurança da estrutura.	23
Figura 17 – Diagrama de aquisição de dados	27
Figura 18 – Amplificador de Instrumentação (CASSIOLATO, 2017)	32
Figura 19 – Cadeia de Medição e Atuação em Sistemas de Controle (CASSIOLATO, 2017)	32
Figura 20 – Sensor de Pressão Diferencial	35
Figura 21 – Curva característica do MPX5700.	36
Figura 22 – Circuito para Sensor de Temperatura.	37
Figura 23 – Circuito interno max6675.	37
Figura 24 – Circuito para MPX5700.	38
Figura 25 – Fluxograma de conversão e transmissão de dados dos sensores.	39
Figura 26 – Fluxograma de Acionamento do Motor	40
Figura 27 – Fluxograma de Aceleração/Desaceleração do Motor	41
Figura 28 – Simulação da leitura, conversão e transmissão de dois sensores analógicos	43
Figura 29 – Diagrama de sequência do módulo de controle	47
Figura 30 – Radiador utilizado no laboratório de testes de MCI. Fonte: APS Distribuidora.	49
Figura 31 – Dimensões do radiador. Fonte: Catálogo Valeo Arrefecimento.	50
Figura 32 – Fator de correção para trocador de calor de único passe e com fluidos sem mistura.(ÇENGEL, 2009)	51
Figura 33 – Esquema de Admissão.	52

Figura 34 – Esquemático operacional para análise de emissões.	55
Figura 35 – Método mássico de medição de consumo.	56
Figura 36 – Funcionamento do cronômetro a partir dos sensores de infravermelho. .	56
Figura 37 – EAP	58
Figura 38 – Cronograma - Parte 1	59
Figura 39 – Cronograma - Parte 2	59
Figura 40 – Tela inicial SBTM.	65
Figura 41 – Tela de acionamento do motor.	66
Figura 42 – Caixa de acoplamento dos componentes do motor	67
Figura 43 – Acoplamento de Sensores de Arrefecimento	68
Figura 44 – Mangueira do sistema de admissão	68
Figura 45 – Sensor de temperatura no sistema de admissão	69
Figura 46 – Saída para sensor de pressão e temopar	69
Figura 47 – Diagrama de Componentes	80
Figura 48 – Diagrama de Caso de Uso	81
Figura 49 – Tela Inicial do Protótipo de Baixa Fidelidade.	83
Figura 50 – Tela de Análise do Protótipo de Baixa Fidelidade.	84
Figura 51 – Tela de Armazenamento do Protótipo de Baixa Fidelidade.	84
Figura 52 – Tela de Resultados do Protótipo de Baixa Fidelidade.	85
Figura 53 – Planta baixa do Laboratório de Ensaio.	87

Lista de tabelas

Tabela 1 – Liberdade para posicionamento dos pontos de fixação nos três eixos (x, y e z)	21
Tabela 2 – Frequências naturais da estrutura.	23
Tabela 3 – Principais sensores internos de um motor	28
Tabela 4 – Sensores a serem implementados. Fonte: Autores	29
Tabela 5 – Custos dos componentes	34
Tabela 6 – Requisitos Funcionais	46
Tabela 7 – Dados técnicos do analisador de gases (NAPRO, Acesso em: 20 abr. 2017).	54
Tabela 8 – Tabela de custos geral	60
Tabela 9 – Papéis da Equipe	61
Tabela 10 – Atividades e Responsáveis	61
Tabela 11 – Matriz de Risco	62
Tabela 12 – Descrição do problema.	75
Tabela 13 – Sentença de posição do produto	76
Tabela 14 – Descrição dos envolvidos e dos usuários.	76
Tabela 15 – Usuários finais	77
Tabela 16 – Necessidades dos usuários ou dos envolvidos	77

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Problematização	11
1.1.1	Objetivo Geral	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
2	PROJETO ESTRUTURAL	13
2.1	Motor	13
2.1.1	Berço do motor	13
2.1.2	Parte Elétrica do Motor	14
2.1.3	Parte Elétrica do Motor	14
2.2	Arrefecimento	15
2.3	Admissão de Ar	16
2.4	Sistema de Exaustão	17
2.5	Sistema de Alimentação	18
2.6	Acoplamento ao Dinamômetro	19
2.7	Projeto da Estrutura de Acoplamento do Motor	20
3	PROJETO ELETRÔNICO	25
3.1	Objetivo Específico	25
3.2	Requisitos	25
3.3	Implementação	27
3.3.1	Sistema de Aquisição	27
3.3.1.1	Sensores	27
3.3.1.2	Microcontrolador	30
3.3.1.3	Placa de condicionamento	31
3.3.2	Sistema de Controle	32
3.3.3	Sistema de Comunicação	33
3.3.3.1	Protocolo de comunicação I2C	33
3.3.4	Custos	33
3.4	Materiais e Métodos	34
3.5	Descrição dos Componentes	35
3.5.1	Sensor de Pressão Diferencial MPX5700	35
3.5.2	Compensador de Junta Fria e Conversor A/D MAX6675	36
3.5.3	Termopar tipo K	37
3.6	PROCEDIMENTOS PARA FUNCIONAMENTO DOS SENSORES	38
3.7	PROCEDIMENTOS PARA CONTROLE DO MOTOR	39

3.8	PROCEDIMENTOS PARA CONVERSÃO E TRANSMISSÃO DE SINAIS	40
4	PROJETO DE SOFTWARE	45
4.1	Introdução	45
4.1.1	Escopo	45
4.2	Representação da Arquitetura	45
4.3	Requisitos Levantados	46
4.4	Custo do Desenvolvimento do Software	46
4.5	Detalhamento da Solução	47
4.6	Protocolos - Aquisição e Controle	48
5	PROJETO DE ENERGIA	49
5.1	Objetivo Específico	49
5.2	Concepção e detalhamento do subsistema	49
5.2.1	Sistema de Arrefecimento	49
5.2.2	Sistema de Admissão	52
5.2.3	Instalação do Dinamômetro	53
5.2.4	Análise de Emissões	53
5.2.5	Consumo de combustível	55
6	GERENCIAMENTO DO PROJETO	57
6.1	Termo de Abertura do Projeto	57
6.1.1	Estrutura Analítica do Projeto	57
6.1.2	Cronograma	59
6.1.3	Custos	59
6.1.4	Recursos	59
6.1.5	Riscos	59
6.1.5.1	Legenda	63
7	INTEGRAÇÃO	65
7.1	Software - Eletrônica	65
7.1.1	Controle	65
7.1.2	Aquisição	67
7.2	Integração Estrutural	67
	REFERÊNCIAS	71

ANEXOS

73

ANEXO A – DOCUMENTO DE VISÃO 75

A.1	Introdução	75
A.1.1	Finalidade	75
A.1.2	Escopo	75
A.2	Posicionamento	75
A.2.1	Descrição do problema	75
A.2.2	Sentença de posição do produto	76
A.3	Descrição dos Envolvidos e dos Usuários	76
A.3.1	Resumo dos envolvidos	76
A.3.2	Resumo dos usuários	77
A.3.3	Ambiente do usuário	77
A.3.4	Principais necessidades dos usuários ou dos envolvidos	77
A.4	Visão Geral do Produto	77
A.4.1	Perspectiva do produto	77
A.4.2	Resumo dos recursos	77
A.5	Recursos do Produto	78
A.6	Restrições	78

ANEXO B – DOCUMENTO DE ARQUITETURA 79

B.1	Introdução	79
B.1.1	Finalidade	79
B.1.2	Escopo	79
B.2	Arquitetura da Aplicação	79
B.2.1	Representação da Arquitetura	80
B.2.2	Objetivos e Restrições da Arquitetura	80
B.3	Visão de Casos de Uso	80

ANEXO C – PROTÓTIPO DE BAIXA FIDELIDADE DA INTERFACE GRÁFICA 83

ANEXO D – PLANTA BAIXA LABORATÓRIO 87

1 Introdução

1.1 Problematização

1.1.1 Objetivo Geral

A Faculdade UnB Gama (FGA) apresenta como parte de sua oferta o curso de Engenharia Automotiva, onde são apresentados os conceitos teóricos e práticos de sistemas mecânicos e automotivos. Entretanto, uma das carências do curso é a análise laboratorial de um componente fundamental dos sistemas automotivos, no caso um motor a combustão interna, em funcionamento. Esta carência implica na falta de conhecimento prático do funcionamento real destes tipos de motores, onde boa parte destes estudos se limitam a parte teórica.

Tendo em vista este déficit referente ao curso, este projeto apresenta uma proposta de desenvolvimento de uma bancada didática para análise dos principais parâmetros de um motor a combustão, apresentando todos componentes da bancada: Projeto Automotivo, Projeto Eletrônico, Projeto de Software e Projeto Energia.

1.1.2 Objetivos Específicos

Desenvolver uma bancada didática de análise de motor a combustão interna para compor a estrutura do curso de Engenharia Automotiva. A bancada será composta pelo motor a ser analisado, uma estrutura para acoplá-lo na bancada, um sistema de admissão, um sistema de alimentação do motor, um de exaustão e pelo software aquisição e processamento dos dados oriundos do motor e para o controle do mesmo. A bancada realizará uma análise do motor em termos de Temperatura do óleo do motor, Temperatura do ar no coletor de admissão, Pressão do ar no coletor de admissão, rotação por minuto, estimativa do torque e Informações de emissão e mistura sonda/lambda. A partir desses dados apresentados na interface gráfica do software, serão plotados gráficos em função do tempo.

Os principais requisitos funcionais do projeto são:

- A bancada será capaz de acoplar um motor genérico;
- Acionar o motor com redundância mecânica ou eletronicamente;
- Realizar o controle da aceleração e desaceleração do motor via interface do software e mecanicamente;

- Coletar dados relevantes para a análise de parâmetros do motor;
- Possibilitar ao usuário o estudo e o desenvolvimento didático de análise quanto ao funcionamento de um motor a combustão interna.

Para o dinamômetro, a viabilidade técnica e financeira é muito baixa visto que não há muito suporte quanto à sua montagem mecânica e elétrica. Com agravante de que as ligações com a rede elétrica devem ser realizadas por um técnico licenciado e pela dificuldade de adaptar a tensão de alimentação da central de controle com a tensão disponível na rede.

No âmbito da bancada há uma grande viabilidade técnica partindo do princípio que todos os graduandos destinados à este projeto possuem vasto conhecimento para o que é requisitado para o desenvolvimento da bancada. Financeiramente, pode-se considerar viável visto que o custo pode ser dividido entre 13 integrantes e que após a montagem o custo de manutenção será mínimo.

Os principais desafios técnicos são: adaptar a estrutura de acoplamento ao motor e, posicionar corretamente os sensores para a captação dos dados; dimensionar corretamente os subsistemas conectados ao motor para o correto funcionamento da bancada; condicionar os sinais de saída dos sensores para possibilitar uma leitura adequada dos dados; comunicar o microcontrolador MSP430 que realiza a aquisição dos dados com o dispositivo eletrônico que irá processar os dados, também, este dispositivo com o software de processamento dos dados; fazer o correto uso dos dados adquiridos para possibilitar a análise desejada dos parâmetros do motor.

2 Projeto Estrutural

Nesta seção serão apresentados os avanços realizados com relação a parte que concerne ao grupo de estrutura do projeto. Serão descritos de forma sucinta os processos de fabricação envolvidos em cada subsistema do laboratório, além de todas as outras adaptações necessárias para o funcionamento do motor que será utilizado nos ensaios.

2.1 Motor

2.1.1 Berço do motor

Para que o motor fosse acoplado aos coxins do dinamômetro mostrou-se necessária a fabricação de um berço, de forma que o motor pudesse ser fixado aos coxins estando alinhado com o eixo do dinamômetro.

Para a construção do berço do motor, visto na Figura 1 foi utilizado uma barra com perfil em L e espessura de 3mm com o intuito de suportar o peso e vibração causados pelo motor em funcionamento.



Figura 1 – Berço do Motor Conectado.

Para o acoplamento tanto para o motor quanto para os coxins foram realizados furos com a furadeira com diâmetros de 10mm para os coxins e 12mm para o motor. Conforme mostrado na Figura 1, uma parte da caixa seca necessitou de usinagem para facilitar o encaixe do berço.

2.1.2 Parte Elétrica do Motor

Em relação a parte elétrica do motor foi retirado todo o chicote do veículo para que fosse instalado na bancada. Ao tentar instalar pela primeira vez não foi possível ligar o motor, pois existiam alguns curtos circuitos no chicote, isto foi solucionado verificando a continuidade ao longo de todo o chicote. Porém ao tentar executar várias partidas no motor a central eletrônica (ECU) do motor entrou em modo de segurança, travando a alimentação dos bicos injetores e da bobina do motor. A solução eliminar os erros de bloqueio da ECU e também foi feito a decodificação da mesma através de um scanner. A decodificação foi feita para simplificar o chicote, pois ela elimina o uso do comutador de ignição, que é um sistema de segurança da Fiat, chamado de Fiat Code. Após a decodificação da ECU o chicote foi simplificado apenas ao molho da chave, onde se tem a ligação do motor e um fio de pós chave, onde alimenta todo o sistema da ECU ao girar a chave em seu primeiro estágio.

Foi decidido ligar o ventilador do sistema de arrefecimento no fio de pós chave, pois em um veículo o fluxo de ar gerado ao movimentar ajuda na transferência de calor do radiador. No nosso caso, como o motor está em uma bancada, o ventilador estará ligado continuamente desde o momento em que ligar a chave.

Para bomba de combustível, esta foi alimentada diretamente pela ECU e o aterramento foi feito juntamente com o bloco do motor.

2.1.3 Parte Elétrica do Motor

Para que a unidade de controle eletrônico do motor não ficasse pendurada, um suporte foi fabricado e acoplado ao motor. O suporte feito com uma placa de aço de 1mm de espessura, garantiu que a ECU não ficasse em contato direto com o bloco do motor. A Figura 2a apresenta o suporte sem a ECU enquanto a Figura 2b apresenta com a ECU acoplada.



Figura 2 – a) Suporte da ECU e b) ECU Acoplada ao Suporte.

Para a construção do suporte foi necessário realizar quatro furos de 6 mm para a fixação da ECU. Além disso foi, outros dois furos de 10 mm de diâmetro foram realizados para fixação do suporte no motor e do aterrramento da ECU.

2.2 Arrefecimento

O sistema de arrefecimento do motor é composto pelo radiador, localizado na parte de fora do laboratório de testes. Optou-se por colocar o radiador do lado de fora do container pois ao se realizar ensaios a temperatura interna do laboratório se eleva, podendo afetar o rendimento do radiador. Além disso, para evitar o calor absorvido pelas paredes do container, optou-se por colocar o radiador de forma perpendicular, conforme demonstrado nas Figura 3a e Figura 3b.



Figura 3 – a) Vista Traseira do Radiador e b) Vista Dianteira do Radiador.

Conforme apresentado na Figura 3b, uma estrutura de 500x430mm em alumínio foi fabricada, além de um braço diagonal para evitar o deslocamento longitudinal excessivo do radiador. Para aguentar a tensão cisalhante causada pelo peso do radiador, optou-se que a fixação da moldura contendo o radiador fosse presa com parafusos com 12mm de diâmetro.

Para a instalação do sistema de arrefecimento também foi necessária a adaptação do sistema de mangueiras. Uma vez que não possuíam comprimento suficiente para chegar ao lado de fora do container, foi necessário adaptá-las com novas mangueiras de 33mm de diâmetro interno e canos rígidos também com o mesmo diâmetro. Tendo em vista que as temperaturas do fluido de arrefecimento podem chegar a até 100°C, foi necessário se realizar um estudo sobre os materiais que poderiam ser utilizados para realizar a circulação da água. Durante a pesquisa, materiais como PVC e CPVC se mostraram inviáveis devido a seus limites de temperatura de operação. Já a opção do cano de cobre se mostrou inviável devido a seu custo elevado e necessidade de solda para cada conexão. Tendo isto em vista, optou-se pelo uso de mangueiras de borracha com 3mm de espessura para a parte interna

do container (Figura 4) ligadas com auxílio de abraçadeiras a tubos de aço revenido (Figura 3a) com 2mm de espessura na parte externa do container

2.3 Admissão de Ar

Para o sistema de admissão de ar do motor, julgou-se necessário a adição de uma caixa estabilizadora de ar. Esta caixa tem a função de minimizar o efeito de pulsação causado pelo motor fazendo com que o fluxo de ar para o motor seja mais constante. Isso facilita a obtenção de dados com relação a vazão mássica de ar no motor. A caixa estabilizadora, diferente do projeto apresentado previamente, foi alocada na parte superior do container. Para sua fixação foram utilizados furos de 8mm de diâmetro além de uma manta de borracha para evitar infiltração de água para dentro do container em épocas chuvosas. A Figura 4 apresenta a caixa estabilizadora utilizada no projeto.



Figura 4 – Caixa Estabilizadora sobre o Container.

Para fazer a ligação da caixa estabilizadora com o coletor de admissão do motor foi utilizada uma mangueira de 2m de comprimento e 50mm de diâmetro interno sem a necessidade de apresentar uma espessura ou material específico uma vez que o ar entra em temperaturas ambientes no motor.

2.4 Sistema de Exaustão

O processo de exaustão do motor deve ser tratado com cautela uma vez que os gases resultantes da combustão são nocivos além de serem expulsos pelo coletor de escape a altíssimas temperaturas. Outro fator que deve ser levado em conta é o ruído causado pelo funcionamento do motor que caso não seja abafado pode chegar a até 100 dB. Portanto, para que o sistema de exaustão atendesse a todos esses pré requisitos citados anteriormente, foi necessário fabricar um sistema que fosse capaz de expulsar os gases do container sem e diminuir o ruído gerado pelo motor, utilizando um material que resista a altas temperaturas.

Aproveitando a saída do coletor de escape e o flexível que seguia depois dele, foi necessário criar um sistema que pudesse ser rosqueado à mangueira flexível que seguirá para a saída do container. Um dos lados da mangueira foi conectado ao coletor de escape do motor enquanto o outro foi conectado ao sistema escapamento e abafadores disponível.

A Figura 5 apresenta a disposição externa do sistema de escape do motor. Pode-se perceber que o escapamento apresenta dois abafadores de som fazendo com que a percepção de ruídos seja atenuada drasticamente do lado externo do laboratório ao se realizar ensaios.



Figura 5 – Sistema de Exaustão.

2.5 Sistema de Alimentação

A alimentação de combustível para o motor será feita com bomba de combustível, por injeção eletrônica. O tanque para armazenamento de combustível foi adaptado para fixação no laboratório e para atender aos requisitos para o cálculo de medição de consumo.

A medição de consumo é realizada a partir da variação mássica de combustível medida por uma célula de carga. A celula de carga foi acoplada ao conteiner, através de uma estrutura de fixação e o tanque é fixo a ela por correntes de aço. A figura 6 ilustra a célula de carga utilizada.



Figura 6 – Célula de carga.

2.6 Acoplamento ao Dinamômetro

Para o acoplamento do motor ao dinamômetro foi fabricada uma flange móvel nas extremidades e feita de aço estrutural. O fator importante para concepção desta peça para o acoplamento é o torque que será aplicado a ela pelo motor. Com a conexão feita, o torque gerado pelo motor é aplicado ao dinamômetro, que será capaz de dimensionar este torque. A Figura 7 apresenta a geometria da flange de acoplamento.

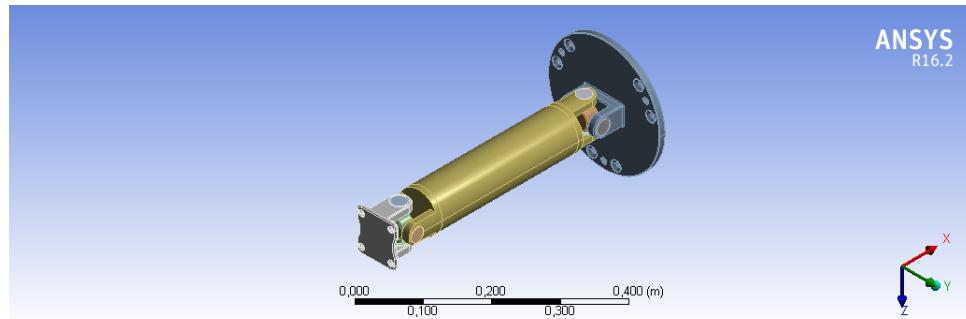


Figura 7 – Flange de Acoplamento do Motor.

O critério adotado para fabricação da flange é de suportar o torque produzido pelo motor quando o dinamômetro aciona o freio. As Figuras 8 e 9 mostram a tensão equivalente na peça quando aplicado o torque máximo e o fator de segurança, respectivamente, calculados através da simulação estrutural da peça de acoplamento.

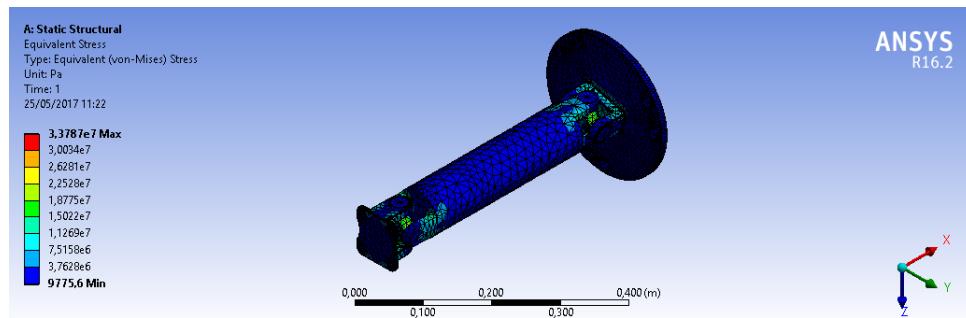


Figura 8 – Tensão Equivalente na Peça.

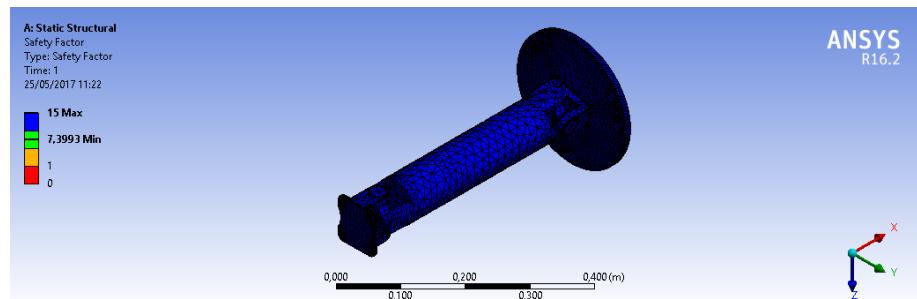


Figura 9 – Fator de Segurança.

Vale ressaltar que as simulações foram feitas considerando a extremidade de acoplamento ao dinamômetro fixa, simulando o momento de frenagem. O torque aplicado à extremidade de acoplamento ao motor foi de 88.26 N.m, valor de torque máximo para o motor em questão de acordo com tabela FIAT.

As simulações demonstraram que a tensão máxima suportada na flange será de 38.177 MPa e o fator de segurança para a operação com o torque solicitado será de 7.4. Os resultados foram satisfatórios já que comprovam que a peça não sofrerá nenhuma falha estrutural e nem será submetida ao seu limite suportado.

2.7 Projeto da Estrutura de Acoplamento do Motor

Partindo das premissas do projeto, foi desenvolvida uma estrutura para acoplamento do motor. Ela deveria suportar o peso do propulsor na análise estática e na análise dinâmica, do tipo modal, suas frequências naturais deveriam aparecer acima de 116 Hertz, frequência de oscilação do motor a 3500 rotações por minuto.

Partindo dos pontos de apoio do motor, foi desenvolvido um modelo em CAD 3D da estrutura para análise em método dos elementos finitos em software numérico. A estrutura para as análises foi simplificada a fim de redução no custo computacional. A Figura 10 apresenta o modelo descrito.

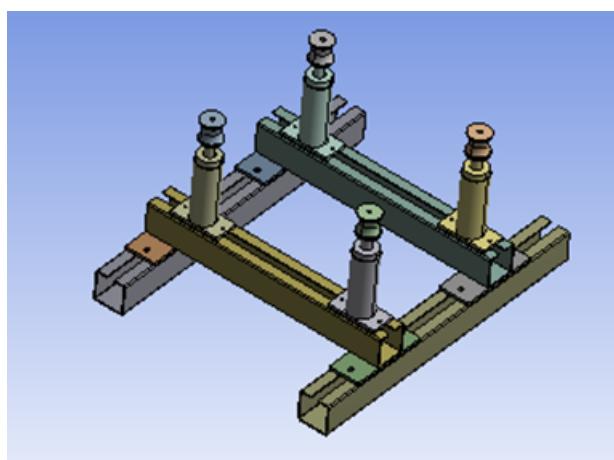


Figura 10 – Modelo simplificado da estrutura em CAD 3D para análise numérica.

O modelo da estrutura fornece liberdade de ajuste dos pontos de fixação do motor nos 3 eixos. Foram inseridos absorvedores de vibração nos quatro locais de conexão entre o motor e a estrutura. A Tabela 1 apresenta as distâncias máximas de mínimas que a estrutura possibilita para fixação do motor. Foi utilizado o extremo inferior da estrutura para comparação as medidas do eixo z.

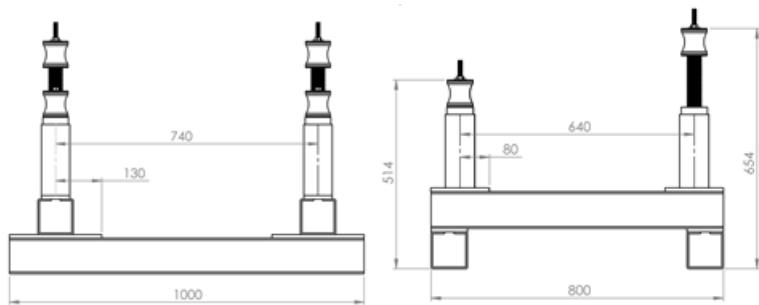


Figura 11 – Dimensionamento da Estrutura.

Tabela 1 – Liberdade para posicionamento dos pontos de fixação nos três eixos (x, y e z)

Eixo	Distância Máxima (mm)	Distância Mínima (mm)
x	260	740
y	180	640
z	514	654

Os materiais utilizados para análise numérica foram o aço carbono 1020, que possui tensão de escoamento de 210 MPa, e o polímero polietireno, com tensão de escoamento de 25 MPa.

As análises numéricas foram realizadas na plataforma Workbench do software Ansys e foi utilizado o maior grau de refino na malha.

Nas condições de contorno da análise estática, foram inseridas a gravidade do planeta Terra, a restrição total na movimentação dos dois perfis inferiores da estrutura, cujo ficam fixos ao solo, e as forças pontuais de 350 Newtons nos quatro pontos de acoplamento com o motor. Estas condições de contorno podem ser observadas na Figura 12.

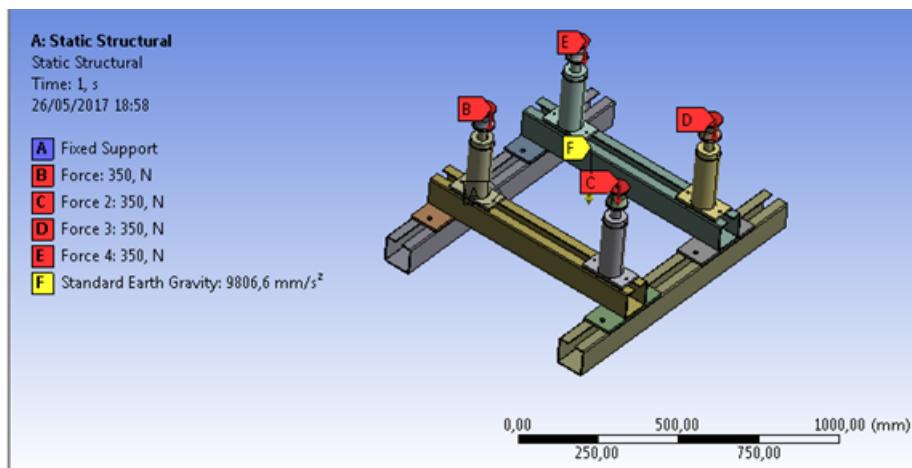


Figura 12 – Condições de contorno para a análise estática.

Na análise modal da estrutura também foi restrita a movimentação nos locais de fixação ao solo, conforme apresentado na Figura 13.

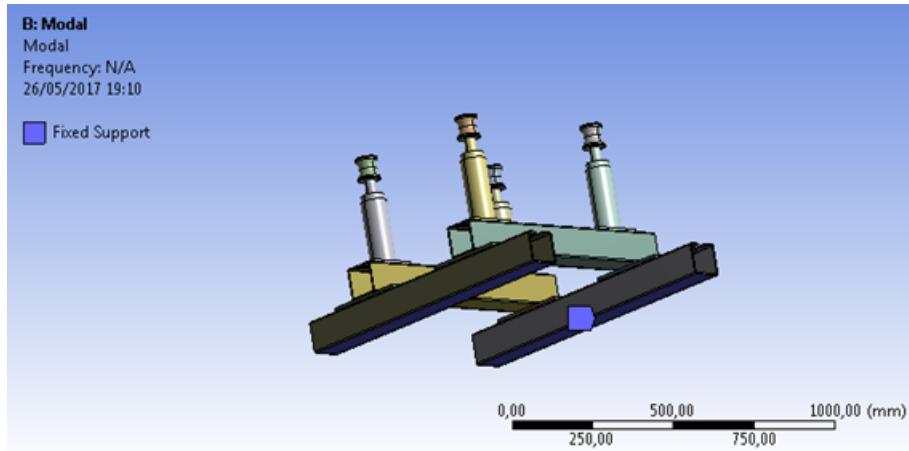


Figura 13 – Condições de Contorno para a Análise Modal.

Pela análise estática, conforme resultados nas Figuras 14, 15 e 16, a máxima tensão que a estrutura estará submetida será de XXX MPa, assim, ela estará apta a receber o peso do motor. Os locais onde estão presentes o material de menor tensão de escoamento, logo, foram onde obteve-se maior deformação da estrutura, algo já esperado, porém toda a estrutura apresenta coeficiente de segurança de, pelo menos, 15.

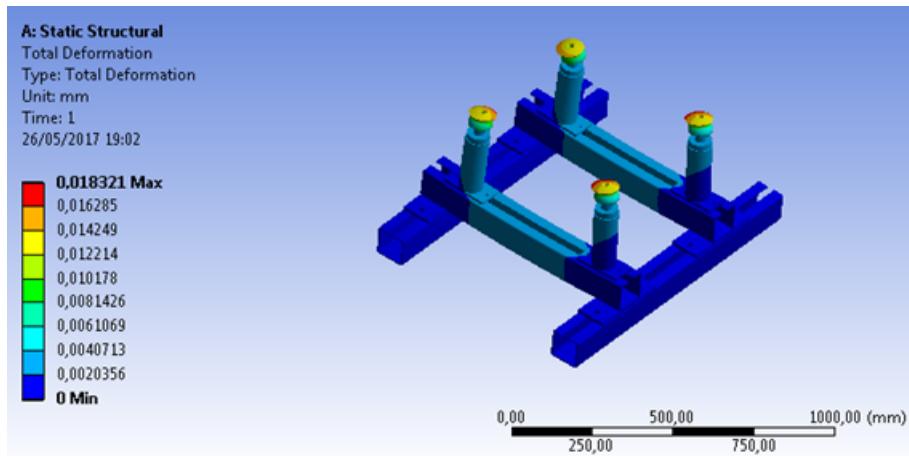


Figura 14 – Resultado de Deformação da Estrutura.

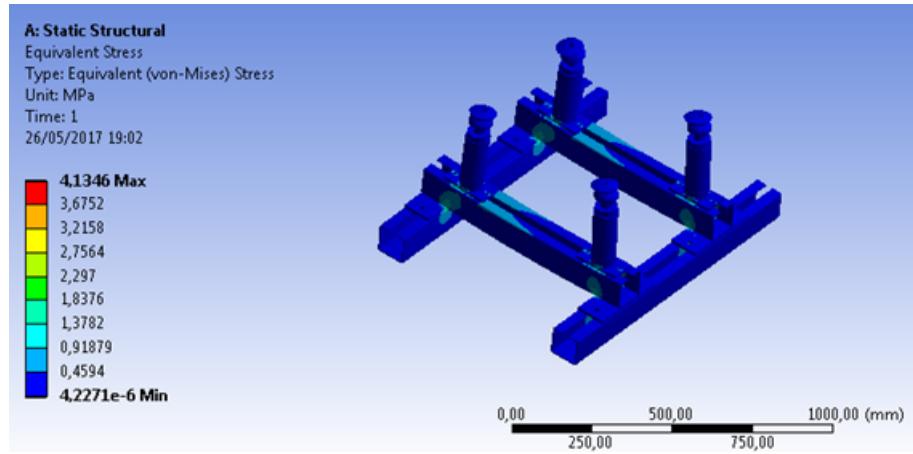


Figura 15 – Respostas de tensão equivalente da estrutura em Mega Pascal.

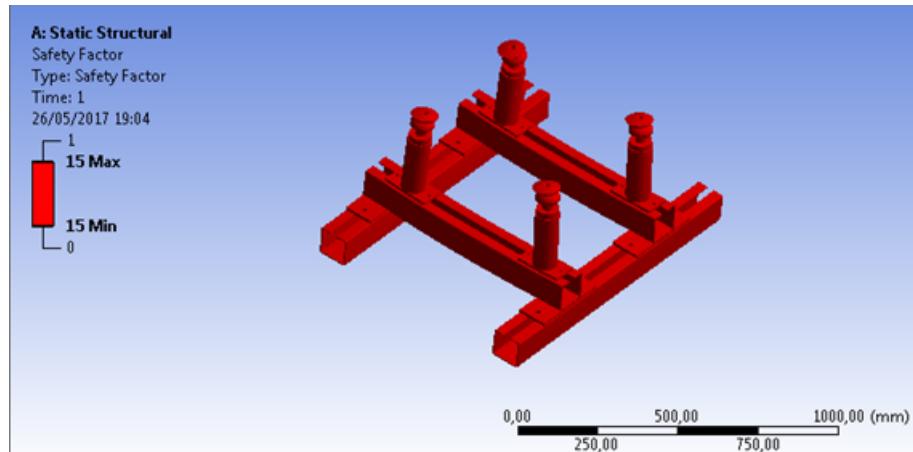


Figura 16 – Coeficiente de segurança da estrutura.

Pela análise modal, vide resultados na Tabela 2, a estrutura respondeu com sua primeira frequência natural em 128,32 Hertz. Logo, também houve aprovação neste quesito.

Tabela 2 – Frequências naturais da estrutura.

Modo	Frequência (Hertz)
1	128,32
2	128,33
3	138,11
4	178,41
5	178,57
6	208,51
7	288,22
8	288,6
9	426,53
10	458,97

3 Projeto Eletrônico

3.1 Objetivo Específico

Captar, condicionar e processar os dados obtidos através dos sensores internos e externos de um motor a combustão (FIAT 1.0 MPI), além de transmiti-los de forma precisa e sistematizada de acordo com requisitos não funcionais do SBAM (Software da Bancada de Análise de Motor)

3.2 Requisitos

O intuito de analisar eletronicamente os principais parâmetros de funcionamento de um motor implica na aplicação de um sistema de sensoriamento, tanto interno, quanto externo do motor. Com o passar dos anos e a evolução tecnológica este sensoriamento está cada vez mais completo. Os motores já saem de fábrica com uma grande oferta de sensores acoplados internamente ([VALLE et al., 2004](#)). Estes sensores variam de acordo com modelo e fabricante do motor, mas normalmente apresentam as mesmas características para um mesmo parâmetro.

Os principais parâmetros de um motor a serem avaliados são:

- Temperatura do óleo do motor;
- Temperatura do ar no coletor de admissão;
- Pressão do ar no coletor de admissão;
- Velocidade angular do eixo das árvore de manivelas;
- Posição angular da válvula borboleta;
- Fluxo de ar posterior a válvula borboleta;
- Quantidade de oxigênio presentes nos gases de exaustão.

Todos sensores que monitoram estes parâmetros já são acoplados ao motor no momento da fabricação, porém outros parâmetros importantes para análise devem ser considerados, são eles:

- Temperatura de entrada da água no radiador;

- Temperatura de saída da água no radiador;
- Temperatura dos gases de combustão;

Estes parâmetros já não possuem um sensor monitorando-os, o que faz necessária sua implementação.

A relação da temperatura da água na entrada e saída do radiador apresenta a funcionalidade do radiador, ou seja, se realmente há transferência de calor entre motor e radiador.

Todos estes sensores são passivos e emitem os dados em forma de sinais elétricos, sendo eles, alguma relação de tensão e corrente de acordo com o parâmetro a ser monitorado. Como um dos requisitos deste projeto apresenta uma interação com um software, todos estes dados devem ser processados digitalmente, o que implica na utilização de um microcontrolador para a aquisição e processamento destes sinais e transmissão dos mesmos, de modo que o software possa interpretá-lo de forma fiel e precisa.

O sinal que varia mais rapidamente em relação ao tempo é a velocidade angular das árvore de manivelas ou simplesmente o RPM (rotação por minuto) do motor, pois os sinais de temperatura e posição angular da válvula borboleta não variam tão rapidamente. O motor a ser analisado apresenta rotação máxima entre 6000 e 7000 rpm, transcrevendo isto para o domínio da frequência significa que a frequência máxima lida pelo sensor é de aproximadamente: 7000 rotações a cada 60 segundos.

$$f = \frac{7000}{60} \cong 117\text{Hz} \quad (3.1)$$

Com isso adotando-se o critério de *Nyquist-Shanon* (DINIZ; SILVA; NETTO, 2014) a taxa mínima de amostragem deste sinal sem perda de informação é dada pelo dobro da frequência máxima do sinal amostrado, evitando o efeito de *Aliasing* (DINIZ; SILVA; NETTO, 2014). Portanto para estabelecer este critério o *clock* mínimo do microcontrolador deve ser de 234 Hz.

Além disso tendo em vista que são ao total 10 sensores o microcontrolador deve ter ao menos 10 pinos GPIO (*General Pruporse Inputs/Outpus*) para que o mesmo tenha acesso ao barramento com os dados do sensor.

Por via de segurança é cabível que o usuário não esteja próximo ao motor no momento em que o mesmo esteja funcionando, portanto, uma aplicação via software para realizar a partida do motor, além do controle de velocidade, também abrange este projeto.

3.3 Implementação

Tendo em vista a quantidade de sensores a serem analisados e o estado crítico do controle do sistema de partida e aceleração do motor, cada um destes sistemas (aquisição de dados, controle) terá um microcontrolador dedicado que serão estruturados e organizados a partir de um servidor.

3.3.1 Sistema de Aquisição

Todo sistema de aquisição a ser implementado pode ser dividido em 4 módulos, apresentados na figura 17

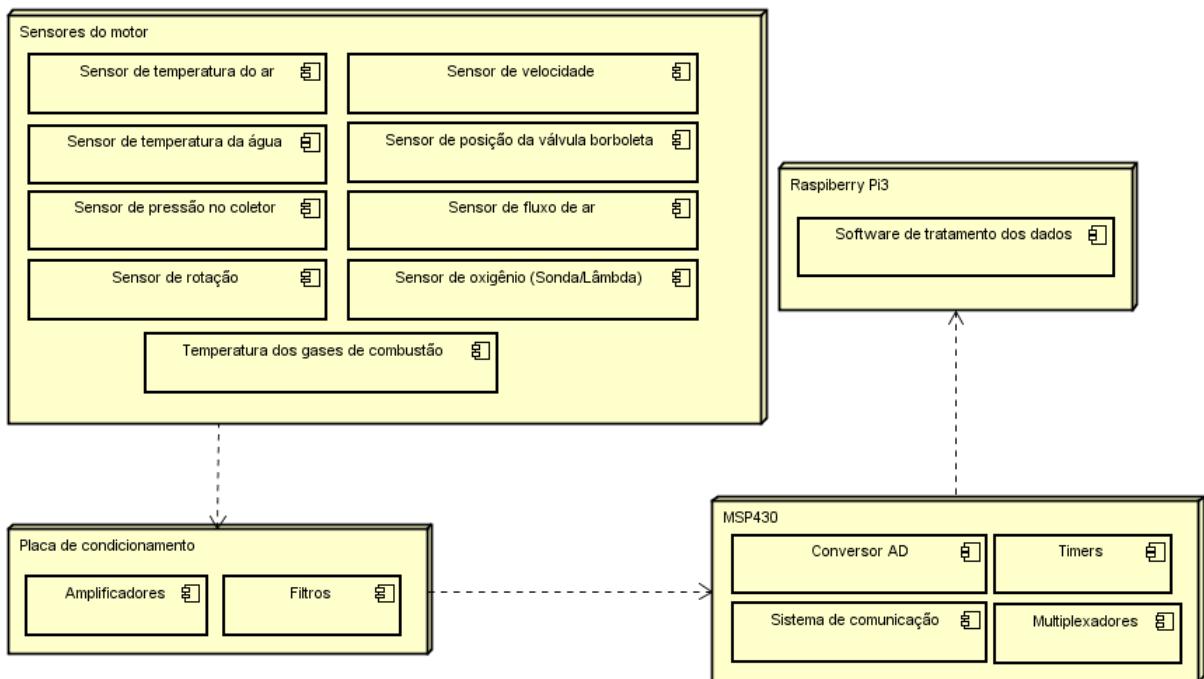


Figura 17 – Diagrama de aquisição de dados

3.3.1.1 Sensores

Os sensores utilizados internamente no motor apresentam características específicas apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Principais sensores internos de um motor

Parâmetros	Tipo de Sinal Gerado	Tipo de sensor	Descrição
Temperatura do óleo	Analógico	Termistor (NTC)	Monitora a temperatura do óleo no motor
Temperatura do ar	Analógico	Termistor (NTC)	Monitora a temperatura do ar no coletor de admissão
Temperatura da Água	Analógico	Termistor (NTC)	Monitora a temperatura do líquido de arrefecimento do motor
Pressão no Coletor	Digital	Pressão diferencial	Monitora a pressão do ar no coletor de admissão
Rotação	Digital	Sensor Indutivo	Mede velocidade angular do eixo das árvore das manivelas
Velocidade	Digital	Sensor Indutivo	Mede velocidade angular do eixo posterior a transmissão
Posição da válvula borboleta	Analógico	Potenciômetro Linear	Monitora a posição angular da válvula borboleta
Fluxo de Ar	Analógico	Potenciômetro Linear	Monitora o fluxo de ar posterior a válvula borboleta
Oxigênio (Sonda/Lambda)	Analógico	Eletrodos de platina separados por óxidos ativos TiO ₂ e ZrO ₂	Monitora a quantidade de oxigênio presente nos gases de exaustão

Tabela 4 – Sensores a serem implementados. Fonte: Autores

Parâmetros	Tipo de Sinal Gerado	Tipo de Sensor	Descrição
Temperatura de entrada da água no radiador	Analógico	Termopar (K)	Monitora a temperatura de entrada da água no radiador
Temperatura de saída da água no radiador	Analógico	Termopar (K)	Monitora a temperatura da água na saída do radiador
Temperatura dos gases de Combustão	Analógico	Termistor (NTC)	Monitora a temperatura dos gases de combustão no sistema de escape

- **Termistor (NTC):** A função deste sensor é medir a temperatura do óleo, da água do motor e do ar no coletor de admissão, transmitindo ao painel da bancada a temperatura destes parâmetros. Este sensor funciona pelo conceito de resistência variável, O termistor NTC (*Negative Temperature Coeficient*) apresenta uma relação negativa entre a resistência e a variação a temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura menor será a resistência. Estes sensores apresentam taxa de erro de aproximadamente 1% , podendo atuar entre -55° e 150°. Neste projeto por se tratar de um sistema crítico, devido aos riscos de acidente, este tipo de sensor foi o escolhido, pois atende a todos os requisitos onde, possui uma pequena faixa de erro, possui um baixo custo e atua dentro das temperaturas a serem lidas, onde a maior temperatura a ser lida é de até 110° que é a temperatura do óleo do motor([VDO, 2014](#));
- **Termopar:** É um sensor utilizado para a medição de temperatura. Ele é feito utilizando dois metais diferentes ligados por suas extremidades. Quando há uma diferença de temperatura entre a extremidade unida e as extremidades livres, verifica-se o surgimento de uma diferença de potencial que pode ser medida por um voltímetro. Normalmente a saída é dada em microvolts, por isso, precisamos da placa de condicionamento para amplificação desse sinal. Nesse projeto, foi escolhido esse sensor devido ao sua capacidade de ler uma faixa de temperatura considerável e por sua construção física permite a leitura de temperatura em meios fluidos. Necessária para essa aplicação ([VDO, 2014](#)).
- **Sensor Indutivo:** Fornece ao módulo um sinal elétrico que possibilita a medição do número de rotação. O sinal gerado pelo sensor é obtido pela variação do fluxo magnético. Com a rotação do motor, os dentes da roda dentada passam pelo sensor e este fornece um sinal de tensão a cada passagem dos dentes ou ressaltos. Este sensor já é um ítem embutido no motor utilizado no projeto([VDO, 2014](#)).

- **Potênciometro Linear:** Utilizado para captar a posição da válvula borboleta o potênciometro atua na variação da resistência de acordo com a variação da posição de um eixo que é rotacionado Escolhido para esse projeto pois se adequa com simplicidade à variação de posição que se deseja obter para permitir análise de dados nessa bancada([VDO, 2014](#)).
- **Pressão Diferencial:** Sensor MAP funciona medindo pressões através de manômetros e transformando em medidas de sinais elétricos. Normalmente utilizado para informar a pressão absoluta no coletor de admissão no motor de combustão interna ([VDO, 2014](#)).
- **MPX5700:** é um sensor de pressão condicionado com temperatura compensada e calibrada, desenvolvido para uma vasta gama de aplicações. Mas particularmente às que incluem microcontroladores ou microprocessadores com entradas analógicas/digitais. Atendendo aplicações de 0 a 7.14 bar, podendo ser elas medições de pressão de ar, água ou vácuo([SEMICONDUCTOR, 2012](#)).

3.3.1.2 Microcontrolador

Analizando os tipos de sensores das tabelas [3](#) e [4](#), levando em consideração os tipos de sinais de saída e a quantidade de parâmetros a serem analisados, o microcontrolador selecionado para realizar a aquisição e processamento destes sinais foi a MSP430 (*Texas Instruments*), pois esta apresenta as seguintes características relevantes para este projeto ([INSTRUMENTS, 2004](#)):

- 8 portas I/O digitais;
- *Clock* principal 16 MHz, possibilitando um tempo hábil para processamento de instruções e sinais;
- 2 conversores A/D, sendo 1 de 10 bits e 1 de 12 bits;
- Baixo consumo de energia, sendo da ordem de μW (micro Watts) atuando no modo de baixo consumo;
- Portas configuráveis como UART, o que possibilita a utilização de um protocolo de comunicação serial.

A análise para seleção do microcontrolador foi feita baseada nos requisitos determinados anteriormente e o custo do dispositivo, tendo em vista que para a implementação do projeto a MSP430 já era um dos recursos disponíveis, sendo então necessária apenas a análise com relação à demanda dos requisitos.

Este microcontrolador atua com níveis de tensão 0 - 3.3V, entretanto, alguns dos sensores apresentam níveis de tensão muito baixo, na ordem de μ V, o que dificulta o tratamento destes sinais, onde há grande probabilidade de erro de leitura, levando em consideração ruídos e interferências. Com isso, faz-se necessária a implementação de um circuito de condicionamento de sinais, amplificando sinais muito baixos e removendo os ruídos, para assim então realizar uma leitura mais precisa no microcontrolador.

3.3.1.3 Placa de condicionamento

O condicionamento do sinal de saída dos sensores é necessário para poder interfaceá-lo com os outros elementos do sistema e tornar assim, sua leitura comprehensível para o usuário.

O condicionamento de sinal passa por várias etapas: amplificar, filtrar e equalizar o sinal para que este ganhe níveis de tensão adequados, com boa relação sinal/ruído e distorção harmônica mínima. A aquisição do sinal analógico culmina na sua amostragem e posterior conversão analógica digital (A/D) ([CASSIOLATO, 2017](#)).

De acordo com estudos apresentados pela National Instruments ([INSTRUMENTS, 2012](#)), condicionar um sinal consiste em: amplificar, atenuar, excitar, isolar, filtrar, linearizar, aplicar compensação de junção fria e a configuração de ponte. Porém a maioria dos sensores necessitam somente de amplificação, isolação, filtragem, linearização e excitação, dependendo do seu comportamento.

Abaixo uma pequena contextualização quanto aos conceitos que mais são utilizados com os tipos de sensores deste aplicação:

- **Amplificação:** Consiste no aumento do nível de tensão para alcançar a faixa em que o conversor ADC atua, aumentando assim a sensibilidade e resolução do sinal lido. Com exemplo de circuito na Fig [18](#).
- **Isolação:** É necessária para que o sinal provindo do sensor não ocorra de danificar o resto do sistema. “Separa” fisicamente o dispositivo de medição, utilizando técnicas como, transformadores, acopladores óticos ou capacitivos.
- **Filtragem:** Os filtros rejeitam ruídos indesejados dentro de uma determinada faixa de frequência, podendo ser adicionado ao circuito um filtro passa-baixas, passa-altas, passa-faixas ou até mesmo um filtro anti-aliasing, para bloquear ruídos de frequências indesejadas ou para atenuar sinais acima da frequência de *Nyquist*.
- **Linearização:** Quando os sensores produzem sinais de tensão ou corrente que não são linearmente relacionados com a medição física, é preciso linearizar este sinal. Estes processo podendo ser realizado por meio de condicionamento físico do sinal ou por software.

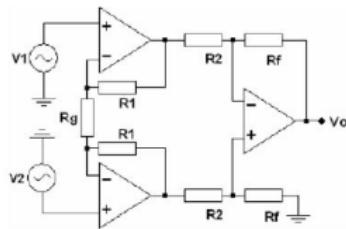


Figura 18 – Amplificador de Instrumentação (CASSIOLATO, 2017)

Na figura 18 é representado um modelo de amplificador de instrumentação, constituído em um circuito de ganho definido pelas relações entre as resistências. A tensão de saída é definida pela diferença de potencial entre as entradas e o ganho relacionado às resistências. Tal cálculo pode ser deduzido pela análise nodal junto das propriedades de amplificadores operacionais, sobre as tensões nas entradas e a relação com a saída.

3.3.2 Sistema de Controle

O controle do sistema é realizado de forma semelhante à mostrada na Figura 19. Os sensores e atuadores são conectados no motor para realizar as medições.

No caso da medição, somente a leitura do valor da saída do sensor não é suficiente para completa leitura por parte do microcontrolador. Para isso é necessário o condicionamento destes sinais, só assim, serão enviados para conversão analógica digital e processados pelo algoritmo de controle.

Na nossa aplicação é desejado o controle da aceleração e da ignição de forma eletrônica. Para isso temos o atuador que recebe um sinal condicionado do microcontrolador e realiza tarefa desejada. Em algumas situações o conversor de potência é requisitado, visto que o sinal fornecido pelo microcontrolador não tem amplitude suficiente para afetar o processo alvo.

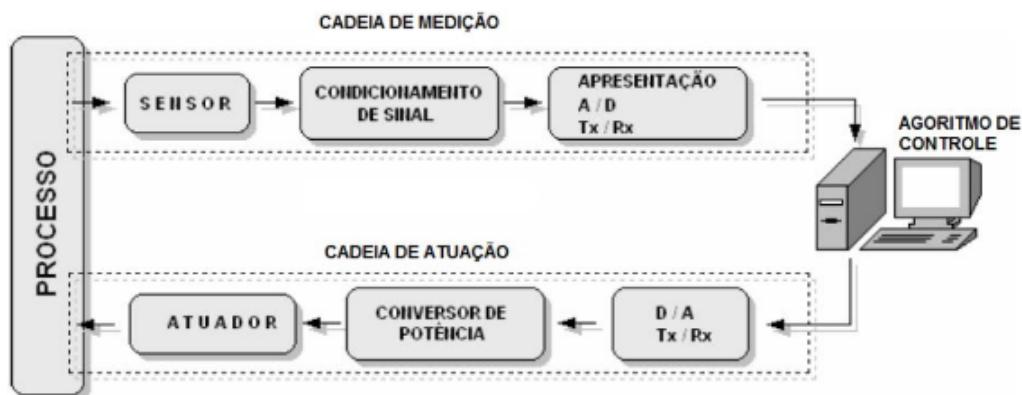


Figura 19 – Cadeia de Medição e Atuação em Sistemas de Controle (CASSIOLATO, 2017)

3.3.3 Sistema de Comunicação

3.3.3.1 Protocolo de comunicação I2C

O protocolo de comunicação I2C foi criado em 1996 pela philips ([BENINCASA; CAMARGO, 2011](#)) com o objetivo de conectar periféricos de baixas velocidades a placa-mãe, microcontroladores, entre outros. Este protocolo descreve o funcionamento de um barramento de comunicação serial que utiliza apenas dois fios para trafegar informações. Para que a informação possa trafegar entre os dois componentes, é necessário que a unidade de controle e os periféricos possuam implementação e suporte I2C, seja essa implementação feita via hardware ou software. O protocolo I2C possui dois tipos de dispositivos, Mestre e *Slaves*. O Mestre é a unidade responsável por coordenar todos os periféricos (*Slaves*). Dessa maneira, o mestre sempre verifica se existe um *Slaves* na rede e caso exista, ele responde, começando assim, a transferência de dados. Neste projeto como é a raspberry Pi 3 que é responsável por realizar o processamento dos dados para gerar a informação final figura ??, é considerada então o mestre, pois é a raspberry a responsável por controlar o sistema de comunicação com ambas MSP430, tanto de controle, quanto a de aquisição.

3.3.4 Custos

A tabela 5 apresenta os custos dos componentes a serem utilizados na parte eletrônica do projeto da bancada. Tais valores podem sofrer ajustes e foram consultados através dos links apresentados na tabela no período de 15 a 30 de março de 2017.

Tabela 5 – Custos dos componentes

Componente	Preço(Unidade)	Quantidade	Loja: Links para consulta
AD595	R\$:87,00	6	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-712124692-ad595-thermocouple-amplifier-circuito-integrado-JM?source=gps
Sensor De Pressão Mpx5700	R\$ 60,00	6	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-708718648-sensor-de-presso-mpx5700-para-arduino-pic-e-etc-JM?source=gps
Kit para Placa de Circuito Impresso	R\$: 65,00	1	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-715578391-kit-p-confeccionar-placa-de-circuito-impresso-suekit-ck-3-JM
Placa de Circuito Impresso	R\$:11,39	2	http://www.huinfinito.com.br/placas-circuito-impresso/636-placa-fenolite-virgem-face-simples-20x20cm.html?search_query=circuito+impresso&results=12
MSP430	R\$:85,00	2	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-842870672-microcontrolador-msp430-hercules-launchpad-JM
Raspberry Pi	R\$:189,98	1	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-810455120-novo-raspberry-pi-3-model-b-pi3-quadcore-12ghz-top-JM
Termopar tipo K (Temp. agua radiador e ambiente)	R\$ 15,80	6	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-835569184-termopar-tipo-k-sonda-1-metro-ponta-rosca-6mm-JM?source=gps
Total	R\$: 460,16	125	

3.4 Materiais e Métodos

Os materiais utilizados no projeto são:

- Protoboard
- Jumpers
- Adaptador SMD DIP8
- Sensor de Pressão Diferencial MPX5700
- Compensador de Junta fria e Conversor A/D MAX6675
- Termopar tipo K

- Capacitores (1uF, 0.01uF, 0.1uF)
- MSP430
- Raspberry Pi
- Kit Circuito Impresso
- Placa para Circuito Impresso

3.5 Descrição dos Componentes

Alguns dos componentes tem sua descrição detalhada dispensável como a Protoboard, Jumpers, capacitores, microcontroladores e o adaptador para o C.I. que foi utilizado somente para acoplá-lo corretamente à protoboard e realizar testes antes de confeccionar o circuito final, vista a diferença na dimensão do C.I (SMD) para o acoplamento da protoboard (DIP). A seguir serão apresentados os mais relevantes para o bom entendimento da composição e funcionamento deste subsistema.

3.5.1 Sensor de Pressão Diferencial MPX5700

Este sensor, ilustrado na Figura 20 nada mais é que um transdutor piezoresistivo com leitura diferencial de pressão, compensação de temperatura e ganho definido. Apresenta um erro máximo na leitura de 2.5% dentro da temperatura de operação (0 - 85 graus Celcius) e ideal para aplicações com microcontroladores embarcados. A faixa de

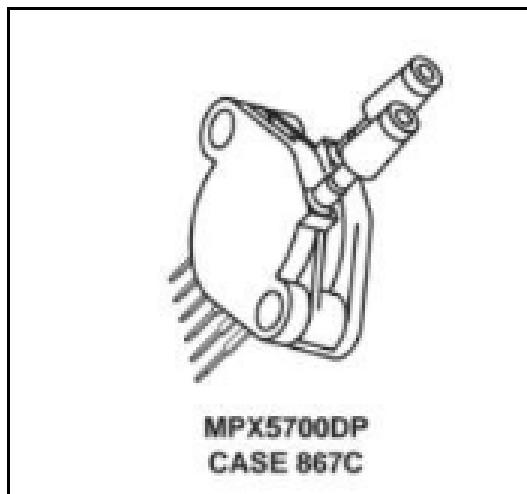


Figura 20 – Sensor de Pressão Diferencial

leitura de pressão é de 15 a 700KPa (2.18 a 101.5psi) com saída analógica de 0.2 a 4.7V. Considerando que a entrada diferencial representa a pressão ambiente, a saída mínima representa este valor. Caso a entrada seja isolada, se obtém a pressão absoluta da entrada

analizada. Por ser um sensor ativo, a alimentação necessária é por padrão 5V mas permite o correto funcionamento entre 4.75V – 5.25V. Pode-se também utilizar uma alimentação inferior, que em questão será de 3.3V, porém deve-se observar a correspondência com a saída. Tal relação é observada na eq.(3.2).

$$V_{out} = V_s * (0.00369 * P + 0.04) + 2.5\%V_{out} \quad (3.2)$$

Sendo P a pressão que se deseja obter, V_{out} a tensão de saída do sensor e V_s a tensão de alimentação. A sensibilidade do sensor é definida a partir da variação da saída em tensão em relação à entrada. Que consiste em 6.4mV a cada KPa de entrada. Quanto às características físicas, possui 6 pinos, porém somente 3 são utilizados, que são correspondentes à alimentação, referência e saída. As entradas são duas, diferenciais, sendo uma a referência absoluta e a outra a que se deseja ser analisada. Sua curva característica pode ser observada na Figura 21 .

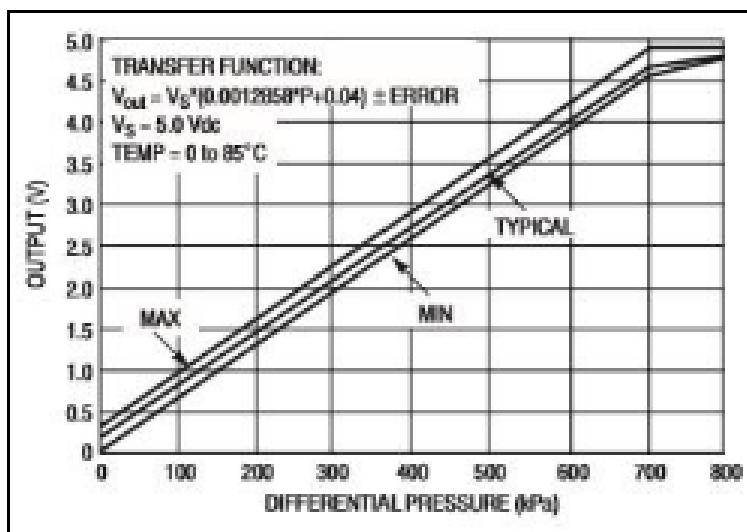


Figura 21 – Curva característica do MPX5700.

3.5.2 Compensador de Junta Fria e Conversor A/D MAX6675

O MAX6675 realiza a compensação de junta fria necessária para ler com coerência a diferença de tensão na saída do termopar. Também converte para digital esta tensão diferencial de saída com resolução de 12 bits e permite um passo de 0.25 graus Celsius dentro da faixa de 0 a 700 graus com precisão. É especificamente utilizado em aplicações microcontroladas e acoplado a termopares tipo K. Sua ligação física é mostrada na Figura 22, sendo compatível com o microcontrolador a ser utilizado neste projeto. A resolução do sensor associada ao circuito é de $41 \mu\text{V}$ por grau Celsius com um erro máximo de 3 graus por leitura. Tornando então a ideia de uma média das leituras viável para obter o valor mais próximo ao real. Esta leitura leva em consideração que a temperatura da

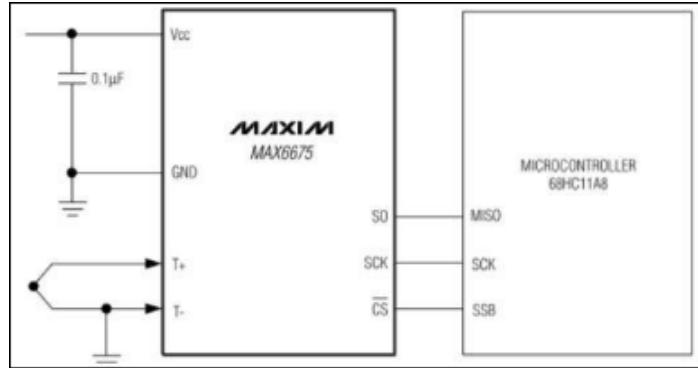


Figura 22 – Circuito para Sensor de Temperatura.

junta na extremidade do termopar se encontra a mesma da temperatura ambiente. Caso contrário deve-se subtrair estes valores e multiplicar pelo valor da saída para compensar o erro na leitura. Alimentado com 3.3V, considerando a possibilidade de 3 – 5V, a o erro pode chegar até 5 estados lógicos e a constante de conversão do termopar é de $10.25 \mu\text{V}$ por estado lógico. Uma visão interna do C.I. pode ser observada na Figura 23 .

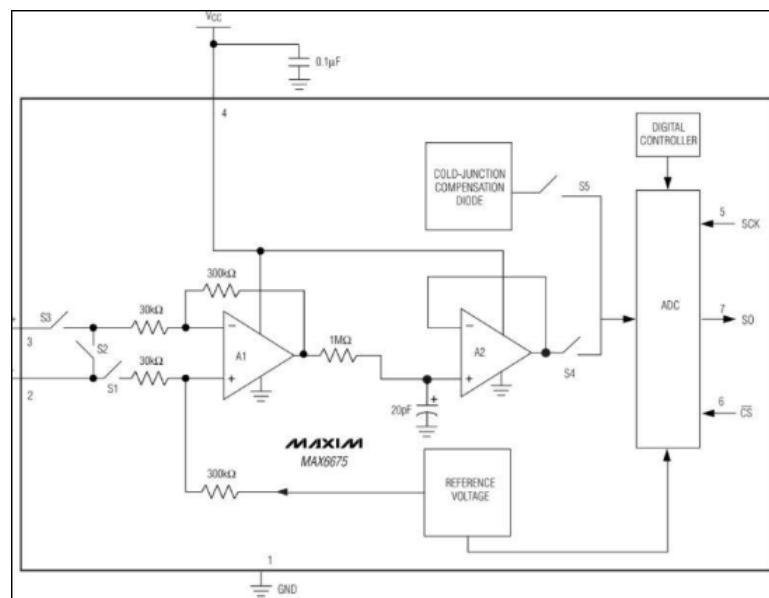


Figura 23 – Circuito interno max6675.

3.5.3 Termopar tipo K

O termopar é um sensor de temperatura simples e de vasta aplicação. Consiste basicamente em dois metais distintos de duas junções e unidos em uma das pontas. Quando há diferença de temperatura entre a junção unida e a separada gera uma diferença de tensão entre as duas pontas separadas. Tipo K define o tipo de material que, neste caso permite leituras de temperatura de aproximadamente -270 a 1200 graus Celcius. Todos os componentes obtidos são apresentados nos anexos deste documento.

3.6 PROCEDIMENTOS PARA FUNCIONAMENTO DOS SENsores

Para iniciar os testes com os sensores um protótipo do circuito final impresso é projetado na protoboard para certificar que tudo está funcionando como esperado e realizar alguns ajustes. Após concluída esta etapa o acoplamento dos sensores no motor deve ser realizado e por fim o circuito final desenvolvido para que possa então permanecer em funcionamento permanente na bancada. Abaixo serão apresentados alguns dos avanços já realizados:

- Foram adquiridos os sensores de pressão, de temperatura, os capacitores necessários para montagem do circuito e o circuito integrado para condicionar e converter o sinal de saída do termopar de analógico para digital.
- Com o sensor de pressão foi montado o circuito mostrado na Figura 24 e testada a variação de tensão na saída com o auxílio de uma seringa. Observando corretamente a variação linear de tensão de saída, que é regida pela eq. (3.2)

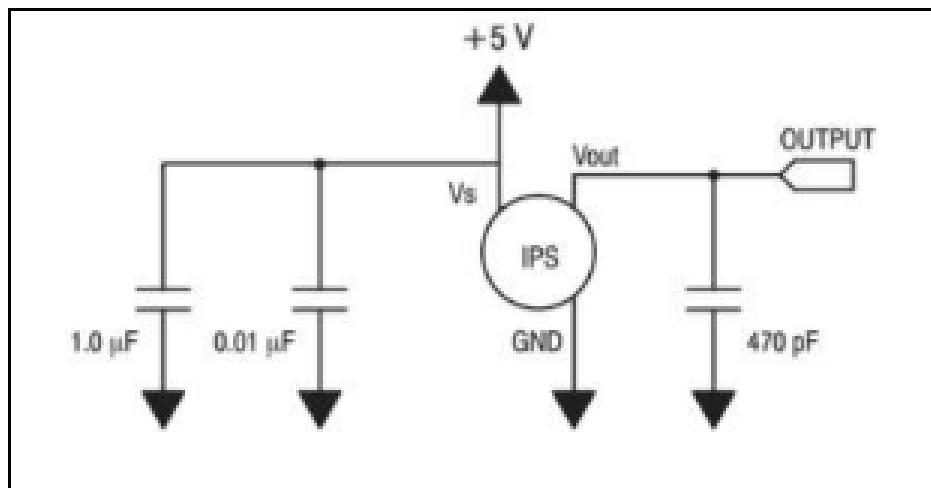


Figura 24 – Circuito para MPX5700.

- Este sensor diferencial de pressão possui saída analógica, necessitando então de uma conversão para correta apresentação digital dos seus dados. Conversão não necessária para o sensor de temperatura visto que o sinal adquirido será digital.
- Após a conversão dos dados é necessário transmitir os mesmos para introduzi-los à interface com o usuário e assim realizar a análise dos dados adquiridos.

Tanto a conversão quanto a transmissão foram realizadas com sucesso seguindo exatamente o fluxograma da Figura 25. Os procedimentos futuros para que se possa concluir o

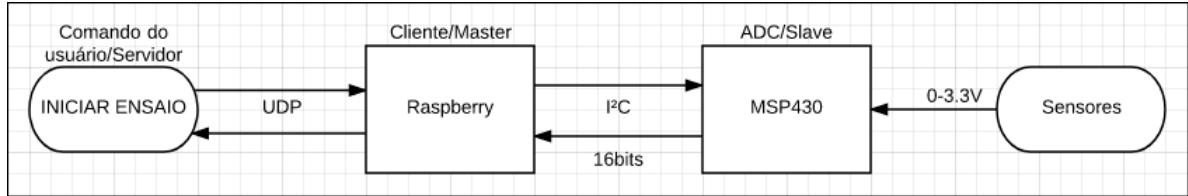


Figura 25 – Fluxograma de conversão e transmissão de dados dos sensores.

objetivo de coletar, tratar e apresentar os sinais relevantes, obtidos do motor, para análise de seu funcionamento são:

- Realizar testes de funcionamento do termopar com o circuito integrado acoplado;
- Calibrar os sensores;
- Ler os valores de saída dos sensores a partir do microcontrolador;
- Calcular a conversão de tensão para as grandezas que se deseja obter;

3.7 PROCEDIMENTOS PARA CONTROLE DO MOTOR

O sistema de controle de acionamento e aceleração do motor é composto principalmente pelo sistema de comunicação entre raspberry e msp430 via I²C. O fluxo do sistema parte do acionamento do usuário pela aplicação que inicia um comando de uma requisição de escrita da raspberry em um registrador da msp430, se o valor enviado for igual o valor pré-definido para executar a operação uma das portas digitais recebe nível alto acionando o optoacoplador que sequencialmente aciona a contadora para acionar o motor de partida. Quando o motor inicia a combustão os eixos do motor são acionados gerando então pulsos no sensor de giro, este sensor é conectado a uma porta de entrada da msp430 para definir o início da combustão, quando esta porta recebe algum valor diferente de 0V a msp430 corta a alimentação do motor de partida, desacionando a contadora. Para o controle de aceleração o sistema será binário (aceleração total ou totalmente desacelerado). Assim como o sistema de acionamento, o fluxo do sistema de aceleração parte de um comando do usuário que inicia uma requisição de escrita da raspberry na msp430 se o valor de escrita for igual ao valor pré-definido, a msp430 configura uma de suas portas para uma saída PWM(*Pulse Width Modulation*) que habilita a rotação do servomotor em 90° fazendo a abertura total da válvula borboleta. A desaceleração é realizada pelo mesmo comando do usuário, seguindo o mesmo fluxo descrito.

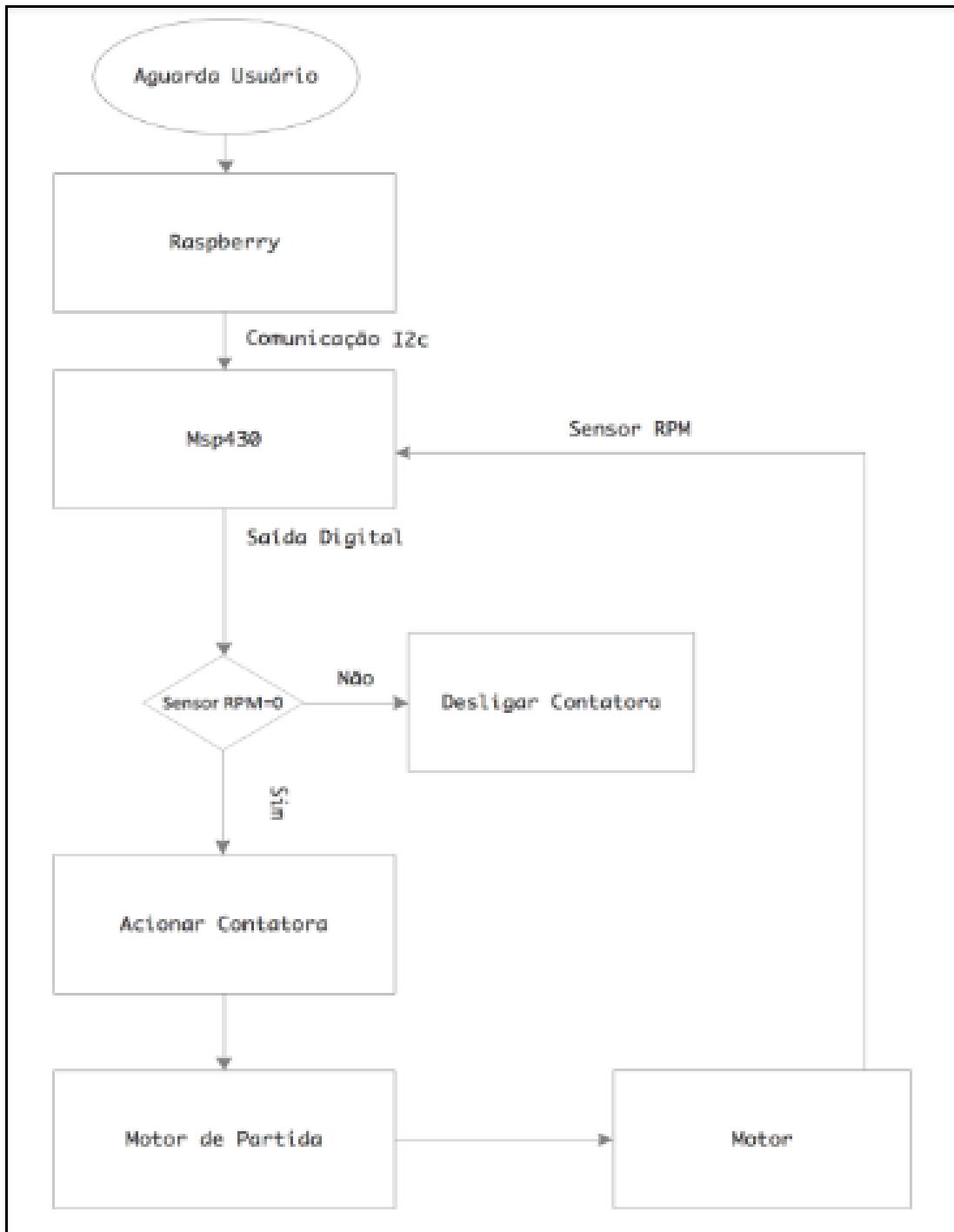


Figura 26 – Fluxograma de Acionamento do Motor

3.8 PROCEDIMENTOS PARA CONVERSÃO E TRANSMISSÃO DE SINAIS

Ao total são 6 sensores analógicos que necessitam de conversão para realizar o tratamento e disposição digital. O sistema de conversão e transmissão de dados são posteriores ao condicionamento dos sinais. O msp430 possui 8 canais para conversão

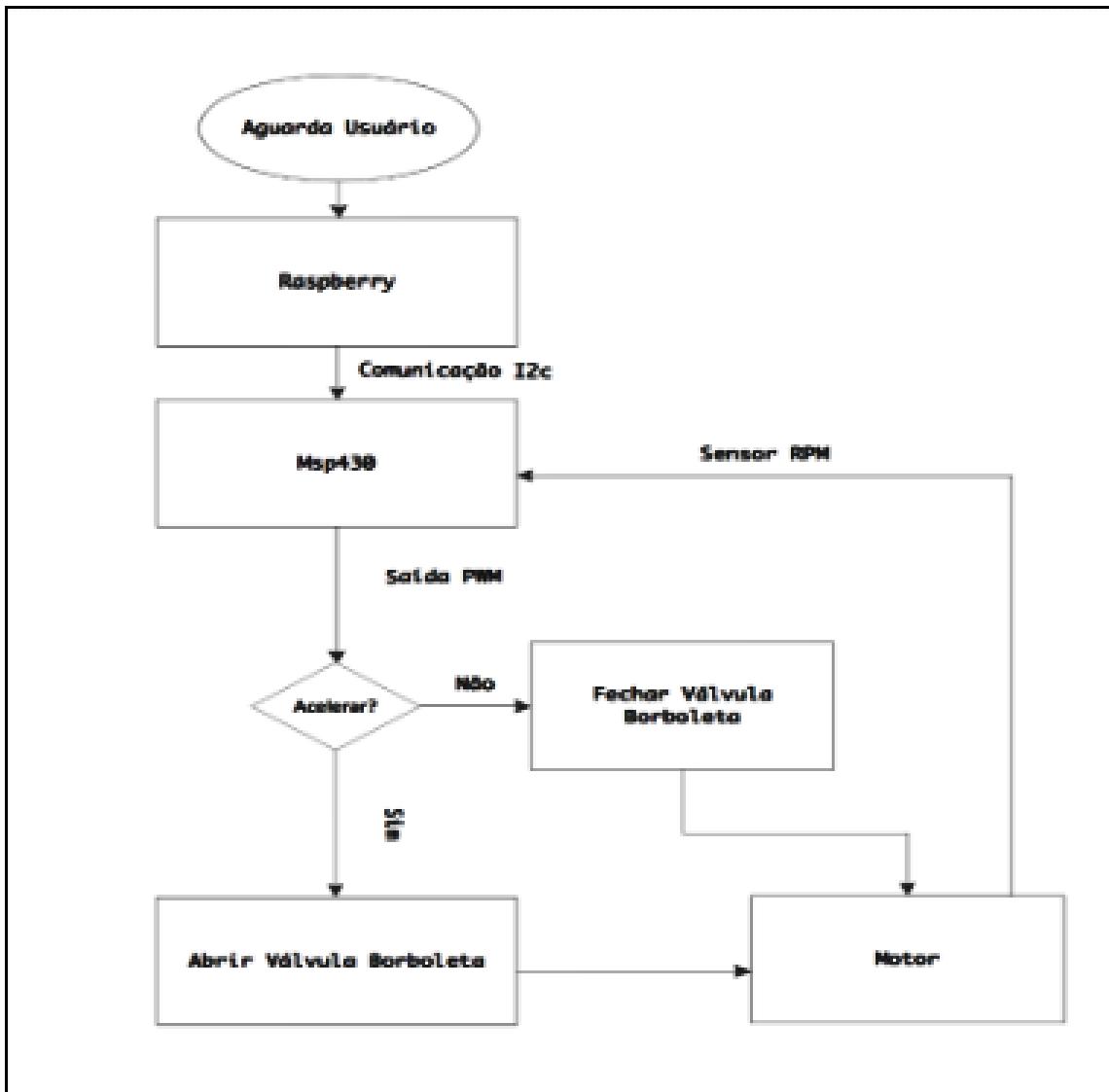


Figura 27 – Fluxograma de Aceleração/Desaceleração do Motor

ADC(*Analogic to Digital Conversor*) conversão múltiplas. Para o projeto, serão utilizados 6 canais, tendo em vista o número de sensores analógicos presentes no projeto. O conversor ADC foi configurado para atuar no modo de múltiplas conversões que dessa forma, inicia a conversão no canal mais significativo (no caso canal A6 - 1 por sensor) até o conversor menos significativo (A0). Além disso, o conversor possui uma resolução de 10 bits. Como os valores de tensão estão em uma faixa entre [0, 3.3] volts a precisão do conversor é dado por:

$$precisão = \frac{3.3}{2^{10}} \quad (3.3)$$

Os valores de tensão convertidos em palavras binárias apresentam valores inteiros entre 0 e 1023, onde 1023 representa a tensão máxima de 3.3V. O sistema de comunicação I²C realiza a transmissão de 1 byte por vez, como o conversor é de 10 bits, a transmissão de uma palavra referente a um sensor necessita então de dois bytes. Portanto, se cada 2 bytes

representam um valor de um sensor, portanto 6 sensores representam um total de:

$$\text{total de bytes por conversão} = (2 * 6) \text{bytes} = 12 \text{bytes} \quad (3.4)$$

O conversor é configurado para realizar continuamente as conversões dos 6 canais, assim que o usuário executa o comando “START” que aciona o motor. A conversão destes 6 canais são armazenados em uma variável de tamanho 12 bytes, armazenando o valor das 6 conversões. Quando o usuário executa o comando “INICIAR ENSAIO” inicia-se a comunicação I²C entre raspberry e msp430. A taxa de transmissão é configurada através de um timer que configura a taxa de transmissão em 100Kbits/s ou então 12.5Kbytes/s. Esta taxa de transmissão garante que não haja violação de *setup* ou violação de *hold*, fazendo com que não haja perda de informação ou encavalamento de bits. Como a variável que contém o valor de todos os sensores possui tamanho de 12 bytes o tempo estimado para transmissão é dado por:

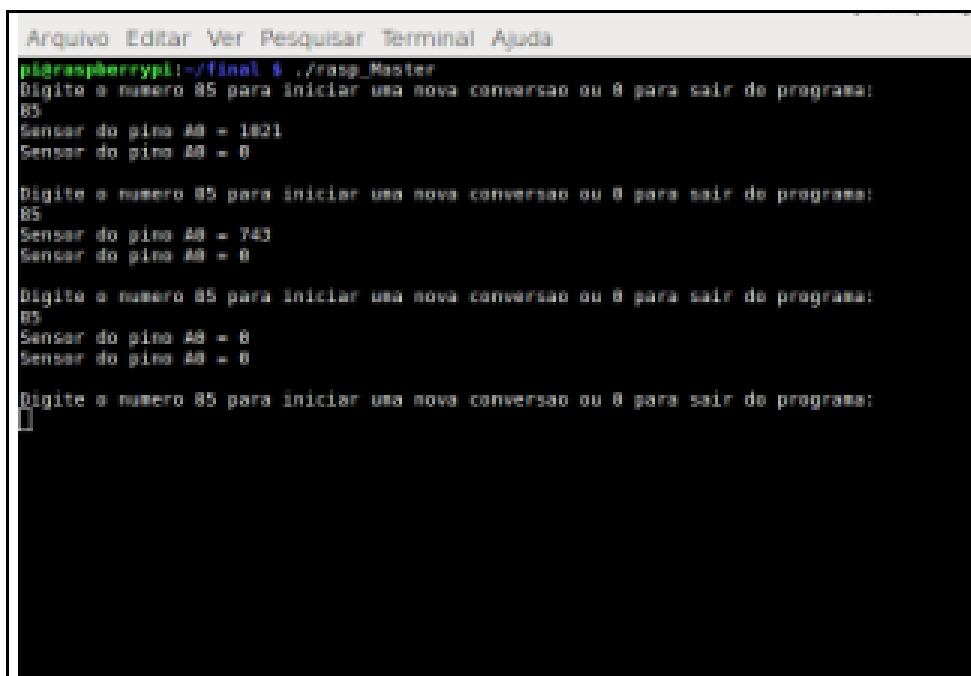
$$\text{tempo de transmissão} = \frac{12 \text{bytes}}{12.5 \text{Kbytes/s}} = 960 \mu\text{s} \quad (3.5)$$

Este é o tempo para transmitir a informação, porém na configuração I²C ainda são transmitidos, condição de start, condição de parada, endereço, dados, condição de parada, totalizando um total de 24 bits ou 3 bytes. Portanto para transmitir todos os valores são transmitidos um total de $3 * 12 \text{bytes} = 36 \text{bytes}$, portanto o tempo total de transmissão é dado por:

$$\text{tempo total de transmissão} = \frac{36 \text{bytes}}{12.5 \text{Kbytes/s}} = 2.88 \text{ms} \quad (3.6)$$

A taxa de conversão dos sensores obedecendo o critério de Nyquist é configurado para uma taxa de 1KHz ou 1000 amostras/s sabendo que o sinal de maior frequência possui frequência de 256 Hz.

Sempre que a raspberry envia o número decimal 85 é realizada uma conversão e transmissão de todos os sensores conectados aos canais de conversão da MSP430. No exemplo da Figura 28 a apenas variou-se o valor do sensor 1 mantendo o valor do sensor 2 em nível 0 para confirmar a medição.



```
Arquivo Editar Ver Pesquisar Terminal Ajuda
pi@raspberrypi:~/final_4 ./rasp_Master
Digite o numero 85 para iniciar uma nova conversao ou 0 para sair do programa:
85
Sensor do pino A0 = 1821
Sensor do pino A0 = 0

Digite o numero 85 para iniciar uma nova conversao ou 0 para sair do programa:
85
Sensor do pino A0 = 740
Sensor do pino A0 = 0

Digite o numero 85 para iniciar uma nova conversao ou 0 para sair do programa:
85
Sensor do pino A0 = 0
Sensor do pino A0 = 0

Digite o numero 85 para iniciar uma nova conversao ou 0 para sair do programa:
0
```

Figura 28 – Simulação da leitura, conversão e transmissão de dois sensores analógicos

4 Projeto de Software

4.1 Introdução

Esta seção apresenta a visão geral da solução de Software que é constituída, basicamente, do processamento e da apresentação dos dados através de uma interface gráfica, além de aspectos de integração com o projeto de eletrônica. Por fim, será apresentada uma visão superficial dos componentes do sistemas, bem como uma breve descrição de cada módulo que compõe a aplicação.

4.1.1 Escopo

Estão previstos dentro do escopo do projeto de software o processamento e armazenamento dos dados oriundos dos diferentes sensores do motor, junto à frente de Eletrônica; O controle de partida e aceleração do motor via software; como também, o desenvolvimento de uma interface gráfica para interação com o usuário da bancada.

Em relação à interface gráfica proposta ver anexo C, o usuário terá a possibilidade de iniciar o ensaio por meio de uma aplicação WEB, tendo assim, acesso às informações do motor de modo dinâmico ao decorrer do ensaio de análise. A interface será composta de elementos dinâmicos e gráficos referentes à: Temperatura do óleo do motor; Temperatura do ar no coletor de admissão; Pressão do ar no coletor de admissão; Informações de emissão e mistura sonda/lambda. Por fim, o usuário poderá salvar os resultados, acessar os resultados de ensaios anteriores, bem como a geração de relatórios.

4.2 Representação da Arquitetura

A arquitetura concebida constitui a base para a construção do sistema idealizado servindo como direcionamento para o desenvolvimento do produto de Software desde a nível mais baixo da aplicação até o nível mais alto.

O sistema de software será dividido em dois módulos, sendo eles: O módulo de Aquisição e o módulo de controle. No módulo de Aquisição ocorrerá a aquisição dos dados oriundos do motor durante a análise em seguida o processamento e a apresentação dos mesmos ao usuário de forma intuitiva e através de gráficos dinâmicos. No módulo de Controle ocorrerá os controle de partida, aceleração e desaceleração para possibilitar a análise do comportamento do motor em diferentes rotações. Além disso, o sistema contará com um banco de dados onde serão salvos os dados relativos à análise. Por fim, o

sistema contará com a funcionalidade de gerar um relatório com os dados de uma análise previamente salva no banco de dados.

Para informações detalhadas a respeito de cada módulo da arquitetura proposta ver Anexo B.

4.3 Requisitos Levantados

A partir do escopo definido no projeto foram elicitados os requisitos funcionais de alto nível. Esses podem ser vistos na tabela 6:

Tabela 6 – Requisitos Funcionais

Requisito Funcional	Descrição
RF01	O sistema deve coletar os dados do motor transmitidos dinamicamente pela Raspberry.
RF02	O sistema deve realizar o tratamento dos dados para apresentá-los de forma intuitiva ao usuário.
RF03	O sistema deve plotar gráficos a partir dos dados captados.
RF04	O sistema deve realizar o controle da partida do motor através de um botão em sua interface.
RF05	O sistema deve realizar a aceleração e desaceleração do motor através de sua interface.
RF06	O sistema deve possuir um botão para que o usuário tenha a opção de salvar todos os dados da análise em um banco de dados.
RF07	O sistema deve possuir um botão para que o usuário tenha a opção de gerar um relatório dos dados de ensaios previamente salvos.

Para maiores informações acerca dos recursos do produto de software, além de uma visão geral do produto e do projeto estão presentes no Documento De Visão disposto no Anexo A deste documento.

4.4 Custo do Desenvolvimento do Software

O custo do projeto de desenvolvimento do sistema de controle de bancada de testes de motor a combustão será composto apenas pelos 4 computadores Dell Inspiron utilizados pela equipe de desenvolvimento, sendo assim, o custo do projeto do software será de R\$ 10.000,00.

O custo do projeto de desenvolvimento de software consiste apenas em itens de hardware, pois as ferramentas utilizadas na programação serão todas Open Source o que não representa um custo para os desenvolvedores.

4.5 Detalhamento da Solução

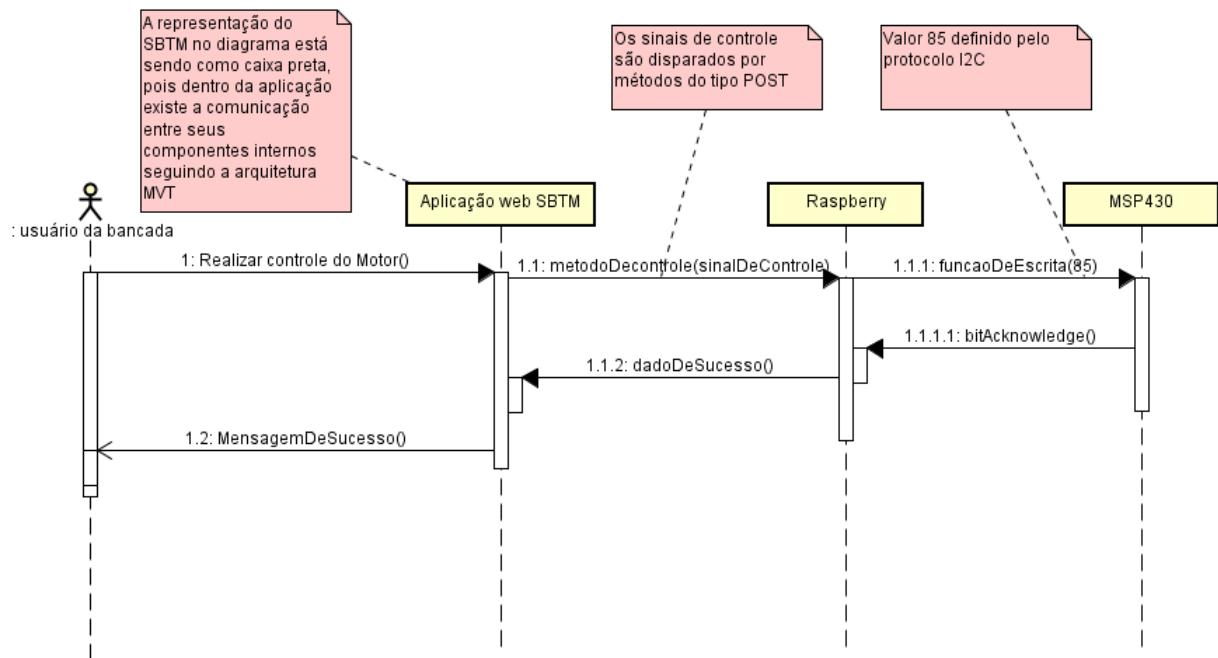


Figura 29 – Diagrama de sequência do modulo de controle

A Figura 29 acima representa todo o fluxo de processamento dos dados para o controle de acionamento e aceleração do motor, o detalhamento da aquisição é apresentado abaixo, desde a interação do usuário com a aplicação web até a chegada da requisição ao microcontrolador correspondente e vice e versa.

O passo a passo está descrito a seguir:

1. O usuário acessa a aplicação SBAM através de um navegador Web:
 - Caso o usuário corrente não possua cadastro, este deve cadastrar-se;
 - Caso contrário, o usuário deverá autentica-se na aplicação.
2. O usuário é transferido para uma página onde poderá selecionar entre duas opções:
 - Visualizar resultados de ensaios anteriores:
 - A aplicação irá recuperar os dados referentes ao ensaio selecionado e os apresentará em forma de gráfico (Dados do sensores pelo Tempo) entre outras análises.
 - Iniciar um novo ensaio:
 - A aplicação irá enviar uma mensagem de controle para o módulo de controle presente na Raspberry através de um *Socket TCP*, que por sua vez

envia um comando para a MSP de controle através do protocolo I²C ordenando o acionamento do motor.

3. A aplicação irá aguardar os primeiros dados de RPM do motor para iniciar a apresentação dos dados;
4. Para o envio de dados dos sensores para a aplicação, A MSP enviará os dados por meio do protocolo I²C para o módulo de aquisição da Raspberry que fará os cálculos de conversão dos dados de tensão para a unidade decimal e os transmitirá via *Socket UDP* para a aplicação;
5. A aplicação irá receber os dados oriundos dos sensores que serão tratados por duas *threads*. Enquanto uma *threads* ficará responsável pelo armazenamento das informações dos sensores no Banco de Dados da aplicação (Isso só ocorrerá um minuto após do ensaio ter sido iniciado) , a outra apresentará os dados na interface para o usuário no mesmo tempo em que são recebidos;
6. Para determinar o término do ensaio a aplicação verificará se os dados de RPM ainda estão sendo transmitidos. Caso não, a aplicação encerrará o ensaio e o armazenamento das informações no Banco de Dados.
7. Após o término do ensaio o usuário poderá ver os resultados do mesmo e adicionar uma descrição referente ao ensaio encerrado que será armazenada no Banco de Dados para uma visualização posterior.

4.6 Protocolos - Aquisição e Controle

Para o módulo de controle, o protocolo de comunicação entre a aplicação web e a Raspberry Pi será via socket TCP, tendo em vista que este protocolo nos garante que a mensagem chegou ao seu destino que no caso será a Raspberry Pi. Assim, ao solicitar o envio de uma mensagem de controle pela aplicação (ligar o motor, por exemplo), um *socket* é aberto para estabelecer uma conexão para o envio. A aplicação espera uma resposta por parte da Raspberry Pi indicando que a mensagem chegou com sucesso, e caso esta mensagem de retorno não chegue no tempo determinado (*Timeout*) a aplicação envia a mensagem novamente.

Já para o módulo de aquisição, os dados dos sensores acoplados ao motor serão coletados por uma placa MSP-430 e transmitidos via protocolo I²C para a Raspberry Pi que servirá como intermediadora entre a MSP-430 e a aplicação. O protocolo utilizado para a transmissão dos dados entre a Raspberry Pi e a aplicação web será o UDP. Tendo em vista o grande volume de dados a serem transmitidos, a justificativa da escolha deste protocolo é a sua alta taxa de transferência. Entretanto, o protocolo UDP não garante a chegada dos dados ao seu destino, porém, como o

5 Projeto de Energia

5.1 Objetivo Específico

Analizar o sistema de arrefecimento (transferências de calor), sistema de admissão (fluxo de ar), sistema de exaustão (emissões gasosas), consumo de combustível e desempenho de um motor a combustão interna por meio de um ensaio a vazio.

5.2 Concepção e detalhamento do subsistema

Devido ao fator de integração do projeto (funcionamento do motor, sensoriamento e leitura de dados), não foi possível a obtenção de análises para o Ponto de Controle 2. Ressaltando que toda instrumentação necessária já está disponível.

5.2.1 Sistema de Arrefecimento

A temperatura do motor de combustão interna (MCI) influencia no consumo de combustível, na eficiência e na emissão de gases, portanto este é um importante parâmetro a ser avaliado nos testes dos motores ([KUNTZER, 2015](#)).

A transferência de energia de calor no motor ocorre por condução, convecção e por radiação. Os trocadores de calor são os principais dispositivos que irão propiciar esta transferência de calor para o ambiente. O radiador é um tipo de trocador de calor que são geralmente classificados como compactos e de escoamento cruzado sem mistura.

O trocador de calor utilizado no laboratório de testes do MCI é o modelo 7351123R da Valeo, Figura 30:



Figura 30 – Radiador utilizado no laboratório de testes de MCI. Fonte: APS Distribuidora.

As dimensões são mostradas na Figura 31 a seguir:

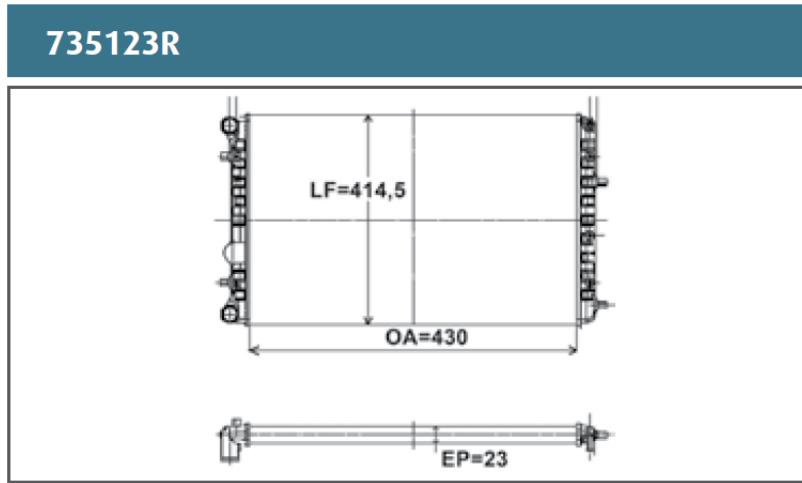


Figura 31 – Dimensões do radiador. Fonte: Catálogo Valeo Arrefecimento.

Admitindo-se que o escoamento é permanente, a taxa de transferência de calor do fluido quente será igual a taxa de transferência de calor do fluido frio e pode ser determinada por (CENGEL, 2009):

$$Q = mc_{ph}(T_{h,in} - T_{h,out}) = mc_{pc}(T_{c,in} - T_{c,out}) \quad (5.1)$$

Utilizando o método da diferença de temperatura média logarítmica (LMTD) e conhecendo-se as temperaturas na entrada e na saída, a taxa de transferência de calor também poderá ser definida por (CENGEL, 2009):

$$Q = UA_s\Delta T_{lm} \quad (5.2)$$

Onde:

Q : taxa transferência de calor;

U : coeficiente global de transferência de calor;

A_s : área de superfície;

ΔT_{lm} : diferença de temperatura média logarítmica.

A diferença de temperatura média logarítmica é dada por :

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (5.3)$$

ΔT_1 e ΔT_2 são as diferenças de temperatura entre os dois fluidos.

Para o trocador de calor de escoamento cruzado em que os fluidos não se misturam utiliza-se um fator de correção F que pode ser encontrado no gráfico da Figura 32:

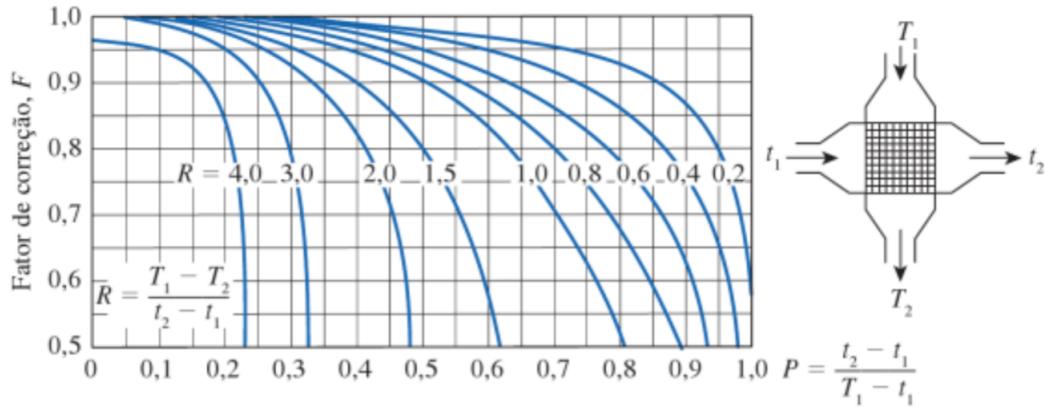


Figura 32 – Fator de correção para trocador de calor de único passe e com fluidos sem mistura.(CENGEL, 2009)

Sendo que o trocador de calor já está definido, busca-se a determinação da efetividade de tal trocador. Para isso é utilizado o método da efetividade-NTU. A efetividade do trocador de calor é definida como se segue (CENGEL, 2009):

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{\text{taxa de transferência de calor real}}{\text{taxa de transferência de calor máxima}} \quad (5.4)$$

A taxa de transferência de calor máxima é determinada por:

$$Q_{max} = C_{min}(T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (5.5)$$

Onde C_{min} é a taxa de capacidade térmica do fluido de menor capacidade térmica e é dada pela seguinte equação:

$$C_{min} = mc_p \quad (5.6)$$

O número de unidades de transferência de calor, NTU, é:

$$NTU = \frac{UA_s}{C_{min}} \quad (5.7)$$

A efetividade do radiador poderá ser definida pela seguinte equação:

$$\varepsilon = 1 - e^{\left[\left(\frac{C_{min}}{C_{max}} \right)^{-1} (NTU)^{0,22} \left\{ e^{\frac{-C_{min}}{C_{max}} (NTU)^{0,22}} - 1 \right\} \right]} \quad (5.8)$$

Os sensores de temperatura serão posicionados na mangueira do radiador antes da entrada do fluido de arrefecimento no bloco do motor e depois de ter sido feito o

resfriamento do motor, ou seja, na saída do motor. Sendo assim, será possível ter o controle da temperatura no motor e fazer as avaliações de troca de calor.

Para fazer os cálculos da transferência de calor, é necessário conhecer os parâmetros de fluxo de água na mangueira do radiador e o fluxo de ar pelo radiador. A medida do fluxo de água será feita por meio de um sensor medidor de fluxo e a medida do fluxo de ar será feita medindo-se a velocidade do fluxo de ar através do núcleo do radiador com o auxílio de um anemômetro e assim, calcula-se a vazão de ar multiplicando a velocidade pela área frontal do radiador.

O calor rejeitado do motor é proporcional à potência útil, portanto deverá ser gerado um gráfico do calor gerado a diferentes rotações do motor.

5.2.2 Sistema de Admissão

A caixa estabilizadora de orifício calibrado permite que o ar que entra na admissão do motor tenha uma vazão constante.

Os dados do plenum que serão coletados pelos sensores são os valores de pressão e temperatura. Estes serão utilizados para o cálculo da vazão mássica de ar que será empregada para o cálculo da razão ar/combustível.

Considere o esquema de admissão da Figura 33, a seguir:

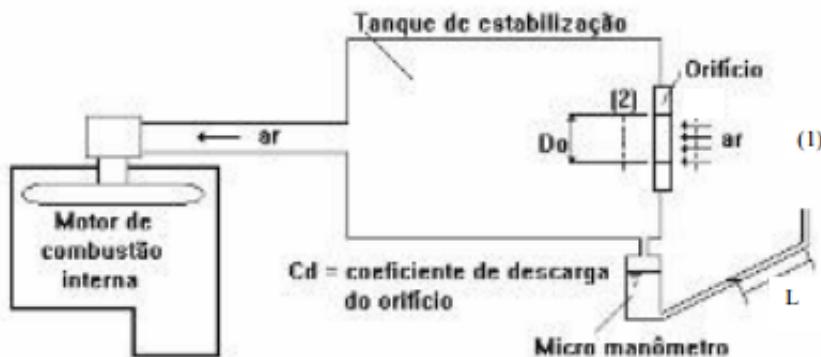


Figura 33 – Esquema de Admissão.

Aplicando a equação de Bernoulli entre os pontos 1 e 2 tem-se:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma_{ar}} + Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma_{ar}} + Z_2 \quad (5.9)$$

$$\gamma_{ar} = \rho g = cte \quad (5.10)$$

$$P_1 - P_2 = h\gamma_{H20} \quad (5.11)$$

$$h = L \sin \theta \quad (5.12)$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gh\gamma_{h20}}{\gamma_{ar}}} \quad (5.13)$$

A vazão teórica é:

$$Q_t = \frac{\pi D_0^2}{4} \sqrt{\frac{2gh\gamma_{h20}}{\gamma_{ar}}} \quad (5.14)$$

E a vazão real:

$$Q_r = C_{d,o} Q_t \quad (5.15)$$

A vazão mássica do ar é:

$$m_{ar} = \rho_{ar} Q_r \quad (5.16)$$

Essa é a vazão mássica de ar realmente admitida pelo motor e que será utilizada para o cálculo da razão ar/combustível consumida.

5.2.3 Instalação do Dinamômetro

O conjunto de equipamentos do dinamômetro presente no laboratório de testes do motor de combustão interna é composto por uma central de comando, um motor, um sistema de refrigeração acoplado ao motor e um banco de baterias.

Devido ao fato do conjunto estar na universidade por cerca de 7 anos sem utilização, a principal ação necessária seria a identificação do tipo de motor para a realização dos testes de manutenção específicos para avaliação das condições de funcionamento da máquina.

No entanto, um entrave encontrado para a realização dos testes foi a não caracterização da máquina devido a falta de informação nas placas de identificação.

Sendo assim, descartou-se a utilização do dinamômetro na bancada de testes devido a limitação de informações e ao tempo que limita a realização do trabalho.

5.2.4 Análise de Emissões

A maior fonte de poluição urbana do ar pode ser relacionado com o motor a combustão interna, pois além do gás carbônico produzido nas reações de combustão, outros

gases também são formados, como o monóxido de carbono (*CO*), óxidos de nitrogênio (*NO_x*), hidrocarbonetos (*HC*), oxigênio (*O₂*), compostos orgânicos voláteis (COVs), entre outros.

O órgão que delimita os limites legais de emissões veiculares, no Brasil, é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Para a implementação das resoluções, o CONAMA criou o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) para os veículos leves e pesados, fixando prazos, limites máximos de emissões e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores, nacionais e importados (SAMPAIO, 2011).

Ao conhecer os mecanismos de formação de poluentes gerados pelo motor, pode-se associar a tecnologias de gerenciamento de controle. Com isso, comprehende-se que os níveis de emissões gasosas veiculares podem ser controlados e regulamentados, adequando-se aos padrões exigidos pela legislação e buscando uma menor poluição do meio ambiente.

Na bancada de teste do MCI, esta medição será feita por meio do analisador de gases universal (PC-MULTIGÁS) baseado no método de medição de infravermelho não dispersivo.

Tabela 7 – Dados técnicos do analisador de gases (NAPRO, Acesso em: 20 abr. 2017).

ALIMENTAÇÃO	12VDC ou 110/110AVC – 60Hz
ESCALAS	CO: 0 - 15% CO2: 0 - 20% HC: 0 - 20000ppm Hexano O2: 0 - 25%
DIMENSÕES	290 x 150 x 310 mm
PESO	4 Kg

O equipamento será acoplado ao coletor do motor (sistema de exaustão) por meio de uma mangueira contendo na extremidade de contato uma sonda de captação de gases. Assim as medições (*CO*, *CO₂*, *HC* e *O₂*) serão coletadas pelo analisador e enviadas para o scanner PC-SCAN que mostrará o diagnóstico veicular.

O método usado pelo equipamento para obtenção dos dados utiliza o princípio de que as moléculas de um determinado gás absorvem o raio infravermelho e analisa de forma contínua a variação da concentração de um componente específico de uma mistura gasosa, sendo denominado como método de medição de infravermelho não dispersivo (GUIMARÃES, 2013).

Basicamente, cada componente (molécula), possui um comprimento de onda (e frequência correspondente) específico, baseado nisso e na transmitância, é possível obter a concentração de determinados componentes que estão situados na região IR (*infrared*).

A partir dos dados obtidos pelo programa, será feita uma análise relacionando

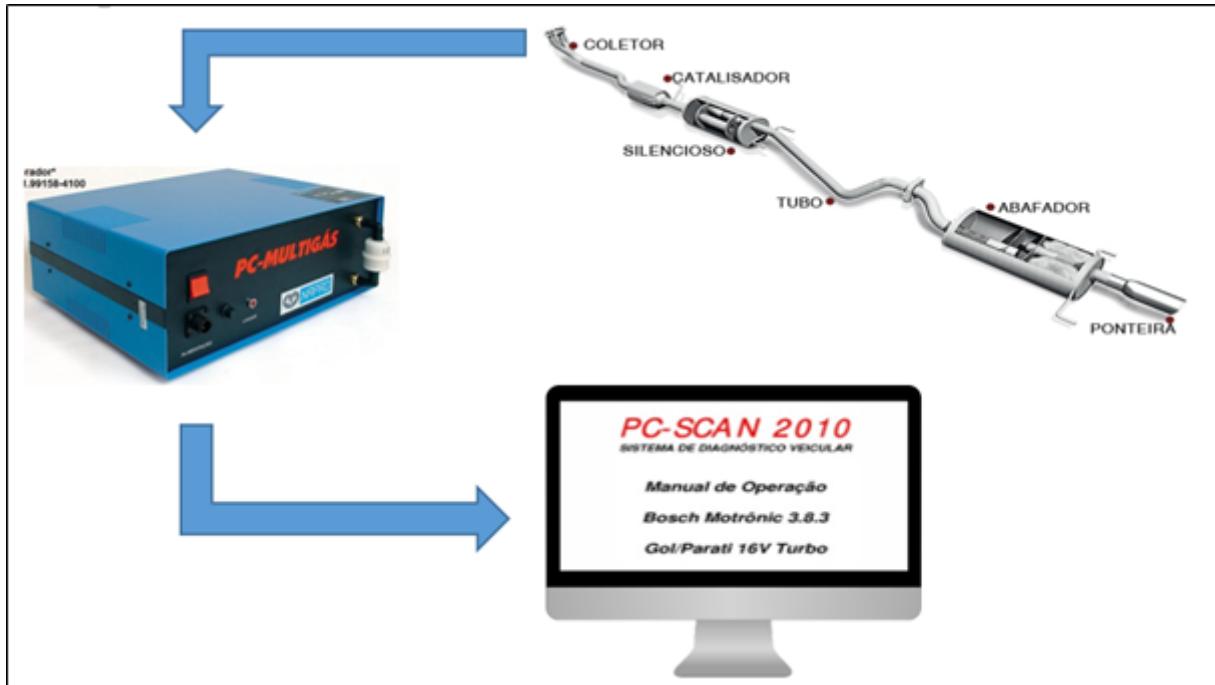


Figura 34 – Esquemático operacional para análise de emissões.

as porcentagens de cada gás emitido com a composição do combustível utilizado. Observando também toda questão legislativa mencionada anteriormente, pois é um fator imprescindível para a indústria automotiva.

5.2.5 Consumo de combustível

Tendo como análise um motor a gasolina, os ensaios serão realizados utilizando três misturas:

- Gasolina pura;
- Gasolina Comum Brasileira (tipo C): mistura E27 - correspondente a um percentual de 73% de gasolina pura e 27% de álcool anidro (AEAC);
- Mistura E50: correspondente a um percentual de 50% de gasolina pura e 50% de álcool anidro (AEAC);

Para obtenção da gasolina com máximo grau de pureza, foi utilizado o método de extração líquido-líquido. Sendo baseado na diferença de solubilidade do álcool na gasolina e na solução de $NaCl$ (usada para aumentar a solubilidade do álcool em água, pois sendo este sal um composto iônico, a sua solução é mais polar do que a água pura, desta maneira consegue-se extrair com mais eficiência o álcool da camada orgânica, gasolina).

Quanto a medição do consumo de combustível foi considerado o método mássico que consiste em colocar uma balança sob o tanque de combustível. Utilizando-se da escala

da balança como referência, quando o ponteiro passar por um valor conhecido aciona-se o cronômetro e quando o ponteiro passar por um novo valor conhecido, para-se o cronômetro ([TAYLOR, 1984](#)).

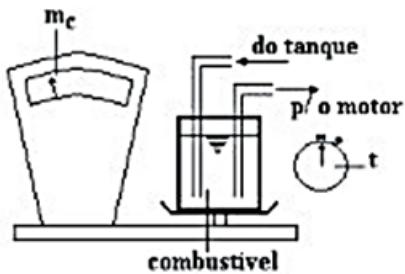


Figura 35 – Método mássico de medição de consumo.

O acionamento e desligamento do cronômetro será feito por um sensor de infravermelho. Tendo assim uma massa consumida em um determinado tempo (t), o que é exatamente a vazão em massa de combustível consumido. A partir disso será feito um conjunto de análises, como: gráfico de consumo de combustível por velocidade angular (rpm); emissões geradas e desempenho do motor.

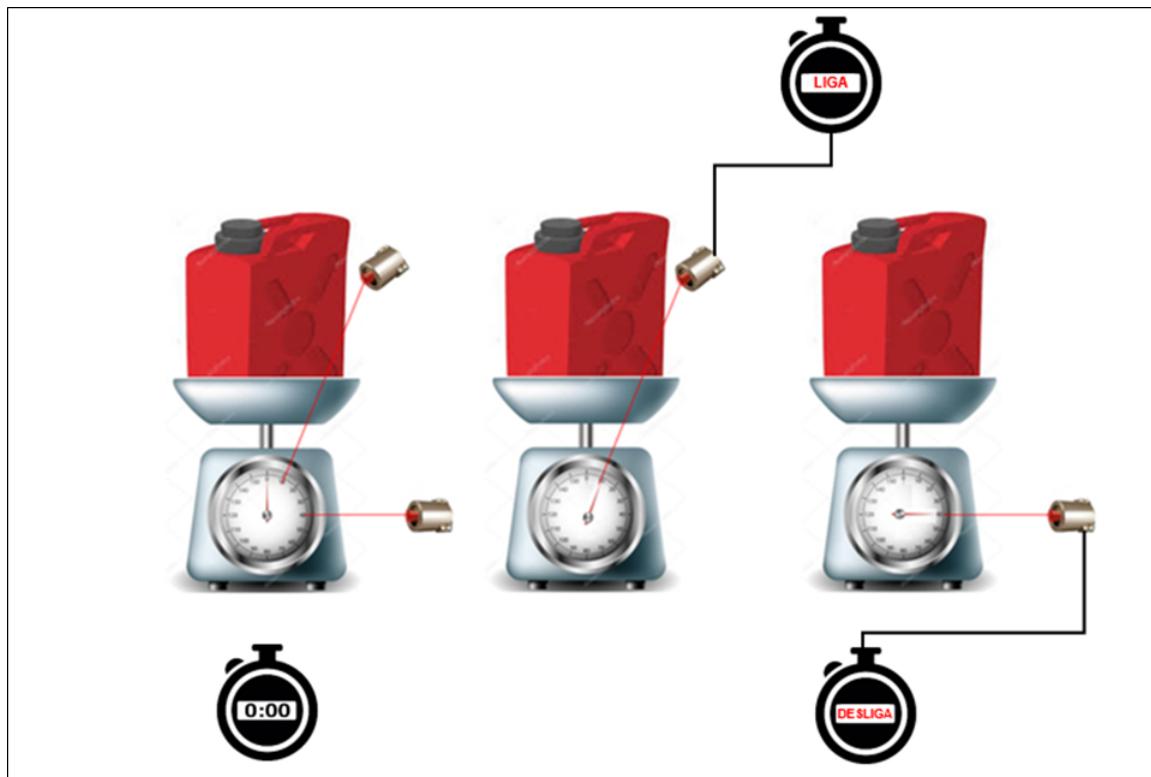


Figura 36 – Funcionamento do cronômetro a partir dos sensores de infravermelho.

6 Gerenciamento do Projeto

6.1 Termo de Abertura do Projeto

6.1.1 Estrutura Analítica do Projeto

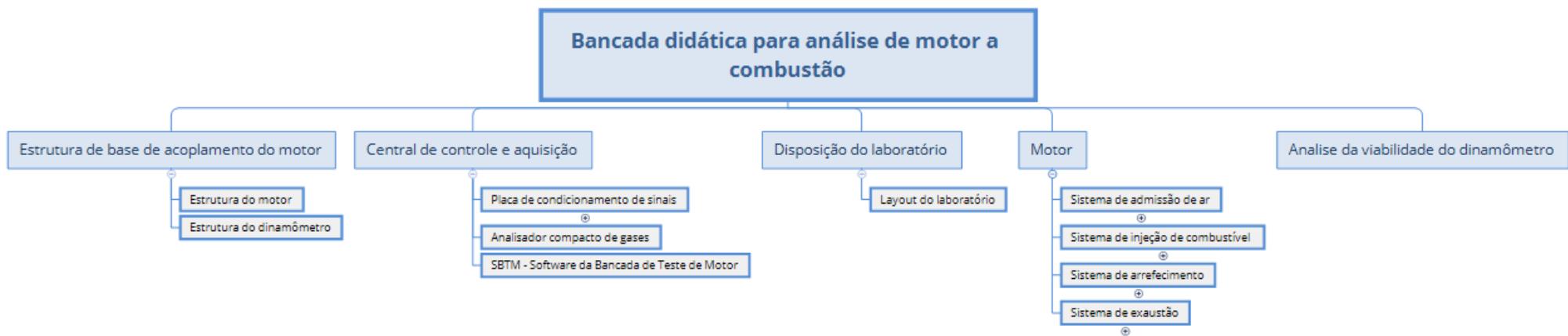


Figura 37 – EAP

6.1.2 Cronograma

		Nome	Duração	Ínicio	Fim
1		▣ Definição de temas e grupos	7d?	08/03/2017	10/03/2017
4		Reunião para brainstorming de escopo	1d?	17/03/2017	17/03/2017
5		▣ Analisar viabilidade do dinamômetro	88d?	26/03/2017	24/04/2017
11		▣ Estruturar ambiente de trabalho	280.13d?	22/03/2017	23/06/2017
14		▣ Realizar montagem do motor	295.13d?	08/03/2017	14/06/2017
15		Definir motor	43.13d	08/03/2017	22/03/2017
16		Elaborar projeto de estrutura de acoplamento do motor	70.13d?	15/03/2017	07/04/2017
17		Realizar construção da estrutura	55.13d?	10/04/2017	28/04/2017
18		Realizar acoplamento do motor na estrutura	13.13d?	01/05/2017	05/05/2017
19		Projetar sistema de alimentação de combustível	13.13d?	01/05/2017	05/05/2017
20		Implantar sistema de alimentação de combustível	34.13d?	08/05/2017	19/05/2017
21		Elaborar relatório de andamento do projeto automotivo	13.13d?	19/05/2017	23/05/2017
22		Projetar sistema de admissão de ar	193.13d?	26/03/2017	29/05/2017
23		Construir sistema de admissão de ar	49.13d?	29/05/2017	14/06/2017
24		Realizar teste do motor	22.13d?	29/05/2017	05/06/2017
25		▣ Montar sistema de escapamento	241.13d?	26/03/2017	14/06/2017
26		Projetar filtro de eliminação do ruído	193.13d?	26/03/2017	29/05/2017
27		Construir filtro	49.13d?	29/05/2017	14/06/2017
28		Montar sistema de escapamento	49.13d?	29/05/2017	14/06/2017
29		▣ Estruturar sistema de arrefecimento	97.13d?	13/03/2017	14/04/2017
33		▣ Construir central de aquisição	286.13d?	13/03/2017	16/06/2017
39		Marco - Entrega de Relatório do Ponto de Controle 1	1d	31/03/2017	31/03/2017

Figura 38 – Cronograma - Parte 1

40		Marco - Ponto de Controle 1	7.13d?	05/04/2017	07/04/2017
41		Marco - Entrega de Relatório do Ponto de Controle 2	1.13d?	26/05/2017	26/05/2017
42		Marco - Ponto de Controle 2	7.13d?	31/05/2017	02/06/2017
43		Marco - Entrega do Ponto de Controle 3	1.13d?	30/06/2017	30/06/2017
44		Marco - Ponto de Controle 3	7.13d?	05/07/2017	07/07/2017

Figura 39 – Cronograma - Parte 2

6.1.3 Custos

6.1.4 Recursos

6.1.5 Riscos

Tabela 8 – Tabela de custos geral

Componente	Preço(Unidade)	Qtd	Total	Loja: Links para consulta
AD595	R\$ 87,00	6	R\$522,00	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-712124692-ad595-thermocouple-amplifier-circuito-integrado-JM?source=gps
Sensor De Pressão Mpx5700	R\$ 60,00	6	R\$360,00	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-708718648-sensor-de-presso-mpx5700-para-arduino-pic-e-etc-JM?source=gps
Kit para Placa de Circuito Impresso	R\$ 65,00	1	R\$65,00	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-715578391-kit-p-confeccionar-placa-de-circuito-impresso-suekit-ck-3-JM
Placa de Circuito Impresso	R\$ 11,39	2	R\$ 22,78	http://www.huinfinito.com.br/placas-circuito-impresso/636-placa-fenolite-virgem-face-simples-20x20cm.html?search_query=circuito+impresso&results=12
MSP430	R\$ 85,00	2	R\$ 170,00	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-842870672-microcontrolador-msp430-hercules-launchpad-JM
RaspBerry Pi	R\$ 189,98	1	R\$ 189,98	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-810455120-novo-raspberry-pi-3-model-b-pi3-quadcore-12ghz-top-JM
Termopar tipo K (Temp. agua radiador e ambiente)	R\$ 15,80	6	R\$ 94,80	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-835569184-termopar-tipo-k-sonda-1-metro-ponta-rosca-6mm-JM?source=gps
Ferramentas	R\$ 100,00	1	R\$ 100,00	Valor Estimado
Mangueiras	R\$ 200,00	1	R\$ 200,00	Valor Estimado
Manutenção no motor	R\$ 500,00	1	R\$ 500,00	Valor Estimado
Trocador de calor - Bomba d'água - Válvula termostática	R\$ 485,00	1	R\$ 485,00	Valor Estimado
Caixa estabilizadora	R\$ 250,00	1	R\$ 250,00	Valor Estimado
Analisador de gases compacto	R\$ 8000,00	1	R\$ 8000,00	Valor Estimado
Bureta graduada	R\$ 70,00	1	R\$ 70	Valor Estimado
Laptop de bancada	R\$ 1800,00	1	R\$ 1800,00	Valor Estimado
Motor	R\$ 2500,00	1	R\$ 2500,00	Valor Estimado
Recursos Humanos*	R\$ 575,34	13	R\$ 7479,42	Valor Estimado
Total	R\$: 460,16	125	R\$22.808,98	Valor Estimado

Tabela 9 – Papéis da Equipe

Membro	Função
João Paulo	Líder
Ebenezer	Gerente
Heleno	Sub-Gerente (Projeto Eletrônico)
Mateus	Sub-Gerente (Projeto de Software)
Renata	Sub-Gerente (Projeto de Energia)
Pedro	Sub-Gerente (Projeto de Automotiva e Estrutura)
Bruno	Desenvolvedor (Projeto Eletrônico)
Ricardo	Desenvolvedor (Projeto Eletrônico)
Omar	Desenvolvedor (Projeto Software)
Maxwell	Desenvolvedor (Projeto Software)
Rita	Desenvolvedora (Projeto de Energia)
Luís	Desenvolvedor (Projeto de Energia)
Leonardo	Desenvolvedor (Projeto de Automotiva e Estrutura)
Arthur	Desenvolvedor (Projeto de Automotiva e Estrutura)

Tabela 10 – Atividades e Responsáveis

Tipo de Atividade	Atividade	Responsável
Concepção	Projeto Eletrônico	Heleno, Bruno e Ricardo
Pesquisa e Escrita	Sistema de Aquisição de Dados	Heleno
Pesquisa e Escrita	Placa de Condicionamento	Bruno
Pesquisa e Escrita	Sistema de Controle	Bruno
Pesquisa e Escrita	Protocolo de Comunicação	Ricardo
Pesquisa e Escrita	Sensores	Heleno, Bruno, Pedro e Ricardo
Pesquisa e Escrita	Sistema de Arrefecimento	Arthur e Rita
Pesquisa e Escrita	Sistema de Lubrificação	Arthur
Pesquisa e Escrita	Sistema de Exaustão	Arthur
Modelagem	Layout do Laboratório	Pedro, Leonardo
Modelagem	Sistema estrutural	Leonardo e Pedro
Pesquisa e Escrita	Sistema de Ignição	João Paulo
Pesquisa e Escrita	Análise do motor	Leonardo, Pedro
Pesquisa e Escrita	Sistema de Admissão	Luis
Pesquisa e Escrita	Sistema de Instalação do Dinamômetro	Renata
Pesquisa e Escrita	Análise de Testes	Renata
Pesquisa e Escrita	Documento de Visão	Ebenezer, Maxwell, Omar e Mateus
Modelagem	Diagrama de Arquitetura	Ebenezer e Mateus
Modelagem	Diagrama de Caso de Uso	Omar e Maxwell
Pesquisa e Escrita	Documento de Arquitetura	Ebenezer, Maxwell, Omar e Mateus
Modelagem	Estrutura Análita do Projeto	Todos os autores
Modelagem	Cronograma	Ebenezer

Tabela 11 – Matriz de Risco

Possibilidade/Impacto	Leve	Médio	Grave	Gravíssimo
Quase Certo				A rede elétrica não suportar a tensão necessária para ligar o dinamometro
Alto				O projeto não ficar pronto até o prazo estipulado
Média	Os sensores não funcionarem		A integração dos subsistemas não ser realizada	Perda de informação durante a transmissão de dados
Baixa	Um integrante do grupo abandonar o projeto		O custo do projeto ser superior ao orçamento	O motor não Ligar
Rara		Queimar algum componente eletrônico		Explodir o Motor

6.1.5.1 Legenda

Risco leve: Risco que praticamente não impactará o andamento normal do projeto.

Risco médio: Risco que impactará levemente o andamento do projeto.

Risco grave: Risco que impactará o andamento do projeto, porém não impedirá o andamento do mesmo.

Risco gravíssimo: Risco que impedirá o andamento do projeto.

7 Integração

Nos capítulos anteriores foi apresentado o detalhe de cada subsistema do projeto, neste será detalhado o processo de integração de cada subsistema.

7.1 Software - Eletrônica

Sendo a principal interface entre o usuário da bancada e o motor o SBAM possui a seguinte interface inicial. Onde o usuário deverá fazer um login antes de iniciar a análise.



Figura 40 – Tela inicial SBTM.

Após a realização da autenticação pode-se realizar o acionamento do motor e o usuário da bancada é redirecionado para a tela da da figura 41, o detalhamento do processo de integração da parte de controle é apresentado nas subseções seguintes.

7.1.1 Controle

Para realização do módulo de controle o usuário deverá acionar o motor, selecionando o botão apresentado na figura 41.



Figura 41 – Tela de acionamento do motor.

Isso faz com que a comunicação via protocolo TCP seja realizada entre a aplicação e a raspberry, onde a aplicação envia uma mensagem "on" para a raspberry seguindo o trecho de código em python.

Aplicação SBAM - Cliente:

```
1 def sendMessage():
2
3     TCP_IP = '<ip_raspberry>'
4     TCP_PORT = <porta>
5     BUFFER_SIZE = 2
6     MESSAGE = "on"
7
8     s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
9     s.connect((TCP_IP, TCP_PORT))
10    s.send(MESSAGE)
11    data = s.recv(BUFFER_SIZE)
12    s.close()
```

Já na raspberry(servidor) o trecho de código em C apresentado abaixo, recebe a mensagem disparada pelo SBAM (cliente), e envia uma mensagem de volta para o cliente.

Raspberry - Servidor:

```
1 while( (read_size = recv(client_sock , client_message , 2000 , 0)) > 0 )  
2 {  
3     write(client_sock , client_message , strlen(client_message));  
4 }
```

7.1.2 Aquisição

7.2 Integração Estrutural



Figura 42 – Caixa de acoplamento dos componentes do motor



Figura 43 – Acoplamento de Sensores de Arrefecimento



Figura 44 – Mangueira do sistema de admissão

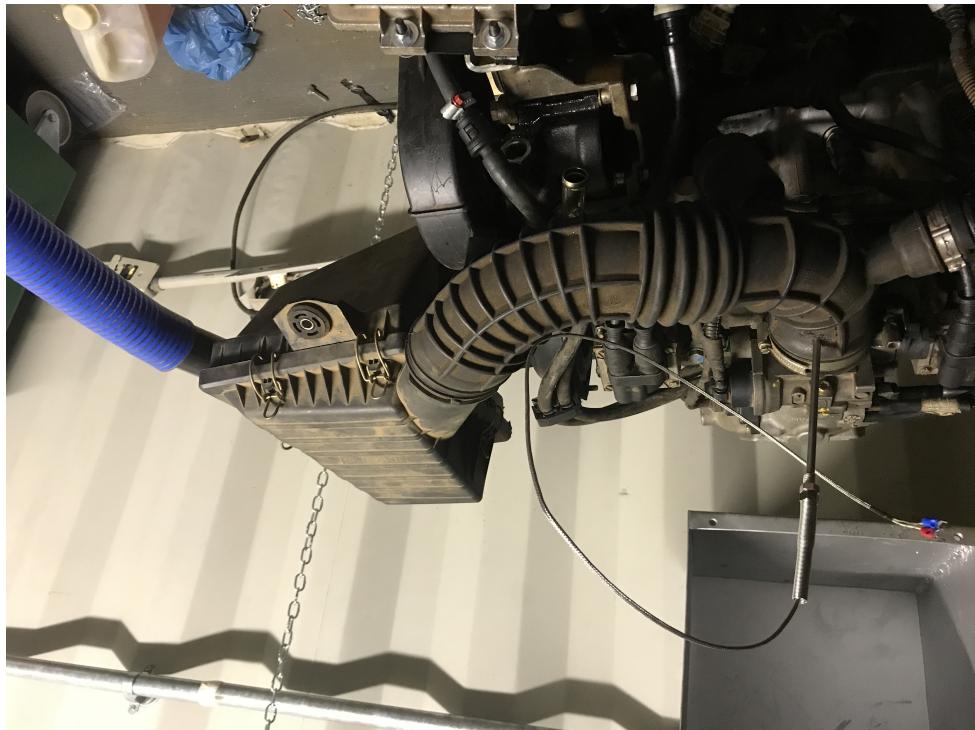


Figura 45 – Sensor de temperatura no sistema de admissão



Figura 46 – Saída para sensor de pressão e temopar

Referências

- BENINCASA, F.; CAMARGO, M. A. S. Desenvolvimento de um quadricóptero autônomo com controle dinâmico de estabilidade. *Trabalho de conclusão de curso de engenharia mecatrônica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo*, 2011. Citado na página 33.
- CASSIOLATO, C. Condicionamento de sinais analógicos e sensores. 2017. Disponível em: <<http://www.smar.com.brasil/artigo-tecnico/condicionamento-de-sinais-analogicos-sensores>>. Citado 3 vezes nas páginas 3, 31 e 32.
- DINIZ, P. S.; SILVA, E. A. da; NETTO, S. L. *Processamento Digital de Sinais-: Projeto e Análise de Sistemas*. [S.l.]: Bookman Editora, 2014. Citado na página 26.
- GUIMARÃES, N. Analisadores de gases em linha. Acesso em: 05 abr. 2017, 2013. Disponível em: <<http://analisadoresindustriais.blogspot.com.br/2013/02/analisadores-de-gases-em-linha.html>>. Citado na página 54.
- INSTRUMENTS, N. O que é condicionamento de sinais. 2012. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/10630/pt/>>. Citado na página 31.
- INSTRUMENTS, T. Msp430x2xxx, user guide. 2004. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ug/slau144j/slau144j.pdf>>. Citado na página 30.
- KUNTZER, G. Análise do sistema de arrefecimento de um protótipo do tipo fórmula sae. *Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Mecânica*, 2015. Citado na página 49.
- NAPRO. Eletrônica industrial. analisadores. Acesso em: 20 abr. 2017. Disponível em: <<http://www.napro.com.br/analisadores.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 54.
- SAMPAIO, M. A. Avaliação de um motor de combustão interna ciclo otto utilizando diferentes tipos de combustíveis. 2011. Citado na página 54.
- SEMICONDUCTOR, F. Integrated silicon pressure sensor on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated. 2012. Disponível em: <http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX5700.pdf?pspll=1>. Citado na página 30.
- TAYLOR, C. F. *Análise dos Motores de Combustão Interna*. [S.l.]: Editora Edgard Blucher, Vol. II, 1984. Citado na página 56.
- VALLE, R. M. et al. *Mapping procedure applied to general engine management system for spark plug engines*. [S.l.], 2004. Citado na página 25.
- VDO. Catálogo de peças de reposição. 2014. Disponível em: <http://www.vdo.com.br/media/188321/flc_catalogo_vdo_2014_pt.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- ÇENGEL, Y. A. Transferência de calor e massa - uma abordagem prática. McGraw Hill, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 3, 50 e 51.

Anexos

ANEXO A – Documento de Visão

A.1 Introdução

A.1.1 Finalidade

A finalidade deste documento é fornecer uma visão geral da aplicação de aquisição e manipulação dos dados do motor a combustão, apresentando uma visão das macrofuncionalidades do software. Além disso, objetiva-se apresentar as razões pelas quais o sistema será construído.

A.1.2 Escopo

A aplicação destina-se ao suporte ao usuário da bancada, com intuito de fornecer a visualização de informações a cerca do funcionamento do motor no momento da análise de forma gráfica. Tais informações são: Temperatura do óleo do motor; Temperatura do ar no coletor de admissão; Pressão do ar no coletor de admissão; Informações de emissão e mistura sonda/lâmbda.

A.2 Posicionamento

A.2.1 Descrição do problema

Tabela 12 – Descrição do problema.

O problema de	Dificuldade de se analisar os parâmetros e características de um, motor em funcionamento.
Afeta	Estudantes e professores do curso de engenharia automotiva.
Cujo impacto é	Impossibilidade, por parte dos alunos, de conhecer e analisar parâmetros e características de um motor a combustão na prática.
Uma boa solução seria	Utilizar recursos gráficos, por meio de um software, para dar suporte na análise dos dados de um motor em funcionamento.

A.2.2 Sentença de posição do produto

Tabela 13 – Sentença de posição do produto

Para	Compor a bancada de análise
Que	Necessita de um sistema de software para dar suporte na visualização das informações do motor.
O	Software de Aquisição e Processamento de Dados de Motor
Que	Auxiliará o usuário da bancada a visualizar as informações do motor
Ao contrário de	Realizar as análises com o veículo completo
A aplicação	Promoverá uma interface gráfica entre o usuário da bancada e o motor ao qual apresentará as informações referentes ao motor em funcionamento.

A.3 Decrição dos Envolvidos e dos Usuários

A.3.1 Resumo dos envolvidos

Informações dos stakeholders do projeto de desenvolvimento do software.

Tabela 14 – Descrição dos envolvidos e dos usuários.

Nome	Descrição	Responsabilidades
Desenvolvedores do software de análise	Alunos de graduação do curso de Engenharia de Software	Análise dos requisitos do software, modelar arquitetura do software, implementar e implantar software.
Professores	Professores da disciplina de Projeto Integrador 2	Acompanhar e avaliar o desenvolvimento do projeto
Equipe de desenvolvimento da bancada	Alunos de graduação do curso de Engenharia de Energia, Eletrônica, Automotiva, Aeroespacial que compõem a equipe desenvolvedora da bancada	Atuar como clientes, apresentando os problemas que tem que ser resolvidos através da aplicação.

A.3.2 Resumo dos usuários

Informações dos usuários finais do software.

Tabela 15 – Usuários finais

Nome	Descrição	Responsabilidades
Professores	Professores do curso de Engenharia Automotiva	Realizar o acompanhamento geral das informações apresentadas do motor e gerar relatórios.
Alunos	Alunos do curso de Engenharia Automotiva	Realizar o acompanhamento geral das informações apresentadas do motor e gerar relatórios.

A.3.3 Ambiente do usuário

O software será utilizado diretamente na bancada, pois trata-se de uma aplicação Web executando localmente desenvolvida em Python juntamente com o Framework Django que realizará comunicação com a Raspberry Pi.

A.3.4 Principais necessidades dos usuários ou dos envolvidos

Tabela 16 – Necessidades dos usuários ou dos envolvidos

Necessidade	Solução atual	Solução proposta
Realizar o acompanhamento geral das informações apresentadas do motor e gerar relatórios.	Não há.	Exposição dos dados coletados pelos sensores acoplados ao motor, geração de gráficos, geração de relatórios.

A.4 Visão Geral do Produto

A.4.1 Perspectiva do produto

Espera-se que o software sirva de auxílio à bancada de testes de um motor a combustão, permitindo uma melhor e mais agradável visualização do funcionamento do equipamento, resultando numa maior facilidade no aprendizado a partir dos alunos.

A.4.2 Resumo dos recursos

Os recursos que o sistema deve conter são funcionalidades importantes para resolver o problema e as necessidades do cliente. Este software conta com as seguintes funcionalidades:

- Coleta e Armazenamento de dados - Esta funcionalidade permite que o usuário salve os dados coletados na análise.
- Visualização dos resultados - Esta funcionalidade permite que o usuário visualize os resultados da análise realizada por meio de gráficos intuitivos.
- Geração de relatório - Esta funcionalidade permite que o usuário gere um relatório a partir de uma análise salva no banco de dados.

A.5 Recursos do Produto

- O sistema deve coletar os dados do motor dinamicamente transmitidos pela MSP430;
- O sistema deve realizar o tratamento dos dados para apresentá-los de forma intuitiva ao usuário;
- O sistema deve plotar gráficos a partir dos dados captados;
- O sistema deve possuir um botão para que o usuário tenha a opção de salvar todos os dados da análise em um banco de dados;
- O sistema deve possuir a opção de gerar um relatório.

A.6 Restrições

Nesta seção serão apresentados as restrições de design, restrições externas, como requisitos operacionais ou regulamentares e outras dependências.

São restrições do produto:

- O software deverá possuir rotinas para a comunicação UART 12C (para o módulo de aquisição) e GPIO (para o módulo de controle) com um microcontrolador MSP430;
- A comunicação entre a Raspberry Pi e a MSP430 deverá ser dinâmica para que o usuário possa acompanhar o andamento da análise;
- O software deverá ser, em essência, uma aplicação Web desenvolvida em Python juntamente com o Framework Django;
- O software não deverá realizar o controle de partida e aceleração do motor por questões de segurança.

ANEXO B – Documento de Arquitetura

B.1 Introdução

Este documento apresenta a arquitetura proposta para o software da bancada de testes de motor que fará o tratamento, exposição dos dados coletados na análise de motor a combustão e o controle do motor. A arquitetura é apresentada através de um conjunto de visões que juntas visam cobrir os principais aspectos técnicos relativos ao desenvolvimento e implantação do sistema em questão. O objetivo é capturar e formalizar as principais decisões tomadas com relação à arquitetura do sistema.

B.1.1 Finalidade

Este documento tem como objetivo apresentar uma arquitetura para sistemas que possuem características de aquisição de dados em “tempo real” a partir de uma placa microcontroladora.

B.1.2 Escopo

O escopo deste documento é documentar as partes significativas do ponto de vista da arquitetura, como sua divisão em camadas e pacotes.

B.2 Arquitetura da Aplicação

O SBTM - Software da Bancada de Testes de Motor será um sistema web que terá dois módulos de aplicação, sendo eles o módulo de aquisição onde terá uma placa microcontroladora MSP430-2 que irá coletar todos os dados do motor dinamicamente durante a análise e enviá-los para a Raspberry Pi utilizando a comunicação UART 12c, assim, haverá um servidor wifi gerado pela Raspberry e conectado ao computador que transmitirá os dados para que o software possa gerenciá-los e exibi-los de forma intuitiva ao usuário. Também terá o módulo de controle onde serão feitos os controles de partida e aceleração do motor, que serão feitos através de envio de dados para a MSP430-2 utilizando comunicação GPIO.

Adicionalmente, o software terá um banco de dados na Raspberry onde serão persistidos os resultados da análise do motor. Sendo assim, será possível ao usuário abrir posteriormente uma análise previamente salva no banco de dados.

B.2.1 Representação da Arquitetura

A figura 47 representa o Diagrama de componentes do SBTM:

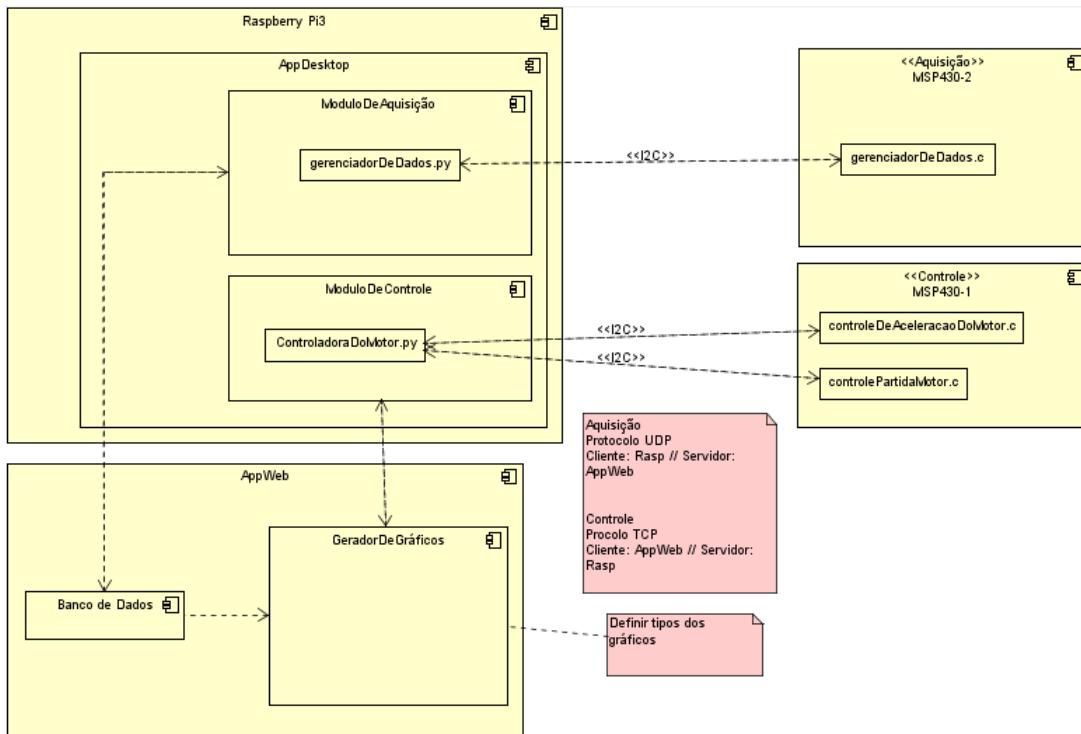


Figura 47 – Diagrama de Componentes

B.2.2 Objetivos e Restrições da Arquitetura

O objetivo dessa arquitetura é modularizar a aplicação de modo a prover um controle no desenvolvimento e facilidade de manutenção do sistema. Além disso, essa arquitetura modularizada provê um ambiente mais propício para implementação de novas features. A restrição da arquitetura proposta está no poder de processamento da Raspberry Pi, pois o volume de dados a serem persistidos será relativamente grande o que irá exigir um poder de processamento maior por parte da Raspberry.

B.3 Visão de Casos de Uso

O SBTM possui inicialmente 8 casos de uso, sendo eles:

- UC01 - Realizar acionamento do motor;
- UC02 - Realizar a aceleração do motor;
- UC03 - Realizar a desaceleração do motor;
- UC04 - Salvar informações geradas pela análise do motor;

- UC05 - Gerar relatório;
- UC06 - Iniciar análise;
- UC07 - Apresentar dados do motor dinamicamente;
- UC08 - Apresentar gráficos dinâmicos.

A figura 48 apresenta o diagrama de casos de uso do SBTM:

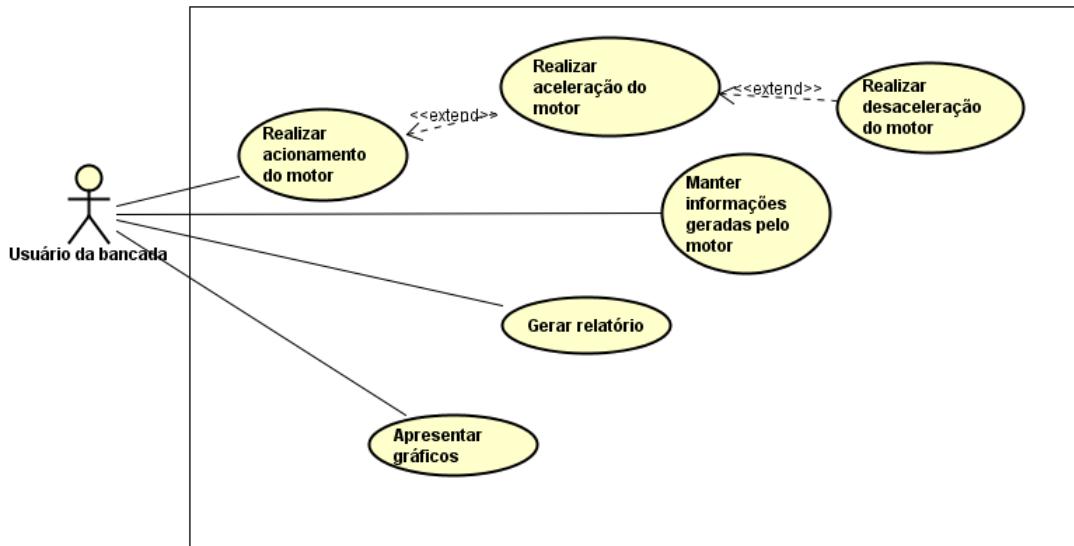


Figura 48 – Diagrama de Caso de Uso

Observa-se que há uma dependência entre os casos de uso UC01, UC02 e UC03. Esta dependência ocorre pois para que seja possível acelerar o motor (UC02) é necessário que ele seja previamente acionado (UC02), o mesmo ocorre no caso da desaceleração do motor (UC03) pois para que seja possível desacelerar é necessário que o motor esteja acionado e acelerado.

Além disso, observa-se também uma relação de dependência entre os casos de uso UC06, UC07 e UC08. Esta dependência ocorre pois para que o UC07 e UC08 ocorram, é necessário que o UC06 tenha ocorrido, porém o UC07 sempre ocorrerá e o UC08 poderá ocorrer ou não.

ANEXO C – Protótipo de Baixa Fidelidade da Interface Gráfica

Criou-se um protótipo de baixa fidelidade da interface gráfica no intuito de tornar mais clara a visão de como o usuário da bancada irá interagir com o sistema durante o ensaio de análise do motor a combustão. A Figura 49 ilustra a tela inicial da aplicação WEB que está sendo proposta.

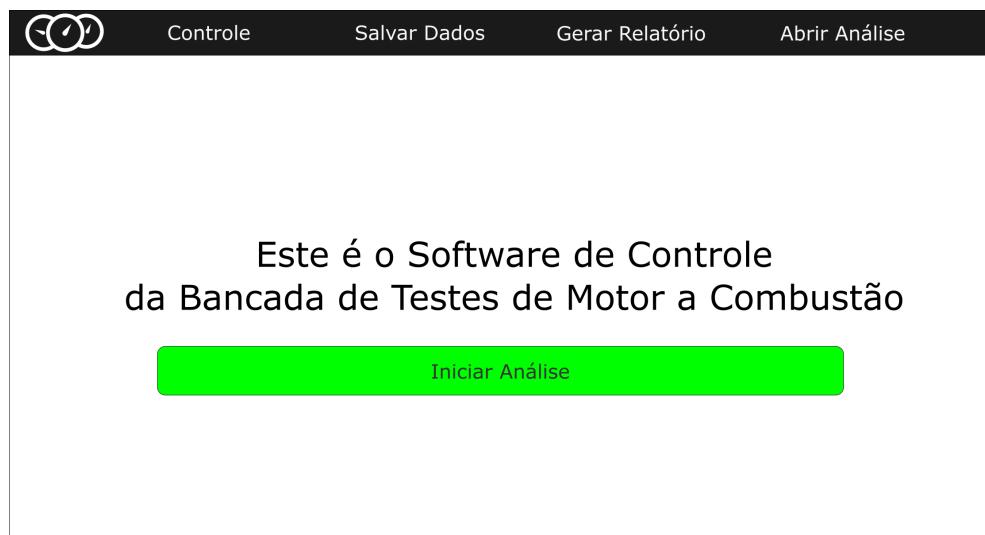


Figura 49 – Tela Inicial do Protótipo de Baixa Fidelidade.

Após o início do ensaio, o usuário será apresentado à tela de análise onde o mesmo terá acesso a elementos dinâmicos (velocímetros, termômetros e mostradores), bem como a gráficos referentes as informações oriundas dos sensores acoplados ao motor, como ilustrado na Figura 50.

Ao fim do ensaio, o usuário poderá salvar os resultados do ensaio encerrado, como ilustrado na Figura 51.

E então, por fim, visualizar os resultados armazenados de todos os ensaios anteriores, como ilustrado na Figura 52.



Figura 50 – Tela de Análise do Protótipo de Baixa Fidelidade.

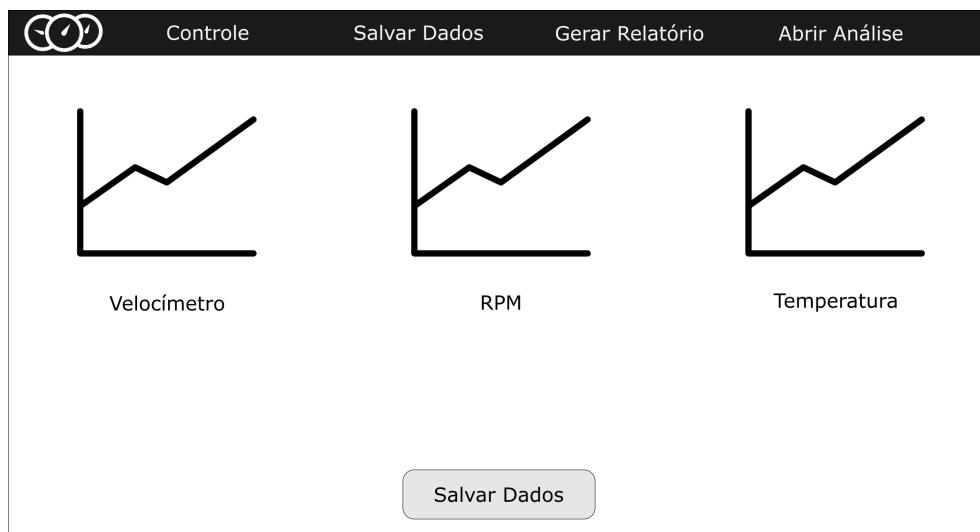


Figura 51 – Tela de Armazenamento do Protótipo de Baixa Fidelidade.



The screenshot shows a software interface with a dark header bar containing four buttons: 'Controle' (Control), 'Salvar Dados' (Save Data), 'Gerar Relatório' (Generate Report), and 'Abrir Análise' (Open Analysis). Below the header is a table with the following columns: Data/Hora (Date/Time), Duração (Duration), Vel. Máx. (Km/h) (Max Speed), RPM Máx. (Max RPM), and Temp. Máx. (°C) (Max Temperature). The table contains eight rows of data. The fourth row, corresponding to the date 04-03-2017 10:43:23, is highlighted with a dark gray background. A large, rounded rectangular button labeled 'Abrir Análise' is positioned at the bottom right of the table area.

Data/Hora	Duração	Vel. Máx. (Km/h)	RPM Máx.	Temp. Máx. (°C)
14-03-2017 04:43:23	00:04:13	120	6.500	79
09-03-2017 05:43:23	00:05:13	133	7.000	83
07-03-2017 02:43:23	00:02:13	157	5.500	97
04-03-2017 10:43:23	00:01:13	128	6.000	88
03-03-2017 18:43:23	00:08:13	122	6.500	91
03-03-2017 17:48:23	00:06:13	145	7.500	89
02-03-2017 15:42:23	00:03:13	150	7.000	78
01-03-2017 04:43:23	00:04:13	168	5.500	67

Figura 52 – Tela de Resultados do Protótipo de Baixa Fidelidade.

ANEXO D – Planta Baixa Laboratório

LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO DE MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

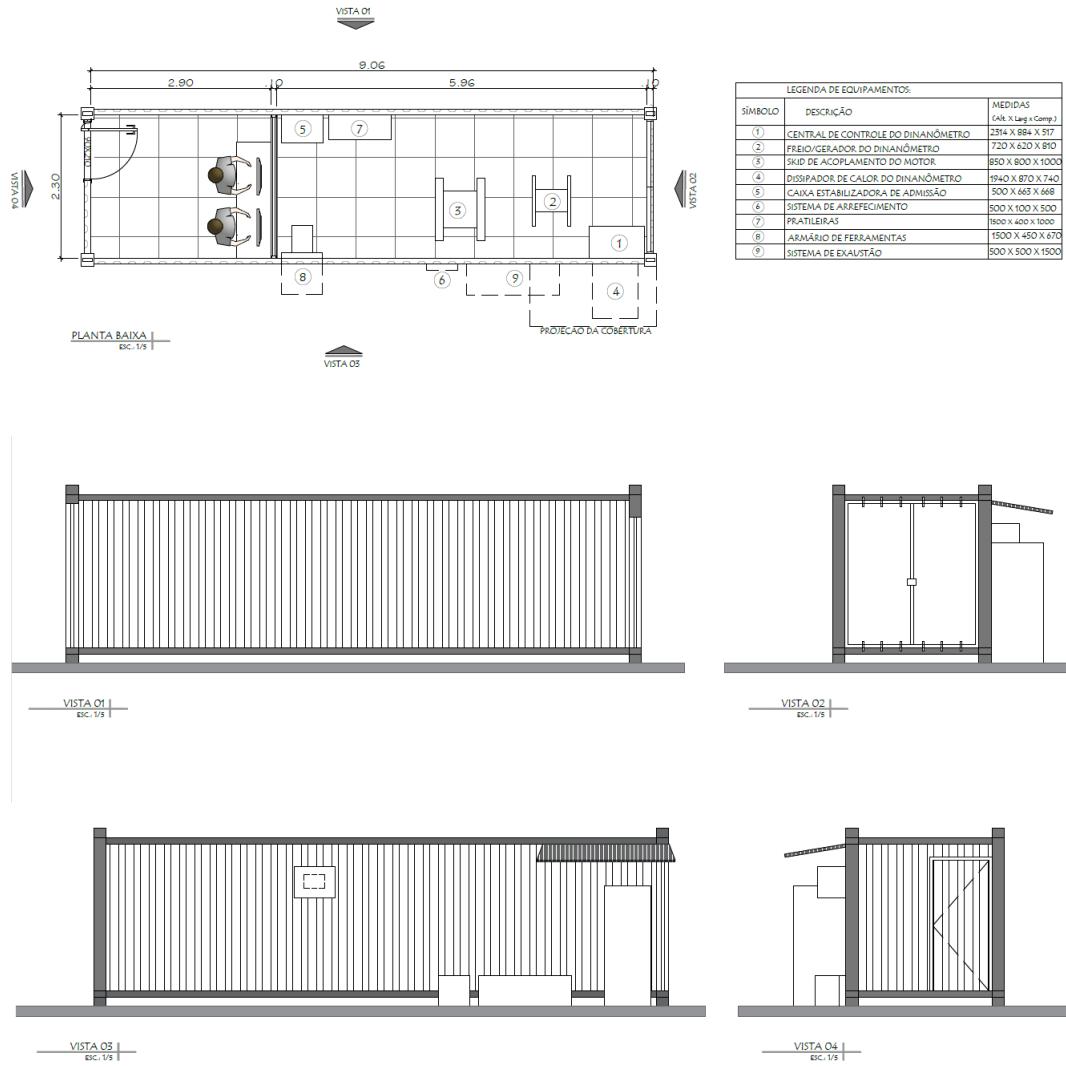


Figura 53 – Planta baixa do Laboratório de Ensaio.