

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia Em Eletrônica Automotiva

André Mitsuhiro Onishi
Ederivan Benvindo da Silva
Emerson Evangelista
Rafael Silva dos Santos

**DISPOSITIVO DE TESTE PARA LINHA DE BAIXA PRESSÃO DE
COMBUSTÍVEL DOS MOTORES CICLO OTTO**

Santo André

2023

André Mitsuhiro Onishi
Ederivan Benvindo da Silva
Emerson Evangelista
Rafael Silva dos Santos

**DISPOSITIVO DE TESTE PARA LINHA DE BAIXA PRESSÃO DE
COMBUSTÍVEL DOS MOTORES CICLO OTTO**

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à Fatec Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. MSc Cleber Willian Gomes

Santo André

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

O589d

Onishi, André Mitsuhiro

Dispositivo de teste para linha de baixa pressão de combustível dos motores ciclo otto / André Mitsuhiro Onishi... [et al.]. - Santo André, 2023. – 50f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2023.

Orientador: Prof. MSc. Cleber Willian Gomes

1. Eletrônica. 2. Dispositivo eletrônico. 3. Sensor de etanol. 4. Veículos. 5. Gasolina. 6. Sensor. 7. Tecnologia. 8. Desenvolvimento. 9. Motores Ciclo Otto. 10. Flexfuel. I. Silva, Ederivan Benvindo da. II. Evangelista, Emerson. III. Santos, Rafael Silva dos. IV. Dispositivo de teste para linha de baixa pressão de combustível dos motores ciclo otto.

629.2

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 23 DE JUNHO DE 2023.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: “DISPOSITIVO DE TESTE PARA LINHA DE BAIXA PRESSÃO DE COMBUSTÍVEL DOS MOTORES CICLO OTTO” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROFº CLEBER WILLIAN GOMES 

MEMBROS:

PROF. ROBERTO BORTOLUSSI 

PROF. LUIS ROBERTO KANASHIRO 

ALUNOS:

ANDRÉ MITSUHIRO ONISHI 

EDERIVAN BENVINDO DA SILVA 

EMERSON EVANGELISTA 

RAFAEL SILVA DOS SANTOS 

A nossas famílias, que nos apoiaram durante todo o percurso desta jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossa sincera gratidão:

Aos nossos familiares que nos apoiaram incondicionalmente durante nossa trajetória.

Ao professor Cleber por nos orientar ao longo do desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Aos nossos amigos, pelo apoio e pela compreensão durante nossas ausências.

Aos professores pela sua dedicação ao nos passar seus ensinamentos, que nos permitiram a conclusão deste trabalho.

Aos colegas de classe que nos acompanharam durante o curso de Eletrônica Automotiva.

RESUMO

Atualmente, a grande maioria dos veículos equipados com motores ciclo OTTO que circulam no mercado brasileiro, utilizam a tecnologia flexfuel de combustível, que possibilita o uso de etanol, gasolina ou uma mistura de ambos, mas grande parte dessa frota ainda não conta com o recurso de detecção do combustível por sensor de etanol, dependem da leitura do sensor de oxigênio para realizar o aprendizado do combustível pela unidade eletrônica de controle do motor de combustão interna. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo que através do uso do sensor de etanol juntamente com sensores de pressão e vazão, possam ser usados pelo reparador para avaliar as condições de trabalho da linha de baixa pressão de combustível e a porcentagem de etanol contida no combustível usado pelo veículo.

Palavras chaves: Flexfuel. Sensor de Etanol. Linha de Combustível.

ABSTRACT

Currently, the vast majority of vehicles equipped with OTTO cycle engines circulating in the Brazilian market use flexfuel fuel technology, which allows the use of ethanol, gasoline or a mixture of both, but a large part of this fleet still does not have the resource. detection of fuel by ethanol sensor, depend on the reading of the oxygen sensor to learn the fuel by the electronic control unit of the internal combustion engine. This work proposes the development of a device that, through the use of the ethanol sensor together with pressure and flow sensors, can be used by the repairer to evaluate the working conditions of the low pressure fuel line and the percentage of ethanol contained in the fuel. used by the vehicle.

Keywords: Flexfuel. Ethanol Sensor. Fuel Line.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de injeção direta de combustível	14
Figura 2 - Carburador.....	17
Figura 3 - TBI monoponto	19
Figura 4 - Corpo de borboleta	19
Figura 5 - Válvulas injetoras.....	20
Figura 6 - Bomba de alta pressão injetor e câmara de combustão.....	20
Figura 7 - Bomba de combustível mecânica	21
Figura 8 - Bomba de combustível elétrica	21
Figura 9 - Layout da Linha de Combustível.....	22
Figura 10 - Sensor de etanol.....	23
Figura 11 - Transdutores do sensor e constante dielétrica do etanol.....	23
Figura 12 - Largura do pulso do sinal e curva de trabalho do sensor de etanol.....	24
Figura 13 - Sensor de pressão de combustível	24
Figura 14 - Equação de resposta do sensor.....	25
Figura 15 - Sensor de vazão	25
Figura 16 - Manômetro.....	26
Figura 17 - Provetas, densímetros, termômetro e certificado do Inmetro	27
Figura 18 - Teste de combustível com Proveta.....	28
Figura 19 - ECU FATEC e seu Diagrama eletrônico.....	29
Figura 20 - Diagrama ECU FATEC.....	30
Figura 21 - Ensaio do software	33
Figura 22 - Mensagens do display	33
Figura 23 - Bomba de combustível e manômetro	34
Figura 24 - Porcentagem de etanol e temperatura	34
Figura 25 - Drive de comunicação.....	36
Figura 26 - Placa de alimentação.....	36
Figura 27 - Qualificação do combustível	37
Figura 28 - Tabela e gráfico da curva do sensor de vazão	38
Figura 29 - Protótipo com seus componentes e ECU FATEC.....	38
Figura 30 - Ensaio com o dispositivo em bancada	39
Figura 31 - Indicação do teor de etanol, recibo.	39

Figura 32 - Protótipo e ECU FATEC	40
Figura 33 - Interrupção CCP	44
Figura 34 - Interrupção Timer 0	45
Figura 35 - Função Botão.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ECU - Eletronic control unit

MCI – Motor de combustão interna

GDI - Gasoline direct injection

TBI - Throttle body injection

FSI - Fuel stratified injection

Br-FFS - Brazilian flex fuel sensor

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Hz - Hertz

SUMÁRIO

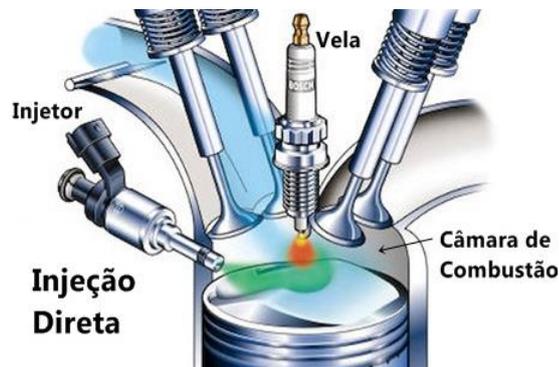
1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo	15
1.2	Motivação	15
1.3	Estrutura do trabalho	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Carburador	17
2.2	Sistema de Injeção Eletrônica	17
2.2.1	Sistema Monoponto.....	18
2.2.2	Sistema Multiponto	19
2.2.3	Sistema de Injeção Direta.....	20
2.2.4	Bomba de Combustível	21
2.2.5	Sensor de Composição de Combustível.....	22
2.2.6	Sensor de Pressão de Combustível	24
2.2.7	Sensor de Vazão de Combustível.....	25
2.3	Equipamentos	26
2.3.1	Manômetro para Teste da Linha de Combustível.....	26
2.3.2	Proveta para Teste de Combustível	27
2.3.3	Procedimento para Teste do Combustível	28
2.4	ECU FATEC	29
3	SOFTWARE	31
3.1	Bibliotecas	31
3.2	Configuração do Microcontrolador	31
3.3	Declaração de Portas, Entradas e Saídas	31
3.4	Interrupção	32
3.5	Escalonador	32
3.6	Tarefas	32

3.7	Validação do Software	32
4	DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO	35
4.1	Materiais e Ferramentas.....	35
4.2	Metodologia.....	35
4.2.1	Drive de comunicação e placa de alimentação.....	35
4.2.2	Validação e Aferição do Sensor de Vazão de Combustível.....	36
4.2.3	Montagem do Dispositivo	38
4.2.4	Ensaio do Dispositivo em Bancada	39
5	CONCLUSÃO.....	41
5.1	Propostas Para Trabalhos Futuros	41
6	REFERÊNCIAS.....	42
7	APÊNDICES.....	44
	APÊNDICE A – FUXOGRAMAS.....	44
	APÊNDICE B – SOFTWARE	47

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, os automóveis vêm sofrendo mudanças significativas com a introdução de novas tecnologias, seja para melhorar seu desempenho, consumo ou emissões. Uma dessas inovações foi a substituição do sistema de alimentação carburado pela injeção de combustível com gerenciamento eletrônico, e atualmente a implementação do sistema de injeção direta Gasoline direct injection (GDI), como mostra figura 1.

Figura 1 - Sistema de injeção direta de combustível



Fonte: (carroetecnica.com.br, 2022)

A injeção eletrônica de combustível, se tornou item indispensável nos veículos, seja pelo fator ambiental, visto que os veículos de hoje poluem muito menos que os veículos antigos ainda carburados ou pelo fato de serem muito mais econômicos e mais eficientes.

Para manter essa eficiência há necessidade de manutenção preventiva nos injetores, limpeza e troca de elementos são itens essenciais para seu correto funcionamento e no caso de falhas proceder com a manutenção corretiva, outro item muito importante do sistema é a linha de combustível, pois é através dela que o combustível chega até o sistema de injeção, aferir sua pressão e vazão conforme parâmetros do fabricante e verificar vazamentos é indispensável para um bom funcionamento do sistema.

1.1 Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um equipamento que verifique as condições de funcionamento da linha de baixa pressão de combustível de veículos ciclo OTTO, e analisar o tipo de combustível utilizado etanol, gasolina ou uma mistura dos dois combustíveis, através da porcentagem de etanol existente no combustível, utilizando a placa de desenvolvimento Eletronic Control Unit (ECU) FATEC, sensor de etanol, sensor de pressão e sensor de vazão para verificar possíveis falhas no seu funcionamento e executar ensaio após manutenção ou troca de reparos ou bomba de combustível.

1.2 Motivação

No mercado de reparação automotiva, existem vários fatores que impactam no mau funcionamento do motor do veículo um deles é relacionado ao tipo de combustível que é utilizado, no caso de ser uma mistura de combustíveis não há como saber qual porcentagem de cada um deles, sem que se faça um teste do combustível que está sendo usado no veículo.

Em posse de tal informação é possível adequar o mapa de injeção para cada combustível tornado assim mais rápida a aprendizagem do sistema de injeção do veículo.

1.3 Estrutura do trabalho

A estrutura do trabalho é dividida da seguinte maneira: no segundo capítulo, será abordado a fundamentação teórica, onde é mostrado a evolução do sistema de alimentação do veículo desde o carburador até os sistemas mais atuais de injeção eletrônica de combustível e seus periféricos.

No terceiro capítulo serão abordados aspectos do software utilizado, suas respectivas bibliotecas e a validação na plataforma MPLAB X.

No capítulo seguinte serão apresentados a construção do protótipo, assim como as ferramentas, materiais utilizados e os drives de comunicação e alimentação. Os ensaios para a validação dos componentes tanto em bancada quanto no veículo.

O último capítulo apresenta a conclusão sobre todo o processo de fabricação e validação do protótipo e seus resultados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo serão abordadas referências sobre o funcionamento do sistema de alimentação de combustível seus principais componentes, a mudança do sistema com carburador para o sistema de injeção com gerenciamento eletrônico, bomba e linha de combustível, sensores e alguns equipamentos para medição da linha de alimentação.

2.1 Carburador

O carburador é um componente utilizado para fazer a dosagem da mistura estequiométrica nos motores de combustão interna antes do sistema de injeção eletrônica, no início era um sistema totalmente mecânico sem assistência eletrônica ao longo dos anos foi se incorporando alguns artifícios para melhoria da mistura estequiométrica como venturi variável, solenoides, válvulas, chegando até o carburador eletrônico. A figura 2 mostra um carburador de corpo quadruplo.

Figura 2 - Carburador



Fonte: (HOLLEY CARBURETORS, 2022)

2.2 Sistema de Injeção Eletrônica

O sistema de injeção eletrônica substituiu o carburador nos veículos com motor de combustão interna, melhorando o desempenho, consumo e emissões de gases poluentes, através do gerenciamento eletrônico é possível controlar a massa de ar e

combustível admitida pelo Motor de Combustão Interna (MCI) assim como o tempo ideal para a ignição melhorando assim a eficiência da combustão.

Em todos os sistemas de injeção eletrônica existe uma ECU que monitora sinais vindos de vários sensores instalados no MCI e assim controla todo o sistema eletronicamente.

No início o carburador foi substituído por um sistema monoponto, isto é apenas uma válvula injetora localizada no Throttle body injection (TBI), era bem parecido com o carburador e alimentado por uma bomba de combustível eletromecânica.

O sistema monoponto foi substituído pelo sistema multiponto, onde as válvulas injetoras ficam localizadas no coletor de admissão bem próximos da entrada do cabeçote logo acima das válvulas de admissão, esse sistema de injetores também vem sendo substituído pelo sistema de injeção direta onde as válvulas injetoras ficam localizadas no cabeçote interligadas diretamente a câmara de combustão, no entanto devido à pressão de combustão no interior da câmara há necessidade de um bomba de alta pressão alimentando a válvula injetora para que a o combustível consiga ser injetado dentro da câmara de combustão.

2.2.1 Sistema Monoponto

Uma válvula injetora localizada no TBI, conforme mostra a figura 3 é responsável por alimentar todos os cilindros do MCI, ela incorpora ao seu corpo o regulador de pressão de combustível, motor de passo que faz a correção de marcha lenta, sensor de temperatura do ar, sensor de posição da borboleta, essa última acionada mecanicamente através de um cabo de aço ligado diretamente ao pedal do acelerador, devido ao injetor estar relativamente distante da câmara de combustão, o combustível atomizado esbarra nas paredes do coletor de admissão e acaba se liquefazendo novamente perdendo um pouco da sua eficiência.

Figura 3 - TBI monoponto



Fonte: (CRESTANA, 2022)

2.2.2 Sistema Multiponto

Diferente do sistema monoponto que usa um injetor para todos os cilindros, esse sistema utiliza um injetor para cada cilindro, localizados no coletor de admissão logo antes da entrada do cabeçote injetam o combustível praticamente em cima da válvula de admissão desse modo há menos obstáculos para o combustível chegar até a câmara de combustão levando a um melhor desempenho da combustão. A válvula borboleta é controlada mecanicamente por cabo em alguns modelos mais antigos ou utilizando um pedal eletrônico nos modelos mais atuais, como mostra a figura 4.

Figura 4 - Corpo de borboleta



Fonte: (INJETEC PARTS, 2022)

As válvulas injetoras ficam ligadas a um tubo distribuidor de combustível conhecido como flauta, como mostra a figura 5 o regulador de pressão pode ser acoplado a ela ou na própria bomba de combustível, quando o regulador está

acoplado ao tubo distribuidor existe uma linha de retorno de combustível para o tanque.

Figura 5 - Válvulas injetoras



Fonte: (GM, 2017)

2.2.3 Sistema de Injeção Direta

Esse sistema é formado por uma linha de combustível de baixa e alta pressão, a mistura ar combustível é feita dentro da câmara de combustão otimizando assim a queima da mistura massa de ar combustível, a válvula injetora fica ligada diretamente a câmara de combustão devido à alta pressão de compressão no interior do cilindro o injetor precisa trabalhar com uma pressão elevada para poder atomizar o combustível com o ar dentro do cilindro, como mostra a figura 6. Para fornecer a pressão é necessária uma bomba de alta pressão que trabalha com até 200 bar e a linha de baixa pressão até 6 bar.

Figura 6 - Bomba de alta pressão injetor e câmara de combustão

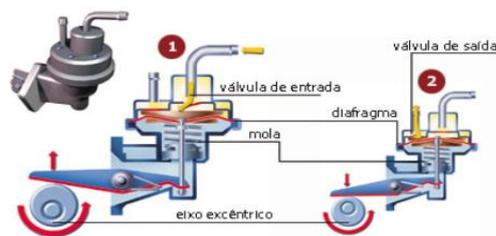


Fonte: (BOSCH, 2023)

2.2.4 Bomba de Combustível

Responsável por alimentar o sistema com combustível proveniente do tanque do veículo, nos motores que utilizam carburador é feito através de uma bomba mecânica acionada pelo próprio motor de combustão interna (MCI), geralmente ela está ligada ao eixo comando de válvulas ou eixo auxiliar que através de um came transforma a energia rotativa em energia linear, acionando um diafragma que bombeia o combustível para o carburador, como mostra a figura 7.

Figura 7 - Bomba de combustível mecânica



Fonte: (D'ANNOLFO)

No sistema de injeção eletrônica a alimentação de combustível é feita por uma bomba acionada eletricamente, como mostra a figura 8, podendo ser externa por fora do tanque ou interna dentro do tanque nesse caso já acoplada com o sensor de nível de combustível sua pressão é controlada por um regulador que fica dentro do tanque ou no tubo de distribuição, geralmente trabalha em torno de 3 bar.

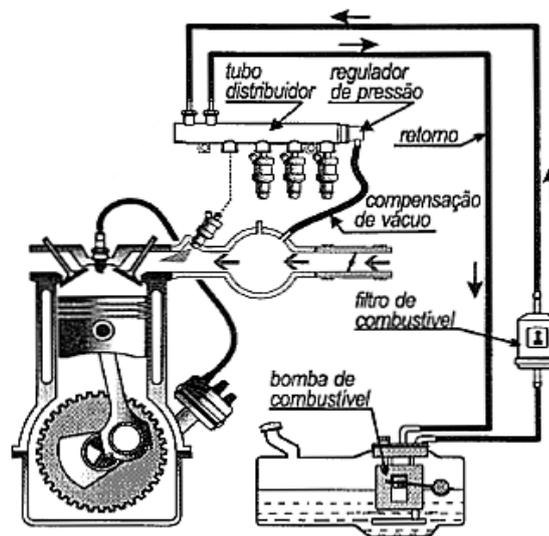
Figura 8 - Bomba de combustível elétrica



Fonte: (BOSCH, 2020)

O combustível chega no motor do veículo através da linha de combustível até as válvulas injetoras, no caso do sistema de injeção indireta ou à bomba de alta pressão, no caso de sistemas com injeção direta de combustível, esse circuito denominado linha de baixa pressão, como mostra a figura 9, será alvo de experimentos com nosso dispositivo de teste.

Figura 9 - *Layout* da Linha de Combustível



Fonte: (HUMBERTO JOSÉ MANAVELLA, 2003)

2.2.5 Sensor de Composição de Combustível

Sensor utilizado para medir a concentração de etanol presente no combustível, também conhecido como sensor de etanol como mostra a figura 10.

Segundo Continental (2014), o Brazilian flex fuel sensor (Br-FFS), foi desenvolvido para atender especificamente o mercado automotivo brasileiro deve ser conectado à linha de combustível e, à medida que o combustível flui pelo sensor, determinará o teor total de etanol (anidro mais hidratado) do combustível. O sinal de saída do Sensor será enviado para o Módulo de Controle do Motor (ECM) na unidade de frequência Hertz (Hz).

Figura 10 - Sensor de etanol

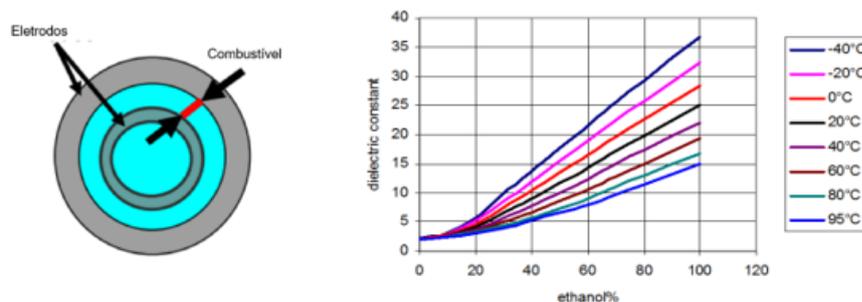


Fonte: (AUTORES, 2023)

2.2.5.1 Princípio de Funcionamento Sensor de Etanol

Segundo Continental (2014), o combustível ao fluir pelo tubo do sensor entra em contato com dois eletrodos que existem no interior dele, onde tem sua permissividade e condutividade medidos, a permissividade está relacionada a quantidade de oxigênio e a condutividade com a quantidade de água presentes no combustível, um sensor de temperatura é responsável pela afeição da temperatura do combustível uma vez que as moléculas variam de tamanho de acordo com sua temperatura, influenciando diretamente na condutividade e na permissividade, como mostrado na figura 11.

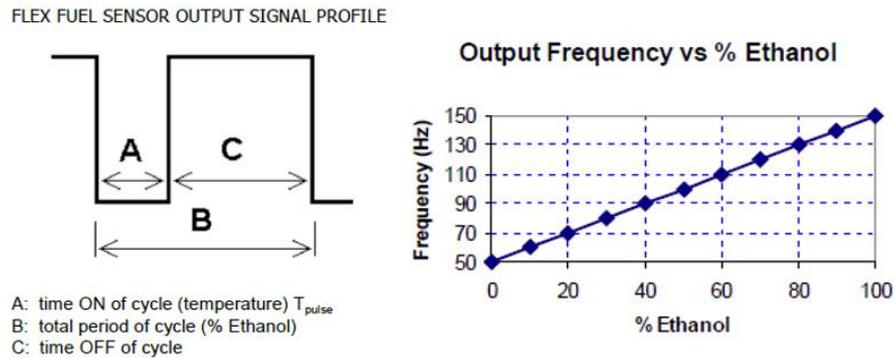
Figura 11 - Transdutores do sensor e constante dielétrica do etanol



Fonte: adaptado de (CONTINENTAL, 2014)

Ainda segundo Continental (2014), um sinal de saída pulsado - frequência (50 Hz - 150 Hz) corresponde à concentração da porcentagem total do volume de etanol (0 – 100%) dentro de uma faixa de temperatura ambiente de -40°C a 125°C. O tempo de inicialização para o primeiro sinal é inferior a 500 ms como mostra a figura 12.

Figura 12 - Largura do pulso do sinal e curva de trabalho do sensor de etanol



Fonte: adaptado de (CONTINENTAL, 2014)

2.2.6 Sensor de Pressão de Combustível

Utilizado para medir pressão da linha de combustível, através dele será possível medir a pressão de trabalho da linha de combustível possibilitando assim verificar as condições de funcionamento da bomba de combustível e possíveis vazamentos no sistema, como mostra a figura 13.

Figura 13 - Sensor de pressão de combustível

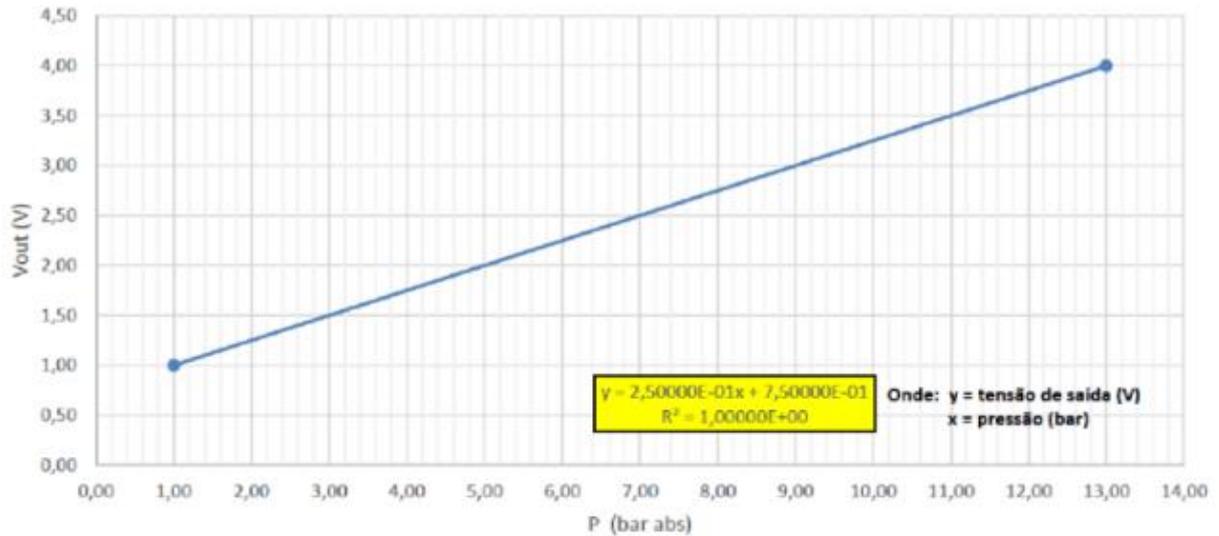


Fonte: (AUTORES, 2023)

A figura 14 mostra a curva de resposta do sensor do fabricante 3RHO, partir dos dados fornecidos pelo fabricante, foram feitas as equações que geraram o gráfico

com a curva que será usada pelo software para leitura da pressão da linha combustível.

Figura 14 - Equação de resposta do sensor



Fonte: (3-RHO INTERRUPTORES E SENSORES AUTOMOTIVOS, 2022)

2.2.7 Sensor de Vazão de Combustível

Sensor utilizado para medir a vazão do combustível, como mostra a figura 15, responsável por informar a quantidade de combustível que está passando pela linha, de posse dessas informações será possível verificar se há alguma obstrução na tubulação de combustível ou se a bomba de combustível está fornecendo a quantidade correta de combustível conforme dados do fabricante.

Figura 15 - Sensor de vazão



Fonte: (AUTORES, 2023)

2.3 Equipamentos

Neste t3pico ser3o abordados alguns aspectos importantes sobre os equipamentos existentes no mercado de reparaç3o automotiva relacionados a mediç3o da linha de combust3vel de motores ciclo OTTO.

2.3.1 Man3metro para Teste da Linha de Combust3vel.

Equipamento usado para medir press3o e vaz3o da linha de combust3vel, 3 uma ferramenta totalmente anal3gica funciona por princ3pios mec4nicos mostra atrav3s do ponteiro, no man3metro a press3o de trabalho da linha de combust3vel e na escala a vaz3o em litros por minuto como mostra a figura16.

Figura 16 - Man3metro



Fonte: (AUTORES, 2023)

2.3.2 Proveta para Teste de Combustível

A proveta utilizada para teste de combustíveis deve ser de vidro, ter capacidade para 100 ml graduada em subdivisões de 1 ml com boca esmerilhada e tampa, como mostra a figura 17, deve atender as condições estabelecidas na Portaria Inmetro nº 528, de 3 de dezembro de 2014. (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2017, p.15).

Figura 17 - Provetas, densímetros, termômetro e certificado do Inmetro



Fonte: (RAVEN FERRAMENTAS ESPECIAIS)

2.3.3 Procedimento para Teste do Combustível

O procedimento é colocar 50 ml da amostra na proveta previamente limpa, desengordurada e seca, observando a parte inferior do menisco, adicionar à solução de cloreto de sódio até completar o volume de 100 ml, observando a parte inferior do menisco, misturar as camadas de água e amostra através de 10 inversões sucessivas da proveta, evitando agitação enérgica, deixar a proveta em repouso por 10 minutos, em superfície plana e nivelada, de modo a permitir a separação completa das duas camadas, ler o aumento da camada aquosa, com aproximação de 0,5 ml, posicionando a proveta em superfície plana, nivelada e na altura dos olhos, observando a parte inferior do menisco, como mostrado na figura 18. (ANP, 2017, p.15).

Cálculo e Resultado: $V = (A \times 2) + 1$, onde:

V = Teor de etanol anidro (EAC) na gasolina, e

A = aumento em volume da camada aquosa (etanol e água)

Especificações:

Teor de Etanol Anidro combustível da gasolina C comum: 26 a 28% vol.

Teor de Etanol Anidro combustível da gasolina C premium: 24 a 26% vol.

Figura 18 - Teste de combustível com Proveta

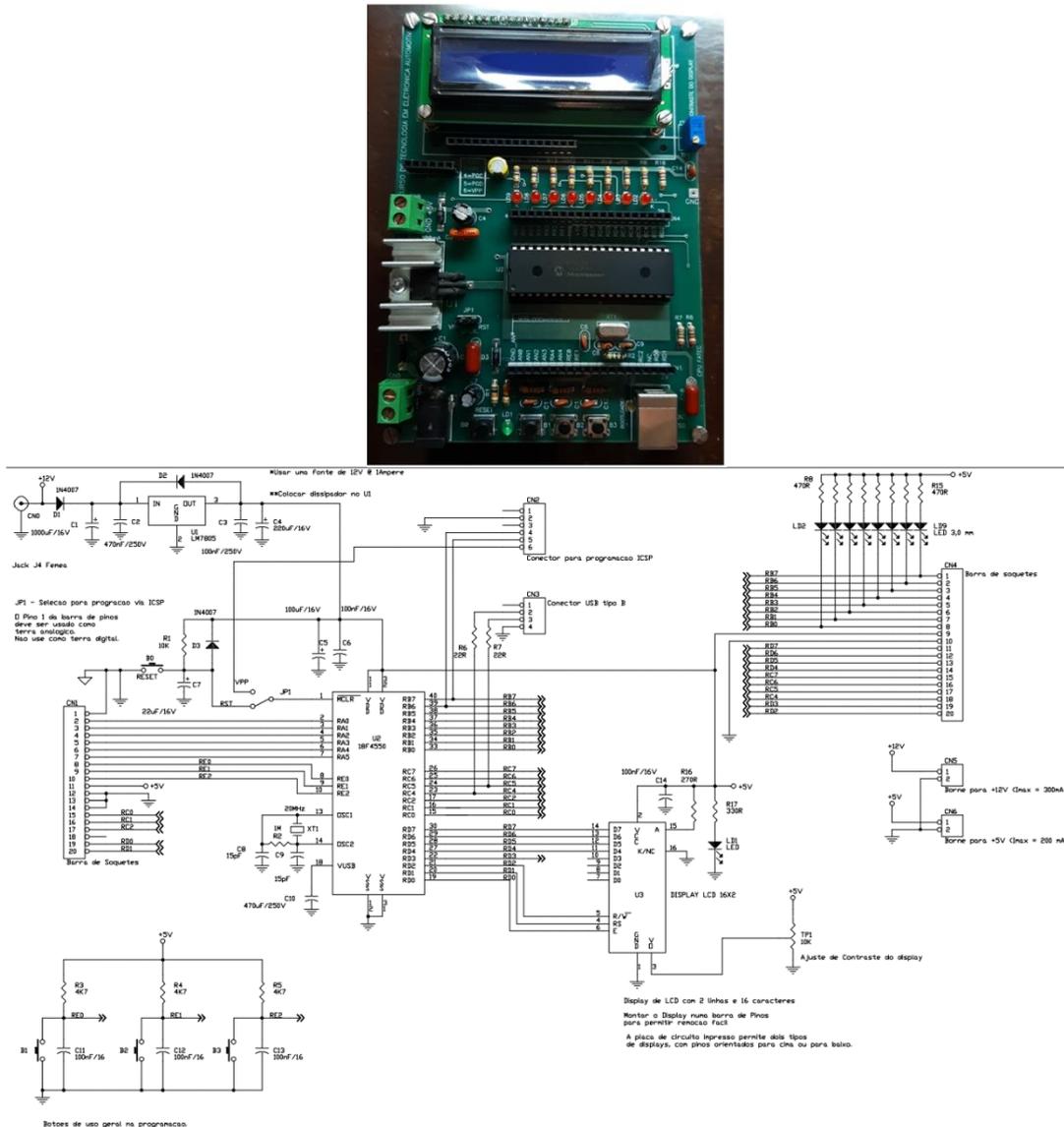


Fonte: (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2017)

2.4 ECU FATEC

A figura 19 mostra a placa de desenvolvimento FATEC montada a partir do circuito impresso fornecido pela FATEC, utiliza um microprocessador PIC 18F4550, será utilizado com a finalidade de adquirir os sinais provenientes dos sensores, sinais que serão convertidos em parâmetros para leitura do usuário do equipamento, a figura 20 mostra o diagrama eletrônico da placa.

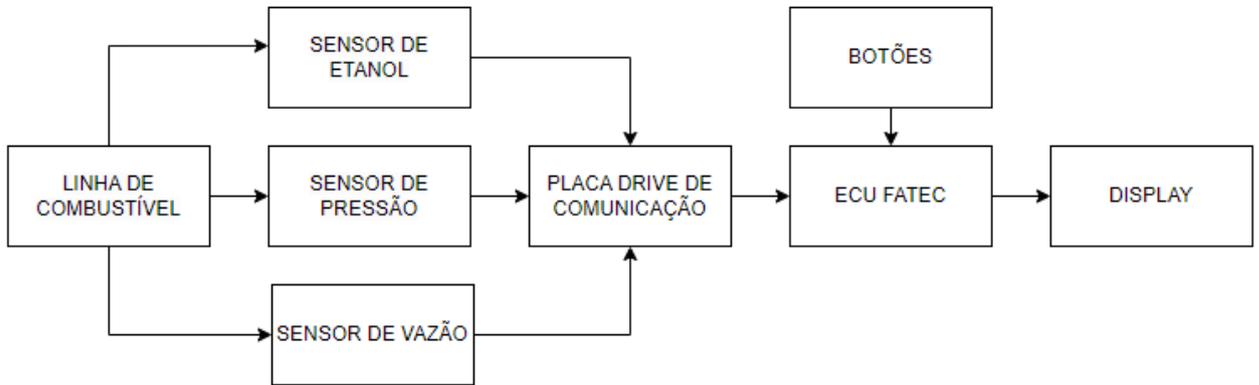
Figura 19 - ECU FATEC e seu Diagrama eletrônico



Fonte: adaptado de (AUTORES, 2023)

A figura 20 ilustra o diagrama de blocos da relação entre os componentes e a integração com a ECU FATEC.

Figura 20 - Diagrama ECU FATEC



Fonte: (AUTORES, 2023)

3 SOFTWARE

Neste capítulo será abordado o desenvolvimento do software, utilizaremos a linguagem C, juntamente com os recursos do MPLAB X IDE junto com o compilador XC8. Aqui detalharemos a lógica de programação que será usada no dispositivo para teste aqui desenvolvido. O software desenvolvido será usado juntamente com o microcontrolador PIC18F4550, usando a linguagem C:

3.1 Bibliotecas

Foram utilizadas no projeto bibliotecas já existentes para a placa FATEC e algumas criadas por nós especificamente para o projeto, elas têm por objetivo facilitar e agilizar o processo de programação, evitando possíveis erros e consumo desnecessário de memória.

3.2 Configuração do Microcontrolador

O microcontrolador foi configurado de tal maneira que assim que receber os sinais dos sensores ele vai fazer a leitura e mostrara os parâmetros no display da placa FATEC.

3.3 Declaração de Portas, Entradas e Saídas

Foram utilizadas configurações das portas do PIC apenas como entradas de modo a receber os sinais provenientes dos sensores que serão usados no projeto.

3.4 Interrupção

O timer 0 foi usado como base para contagem de tempo, ele é usado para calcular a frequência do sensor de vazão e o tempo de execução das tarefas e execução das rotinas.

3.5 Escalonador

O escalonador determina o processo e a prioridade de execução, que serão utilizadas no programa.

3.6 Tarefas

Tarefa 0: Ela verifica se o botão foi pressionado a cada 100ms.

Tarefa 1: Faz a atualização do display a cada 200ms.

Tarefa 2: Ela calcula a frequência do sensor de etanol a cada 250ms.

Tarefa 3: Faz o cálculo da temperatura do combustível no sensor de etanol a cada 250ms.

Tarefa 4: Faz o cálculo do combustível que passa pelo sensor de vazão a cada 400ms.

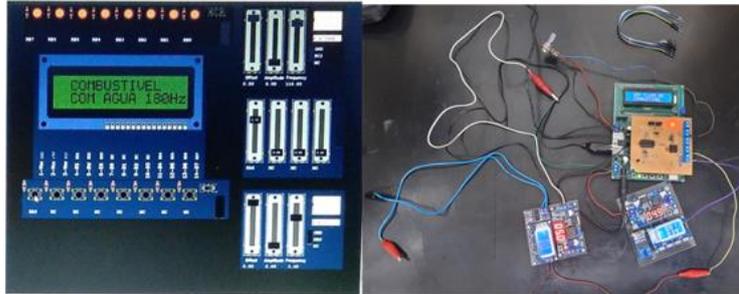
Tarefa 5: Faz o cálculo da pressão do combustível no sensor de pressão a cada 400ms.

3.7 Validação do Software

Após a elaboração do programa na linguagem C, foram feitos alguns ensaios para verificar se ele funcionava de forma correta para isso foi utilizado o MPLAB X IDE, após alguns ensaios verificamos que o programa precisava de ajustes para seu pleno funcionamento, corrigidos os erros o software foi aplicado tanto no programa

MPLAB quanto na ECU FATEC onde seu funcionamento foi validado com sucesso, a imagem 21 mostra os ensaios feitos pelo grupo através de simulação.

Figura 21 - Ensaio do software



Fonte: adaptado de (AUTORES, 2023)

As informações disponíveis no display da ECU FATEC são:

Porcentagem de etanol, pressão em Bar, vazão em litros por hora ou por minuto, combustível com água, falha interna no sensor, sinal fora da faixa, como mostrado na figura 22.

Figura 22 - Mensagens do display

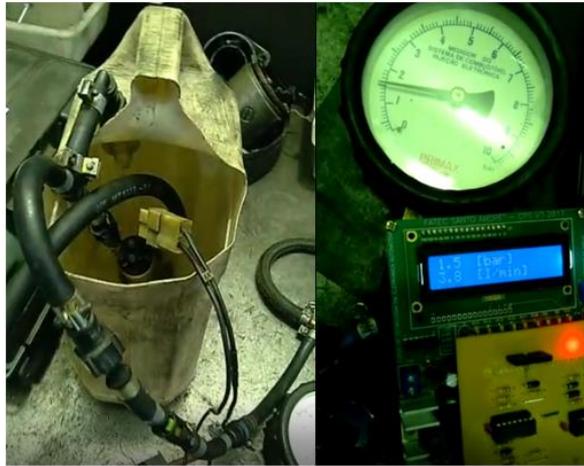


Fonte: adaptado de (AUTORES, 2023)

Após testes com simulador, foram feitos testes em bancada com uma bomba de combustível simulando as condições de um veículo, foram medidos a pressão, vazão porcentagem de etanol e temperatura.

A figura 23 mostra a bomba de combustível junto com o manômetro de vazão e pressão, a ECU FATEC indica os parâmetros no display.

Figura 23 - Bomba de combustível e manômetro



Fonte: adaptado de (AUTORES, 2023)

A figura 24 mostra a ECU FATEC indicando a porcentagem de etanol e a temperatura do combustível, também foi usado um termômetro para aferir a temperatura do combustível no momento do ensaio.

Figura 24 - Porcentagem de etanol e temperatura



Fonte: adaptado de (AUTORES, 2023)

4 DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO

Neste capítulo serão abordados o processo de desenvolvimento do dispositivo bem como os materiais, componentes utilizados e ensaios realizados.

4.1 Materiais e Ferramentas

Foram utilizados para esse projeto o sensor de etanol, sensor de pressão, sensor de vazão, mangueiras e engates de combustível para ligação dos sensores assim como fios e terminais, na aferição do sistema usamos manômetros de vazão e densímetro de combustível, osciloscópio e simulador de frequência

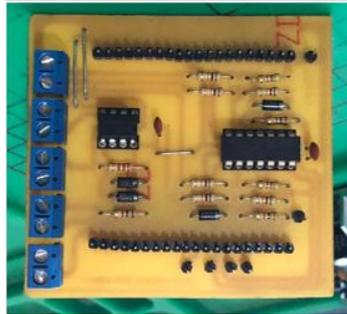
4.2 Metodologia

Neste tópico serão abordados os processos utilizados para o desenvolvimento do dispositivo, ensaios para validação dos componentes utilizados, a construção do protótipo de teste, seus periféricos, sua ligação com a ECU FATEC, o ensaio com o software e o hardware em bancada e o teste do dispositivo conectado em um veículo.

4.2.1 Drive de comunicação e placa de alimentação

Foi utilizado uma placa condicionadora de sinais, que foi elaborada e confeccionada por nós em sala de aula, para o uso no projeto ela teve pequenas modificações, ela faz a interface dos sensores do dispositivo à ECU FATEC, como mostra a figura 25.

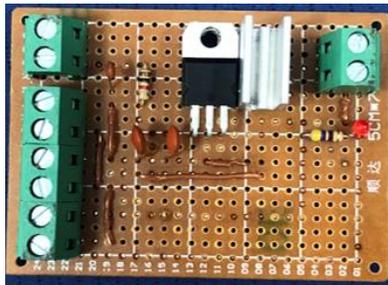
Figura 25 - Drive de comunicação



Fonte: (AUTORES, 2023)

Placa de alimentação, ela foi elaborada e confeccionada de modo a receber a tensão de 12 volts e transformá-la em 5 volts que é a tensão utilizada pelos sensores do dispositivo como mostra a figura 26.

Figura 26 - Placa de alimentação



Fonte: (AUTORES, 2023)

4.2.2 Validação e Aferição do Sensor de Vazão de Combustível

O sensor de vazão adquirido não continha o datasheet com as informações corretas sobre seu funcionamento, consultamos o vendedor e o fabricante, porém não obtivemos êxito, devido a isto, nós tivemos que executar ensaios para sua aferição, bem como a estruturação de um gráfico de resposta do sensor.

Foram utilizados dois equipamentos um da RAVEN e outro de uma marca genérica, de dois fabricantes atuantes no seguimento de ferramentas automotivas,

após a qualificação do combustível, como mostra a figura 27, pudemos verificar no ensaio que entre eles houve uma variação significativa nos resultados.

Combustível utilizado no ensaio:

GASOHOL E 27, densidade 0.74

Coleta:

1401g densidade 0.74 = 1893,24ml/min

Equipamento RAVEN:

Vazão 2l/min Erro aproximado 106ml

Equipamento marca genérica:

Vazão 0,8l/min Erro aproximado 1063,24ml

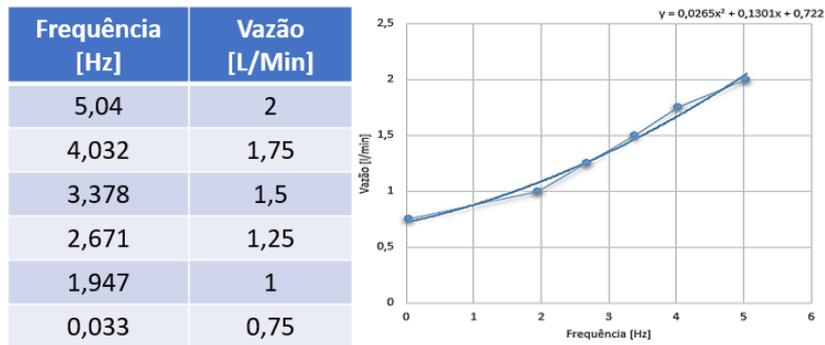
Figura 27 - Qualificação do combustível



Fonte: (AUTORES, 2023)

Após o ensaio, com base nos parâmetros obtidos, estruturamos a curva do sensor de vazão, assim como seu range de funcionamento que é acima dos 0,75 l/min, dados que usados para elaboração do software que realizara a leitura e conversão dos parâmetros aqisitados pelo sensor , de litros por minuto em frequência (Hz) indicado na figura 28.

Figura 28 - Tabela e gráfico da curva do sensor de vazão

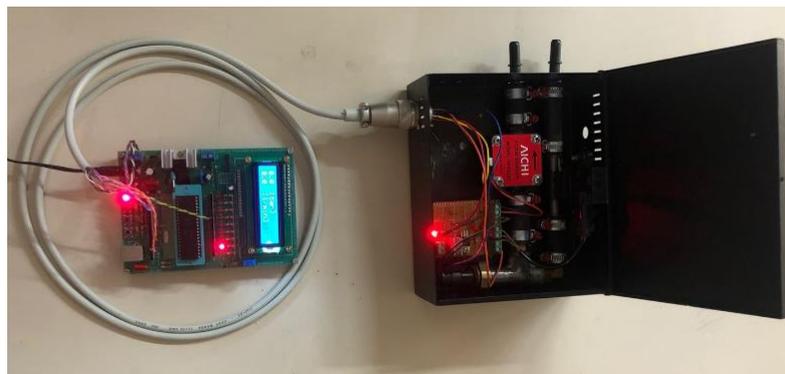


Fonte: adaptado de (AUTORES, 2023)

4.2.3 Montagem do Dispositivo

O hardware será montado de tal maneira que, facilite seu manuseio armazenagem e transporte. Ele deverá ser instalado no motor do veículo, em sua linha de combustível de baixa pressão, para isso contará com um sistema de mangueiras e conexões intercambiáveis para se adequar a vários tipos de veículos de diversas montadoras, sua alimentação de energia será feita diretamente da bateria, a partir do dispositivo sairá um cabo que alimentara a ECU FATEC com os sinais dos sensores e energia para seu funcionamento, a figura 29 mostra parte do desenvolvimento do dispositivo, já montado com sensores de pressão, vazão, etanol e circuito de alimentação.

Figura 29 - Protótipo com seus componentes e ECU FATEC



Fonte: (AUTORES, 2023)

4.2.4 Ensaio do Dispositivo em Bancada

Para verificação do funcionamento do dispositivo foram feitos alguns ensaios em bancada, com uma bomba de combustível, manômetros de pressão e vazão, foi adquirido combustível e foram feitas as aferições dos componentes em conjunto com a ECU FATEC, junto com um multímetro e um alicate amperímetro, como mostra a figura 30.

Figura 30 - Ensaio com o dispositivo em bancada



Fonte: (AUTORES, 2023)

Após o primeiro ensaio verificamos o teor de etanol no combustível adquirido em um posto de combustíveis da região para nossa surpresa constatamos que o teor de etanol era de 46 % bem acima do regulamentado pela ANP, como mostra a figura 31.

Figura 31 - Indicação do teor de etanol, recibo.



Fonte: Adaptado de (AUTORES, 2023)

Após a montagem do dispositivo e testes em bancada, passamos para fase seguinte que foi o ensaio em um veículo no caso uma Montana da General Motors, onde verificamos que o dispositivo por nós elaborado junto com a ECU FATEC funcionou corretamente, indicando a pressão vazão e o teor de etanol do combustível que estava dentro dos padrões aceitáveis, excedendo nossas expectativas quanto ao projeto como mostra a figura 32.

Figura 32 - Protótipo e ECU FATEC



Fonte: Adaptado de (AUTORES, 2023)

O protótipo se mostrou eficaz e de fácil instalação no veículo, os resultados obtidos de pressão e vazão estavam dentro dos parâmetros fornecidos pelo fabricante da bomba de combustível, o teor de etanol na gasolina foi de 28%, dentro do limite regulamentado pela ANP, que foi atestado pelo teste da proveta e pelo equipamento de diagnóstico instalado junto ao veículo, mostrando a referência ar/combustível e a porcentagem estimada de etanol na gasolina do veículo.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo a construção do dispositivo para efetuar ensaio na linha de baixa pressão de combustível, tivemos êxito em verificar a pressão da linha, sua vazão e a concentração de etanol no combustível, para o ensaio adquirimos gasolina e etanol de alguns postos de combustíveis da região, que nos surpreenderam pela quantidade de etanol contida na gasolina que variavam de 32% a 46%, após fazer o teste da proveta e confirmar o resultado, verificamos que o aparelho está com sua calibração ok, cumprindo satisfatoriamente com seu propósito, e que os combustíveis usados no ensaio realmente estavam adulterados por uma porcentagem maior de etanol do que o regulamentado pela ANP.

Concluí se que com os dados obtidos, que o sensor de composição de combustível da Continental, atende perfeitamente ao que foi proposto pelo fabricante, assim como os sensores de vazão e pressão.

O ensaio realizado no veículo mostrou que o dispositivo é de fácil manuseio, simples de se instalar e seu teste demonstrou que está apto para o uso.

5.1 Propostas Para Trabalhos Futuros

- Construção de uma nova placa ECU de menor tamanho, e incorporá-la ao dispositivo tornado ele uma peça única, para facilitar o manuseio.
- Realizar estudos para identificação da porcentagem de água no etanol através do sensor de etanol.
- Realizar estudos para transmissão dos dados do dispositivo para smartphone via bluetooth.
- Realizar estudos para implementação de estimativa de relação ar/combustível através da porcentagem de etanol no combustível.

6 REFERÊNCIAS

- 3-RHO INTERRUPTORES E SENSORES AUTOMOTIVOS. 3rho.com.br. **3rho.com.br**, 2022. Disponível em: www.3rho.com.br. Acesso em: 05 abril 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, Gás N. E. B. (. **Cartilha do Posto Revendedor de Combustíveis**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro. 2017.
- AUTORES. [S.l.]: [S.n.], 2023.
- BOSCH. bosch invented for life. **bosch-automotive-catalog.com/pt**, 2020. ISSN bosch-automotive-catalog.com/pt. Disponível em: www.boschaftermarket.com. Acesso em: 18 maio 2023.
- BOSCH. **boschaftermarket.com/pt/pt**, 2023. Disponível em: <https://www.boschaftermarket.com/pt/pt>. Acesso em: 18 maio 2023.
- BOSCH, Robert. **Manual de Tecnologia Automotiva Tradução por Helga Madjderey, Gunter W. Prokesch, Euryale de Jesus Zerbini e Suely Pfeferman**. 25º. ed. São Paulo: Blucher, 2005.
- CARROETECNICA.COM.BR. **Carro e técnica**, 2022. Disponível em: <https://carroetecnica.com.br/wp-content/uploads/2017/05/Inje%C3%A7%C3%A3o-direta-1.jpg>. Acesso em: Novembro 2022.
- CONTINENTAL. **Brazilian Flex Fuel Sensor (Br-FFS)**. Continental. Miami. 2014.
- CRESTANA. www.crestana.com.br. **Crestana**, 2022. Disponível em: https://crestana.com.br/img/imagens_produto/20190624_115758_1___IMG20190624101010305.JPG. Acesso em: Novembro 2022.
- D'ANNOLFO. jorgestreet.com.br. **jorgestreet.com.br**. Disponível em: https://jorgestreet.com.br/offline/2AN/2AN_MATERIAL_D'ANNOLFO1_Sist%20de%20Alim%20Carburadores.pdf. Acesso em: 2023 maio 18.
- GM, Accioly. acciolygm.com.br. **Accioly peças Chevrolet**, 2017. Disponível em: <https://www.acciolygm.com.br/93363250>. Acesso em: 18 maio 2023.
- HOLLEY CARBURETORS. www.holley.com. **Holley**, 2022. Disponível em: https://www.holley.com/products/fuel_systems/carburetors/street/parts/0-1850S. Acesso em: Novembro 2022.
- HUMBERTO JOSÉ MANAVELLA. Controle Integrado do Motor. In: MANAVELLA, Humberto J. **Controle Integrado do Motor**. São Paulo: [s.n.], 2003. p. 42.

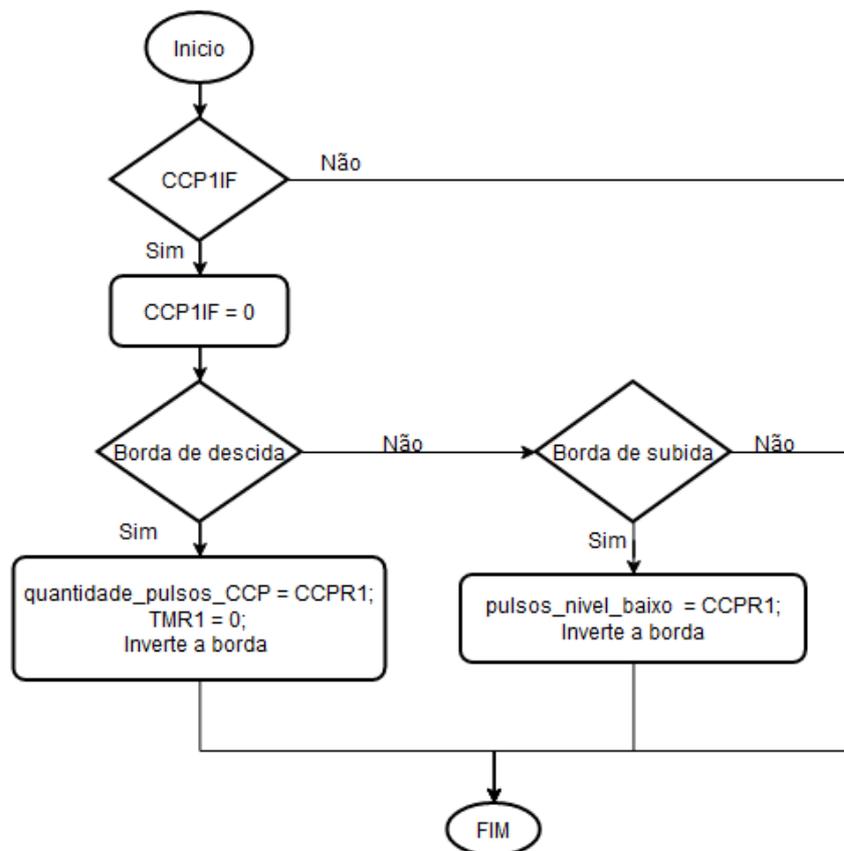
INJETEC PARTS. www.injetecparts.com.br. **Injetec Parts**, 2022. Disponível em: <https://www.injetecparts.com.br/produtos/corpo-borboleta-tbi-passat-golf-jetta-tiguan-a3-06f133062/#product-gallery-1>. Acesso em: Novembro 2022.

RAVEN FERRAMENTAS ESPECIAIS. **RAVEN Ferramentas**. Disponível em: www.ravenferramentas.com.br. Acesso em: 10 abril 2023.

7 APÊNDICES

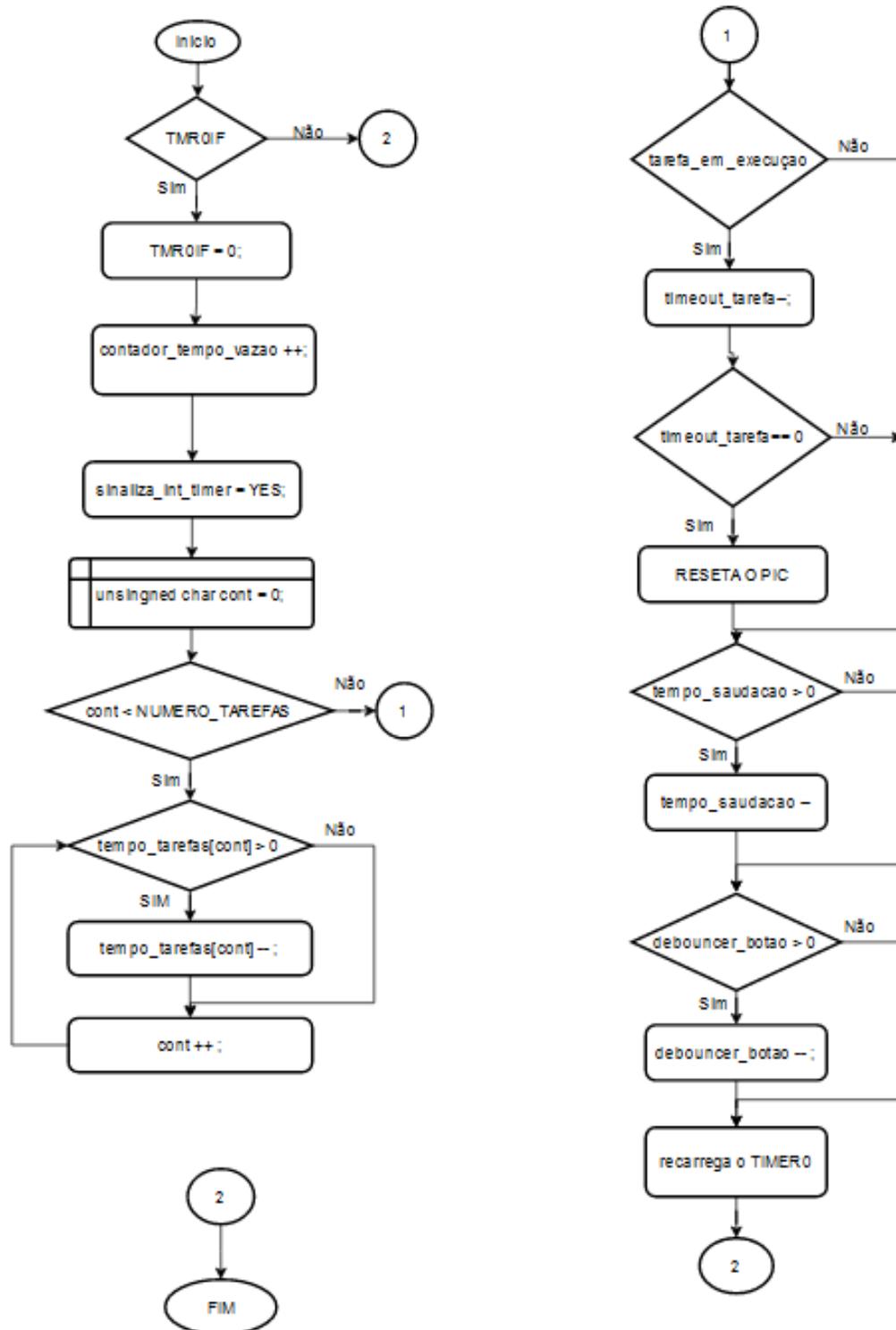
APÊNDICE A – FUXOGRAMAS

Figura 33 - Interrupção CCP



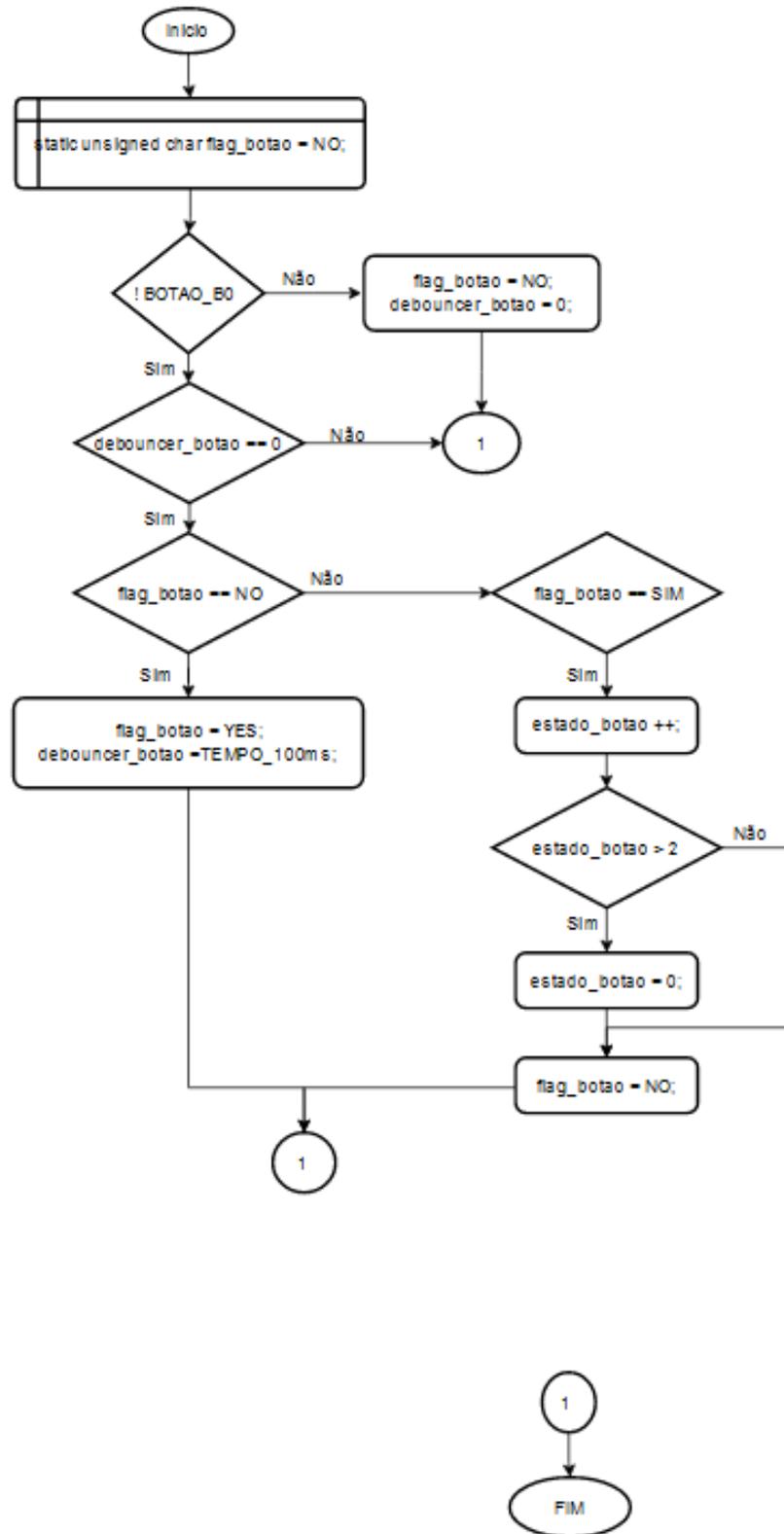
Fonte: (AUTORES, 2023)

Figura 34 - Interrupção Timer 0



Fonte: (AUTORES, 2023)

Figura 35 - Função Botão



Fonte: (AUTORES, 2023)

APÊNDICE B – SOFTWARE

```

/*****
* Nome do Arquivo      : TCC.c
*
* Descricao           : Implementa a funcao principal do projeto
*
* Ambiente             : MPLAB, XC8 versao 1.45, PIC18F4550
*
* Responsavel         : André, Ederivan, Emerson e Rafael
*
* Versao/Data         : Programa principal do projeto de TCC iniciado 06/04/2023
*
*                   Tem como objetivo: medir pressão, vazão e porcentagem de
*                   etanol no combustível nos veículos ciclo otto.
*
*****/

```

```
// Includes do Compilador
```

```
#include <xc.h>
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include<p18f4550.h>
```

```
#include<stdlib.h>
```

```
// Includes do Projeto
```

```
#include "hardware.h"
```

```
#include "main.h"
```

```
#include "Config.h"
```

```
#include "adc.h"
```

```
#include "display_lcd.h"
```

```
#include "fatec.h"
```

```

/*****

```

```

*****/

```

* Prototipos das funcoes

```

*****/
void interrupt_isr(void);
void escalonador(void);
void inicializa_tarefas(void);
void tarefa_botao(void);
void tarefa_display(void);
void tarefa_calcula_vazao(void);
void tarefa_calcula_pressao(void);
void tarefa_porcentagem_etanol(void);
void tarefa_calcula_temperatura(void);
uint8_t funcao_tela(void);
/*****/

```

```

/*****/

```

* Variaveis Globais

```

*****/

```

```

/*ponteiro de função para executar as tarefas*/

```

```

void (*p_tarefas[NUMERO_TAREFAS])(void);

```

```

/*vetor com tamanho da quantidade de tarefas(Armazena o tempo para execução da
tarefa)*/

```

```

uint16_t tempo_backup[NUMERO_TAREFAS];

```

```

/*vetor com tamanho da quantidade de tarefas(Armazena o tempo para execução da
tarefa)*/

```

```

uint16_t tempo_tarefa[NUMERO_TAREFAS];

```

```

/*Informa se a interrupção foi gerada*/

```

```

uint8_t sinaliza_int_timer;

```

```

/* Informa que existe uma tarefa sendo executada */

```

```

volatile char tarefa_em_execucao;

```

```

uint16_t timeout_tarefa;
uint16_t tempo_saudacao = TEMPO_2000_MS;
uint32_t frequencia_vazao = 0;
uint32_t contador_tempo_vazao = 0;
uint16_t debouncer_botao = 0;
uint32_t quantidade_pulsos_CCP = 0;
uint32_t pulsos_nivel_baixo = 0;
uint8_t estado_botao = 0;
uint8_t estado_erro = 0;
uint32_t pressao = 0;
uint32_t vazao = 0;
uint32_t porcentagem_etanol = 0;
uint32_t frequencia_etanol = 0;
long int temperatura = 0;

/*****

*****/

* Funcao:          void interrupt isr(void)
* Entrada:         Nenhuma (void)
* Saída:           Nenhuma (void)
* Descrição: Implementa a rotina de interrupcao
*****/

void interrupt isr(void)
{
    if (TMR0IF && T0IF) //verifica se o flag do TIMER0 está setado
    {
        INTCONbits.TMR0IF = 0;

        contador_tempo_vazao ++;

        sinaliza_int_timer = YES;
        for (uint8_t cont=0; cont<NUMERO_TAREFAS; cont++)
        {

```

```
        if (tempo_tarefa[cont] > 0)    tempo_tarefa[cont]--;

    }

    if (tarefa_em_execucao == YES)
{
    timeout_tarefa--;

    if (!timeout_tarefa)
    {
        //Se a tarefa demorar mais do que o tempo programado, o pic é resetado
        PCLATH=0;
        PCL=0;
    }
}
if(tempo_saudacao > 0) tempo_saudacao--;
if(debouncer_botao > 0) debouncer_botao--;
    TMR0 = 0xD120; //Recarrega a interrupção
}
```