

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ

Paulo Victor Muniz dos Santos
Solidonio Israel de Souza Junior
Vinicius de Moraes Gestinari

ANÁLISE DE CONSUMO DE COMBUSTIVEL EM UM GERADOR DE
ENERGIA A COMBUSTÃO EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE
DE INJEÇÃO

Santo André – SP
2018

Paulo Victor Muniz dos Santos
Solidonio Israel de Souza Junior
Vinicius de Moraes Gestinari

ANÁLISE DE CONSUMO DE COMBUSTIVEL EM UM GERADOR DE
ENERGIA A COMBUSTÃO EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE
DE INJEÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística da Faculdade De Tecnologia de Santo André, orientado pelo Profº MSc Adriano Ribolla como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecânica Automobilística.

Santo André – SP
2018

FICHA CATALOGRÁFICA

S237a

Santos, Paulo Victor Muniz dos
Análise de consumo de combustível em um gerador de energia a combustão em função do sistema de controle de injeção / Paulo Victor Muniz dos Santos, Solidonio Israel de Souza Junior, Vinícius de Morais Gestinari. - Santo André, 2018. – 74f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2018.

Orientador: Prof. Adriano Ribolla

1. Mecânica. 2. Motor Ciclo Otto. 3. Gerador de energia. 4. Injeção eletrônica. 5. Consumo. 6. Combustível. 7. Tecnologia. 8. Software. 9. Arduino. I. Souza Junior, Solidonio Israel de. II. Gestinari, Vinícius de Morais. III. Análise de consumo de combustível em um gerador de energia a combustão em função do sistema de controle de injeção.

629.2


LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 15 DE DEZEMBRO DE 2018



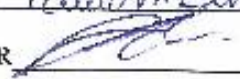
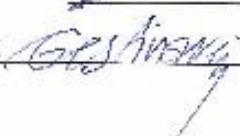
LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "ANÁLISE DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM UM GERADOR A COMBUSTÃO EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DE INJEÇÃO" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. ADRIANO RIBOLTA 

MEMBROS:

PROF. FERNANDO GARUP DALBO PROF. ROBERTO BOROLUSI **ALUNOS:**PAULO VICTOR MUNTZ DOS SANTOS SOLIDONIO ISRAEL DE SOUZA JUNIOR VINÍCIUS DE MORAIS GESTINARI 

Dedicamos este trabalho a todos amigos e familiares que nos apoiaram e estiveram conosco em toda nossa caminhada até aqui, sem seu apoio, auxílio nossa caminhada seria muito mais dura e sem sentido.

Agradecimentos

Agradecemos a todos os professores e companheiros de sala que de alguma forma nos ajudaram a chegar nesta etapa do curso, transformando-o em algo mais leve e prazeroso.

Agradecemos ao engenheiro eletrônico Alexandre Ambrósio Galvão por auxiliar em algumas etapas do projeto.

Um agradecimento ainda mais especial ao professor Adriano Ribolla, por toda sua paciência, esmero e dedicação no processo de orientação. Agradecemos, também em especial, o professor Fernando Garup Dalbo por todo seu carinho ao nos ministrar as disciplinas do trabalho de graduação, em que a todos os momentos nos incentivou para que tudo saísse bem.

Resumo

Este trabalho tem como finalidade a alteração de um sistema de alimentação de combustível à carburação original de um gerador de energia a combustão (modelo TF3000cxv da empresa Toyama) para um sistema de injeção eletrônica implementado atualmente na indústria automotiva. A alteração consiste na substituição do sistema carburado, amplamente utilizado durante décadas no setor automobilístico, para o atual sistema de injeção eletrônica, empregado em sua quase totalidade no setor devido a sua melhor eficiência nos quesitos de consumo de combustível, desempenho e redução de emissões em relação ao sistema anterior. O objetivo proposto é analisar se há uma melhoria em consumo com a alteração, sem fazer qualquer quantificação dos níveis de emissões gerados pelo equipamento. Será também introduzido um guia dos componentes utilizados e as etapas de transformação do sistema, assim como testes para aferir os resultados alcançados.

Palavras Chaves: Gerador de Energia, Motor de Ciclo Otto, Injeção Eletrônica, Carburador, Mega Squirt, Arduíno.

Abstract

This article has as objective the changing of a fuel injection system, part of an internal combustion electricity generator (Toyama TF3000cxv), into a modern system implemented in the automotive industry. The changing consists of the substitution of the carbureted system, widely used for decades in the automotive sector, for the modern electronic fuel injection system, widely used nowadays in the sector due to its better efficiency when it comes to fuel consumption, performance and emissions reduction in comparison with the previous system. The objective presented is to analyse if there is an improvement in the fuel consumption with the proposed changing, discarding the current emission levels implemented by the legislation in which the engines with electric injection must be regarded. A guide of the used components and the steps of the system transformation will also be introduced, as well as the rest used to point out the achieved results.

Keywords: Power Generator, Otto Cycle Engine, Electronic Injection, Carburetor, Mega Squirt, Arduino.

Lista de Figuras

Figura 1 - giclê	18
Figura 2 - Difusor	18
Figura 3 – Funcionamento do Carburador.....	20
Figura 4 - Componentes do Carburado.....	21
Figura 5 - Injetor.....	22
Figura 6- Caneta	23
Figura 7 - Bimetal.....	24
Figura 8 – ECU	26
Figura 9 - Arduino	27
Figura 10 - Válvula Injetora	28
Figura 11 - Sensor de Fase.....	29
Figura 12 - Arduino ATmega2560	32
Figura 13 - Speeduino V0.4	33
Figura 14 – Válvula Injetora 16450-KVS-861	34
Figura 15 - Sensor de Fase.....	35
Figura 16 - Bomba de Combustível GI3055	36
Figura 17 – Ilustração do funcionamento da bomba de roletes	37
Figura 18 - Ficha técnica TF3000cx2v	39
Figura 19 – Projeto Corpo Injetor	41
Figura 20 – Corpo Injetor finalizado	41
Figura 21 - ECU	43
Figura 22 – Conector do chicote com a ECU	45
Figura 23 – Chicotes na bomba de combustível.....	46
Figura 24 - Chicotes na válvula injetora e no sensor de fase	46
Figura 25 – Montagem original.....	48
Figura 26 - Montagem do Corpo Injetor.....	48
Figura 27 - Sensor de Fase.....	50
Figura 28 - Localização do Sensor de Fase	51
Figura 29 – Sistema completo.....	53
Figura 30 - Fase de Ajustes gerador carburado	55
Figura 31 - Fase de Ajustes gerador injetado.....	55

Figura 32 - Massa do recipiente no ensaio de carburação	56
Figura 33 - Início do ensaio (Carburado).....	58
Figura 34 - Imagem ao final do ensaio - 2 Horas.....	58
Figura 35 – Massa do recipiente no ensaio de injeção.....	61
Figura 36 – Início do ensaio (Injeção Eletrônica).....	63
Figura 37 - Final do ensaio – 2 horas.....	63

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Consumo x Tempo (Total)	59
Gráfico 2 - Consumo nos períodos de medição	60
Gráfico 3 - Potência dissipada x Tempo.....	60
Gráfico 4 - Consumo Total	64
Gráfico 5 - Consumo nos períodos de medição	65
Gráfico 6 - Potência dissipada x Tempo.....	65
Gráfico 7 - Comparação de resultados.....	66

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Especificação técnica Arduino ATmega2560	32
Tabela 2 - Especificações Técnicas Sensor	35
Tabela 3 – Especificações Bomba GI3055.....	37
Tabela 4 - Tempo x Massa (Carburado).....	57
Tabela 5 - Tempo x Massa (Injeção Eletrônica)	62

Lista de Abreviaturas e Siglas

CER	Cerâmico
CFI	Central Fuel Injection (Injeção central de combustível)
CLT	Coolant Temperature (temperatura do líquido de arrefecimento)
CTS	Coolant Temperature Sensor (Sensor de Temperatura)
DI	Direct Injection (Injeção Direta)
ECU	Engine Control Unit (Unidade de controle do motor)
IAT	Intake Air Temperature (temperatura do ar de admissão)
IDC	Insulation-displacement connector (Conector deslocamento de isolamento)
MAF	Mass air flow sensor (Sensor de massa de ar admitida)
MAP	Manifold Absolute Pressure (pressão de ar no coletor)
MPFI	Multi Point Fuel Injection (pontos múltiplos de injeção de combustível)
O ₂	Gás Oxigenio
PFI	Ported Fuel Injection
TANT	Tântalo
TPS	Throttle Position Sensor (sensor de posição da borboleta do acelerador)
VR	Variable Reluctance (Relutância Variável)
VVT	Variable Valve Timing (tempo de válvula variável)

Sumário

1. Introdução	16
1.1 – Objetivo.....	16
2. Desenvolvimento Teórico	17
2.1 Carburadores	17
2.2 – Injeção Eletrônica.....	17
2.3 – Arduino.....	27
2.4 – Válvulas Injetoras	28
2.5 – Motor Gerador de Energia.....	28
2.6 – Sensor de Fase.....	29
2.7 – MegaSquirt - Injeção Programável	29
3. Componentes do Projeto	31
3.1 – Arduino.....	31
3.1.1 – Especificações técnicas do Arduino ATmega2560	32
3.2 – Speeduino	33
3.2.2 – Especificações técnicas Speeduino V0.4	33
3.3 – Válvula injetora.....	34
3.4 – Sensor de Fase.....	35
3.4.1 – Especificações técnicas do sensor de fase	35
3.5 – Bomba de combustível.....	36
3.5.1 – Especificações Técnicas da bomba de combustível GI3055	37
3.6 – Motor Gerador de Energia.....	38
4. Montagem e Adaptação do Sistema.....	40
4.1 – Etapa de construção.....	40
4.1.1 – Construção do corpo injetor.....	40
4.1.2 – Construção do módulo de controle de injeção de combustível (ECU) Megaquirt	42
4.1.3 – Construção dos chicotes e cabos conectores.....	43
4.2 – Etapa de montagem	46
4.2.1 – Instalação do corpo injetor e seus agregados	47
4.2.2 – Instalação do Sensor de fase	49
4.3 – Adaptação do Sistema Injetado.....	51
5. Ensaio.....	54
5.1 – Ensaio do gerador carburado	56

5.2 – Ensaio do gerador com injeção eletrônica.....	61
6. Comparação dos resultados	66
7. Conclusão	67
8. Propostas Futuras	68
9. Referências	69
10. Bibliografia	70
Apêndice A – Lista de Componentes para execução do projeto	72
Apêndice B – Lista de Ferramentas para execução do projeto	74
Apêndice C - Cálculo Estequiométrico	75

1. Introdução

No mundo urbano que se vive hoje, ficar sem energia tem sido algo impensável, seja em ambientes fabris, pequenos negócios, hospitais ou até mesmo no ambiente doméstico, e para se prevenir disso, o gerador a combustão é uma excelente solução. Mas há um inconveniente, e neste caso, é referente ao consumo de combustível.

1.1 – Objetivo

O objetivo deste presente trabalho, com a alteração do sistema de combustível do motor, é averiguar se existe uma possibilidade de melhora em relação ao seu consumo, ou seja, verificar se ao longo de um determinado período de tempo de funcionamento do motor há uma diferença quanto ao consumo entre os dois tipos de injeção de combustível: o carburado (conforme projetado pelo fabricante originalmente) e o injetado eletronicamente (proposto por este trabalho).

Além disso, vale ressaltar que este trabalho não visa quantificar uma possível redução de emissões de poluentes, nem mesmo a questão de eficiência quanto aumento de potência, uma vez que o conceito da unidade de controle utilizada não prevê aumento de desempenho, isto porque a sua missão é o consumo de combustível, mas caso sua missão seja cumprida, pode-se obter a redução de emissões, uma vez que ao se consumir menos combustível, menos poluentes provenientes da sua queima serão gerados.

2. Desenvolvimento Teórico

O desenvolvimento teórico desse trabalho destina-se ao estudo dos dois sistemas de alimentação de combustível, o sistema carburado e o sistema de injeção eletrônica. Serão apresentadas as principais diferenças de funcionamento, os componentes integrados de cada sistema e a sua evolução histórica.

2.1 Carburadores

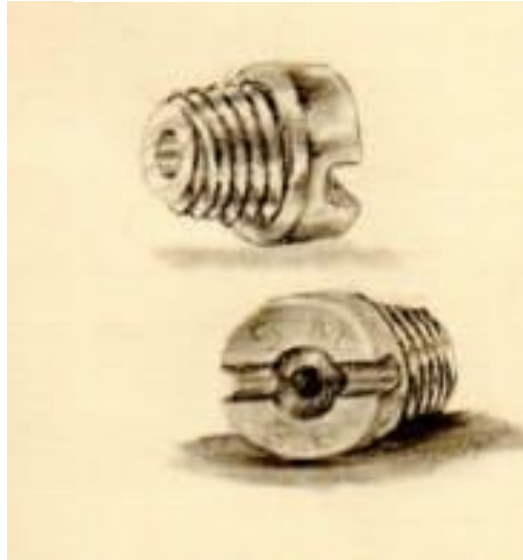
O carburador tem como função alimentar os motores a combustão interna através de mecanismos que propiciam a mistura ideal de ar combustível necessária ao seu funcionamento. O carburador, por sua vez, é uma ideia oriunda do “princípio de Venturi”.

O tubo de Venturi ou venturímetro, como o próprio nome indica, foi inventado no século XVIII pelo cientista G. B. Venturi (1746-1822). Este tubo consiste num dispositivo para medir a velocidade de escoamento de um fluido através de um tubo. É formado por duas secções adelgaçadas de um tubo ligadas por uma garganta estreita. A velocidade do fluido na garganta aumenta e, em consequência, a pressão diminui. Ligando um manómetro às três secções do tubo pode ser medida a diminuição de pressão, e pode ser calculada a velocidade do fluxo através da garganta. O tubo de Venturi é ainda utilizado para misturar uma pulverização fina de um líquido num gás, como acontece no carburador de um motor a combustão. A gasolina da câmara de flutuação é pulverizada em finas gotas quando é aspirada na forma de um jato, devido à baixa pressão na garganta do tubo de Venturi por onde tem de passar antes de ser misturada com o ar. (PORTO, 2018).

O princípio básico de funcionamento do carburador consiste em: o combustível que entra pela passagem da agulha dosadora, que por sua vez faz tal controle de admissão por estar ligada a boia do reservatório de combustível “cuba”, que quando flutua por ter menor densidade, proporciona o fechamento da passagem da agulha. Uma vez o combustível na cuba, a qual tem por característica manter seu nível de combustível constante pelo funcionamento conjunto da boia e agulha, o líquido passa pelo giclê (Figura 1), responsável pela dosagem de combustível na fase líquida, em

seqüência ele é encaminhado pelos dutos internos até o pulverizador, conhecido muitas vezes por difusor, representado na figura 2.

Figura 1 - giclê



Fonte: A autoria própria (Solidonio I.S.Jr.)

Figura 2 - Difusor



Fonte: A autoria própria (Solidonio I.S.Jr.)

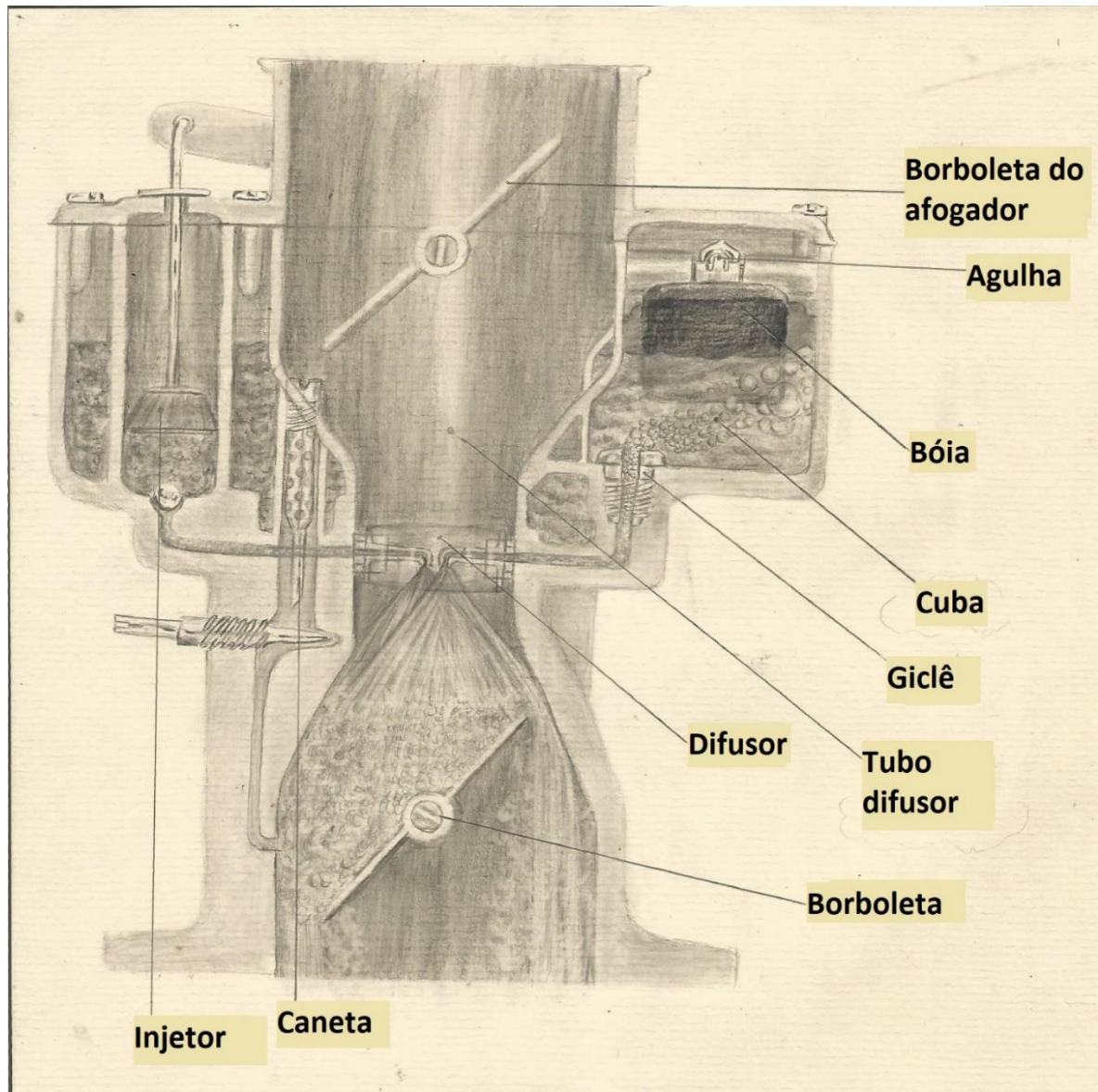
Com a chegada do combustível começa o processo em que o princípio de Venturi se encaixa, o combustível é misturado ao ar no corpo do tubo pulverizador no momento em que a pressão do ar é menor e sua velocidade é maior, ou seja, no estreitamento do tubo. No entanto, todo o princípio se deve a pressão negativa gerada

pela força de sucção dos pistões em seu movimento descendente, logo todo ar puxado pelos pistões tem passagem obrigatória na entrada do carburador. Sendo então diretamente proporcional a quantidade de massa ar/combustível admitida com a potência e torque do motor o controle dos dois fatores se dá na diminuição ou aumento da massa, portanto, há uma válvula controladora desse fluxo chamada de “borboleta do acelerador”, ou simplesmente de “borboleta”, na extremidade do tubo difusor fazendo o controle de admissão da massa variando a área de passagem de fluxo.

A borboleta do acelerador é uma lâmina em formato circular introduzida em uma fenda que atravessa o centro de um eixo de forma paralela ao comprimento do mesmo, portanto, com o movimento rotacional do eixo a lâmina circular pode abrir o fechar como uma válvula.

Na figura 3 é possível visualizar como é o funcionamento básico de um carburador e a sua devida estrutura interna.

Figura 3 – Funcionamento do Carburador

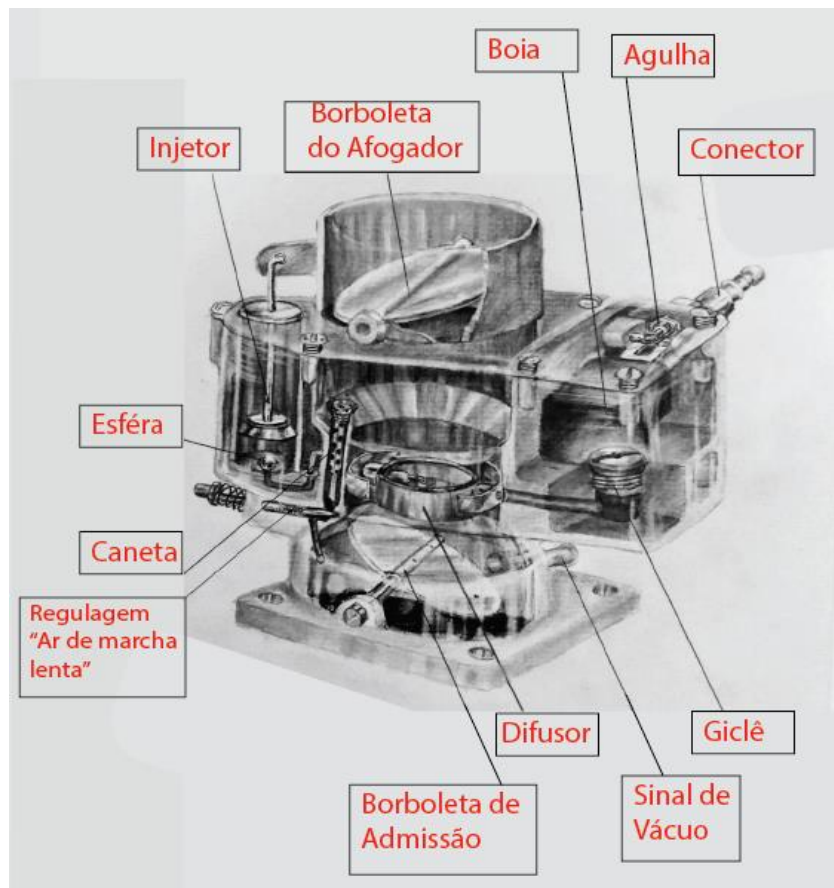


Fonte: Autoria própria (Solidonio I.S.Jr.)

Com base no princípio aqui citado, pode-se obter o carburador verdadeiramente funcional uma vez que se consiga adequar as frações estequiométricas necessárias à combustão de gasolina cujo valor se aproxima de 13,5:1. O ar quando submetido a alta velocidade durante a passagem pelo pulverizador, acaba variando sua pressão e, por consequência, diminui sua densidade, já a gasolina por sua vez não, o que faz com que a mistura acabe tendo frações muito grandes de gasolina em relação a de ar a medida em que a velocidade da sucção aumenta, o que é conhecido como mistura rica, e por haver uma demanda excedente de combustível em relação ao comburente não haveria combustão em

dado momento, podendo gerar problemas, como por exemplo o calço hidráulico, que ocorre pelo acúmulo de combustível nas câmaras de combustão no estado líquido. Por esse motivo foram desenvolvidos dois tipos de carburadores, os de pulverizador de jatos fixos (que consistem em uma fração de ar que é previamente adicionada a gasolina através de tubos ou compensadores que proporcionam a emulsificação de combustível pouco antes do mesmo chegar ao difusor, em que irá receber uma fração maior de ar como no esquema já mencionado) e o carburador de pulverizadores de jato variado (que baseia-se no princípio que o duto que alimenta o pulverizador com gasolina para efetuar a mistura tem maior altura que o reservatório de combustível “cuba” (conforme foi representado na imagem 3), o qual mantém a gasolina em nível constante, por sua vez o combustível é injetado 6mm acima do nível do reservatório em pequenas gotículas). A figura 4 apresenta os principais componentes de um carburador simples.

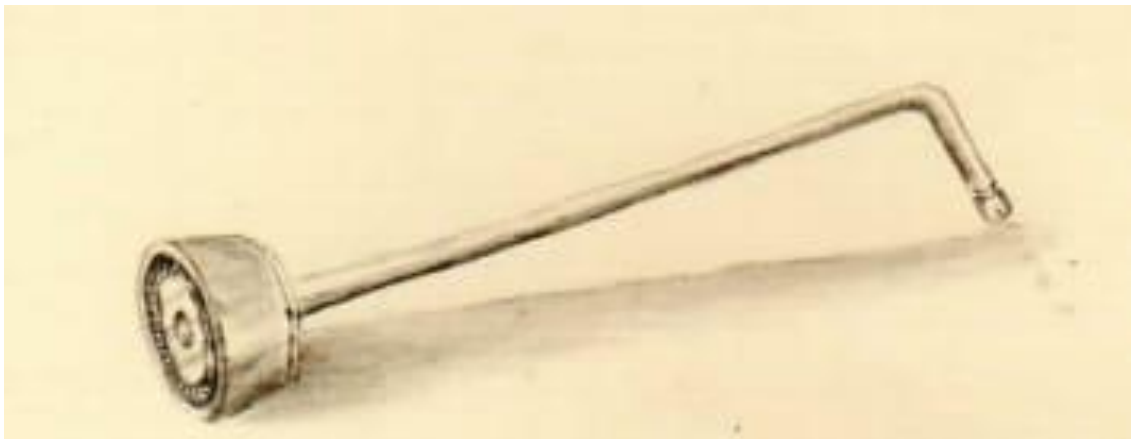
Figura 4 - Componentes do Carburado



Fonte: Autoria própria (Solidonio I.S.Jr.)

O carburador também conta com um outro elemento alojado próximo ao reservatório, conhecido como injetor, representado na figura 5, esse componente auxilia o fluxo do combustível da “cuba” para o difusor no ato da partida, funcionando como uma impulsão. O injetor tem seu mecanismo de funcionamento integrado ao de acionamento da abertura da borboleta: ao acionar o pedal do acelerador o injetor (que se trata de um pequeno pistão que comprime o combustível contra um pequeno orifício onde há uma esfera que contém o fluxo) manda o combustível até o difusor fazendo com que o vácuo de sequência a sucção da mistura.

Figura 5 - Injetor



Fonte: A autoria própria (Solidonio I.S.Jr.)

Para que o veículo permaneça em funcionamento parado é necessário uma dosagem adequada de ar/combustível, para isso existem as canetas que operam da seguinte forma: uma vez que o carro esteja parado o regime de carga da borboleta é quase nulo, logo um orifício tubular (a caneta, que sua estrutura está representada na figura 6) que vai da extremidade superior do corpo do carburador até pouco após a borboleta é responsável por coletar o ar necessário, em quanto a passagem de gasolina é controlada por um giclê.

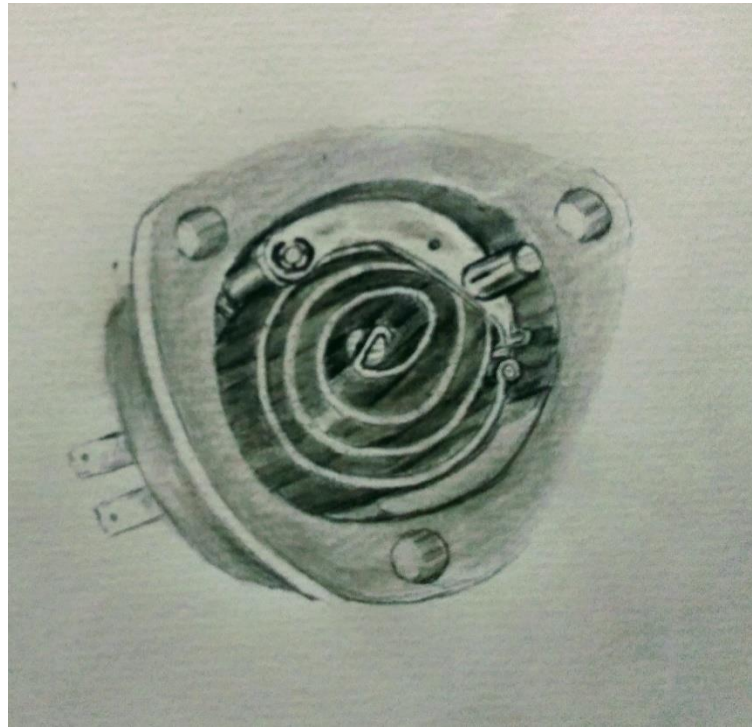
Figura 6- Caneta



Fonte: A autoria própria (Solidonio I.S.Jr.)

Os carburadores independentemente do combustível tendem a ter dificuldades de alimentar o motor quando submetidos a baixas temperaturas operacionais devido ao ponto de ignição da gasolina ou etanol, ou mesmo quando o combustível utilizado não apresenta as características ideais para seu funcionamento, como combustível adulterado. Para auxiliar na partida nessas situações, há um sistema chamado afogador, que consiste em uma borboleta na área de entrada de fluxo do carburador para limitar a entrada do ar antes do tubo difusor, o que por sua vez faz com que o processo deixe a mistura um pouco mais rica, favorecendo a partida. Esse sistema faz com que o motor atinja de maneira mais rápida a temperatura ideal de funcionamento. O afogador em sua fase inicial de existência operava por acionamento mecânico através de um cabo de aço "com função de acionar o sistema " semelhante ao do acelerador, que posteriormente foi aprimorado por um sistema elétrico o qual contava com um bimetálico, ou popularmente conhecido por serpentina, apresentado na Figura 7, ligada ao sensor de temperatura do motor. Quando a temperatura está baixa a serpentina se mantém em posição de estrangulamento de passagem do fluxo, já com a temperatura elevada, através da resistência elétrica, o material da serpentina se deforma girando o eixo do afogador permitindo a passagem do fluxo de ar.

Figura 7 - Bimetal



Fonte: Autoria própria (Solidonio I.S.Jr.)

O sistema de carburação deve manter as misturas em divisões iguais entre os cilindros pela distribuição da massa ar/combustível no coletor de admissão, que se trata de um tubo com ramificações dimensionadas que levam a mistura até a entrada de cada uma das válvulas de admissão de combustível no motor.

Para garantir que não haja uma possível contaminação por algum corpo sólido que venha a se introduzir a mistura, podendo entrar entre as válvulas até o interior das câmaras gerando dano ao motor, como um possível risco na camisa ou fratura no alojamento da válvula comprometendo sua vedação, os carburadores contam com um elemento filtrante, que se trata de um compartimento que possui em seu interior uma espécie de filtro de ar, para remover do ar atmosférico a ser admitido todo particulado sólido que possa comprometer o sistema.

2.2 – Injeção Eletrônica

A partir do barateamento e massificação dos componentes eletrônicos, o sistema de alimentação de combustível migrou de modelos puramente mecânicos para modelos com recursos de gerenciamento eletrônico.

O carburador convencional não atendia mais as necessidades de desempenho, economia de combustível e principalmente emissões de gases, sendo assim fez-se necessário um sistema que proporcionasse ao motor uma eficiência melhor independentemente do regime de funcionamento, conforme Fróes (2017).

Para que tais necessidades sejam atendidas, o motor precisa receber a mistura ar/combustível de forma homogênea e estratificada, e o mais perto possível de sua estequiometria ideal na fase de admissão ou compressão em qualquer faixa de rotação, algo que o carburador, mesmo em perfeito estado de funcionamento e muito bem regulado, não consegue fornecer.

Com a evolução tecnológica nos sistemas de controle eletrônico, cada vez mais o sistema de injeção tem fornecido o volume de combustível de forma mais precisa para que o motor seja mais eficiente e emita menos poluentes.

Esta precisão na injeção só é possível graças a ECU que é a Unidade de Controle do Motor, que recebe os sinais elétricos de todos os sensores e outras variáveis do sistema, como os sensores de ar, de temperatura, e rotação que enviam informações para a ECU que a partir daí calcula a massa de combustível a ser injetada.

Na Figura 8, é apresentado o modelo de uma ECU empregada em veículos atuais.

Figura 8 – ECU



Fonte: <https://www.sxthelement.com>

O sistema de injeção pode ser classificado de várias formas, quanto a sua tecnologia (analógica ou digital), a sequência de injeção (simultânea, semissequencial fasada, ou sequencial fasada), a posição do injetor (junto ao corpo de borboleta, próximo a válvula de admissão PFI, ou no interior da câmara de combustão), ao processo de medição da vazão de ar admitido (sensor de palheta, sensor de massa de ar, Speed density ou Alfa-n), e ao processo de controle da relação ar combustível (malha aberta ou fechada).

Vale ressaltar que, segundo Brunetti (2012), no início da aplicação da injeção eletrônica no Brasil muito se utilizava um sistema analógico, MPFI, com sistema simultâneo de injeção (full group), e a relação ar combustível, ou seja, o sensor de oxigênio, em malha aberta.

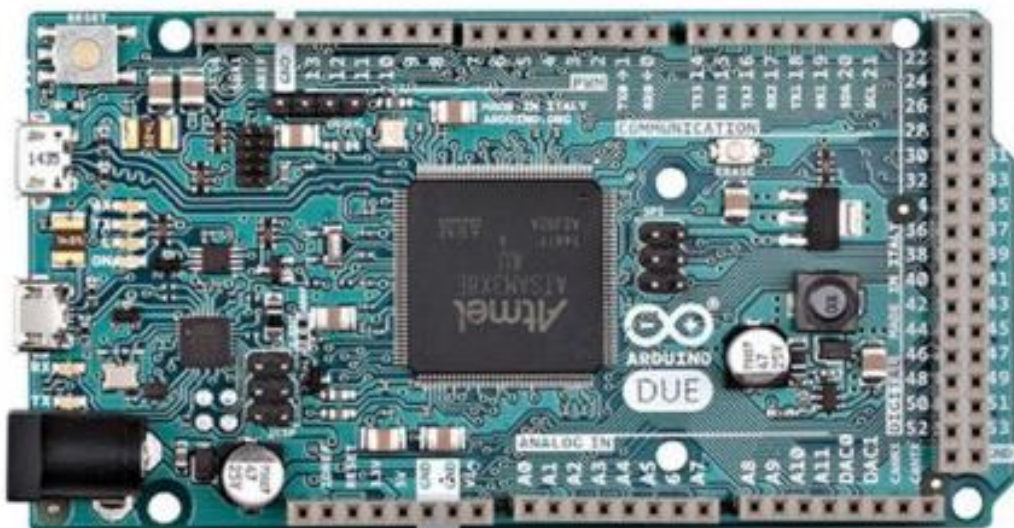
Como citado por Brunetti (2012), num segundo momento houve a aplicação de uma eletrônica digital, o que proporcionou maior flexibilidade na estratégia de controle de injeção, além disso houve outras mudanças: o sistema de injeção passou a ser sequencial fasado, o controle de oxigênio passou a ser feito por uma malha fechada, e a medição da massa de ar por um sensor tipo MAF.

Este sistema digital é caracterizado pela presença fundamental da ECU, um microcomputador que rege todo este sistema de sensores e atuadores, trazendo uma flexibilização interessante em todo range de atuação do sistema de injeção, além de permitir facilmente a alteração dos parâmetros através da alteração dos dados do software do sistema.

2.3 – Arduino

Arduino, apresentado na figura 9 é uma plataforma de fácil acesso produzida para auxiliar em desenvolvimentos que necessitam de um sistema capaz de receber sinais de entrada, realizar cálculos e tarefas e logo após emitir sinais de saída, ou seja, basicamente um processador com entradas e saídas. Possui uma característica própria de ser muito simples em sua utilização, sendo facilmente programado por qualquer pessoa que possua o básico de conhecimentos na área de programação. Utiliza uma linguagem de programação própria baseada na programação *Wiring*, e um software de interface para se conectar em um computador com Windows ou Linux.

Figura 9 - Arduino



Fonte: <https://store.arduino.cc/arduino-due>

2.4 – Válvulas Injetoras

Popularmente conhecido como “Bico injetor de combustível” ou “injetor de combustível”, é a válvula que realiza a injeção de combustível para o motor, e possui a função de pulverizá-lo (atomizá-lo) durante a aplicação para garantir uma melhor queima proveniente da mistura ar-combustível. A válvula injetora é controlada eletronicamente pela unidade de controle do motor (ECU), e possui o acionamento baseado em um sinal elétrico proveniente da ECU que comanda a abertura e fechamento do injetor. A figura 10 apresenta como é uma válvula injetora visualmente.

Figura 10 - Válvula Injetora



Fonte: <http://www.carrosinfoco.com.br>

O local da injeção de combustível e do alojamento da válvula injetora varia de acordo com a configuração do motor a ser empregado, podendo ser dentro da câmara de combustão (para motores com injeção direta) ou antes das válvulas de admissão (para motores de injeção monoponto ou multiponto indireta).

2.5 – Motor Gerador de Energia

Gerador é um equipamento utilizado para fornecimento de energia elétrica, para isto ele transforma energia mecânica, advindo do motor a combustão contido nele, em energia elétrica a partir de um alternador também contido nele. Vale ressaltar que seu funcionamento é análogo ao conjunto motor alternador de um veículo, com a

diferença que sua transmissão é feita por um eixo central e comum às duas estruturas (motor e alternador).

Existem no mercado uma infinidade de opções, podendo ele ser movido a diesel ou a gasolina, neste último caso, podendo ser um motor de 2 e 4 tempos.

2.6 – Sensor de Fase

O sensor de fase (Figura 11) possui a finalidade de identificar a velocidade de rotação do motor, assim como a posição do cilindro por meio da variação angular. Esse sensor auxilia a unidade de controle a realizar o cálculo para o momento ideal da liberação da centelha no interior do cilindro.

Figura 11 - Sensor de Fase



Fonte: <http://br.bosch-automotive.com>

2.7 – MegaSquirt - Injeção Programável

Segundo o manual do controlador MegaSquirt, ele é um projeto experimental educacional cuja ideia é que o próprio usuário faça a instalação do conjunto que consiste em um sistema de injeção de combustível eletrônico programável. Este projeto pode ser aplicado com praticamente qualquer combustível líquido, em motores turbo ou aspirado, que funcione a partir de centelha de ignição e não tenha controle de poluição.

O conceito deste projeto é fornecer uma placa de controle de injeção de fácil acesso, programada manualmente em assembly (Tipo de Linguagem de

programação), que segundo o manual do controlador MegaSquirt confere uma resposta mais rápida e eficiente se comparada aos sistemas originais geralmente usados pelas montadoras, que utilizam linguagem de programação em alto nível, como C.

Além disso, outra característica importante nesta ferramenta é a de ser um projeto aberto, ou seja, pode ser alterado para pequenas correções ou adaptações, ou até mesmo desenvolvimento de outros sistemas e programas de suporte ao controlador.

Justamente por estas características citadas é que este projeto foi escolhido para equipar o sistema de injeção eletrônica do veículo, pois terá uma interface simplificada para ajustes da injeção e monitoramento do desempenho da ECU.

3. Componentes do Projeto

Neste processo de conversão do sistema de alimentação de combustível deve-se salientar os novos equipamentos empregados, suas especificações técnicas e seu princípio de funcionamento.

Os principais componentes são:

- 1 placa Arduino;
- 1 placa Speeduino;
- 1 válvula injetora;
- 1 sensor de fase;
- 1 bomba de combustível
- 1 motor gerador de energia à combustão.

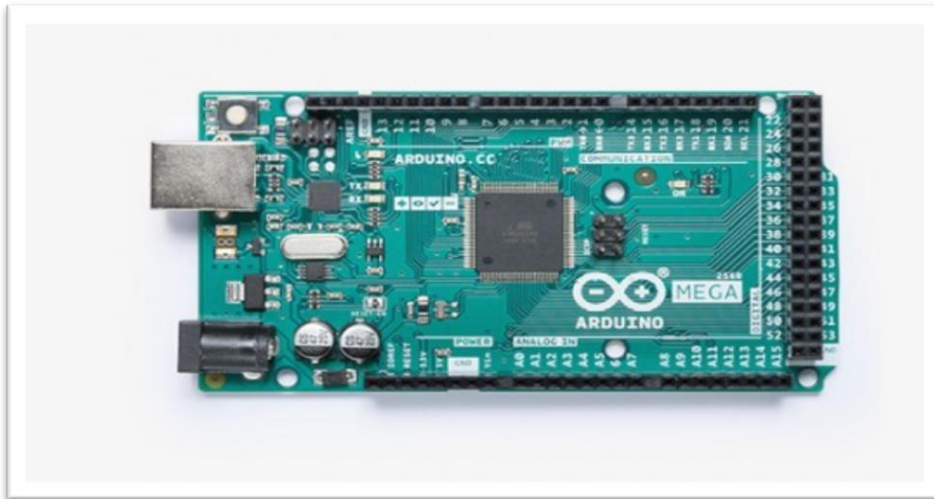
Todos os demais componentes utilizados neste projeto estão descritos no Apêndice A, e as ferramentas necessárias pra execução das tarefas se encontram no Apêndice B.

3.1 – Arduino

Neste trabalho o modelo de Arduino utilizado é o ATmega2560, conforme representado na figura 12, ao qual será capaz de processar as informações em conjunto com a placa adicional, Speeduino, descrita posteriormente, para executar o gerenciamento do processo de injeção de combustível.

Esta plataforma foi escolhida por ter baixo custo, já ter sistema integrado para atuar no gerenciamento de injeção de combustível e, sobretudo, por ter conectividade com sistemas operacionais de computadores. O mapeamento da injeção está acessível, podendo ser verificada toda sua atuação, assim como é feito pelos aparelhos de diagnose mais modernos nos veículos atuais.

Figura 12 - Arduino ATmega2560



Fonte: <https://store.arduino.cc>

3.1.1 – Especificações técnicas do Arduino ATmega2560

Tabela 1- Especificação técnica Arduino ATmega2560

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Fonte: <https://store.arduino.cc>

3.2 – Speeduino

O Speeduino (Figura 13) é uma placa que acoplada a plataforma Arduino atua como a ECU do veículo, ou seja, criando um sistema de gerenciamento do motor. Neste projeto foi escolhida a placa v0.4, por ter melhor compatibilidade com conectores pré-existentes e custo mais baixo, isto se comparada a placa v0.3.

Figura 13 - Speeduino V0.4



Fonte: <https://speeduino.com>

3.2.2 – Especificações técnicas Speeduino V0.4

Segundo o site da fabricante esta placa tem os seguintes recursos:

- 4 canais injetores
- 4 saídas de ignição
- Canais de entrada totalmente protegidos para CLT, IAT, TPS e O₂
- Montagem de condicionador VR opcional em entradas de manivela e came
- Localização da montagem do sensor MAP

- Localização da montagem do módulo de passo DRV8825
- 4 saídas sobressalentes de média corrente (por exemplo, bomba de combustível, eletro-ventilador, controle de boost, VVT, etc)
- 5 saídas sobressalentes de baixa corrente opcionais não carregadas / configuradas na seção "proto", incluindo saída de tacômetro
- Um único conector IDC de 40 pinos inclui todos os pinos necessários para a placa, com exceção da entrada de 12v

Fonte: <https://speeduino.com/>

3.3 – Válvula injetora

Neste projeto, foi escolhida a válvula injetora 16450-KVS-861, representada na figura 14, amplamente utilizada nos motores Honda CG 150 e Titan Flex 2011, por ter uma boa relação custo benefício, levando em consideração as características do motor a ser empregada, que neste caso é sua vazão de combustível de 100cm³/min para a fase de admissão.

Figura 14 – Válvula Injetora 16450-KVS-861



Fonte: <http://www.magnetron.com.br>

3.4 – Sensor de Fase

Para execução do projeto, foi escolhido o sensor de fase da fabricante Bosch, modelo 0 232 103 048 utilizado nos veículos da montadora Fiat (Veículos Palio e Uno). A determinação desse componente foi baseada no quesito custo-benefício. O sensor de fase é apresentado na figura abaixo (Figura 15).

Figura 15 - Sensor de Fase



Fonte: <http://br.bosch-automotive.com>

3.4.1 – Especificações técnicas do sensor de fase

Tabela 2- Especificações Técnicas Sensor

TECHNICAL CHARACTERISTICS

Functional principle	single-Hall technology
Starting function	true power on (TPO)
Installation	twist insensitive mounting (TIM)
Temperature range	-40°C to +150°C (max. 250 hours at +160 °C)
Air gap	0.2 – 1.8 mm

Fonte: <https://www.bosch-mobility-solutions.com>

3.5 – Bomba de combustível

Neste projeto foi escolhida a bomba de combustível GI3055 usada no sistema de injeção MPFI da Chevrolet, em parceria com a Bosch, no final da década 90.

Esta peça é uma bomba elétrica de roletes que trabalha imersa em combustível o que lhe garante lubrificação e arrefecimento do conjunto, além de tudo, não necessita de juntas e vedações sujeitas a vazamento.

Uma bomba de roletes como esta, caracteriza-se por uma carcaça cilíndrica em que no seu interior se faz presente um disco excêntrico com roletes metálicos ao qual são os encarregados de impulsionar o combustível sem pressão advindo do tanque, gerando a pressão relativa de 3 Bar necessária para alimentar as válvulas injetoras.

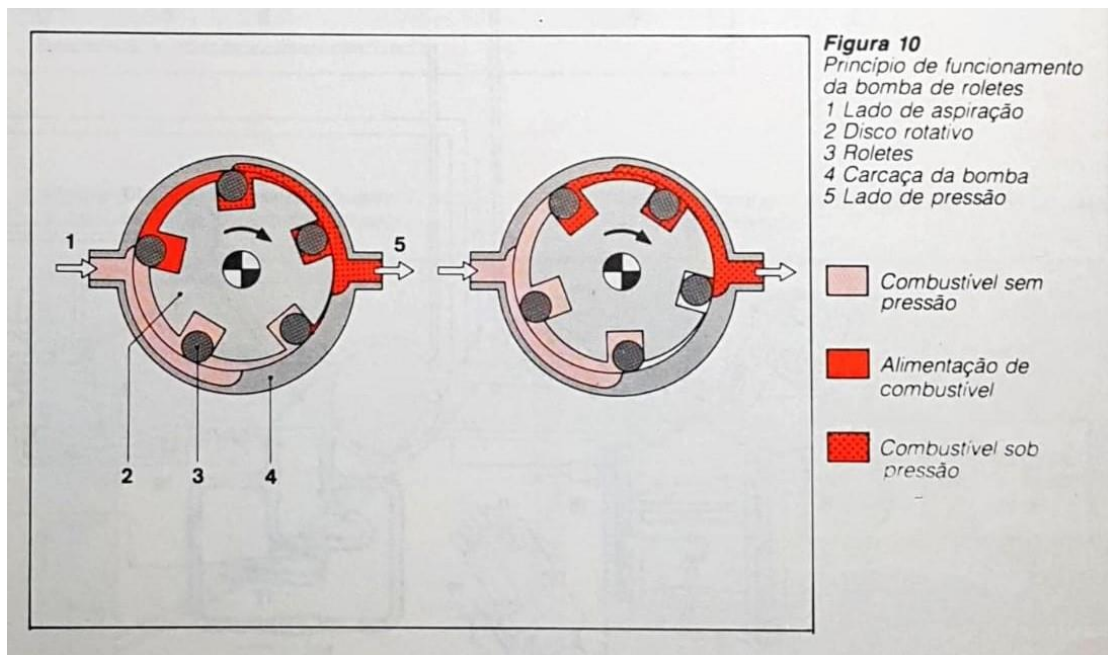
A figura 16 apresenta a bomba a ser utilizada e a figura 17 mostra o princípio de seu funcionamento.

Figura 16 - Bomba de Combustível GI3055



Fonte: <http://www.gauss.ind.br>

Figura 17 – Ilustração do funcionamento da bomba de roletes



Fonte: Apostila Técnica Bosch

3.5.1 – Especificações Técnicas da bomba de combustível GI3055

Tabela 3– Especificações Bomba GI3055

Código Gauss:	GI3055
Código fabricante:	Bosch: F000TE1054/055/184; Delphi: FH10032; GM: 25.165.013, 93.269.119, 93.277.518, 93.289.414; Magneti Marelli: MAM212; Siemens/VDO: 228 234 055R
Aplicação:	GM: Astra 1.8, 2.0i, 2.0i 16V 98>, Blazer, S10 2.2 (EFI/MPFI) 95>99, Corsa 1.0/1.4, Corsa Pick-up 1.6 (EFI) 94>96, Corsa Pick-up 1.0/1.6 (MPFI) 95>99, Corsa 1.0/1.6, Corsa Sedan, SW, Pick-up 1.6 (MPFI) 97>99, Vectra 2.2i 8/16V 97>, Vectra CD 2.0 8V (MPFI), 2.0 16V, GLS 2.0 (MPFI), GSI 2.0 16V 96>
Especificações:	12V, 5.5 A
Observações:	Para veículos a gasolina com módulo Original Bosch.
Pressão (Bar):	3
Vazão (L/H):	90
Tipo:	Interna
Modelo:	Gasolina



Fonte: <http://www.gauss.com.br/>

3.6 – Motor Gerador de Energia

O Modelo do Motor gerador para realização do projeto é o TF3000cxv da empresa Toyama. Aplica-se tanto para geração de tensão alternada em 127V como 220V, além de conseguir gerar uma tensão contínua de 12V com consumo máximo de 8,3A. Seu sistema é originalmente carburado.

A ficha técnica do Motor gerador TF3000cxv apresenta-se na Figura 18

Figura 18 - Ficha técnica TF3000cx2v

	
Ficha Técnica	
Gerador a gasolina TOYAMA - 4 tempos - TF3000CX2V	
GERADOR A GASOLINA TOYAMA 4 TEMPOS - MONOFÁSICO - 2,8 kW	
	
INDICADA PARA USO:	Semi-profissional
BENEFÍCIOS	CARACTERÍSTICAS
<ul style="list-style-type: none"> • Menos poluente. • Mantém constante a tensão e frequência de saída. • Duas tomadas de 127V e uma de 220V. • Possui terminals de corrente contínua de 12V e 8,3A. 	<ul style="list-style-type: none"> • Motor a gasolina 4 tempos, OHV, refrigerado a ar. • Regulador automático de tensão (AVR). • Monofásico com duas regulagens de tensão (127V ou 220V). • Carregador de baterias.
Dados Técnicos	Acessórios
MOTOR	
Tipo	4 Tempos, refrigerado a ar, OHV
Modelo	R210
Cilindrada	212 cc
Potência máxima / Rotação	4,2 / 3000 kW / rpm
Combustível	Gasolina
Consumo aproximado*	± 395 g / kw. H
Tanque de combustível	15 l
Reservatório de óleo	0,6 l
Sistema de partida	Manual retrátil / Elétrica
Tipo de ignição	Magneto transistorizado
GERADOR / ALTERNADOR	
Potência nominal (CA)	2,8 kW
Potência máxima (CA)	3,0 kW
Tensão de saída (CA)	127 ou 220 V
Frequência nominal	60 Hz
Corrente nominal (CA)	25,45 ou 12,72 A
Tomadas	2 x 110 V e 1 x 220 V
Número de fases	Monofásico
Terminals CC	12 / 8,3 V / A
Fator de potência	1
Regulador de voltagem	Automático (AVR)
Outros	
Autonomia na potência nominal	7 h
Nível de ruído a 7 metros	72 dB
Acessórios Opcionais	
Informações do produto	
Dimensões (C x L x A) (mm)	593 x 465 x 452
Peso sem acessórios (Kg)	45
Cores	
Capa do cárter	Prata metálico
Tanque de combustível	Preto fosco
Capa da partida do motor	Preto fosco
Capa do filtro de ar	Preto fosco
Capa do silenciador	Preto fosco
Informações Fiscais	
Classificação Fiscal	85022011
IPI	0%
Redução ICMS	
Região Norte/Nordeste/Centro-Oeste	Não tem
Região Sul/Sudeste	Não tem
Descrição do Produto	
GERADOR A GASOLINA TOYAMA 4 TEMPOS - MONOFÁSICO - 2,8 kW	
Informações logísticas	
Cód. Comercial	TF3000CXV
Cód. Do Produto	TF3000CX2V
Código de barras	7898438025671
Garantia	
6 meses	
Embalagem	
Peso Líquido	45 kg
Peso Bruto	46 kg
Emplanhamento	3
Caixa Unitária	593 465 452 mm
Master Pack	- - - -
* Depende de condições de uso tais como: altitude, regulagem de carburador, mistura óleo/gasolina, qualidade do combustível e regime de trabalho.	
Departamento de Engenharia	

Fonte: Ficha técnica disponibilizada pela própria empresa Toyama via contato prévio.

4. Montagem e Adaptação do Sistema

Neste capítulo será abordado o procedimento necessário para a mudança do sistema de alimentação de combustível, do carburado para o de controle eletrônico. Este processo é dividido em duas grandes etapas: a etapa de construção, e a de montagem.

4.1 – Etapa de construção

Na etapa de construção será executada a preparação dos componentes antes da montagem, justamente para que ela seja possível. Esta etapa pode ser dividida no seguinte subprocessos:

- Construção do corpo injetor;
- Construção do módulo de controle de injeção de combustível;
- Construção dos chicotes e cabos conectores.

4.1.1 – Construção do corpo injetor

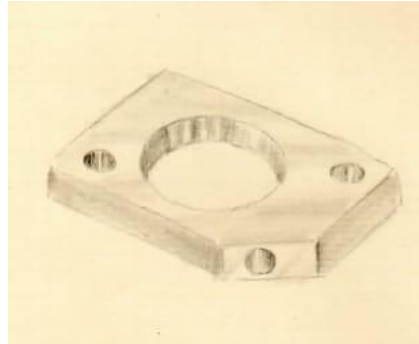
Para executar esta tarefa serão utilizados:

- 1 Válvula injetora de combustível;
- 1 Placa de nylon tecnil 6mm
- 1 Chapa de alumínio 0,5 mm

Esta etapa consiste no desenvolvimento e confecção do corpo injetor, para isto foi tomada como base a estrutura já pré-existente no gerador, considerando o acoplamento do carburador o qual será utilizado com o corpo de borboleta e o seu tubo de admissão.

O corpo injetor (Figura 19) será responsável pelo alojamento da válvula injetora, sendo que o próprio conjunto de carburador do gerador será o corpo de borboleta que irá executar a admissão de ar para a formação da mistura ar-combustível.

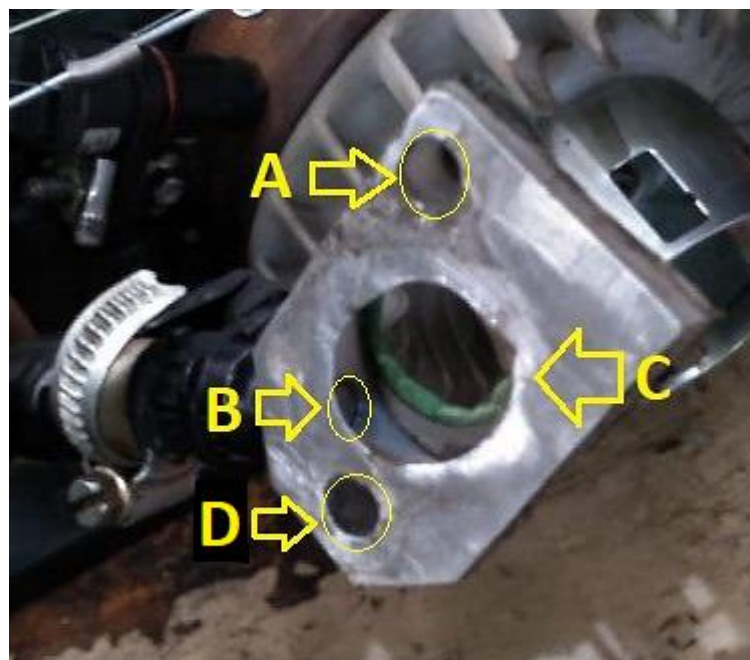
Figura 19 – Projeto Corpo Injetor



Fonte: Autoria própria (Solidonio I.S.Jr.)

Sua confecção basicamente foi a colagem da chapa de alumínio (Figura 20) na placa de nylon com adesivo instantâneo 793 e sal (cloreto de sódio), corte e arremates do perfil da peça, um furo central de 20mm (furo C) para a passagem de ar, e dois furos (furos A e D) de 7 milímetros para fixação no gerador. Na sua lateral foi feito um furo (furo B), também de 7mm, para a acomodação do bico injetor, note que este furo deve ser passante para que haja comunicação com a passagem de ar, para a formação da mistura ar-combustível.

Figura 20 – Corpo Injetor finalizado



Fonte: Autoria própria

4.1.2 – Construção do módulo de controle de injeção de combustível (ECU) Megasquirt

Esta tarefa foi executada com o auxílio do Engenheiro eletrônico Alexandre Ambrósio Galvão, que já tinha experiência na construção desta peça.

Todo o procedimento para a montagem do módulo está descrito no manual dos desenvolvedores da megasquirt, contendo todo passo a passo e as posições de cada componente.

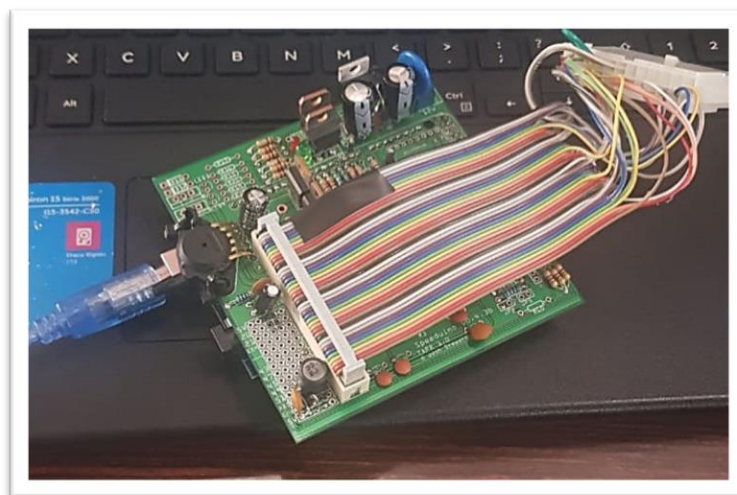
As duas placas (Arduino e Speeduino) deverão ser integradas, formando o hardware da unidade de controle, para isso usa-se o cabo flat, ou seja, os cabos conectores, serão devidamente ligados fazendo com que os comandos da placa do Arduino tenham interação com as informações da placa Speeduino.

Após montada a unidade de controle é necessário conferir seu funcionamento, para isso o módulo deverá ser conectado no transformador 12V/4,5A, e no notebook. O transformador fornecerá a tensão que irá simular a tensão de funcionamento no automóvel, já o Notebook é conectado à ECU para que possa ser feita a configuração e a verificação do seu funcionamento.

Para executar a configuração da ECU, foi instalado no computador o programa de controle Mega Squirt, o tuner studio 3.028. Neste programa é possível executar toda a programação inicial do módulo, além da programação do controle de injeção que ele irá desempenhar no gerador.

A figura 21 apresenta a ECU montada utilizando as duas placas e os demais componentes.

Figura 21 - ECU



Fonte: Autoria própria

4.1.3 – Construção dos chicotes e cabos conectores

O cabeamento é também um elemento fundamental ao projeto, pois trata-se do responsável por toda a comunicação entre os componentes do sistema. Para a sua construção serão necessários os seguintes materiais:

- 12 metros de cabo com seção de 2mm²;
- 1 rolo de fita isolante;
- 14 terminais de ligação;
- 1 rolo de estanho para solda;
- 1 ferro de solda;
- 1 litro de ácido para soldagem;
- 1 alicate de corte;
- 1 alicate de bico meia cana;
- 1 estilete;
- 1 multímetro;
- 1 conector para unidade de controle.

Todo cabeamento foi usado para ligações entre os componentes, tanto para o ECU como para a bomba de combustível, injetores, sensores e alimentação dos componentes. Portanto, é imprescindível destacar que as medidas mencionadas abaixo são uma aproximação das medidas oficiais de instalação.

O primeiro passo é iniciar a confecção dos cabos conectores do injetor e sensor TPS, para isso foram cortados 5 cabos de aproximadamente 1,6 metros, os quais foram soldados aos cabos do conector da unidade de controle nas suas devidas posições de entrada, sendo que, dos cinco cabos, dois representam a alimentação das válvulas injetoras, sendo um deles contato positivo e o outro negativo, já os outros três são do sensor, responsável por alimentá-lo e coletar o sinal do estator de ignição.

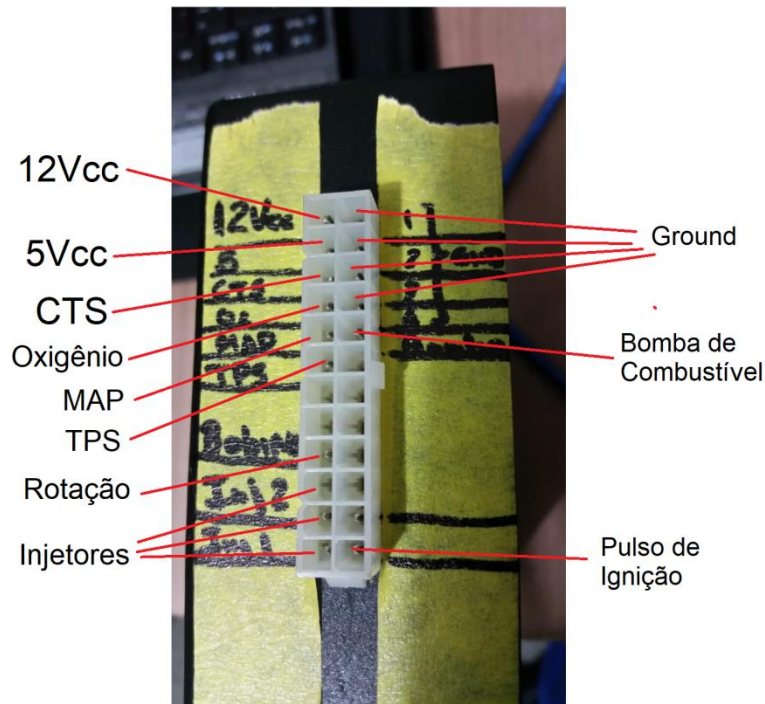
Após terem sido soldados ao conector, é fixada na outra extremidade do fio os conectores presos pelo alicate de bico. Após isso a fita isolante deve ser enrolada a todo o comprimento dos cabos, formando assim o primeiro chicote com o total de 5 cabos.

A construção do conector da ECU com os chicotes provenientes do motor esta descrito no manual MegaSquirt, tal como sua configuração e ordem de montagem dos pinos de conexão.

O conector construído tal como os pinos necessários para o projeto é apresentado na figura 22.

Para a execução do projeto foi utilizado os demais terminais presentes na figura 22: Rotação, 1 injetor, 12Vcc, Bomba de combustível e 3 ground.

Figura 22 – Conector do chicote com a ECU



Fonte: Aatoria própria

O último chicote contém um par de fios com comprimento de 3,6 metros, com a finalidade de anexar ao conector da unidade de controle para alimentar a bomba de combustível.

Após a confecção de todos os chicotes e cabos conectores, este é o momento de fixá-los à estrutura do gerador. Para isso os chicotes foram fixados com fita isolante nas mangueiras, como no caso dos fios da bomba de combustível, ou na estrutura do gerador, para conferir um visual mais limpo e facilitando qualquer tipo de manuseio do gerador.

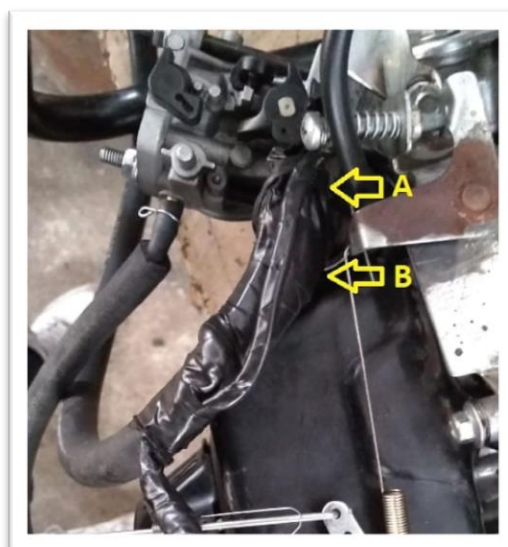
A Figura 23 apresenta a bomba utilizada e a montagem do seu chicote. Já os chicotes confeccionados para a válvula injetora (indicação A), e para o sensor de fase (indicação B) mostram-se na Figura 24.

Figura 23 – Chicotes na bomba de combustível



Fonte: Autoria própria

Figura 24 - Chicotes na válvula injetora e no sensor de fase



Fonte: Autoria própria

4.2 – Etapa de montagem

Nesta etapa é realizada a montagem dos componentes expostos na etapa anterior, ou seja, a etapa de construção.

4.2.1 – Instalação do corpo injetor e seus agregados

Para executar instalação do corpo injetor serão necessários os seguintes materiais:

- 1 alicate de corte;
- 1 alicate de bico meia cana;
- 1 alicate universal;
- 1 chave fixa de 8 e 10mm;
- 1 chave de fenda 4mm;

Primeiramente é necessário remover o elemento filtrante preso ao carburador. Isto feito deve-se remover as duas porcas de fixação do carburador. Antes da remoção do carburador as alavancas e molas que controlam o fluxo do carburador devem ser desmontadas para que assim seja retirado o carburador

Vale ressaltar que na fabricação do corpo injetor, as medidas da furação do carburador no coletor de admissão devem ser mantidas, uma vez que isso irá eliminar a necessidade de um novo coletor de admissão, e poderão ser mantidos os padrões dimensionais do sistema original do gerador.

O processo de instalação só deverá ser iniciado após a construção do corpo injetor, assim sendo o corpo injetor deverá ser fixado na mesma posição onde existia a sede do carburador, usando inclusive os mesmos parafusos de fixação do carburador.

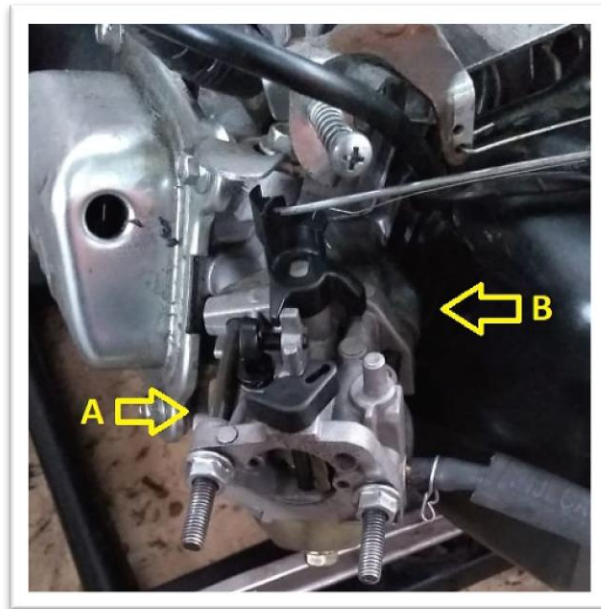
A conclusão desta etapa se dá na recolocação do carburador, cujo o corpo de borboleta será usado para regular a entrada de ar, a frente do corpo injetor. Após sua montagem, finaliza-se montando o elemento filtrante.

Vale ressaltar que antes desse processo a válvula injetora, a mangueira de combustível e toda a fiação da válvula já havia sido acoplada no corpo injetor. A outra ponta da mangueira está conectada na bomba de combustível a qual já fora colocado no interior do recipiente de combustível, uma vez que a bomba empregada trabalha submersa na gasolina.

Na figura 25 é apresentado a configuração de montagem original dos itens carburador (indicação A) e a entrada do tubo de admissão do motor (indicação B). A

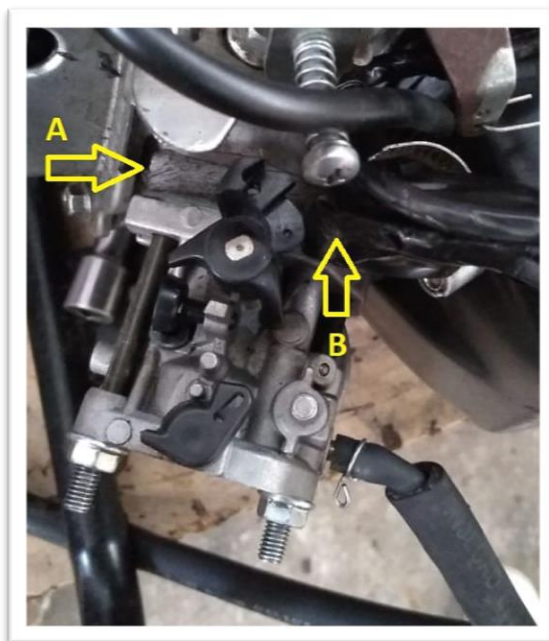
figura 26 apresenta a localização onde foi implantado o corpo injetor (Indicação A), que foi inserido entre o carburador e a entrada do tubo de admissão do motor. A indicação B mostra o chicote que ligado com a válvula injetora no corpo injetor.

Figura 25 – Montagem original.



Fonte: Autoria Própria

Figura 26 - Montagem do Corpo Injetor.



Fonte: Autoria própria

4.2.2 – Instalação do Sensor de fase

Para executar esta instalação serão necessários os seguintes materiais

- 1 chapa de aço 0,6mm;
- 1 conjunto porca e parafuso M6;
- 2 chaves fixas 10mm;
- 1 chave fixa 8mm;
- 1 broca 7mm;
- 1 furadeira;
- 1 estanho para solda;
- 1 ferro de solda.

Com o intuito de se executar a instalação do sensor de fase, foi feita a remoção da parte frontal do gerador onde se encontra o sistema de partida manual do gerador, logo atrás desta peça encontra-se o conjunto bobina e estator do CDI, que é justamente onde será instalado o sensor de fase. A fim de que esta instalação fosse possível, foi necessário a confecção de um suporte para fixar o sensor de modo que ele captasse corretamente os sinais do estator. O suporte foi feito com uma chapa de 0,6 mm, nas dimensões de 80x20mm. Em cada uma das extremidades foi executada uma furação de 7 mm para justamente fixar o sensor na fixação da bobina do CDI junto ao gerador. Vale ressaltar que para reforçar esta furação, o seu entorno foi preenchido com estanho de solda. Finalizando o suporte foi feita uma dobra de 90° no meio da chapa para garantir o perfeito posicionamento do sensor e que assim ele captasse os sinais como desejado. Além disso, para que essa estrutura fosse reforçada, nas laterais do suporte foram feitas pequenas dobras e completadas com estanho, o que ajudaria a manter o posicionamento do sensor mesmo com as vibrações provenientes do funcionamento do gerador.

A Figura 27 mostra o sensor de fase utilizado junto com o suporte metálico desenvolvido para auxiliar na fixação do mesmo ao motor.

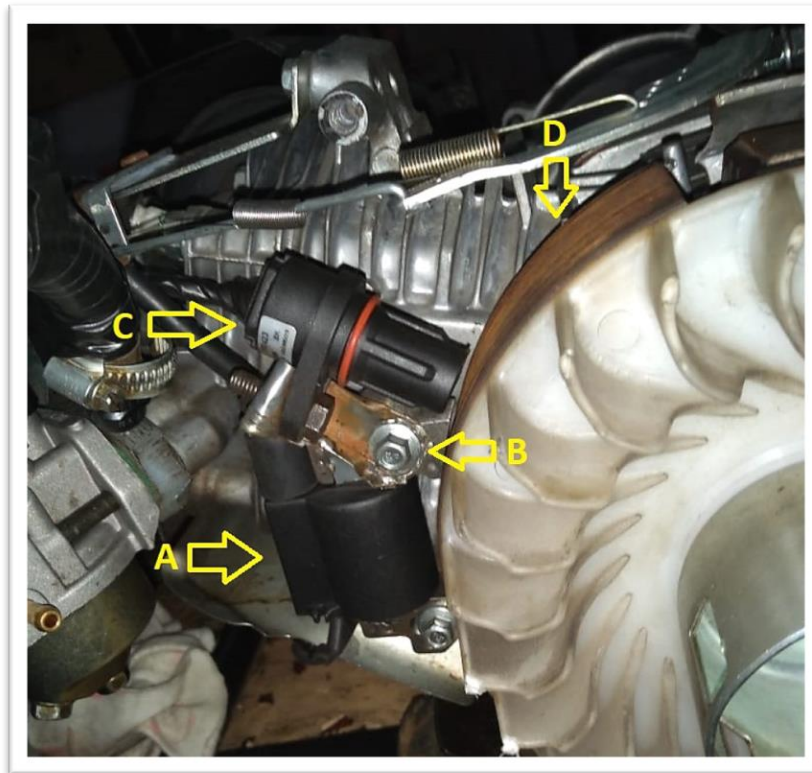
Figura 27 - Sensor de Fase



Fonte: Autoria própria

Finalizado o suporte, e montado o sensor de fase nele, resta executar de fato a montagem do conjunto no gerador. Na figura 28 a bobina do CDI (indicação A) é fixada no gerador em dois pontos. Foi escolhida a fixação superior (indicação B) para montar o suporte com o sensor de fase (indicação C), uma vez que seu posicionamento ante ao estator (indicação D) não fosse atrapalhar a montagem do sistema de partida manual do gerador.

Figura 28 - Localização do Sensor de Fase



Fonte: Autoria própria

4.3 – Adaptação do Sistema Injetado

Após realizar todas as montagens no gerador, é necessário ajustar todo o funcionamento destes equipamentos com a ECU para que seja obtido o funcionamento ideal de todo o conjunto.

Para realizar a configuração da ECU, foi utilizado um software chamado Tuner Studio, que pode ser baixado gratuitamente no site <http://tunerstudio.com>, e é um software semelhante ao MegaTune da MegaSquirt, que é o software mencionado no manual MegaSquirt para acertos e registros de dados do controlador da injeção eletrônica. Este software foi escolhido por ser gratuito, e ter recursos que facilitam manuseio inclusive a existência de aplicativos para celular.

Seguindo todos os procedimentos descritos no manual MegaSquirt, e do programa Tuner Studio, com o conjunto ECU conectado a um computador em que o programa já esteja instalado, deve-se inserir todos os parâmetros, com as

características do motor utilizado, que no caso é um motor de 4 tempos, com apenas 1 cilindro, e dos sensores disponíveis, como o sensor de fase e o sensor MAF.

A implantação dos dados foi feita de forma intuitiva com todos os procedimentos necessários descritos no Manual MegaSquirt.

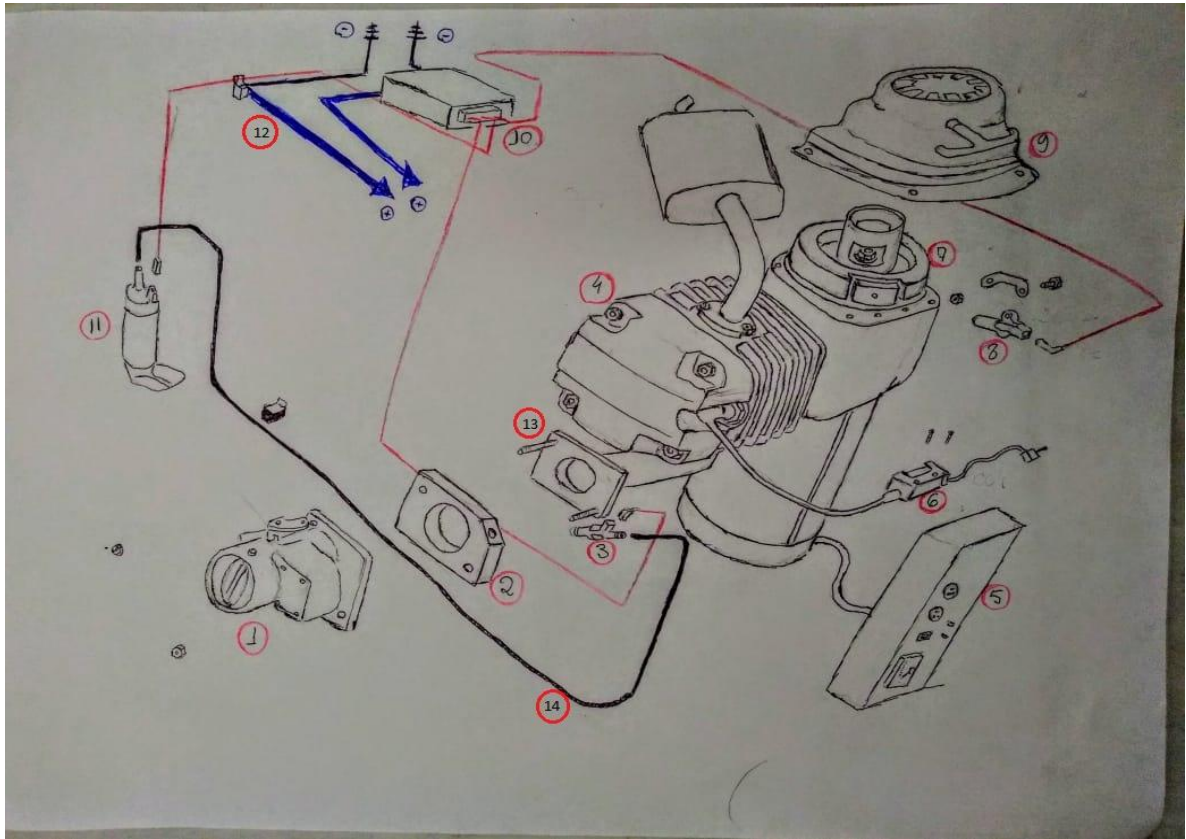
De princípio, foi ajustado o tempo de injeção, de acordo com o tipo de válvula injetora e as informações contidas no manual, e o tempo implantado foi de 5 milissegundos.

Como a rotação do motor empregado é constante, não foram necessários maiores ajustes para desenvolvimento de um mapa de enriquecimento.

Apesar do conjunto não estar instrumentado com um sensor para aferição da queima como um medidor de lambda, pode-se verificar com os devidos cálculos, considerando o deslocamento volumétrico de 0,212l, conforme a ficha técnica do gerador, tem-se que seu deslocamento volumétrico por segundo é de 5,65l/s, relacionando isto com a densidade do ar a 28°C (temperatura no ensaio), 1,176g/l, a massa de ar admitida é de 6,61g/s, sendo que o consumo de combustível foi 0,45g/s, tem-se que a estequiometria do sistema foi de 14.77:1, o cálculo detalhado pode ser encontrado no Apêndice C.

Após a adaptação do sistema de injeção eletrônica, é apresentado na figura 29 um modelo do sistema completo.

Figura 29 – Sistema completo



Fonte: Autoria Própria

Legenda referente imagem 29.

1. Carburador;
2. Corpo Injetor;
3. Válvula Injetora;
4. Motor Gerador;
5. Painel de Controle;
6. CDI;
7. Estator;
8. Sensor de rotação;
9. Partida do Motor;
10. MegaSquirt;
11. Bomba de combustível;
12. Relé;
13. Coletor de admissão;
14. Mangueira de Combustível.

5. Ensaaios

Os ensaios realizados foram feitos em duas etapas, primeiramente o gerador ficou em funcionamento por 2 horas seguidas, tendo uma lâmpada de farol de milha de 55W como carga, e alimentado pelo sistema carburado, e depois de aproximadamente 1 hora foi executado novamente o mesmo teste, com o mesmo gerador, porém com a atuação do sistema de injeção eletrônica previamente calibrado.

Estes ensaios tinham como objetivo realizar a medição do consumo de cada sistema, para isto dois vasilhames próprios para o transporte de combustível foram preenchidos com 5 litros cada um, que é a capacidade nominal de cada um deles. Durante as 2 horas de teste foram anotados a cada 5 minutos a massa de combustível restante no recipiente, a tensão e a corrente fornecidas a lâmpada, a fim de aferir a condição de estabilidade de carga além de averiguar qualquer irregularidade no funcionamento do gerador, mesmo após as devidas regulagens e aferições feitas em cada um dos sistemas.

Além do gerador e de todas peças agregadas após a modificação, foi necessário o uso de uma balança, para que fosse possível realizar a medição do consumo de forma precisa. O equipamento utilizado foi a balança usada para todos ensaios de consumo de combustível da FATEC Santo André, gentilmente cedida pelo Professor Marco Aurélio Fróes.

O combustível (Gasolina) utilizado para a execução dos ensaios foi adquirido no Auto Posto Bom, localizado na Av. Sapopemba, 8431 - Sapopemba, São Paulo - SP, 03988-010. O padrão da gasolina é E27 conforme legislação.

A figura 30 mostra um teste de funcionamento com o gerador em sua fase carburado. A figura 31 apresenta um teste de ajustes da injeção eletrônica já acoplada ao motor.

Figura 30 - Fase de Ajustes gerador carburado



Fonte: Autoria própria

Figura 31 - Fase de Ajustes gerador injetado



Fonte: Autoria própria

5.1 – Ensaio do gerador carburado

O ensaio do gerador carburado foi executado no dia 11 de dezembro de 2018, entre as 10h40 e 12h40, a temperatura neste horário na cidade de São Paulo estava em torno de 28°C segundo o aplicativo “the weather channel” visto no início e no fim do teste.

O sistema carburado deste gerador funciona através de um carburador por gravidade, por isso o recipiente de combustível foi obrigatoriamente colocado em uma superfície elevada (700mm da saída do carburador até a superfície de apoio), em que uma mangueira ligada ao carburador estava submersa no combustível. As medições foram devidamente realizadas uma vez que o gerador em seu funcionamento contínuo consumia gradativamente o combustível do vasilhame.

Este conjunto do vasilhame e mangueira teve sua massa medida em 284g, conforme é mostrado na Figura 32, sendo assim parte da massa medida no ensaio corresponde a estes componentes.

Figura 32 - Massa do recipiente no ensaio de carburação



Fonte: Autoria própria

Após 2 horas de ensaio, foram feitas as medições da massa de combustível restante no recipiente a cada 5 minutos, e as medições da corrente e tensão na saída do gerador para a lâmpada, a partir desses dados foram calculados o consumo total de combustível, o consumo nesses períodos de 5 minutos, entre uma medição e outra, e a potência dissipada na lâmpada, tais valores são encontrados na Tabela 1 (Tempo x Massa (Carburado)), além da média dos valores e seu desvio padrão.

Tabela 4 - Tempo x Massa (Carburado)

Tempo (minutos)	Massa medida (gramas)	Consumo total (gramas)	Consumo período (gramas)	Corrente medida (Amperes)	Tensão medida (Volts)	Potência (Watts)
0	3908	0	0	3,89	11,56	44,97
5	3763	145	145	3,88	11,57	44,89
10	3617	291	146	3,88	11,56	44,85
15	3469	439	148	3,87	11,56	44,74
20	3320	588	149	3,88	11,56	44,85
25	3174	734	146	3,89	11,56	44,97
30	3029	849	145	3,87	11,57	44,78
35	2884	1024	145	3,88	11,56	44,85
40	2738	1170	146	3,89	11,55	44,93
45	2588	1320	150	3,88	11,56	44,85
50	2440	1468	148	3,87	11,56	44,74
55	2291	1617	149	3,88	11,56	44,85
60	2143	1765	148	3,88	11,56	44,85
65	1992	1916	151	3,89	11,57	45,01
70	1842	2066	150	3,88	11,56	44,85
75	1694	2214	148	3,87	11,56	44,74
80	1545	2363	149	3,87	11,57	44,78
85	1396	2512	149	3,88	11,56	44,85
90	1249	2659	147	3,87	11,56	44,74
95	1101	2807	148	3,86	11,57	44,66
100	954	2954	147	3,87	11,56	44,74
105	808	3100	146	3,88	11,56	44,85
110	663	3245	145	3,87	11,56	44,74
115	518	3390	145	3,86	11,56	44,62
120	374	3534	144	3,87	11,56	44,74
Média	-	-	147,25	3,8764	11,5616	44,82
Desvio Padrão	-	-	1,898	$8,43 \times 10^{-3}$	$4,63 \times 10^{-3}$	-

A Figura 33 mostra os valores medidos no início do ensaio, sendo eles, a massa de combustível, a corrente elétrica e a tensão.

Figura 33 - Início do ensaio (Carburado)



Fonte: Autoria própria

Após a realização do ciclo de teste, foi realizado a medição da massa de combustível restante, conforme a figura 34.

Figura 34 - Imagem ao final do ensaio - 2 Horas



Fonte: Autoria Própria

Para melhor confecção e entendimento dos dados, foram desenhados os gráficos 1, 2 e 3 subsequentes relacionando dados com base na Tabela 1. O gráfico 1 tem como intuito mostrar o consumo de combustível com o decorrer das duas horas de ensaio. Já os gráficos 2 e 3 vêm para complementar os dados de média e desvio padrão, mostrando os valores pontuais de consumo nos períodos de 5 minutos, e o valor dos cálculos de potência a cada 5 minutos, respectivamente.

Gráfico 1 – Consumo de combustível x Tempo (Total)

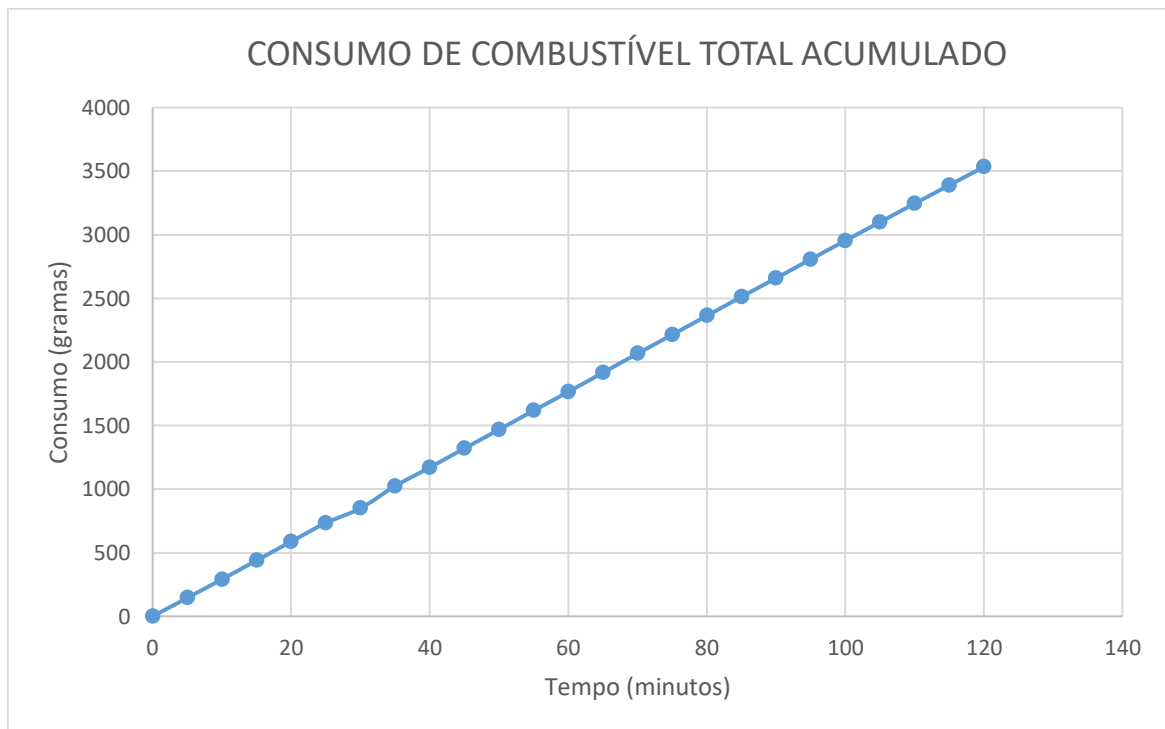


Gráfico 2 – Consumo de combustível nos períodos de medição

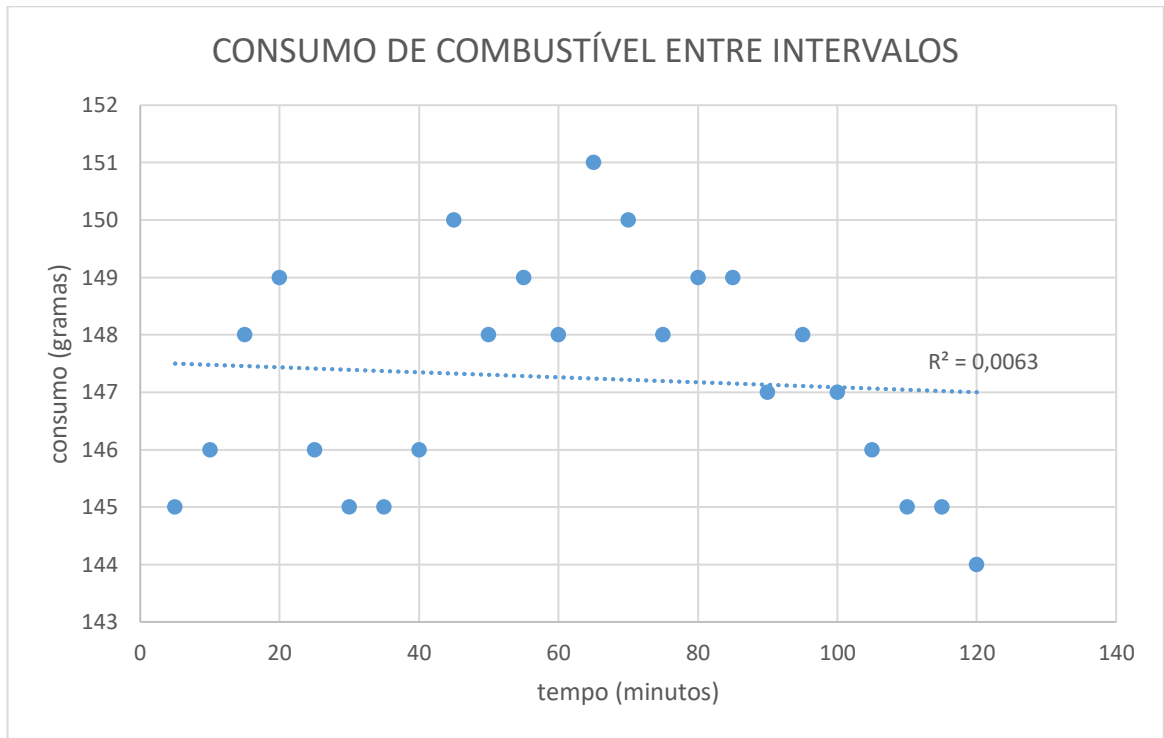
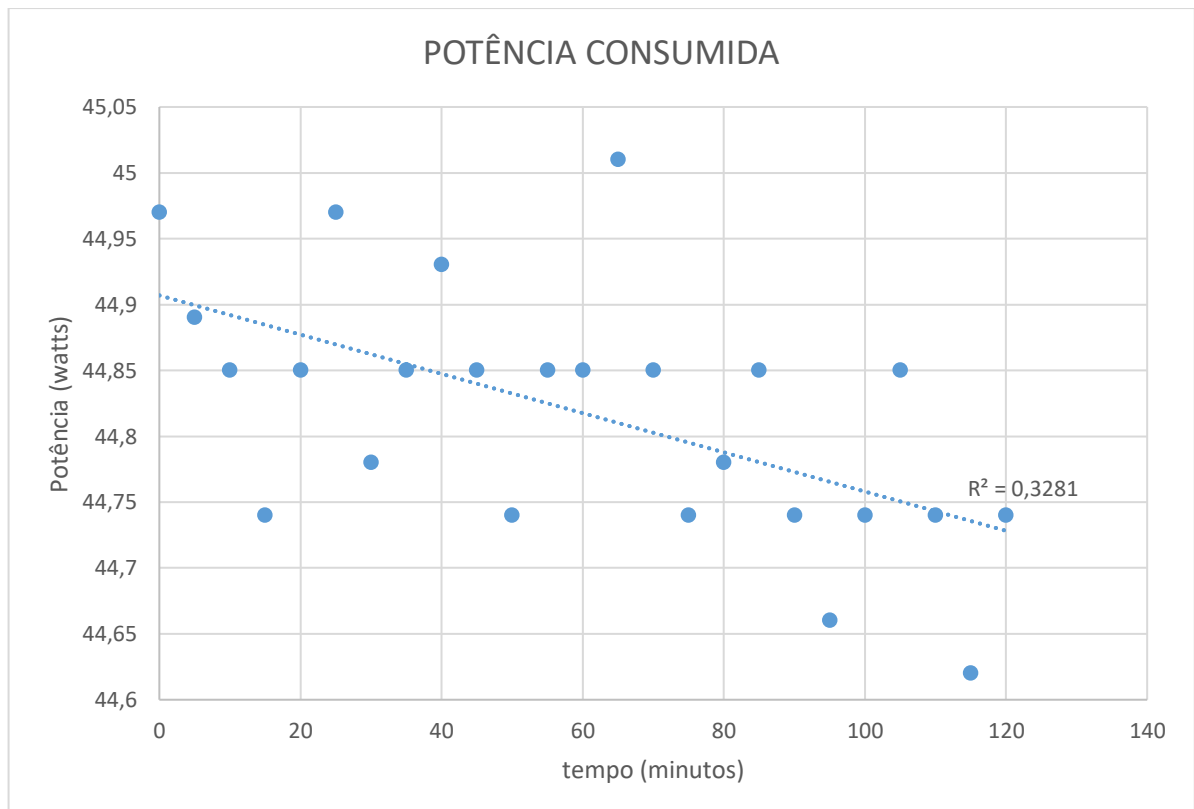


Gráfico 3 - Potência consumida x Tempo



5.2– Ensaio do gerador com injeção eletrônica

O ensaio do gerador injetado foi executado no dia 1º de dezembro de 2018, entre as 13h30 e 15h30, a temperatura neste horário na cidade de São Paulo estava em torno de 28º Celsius segundo o aplicativo “the weather channel” visto no início e no fim do teste.

O sistema injeção empregado neste gerador funciona com o auxílio de uma bomba previamente citada na lista de materiais, a qual trabalha submersa no combustível. Conectada por uma mangueira, a bomba envia o combustível até a válvula injetora que regula a injeção de combustível no motor. As medições foram devidamente realizadas uma vez que o gerador em seu funcionamento contínuo consumia gradativamente o combustível do vasilhame.

Vale ressaltar que neste ensaio a massa do conjunto bomba, mangueira e vasilhame corresponde a 645g, ou seja, parte da massa medida no ensaio corresponde a esses componentes conforme a figura 35.

Figura 35 – Massa do recipiente no ensaio de injeção



Fonte: Autoria própria

Os valores obtidos e calculados, médias e os desvios padrões correspondentes ao novo ensaio, com injeção eletrônica, estão contidos na Tabela 5.

Tabela 5 - Tempo x Massa (Injeção Eletrônica)

Tempo da medição (minutos)	Massa medida (gramas)	Consumo total (gramas)	Consumo período (gramas)	Corrente medida (Amperes)	Tensão medida (volts)	Potência (watts)
0	4344	0	0	3,90	11,56	45,08
5	4208	136	136	3,89	11,56	44,97
10	4072	272	136	3,88	11,56	44,85
15	3936	408	136	3,89	11,57	45,01
20	3798	546	138	3,88	11,56	44,85
25	3663	681	135	3,90	11,55	45,04
30	3528	816	135	3,89	11,56	44,97
35	3392	952	136	3,88	11,56	44,85
40	3255	1089	137	3,88	11,56	44,85
45	3117	1227	138	3,88	11,56	44,85
50	2979	1365	138	3,88	11,56	44,85
55	2843	1501	136	3,89	11,57	45,01
60	2708	1636	135	3,88	11,56	44,85
65	2574	1770	134	3,87	11,56	44,74
70	2440	1904	134	3,88	11,56	44,85
75	2305	2039	135	3,87	11,57	44,78
80	2171	2173	134	3,88	11,56	44,85
85	2036	2308	135	3,88	11,56	44,85
90	1900	2444	136	3,88	11,57	44,89
95	1763	2581	137	3,87	11,57	44,78
100	1627	2717	136	3,88	11,56	44,85
105	1490	2854	137	3,87	11,56	44,74
110	1353	2991	137	3,88	11,56	44,85
115	1215	3129	138	3,88	11,56	44,85
120	1078	3266	137	3,87	11,57	44,78
Média	-	-	136,08	3,8812	11,562	44,87
Desvio Padrão	-	-	1,256	$6,656 \times 10^{-5}$	$4,899 \times 10^{-3}$	-

A Figura 36 mostra a massa de combustível no momento do início de ensaio com o carburador. Para o mesmo período, também foi realizado a medição de corrente e tensão, apresentados respectivamente.

Figura 36 - Início do ensaio (Injeção Eletrônica)



Fonte: Autoria Própria

Após a realização do ciclo de teste foi novamente realizado imagem da massa de combustível (Figura 37).

Figura 37 - Final do ensaio – 2 horas



Fonte: Autoria própria

Para melhor entendimento dos dados, assim como no ensaio carburado, foram realizados os gráficos 4, 5 e 6, relacionando dados com base na Tabela 2, sendo que o gráfico 4 mostra a acúmulo do consumo no decorrer do período completo de ensaio, Já os gráficos 5 e 6 vêm pra complementar os dados de média e desvio padrão, mostrando os valores pontuais de consumo nos períodos de 5 minutos, e o valor dos cálculos de potência a cada 5 minutos, respectivamente.

Gráfico 4 - Consumo de combustível total acumulado

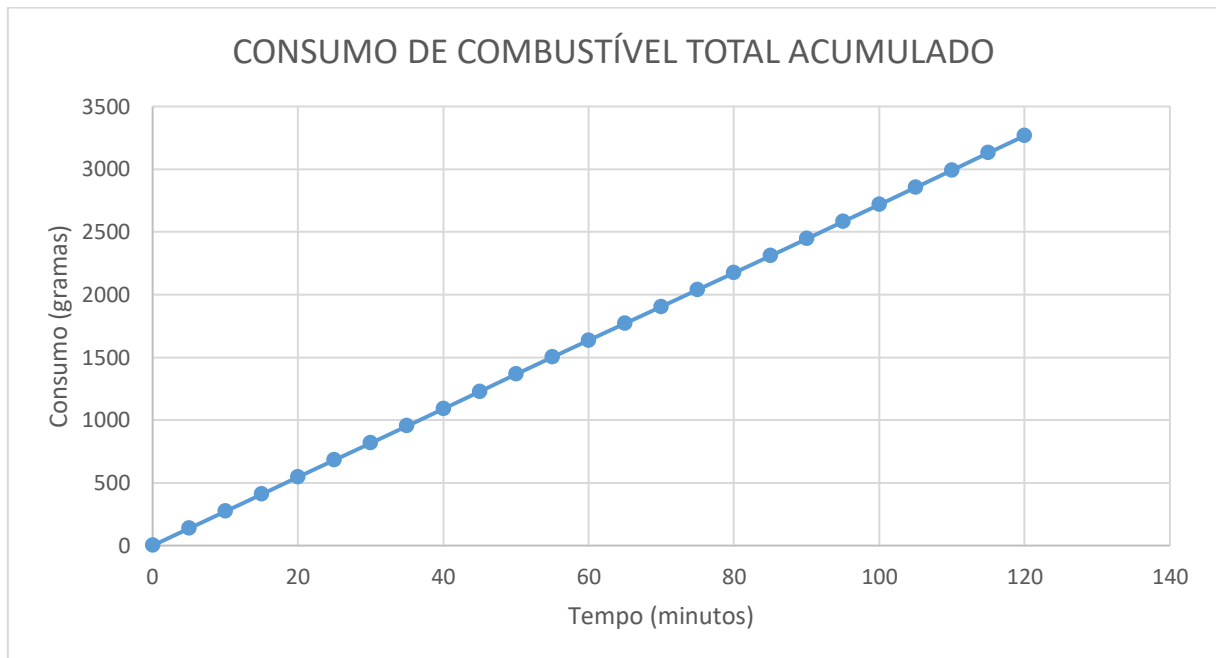


Gráfico 5 - Consumo de combustível entre intervalos de medição

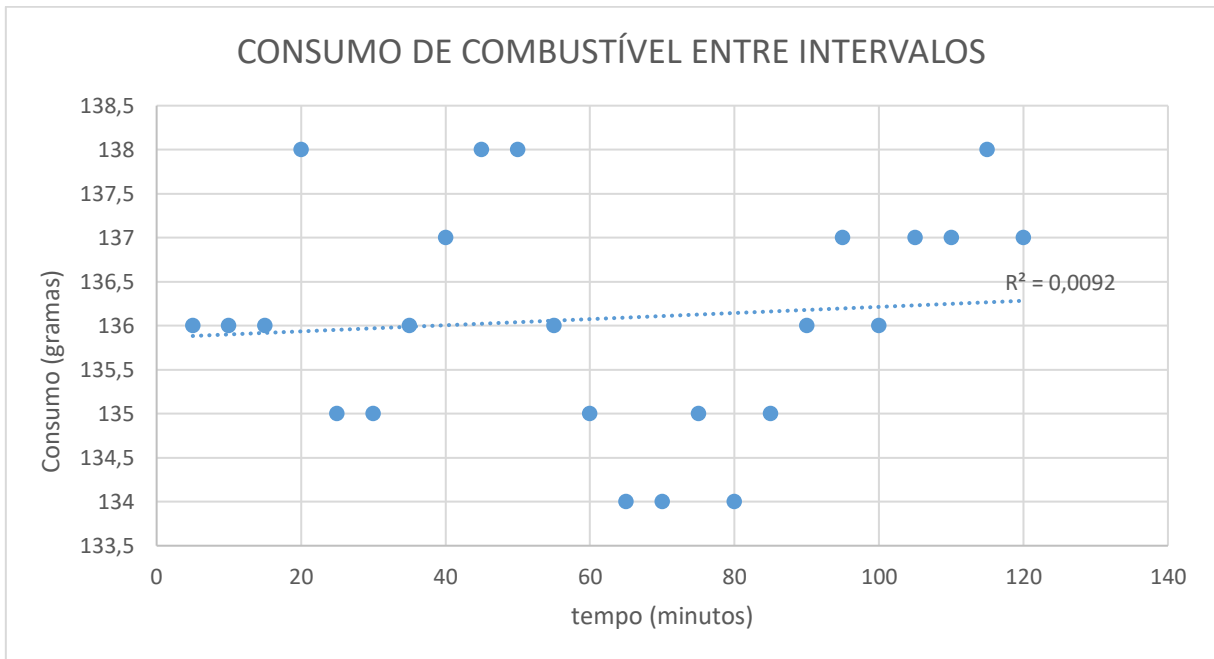
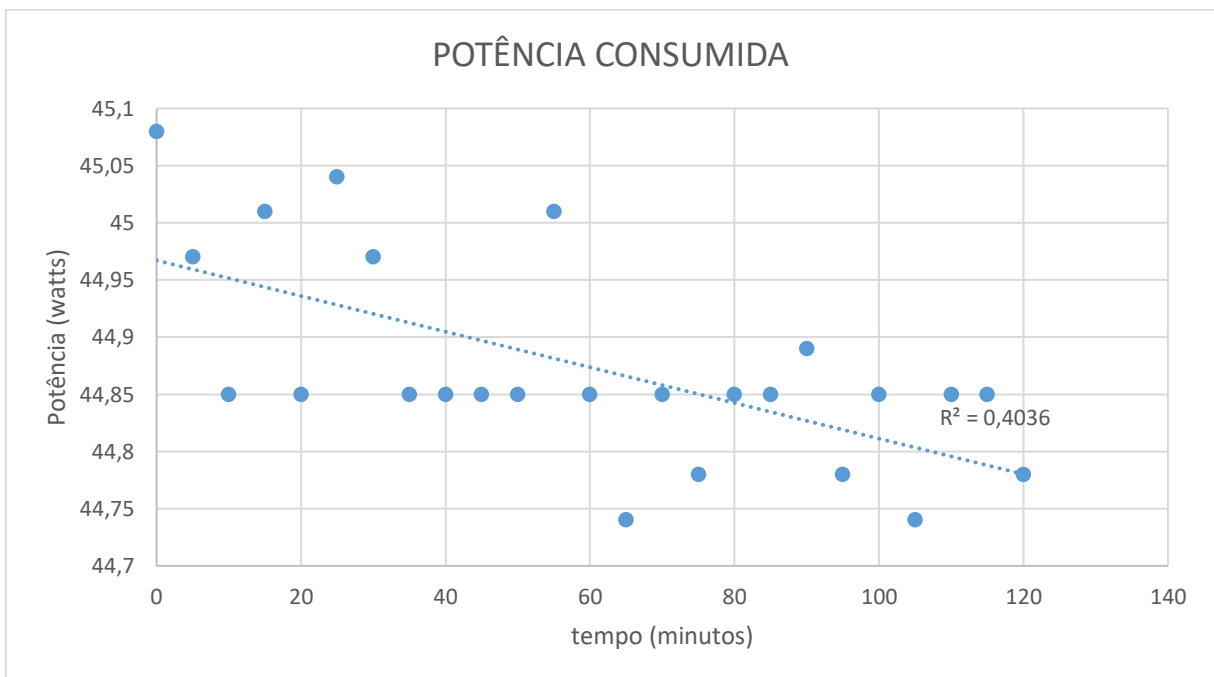


Gráfico 6 - Potência consumida x Tempo



6. Comparação dos resultados

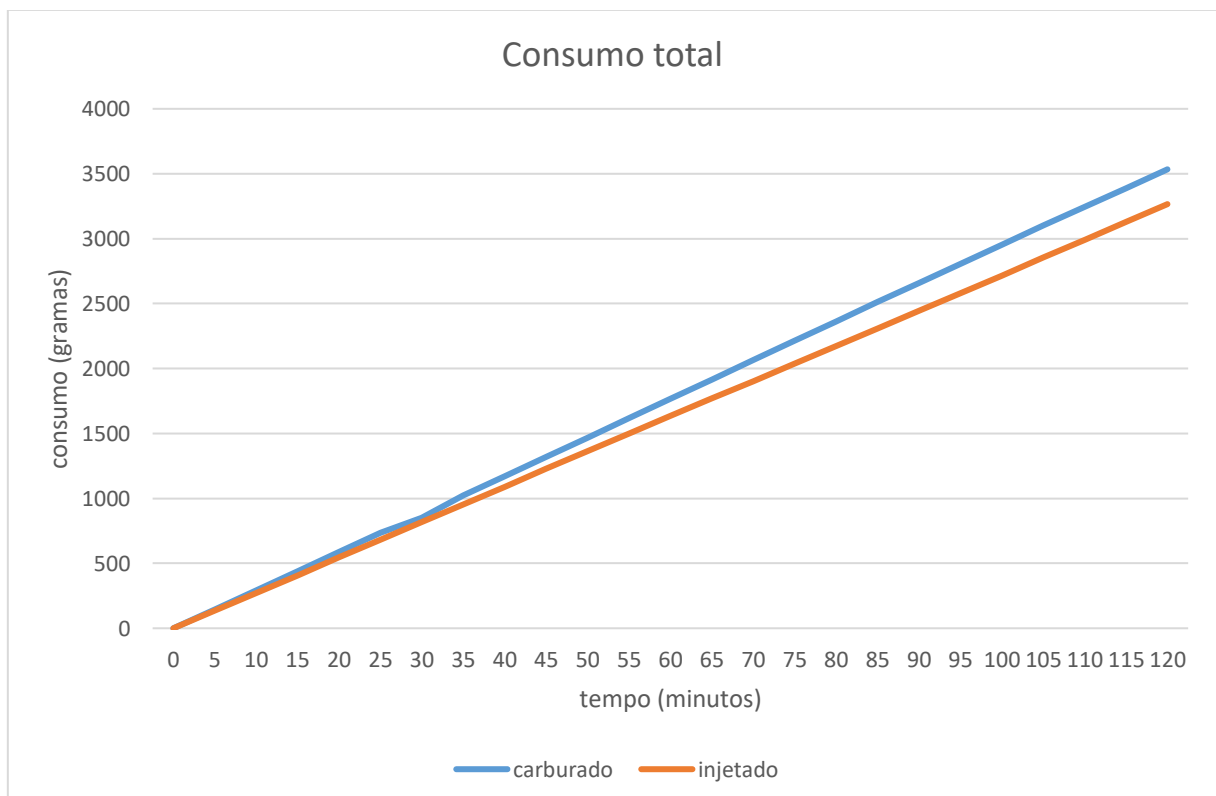
Considerando os dados obtidos após os dois ensaios, tem-se que o gerador montado com o sistema carburado consumiu 3534 gramas de gasolina em 2 horas, e que neste ensaio a lâmpada consumiu em média 44,82W, o que resulta num consumo específico de combustível de 39,424g/W.h.

Já o mesmo gerador, porém montado com o sistema injetado, seu consumo foi de 3266g de gasolina, no mesmo período, mas a energia consumida pela lâmpada teve uma leve diferença, isto porque ela consumiu em média 44,87W, o que significa que consumo específico de combustível do gerador foi de 36,394g/W.h.

A diferença de consumo total entre os sistemas de combustível é explicitado no gráfico 7, formado pelas curvas de consumo em cada ensaio, mostrando toda a progressão do consumo e sobretudo a diferença final dos consumos.

Posto isso, relacionando os valores obtidos tem-se que o gerador com sistema eletrônico consome aproximadamente 7,7% menos combustível do que quando alimentado pelo sistema mecânico para a condição do teste.

Gráfico 7 - Comparação de resultados



7. Conclusão

O projeto teve como objetivo proposto realizar a alteração do sistema de injeção de combustível do motor gerador, a fim de averiguar possíveis ganhos em consumo. Os testes foram realizados durante um período determinado de tempo de 2 horas com os dois tipos de injeção. Conforme o resultado obtido, nota-se uma redução considerável de consumo no sistema de injeção eletrônica em relação ao carburado, o que confirma a superioridade alcançada pelos sistemas atuais quando comparados aos sistemas puramente mecânicos.

Vale ressaltar que a rotação do motor gerador é praticamente fixa, oscilando pouco em torno de 1600rpm, o que proporciona um regime mais simples de funcionamento para o ECU, diferentemente de um automóvel, na qual os valores de rotação e carga estão em constante mudança, o que poderia proporcionar em alterações nos valores de consumo caso fosse realizado o mesmo teste.

A injeção eletrônica embora com um custo mais elevado, é uma ótima opção a longo prazo, já que ela abre portas para expandir seu funcionamento com outros sensores, mais novos e eficientes, a fim de refinar e obter dados novos e melhores, pra alcançar melhores relações de consumo e ganhos em outros aspectos como potência e reduções de emissões conforme necessário.

8. Propostas Futuras

Com a utilização da injeção eletrônica, abre-se um leque de possibilidades para realização de outros ensaios promovendo ganhos em outros aspectos como potência ou emissões. Para esse projeto, também é aberta a proposta de utilizar cargas de consumo maior, que se aproximem da potência nominal do motor, a fim de constatar se essa variação de carga promove a alteração nos valores obtidos em consumo de combustível no teste.

9. Referências

PORTO, *tubo de Venturi* in Artigos de apoio Infopédia [em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2018. [consult. 2018-05-06 22:40:14]. Disponível na Internet: [https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$tubo-de-venturi](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$tubo-de-venturi)

FRÓES, Marco Aurélio. Aula de motores ciclo Otto. 02 feb. 2017, 15 jul. 2017. Notas de Aula.

BRUNETTI, F. Motores de Combustão Interna. Volume 1. São Paulo, SP: Editora Blucher, 2012.

MegaSquirt, Site, Introdução ao Controlador de Injeção Eletrônica de Combustível MegaSquirt, <http://manual.msbr.com.br/>

10. Bibliografia

Ageradora, Site, funcionamento de gerador de energia. Acesso: 18:00 - 02/12/2018
<https://www.ageradora.com.br/como-funciona-um-gerador-de-energia/>

Apostila da Volkswagen “treinamento – assistência técnica injeção de combustível LE – Jetronic” Edição de 11/88.

Apostila Técnica Bosch “Sistema de injeção eletrônica de combustível LE-Jetronic” Edição de 02/91.

Arduino, Site, [GETTING STARTED](#) | [FOUNDATION](#) > *Introduction*
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Bosch Brasil, Site, *História da Injeção Eletrônica*, http://br.bosch-automotive.com/pt/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_sytems/benzin/injection_system/history_4/history_4.html

Bosch Brasil, Site, *Motor e Sistemas > Bico Injetores*, http://br.bosch-automotive.com/pt/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_sytems/diesel/bicos_injetores/bicos_injetores_1.html

Figura 3: <http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2015/01/detalhes-e-funcionamento-dos-carburadores-automotivos/>

Figura 8: <https://www.sxthelement.com/Hyundai-Elantra-Sport-ECU-Tune-p/09-01-800.htm>

Figura 10: <http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2015/02/sistema-de-alimentacao-por-injecao-eletronica/>

Figura 11: http://br.bosch-automotive.com/media/parts/download_2/sensores/Cat_Sensores_atuadores_2014_LowRes.pdf

Figura 12: <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>

Figura 13: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>

Figura 14: https://speeduino.com/shop/index.php?id_product=20&controller=product

Figura 15: <http://www.magnetron.com.br/motopecas/bico-injetor/>

Figura 16: http://br.bosch-automotive.com/media/parts/download_2/sensores/Cat_Sensores_Atuaadores_2014_LowRes.pdf

Figura 17: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/commercial-vehicles/powertrain-systems/natural-gas/camshaft-position-sensor/>

Figura 18: <http://www.gauss.ind.br/img/downloads/pt/00000008.pdf>

Figura 19: Página 6 da Apostila Técnica Bosch “Sistema de injeção eletrônica de combustível LE-Jetronic” edição de 02/91

Figura 20: <http://www.gauss.com.br/produto/167/gi3055/>

Site para download do programa TunerStudio:
<http://tunerstudio.com/index.php/tunner-studio>

Características técnicas Speeduino: <https://speeduino.com/wiki/index.php/V0.4>

Apêndice A – Lista de Componentes para execução do projeto.

Tabela de Componentes	
Itens	Quantidade
Válvula Injetora de Combustível - 16450-KVS-861	1 unidade
Motor Gerador Toyama TF3000cx2v	1 unidade
Placa Speeduino - 0.4.3v “Rev B”Pcb Board	1 unidade
Placa arduino – ATMEGA2560	1 unidade
Bomba de combustível GI3055	1 unidade
Flat cable	1 unidade
Sensor de Fase 0 232 103 048	1 unidade
Cabo - 2mm ²	12 metros
Conector para Unidade de Controle	1 unidade
Placa de nylon tecnil 6mm	1 unidade
Chapa de alumínio 0,5 mm	1 unidade
Sensor de pressão “MPX4250AP-Speeduino-FREE-1st-Class	1 unidade
Transformador de tensão AC/DC com 12v de saída e 4.5 A.	1 unidade
Farol de milha universal – Cibie – 55w	1 unidade
Gasolina	10 litros
Capacitor TANT 10uF 35V 10% RADIAL	1 unidade
Capacitor CER 0.22uF 50V 10% RADIAL	6 unidade
Capacitor CER 0.1uF 50V 20% RADIAL	7 unidade
Capacitor TANT 47uF 6.3V 10% RADIAL	1 unidade
Capacitor CER 0.33uF 50V 10% RADIAL	1 unidade
Capacitor CER 10000PF 50V 10% RADIAL	2 unidade
Capacitor CER 1uF 50V 20% RADIAL	3 unidade
Capacitor CER 4700PF 100V 10% RADIAL	1 unidade
Diodo ZENER 5.6V 3W AXIAL	1 unidade
Diodo SCHOTTKY 1A 30V DO41	2 unidade
LED SS 3MM 625NM RED DIFF	8 unidade
Diodo GEN PURPOSE 400V 1A DO41	4 unidade
Surge absorber 14MM 22V 1000A ZNR	1 unidade
Terminal block 5MM VERT 2POS PCB	1 unidade

Shunt jumper .1" Black Gold	5 unidade
Conector header .100" SNGL STR 40POS	4 unidade
IDC Box header .100" 40POS	1 unidade
Mosfet N-CH 33V TO-220	8 unidade
Resistor 10.0K OHM 1/4W 1% METAL FILM	1 unidade
Resistor 1.00K OHM 1/4W 1% METAL FILM	17 unidade
Resistor 680 OHM 0.6W 1% AXIAL	4 unidade
Resistor METAL FILM 1/4W 470 OHM 1% AXIAL	6 unidade
2.49k Ohm $\pm 1\%$ 0.25W, 1/4W Through Hole Resistor Axial Metal Film	7 unidade
Resistor 3.9K OHM 1/4W 0.1% METAL FILM AXL	1 unidade
Resistor 100K OHM 1/4W 1% METAL FILM	12 unidade
Resistor 160 OHM 2W 1% AXIAL	4 unidade
IC Regulator LDO LM2940-5.0 1A TO220	1 unidade
Sensor ABS PRESS 36.3 PSI MAX	1 unidade
IC Mosfet DVR 3A DUAL HS 8-DIP	2 unidade
TVS Array ESD 6 INPUT 30V 8-DIP	1 unidade
IC Socket MACH PIN ST 8POS TIN	3 unidade
Case	1 unidade
PCB circuito impresso	1 unidade

Apêndice B - Lista de Ferramentas para execução do projeto.

Tabela de Ferramentas	
Itens	Quantidade
Fita isolante	1 unidade
Rolo de estanho para solda	1 unidade
Terminais de ligação	14 unidades
Ferro de solda	1 unidade
Ácido para soldagem	1 litro
Alicate de corte	1 unidade
Alicate de bico meia cana	1 unidade
Estilete	1 unidade
Multímetro	1 unidade
Alicate universal	1 unidade
Chave fixa de 8 e 10mm	1 unidade
Chave de fenda 4mm	1 unidade

Apêndice C – Cálculo Estequiométrico

Para facilitar os cálculos, inicialmente, calcula -se a rotação por segundo:

$$1600\text{rpm} / 60\text{s} = 26,67\text{Hz}$$

Posto isso, é necessário o calculo do deslocamento volumétrico por segundo:

$$26,67\text{Hz} \times 0,212\text{l} = 5,65\text{l/s}$$

Com tal valor é possível calcular a massa de ar admitida por segundo:

$$5,65\text{l/s} \times 1,176\text{g/l} = 6,61\text{g/s}$$

Relacionando a massa de ar admitida, com a massa de combustível consumida no ensaio, é possível, por fim, calcular a estequiometria:

$$6,61\text{g/s} / 0,45\text{g/s} = 14,77$$