

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Mecânica Automobilística

Vinícius Godoy dos Santos

São Paulo
2019

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Mecânica Automobilística

Vinícius Godoy dos Santos

**Montagem e calibração de um sistema de injeção eletrônica
baseada em Arduino em um motor de ciclo 2 tempos**

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

Orientador:
Prof. MSc. Adriano Ribolla

Santo André
2019

FICHA CATALOGRÁFICA

S237m

Santos, Vinícius Godoy dos

Montagem e calibração de um sistema de injeção eletrônica baseada em arduino em um motor de ciclo 2 tempos / Vinícius Godoy dos Santos. - Santo André, 2019. – 127f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica automobilística, 2019.

Orientador: Prof. Adriano Ribolla

1. Mecânica. 2. Automóveis. 3. Motores. 4. Motores de Combustão Interna. 5. Motores de ciclo dois tempos. 6. Software. 7. Programa. 8. Arduino. 9. Injeção eletrônica. I. Montagem e calibração de um sistema de injeção eletrônica baseada em arduino em um motor de ciclo 2 tempos.

629.2


LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 13 DE JUNHO DE 2019.




LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA
"MONTAGEM E CALIBRAÇÃO DE UM SISTEMA DE INJEÇÃO
ELETRÔNICA BASEADA EM ARDUÍNO EM UM MOTOR DE
CICLO DE DOIS TEMPOS" DO ALUNO DO 6º SEMESTRE DESTA
U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. ADRIANO RIBOLLA 

MEMBROS:

PROF. FERNANDO GARUP DALBO PROF. ALEXANDRE PAZIAN **ALUNO:**VINÍCIUS GODOY DOS SANTOS 

AGRADECIMENTOS

À minha namorada Ana Silvia Moraes pela paciência e compreensão em todos os momentos que tive de estar ausente e também pelo grande incentivo em momentos difíceis.

Aos meus pais Valdir José dos Santos e Solange Dirce de Godoy dos Santos que me deram o alicerce do conhecimento e do respeito, a quem devo muito.

Aos professores da Fatec com quem tive a oportunidade de adquirir enorme conhecimento técnico, em especial ao meu orientador Adriano Ribolla, pessoa pela qual tenho o maior respeito e honra de poder aprender cada dia mais.

E a todas as pessoas e amigos que de uma maneira ou outra contribuíram para o meu conhecimento nessa longa jornada da vida.

*“Penso 99 vezes e nada descubro. Deixo de pensar,
mergulho no silêncio, e a verdade me é revelada.”*

Albert Einstein

RESUMO

Os motores de combustão interna parecem ter seus dias contados, mas enquanto este fato não acontece buscamos alternativas para que eles possam ter uma sobrevida. Especificamente os motores de ciclo dois tempos possuem características que ainda não conseguiram ser alcançadas, mesmo com toda a tecnologia embarcada nos motores de combustão interna atualmente. Se comparado com motores similares de outros tipos de ciclo, possuem baixa massa, simplicidade de construção possuindo poucas peças móveis e alta eficiência volumétrica, porém por queimarem óleo e não possuírem válvulas, seu processo de combustão gera uma maior quantidade de compostos poluentes emitidos para a atmosfera.

Este trabalho visa obter resultados positivos ao proporcionar o uso de uma tecnologia moderna em um antigo motor de ciclo dois tempos, que originalmente utilizava como sistema de alimentação de combustível um carburador Mikuni com venturi de 24mm, mostrando que pode valer a pena sua possível aplicação comercial nos dias atuais, em possíveis casos. E a proposta embarcada neste trabalho não é um fato isolado tendo em vista que alguns fabricantes desenvolvem novas tecnologias aplicadas a este tipo de motor nos dias de hoje, tais como KTM SportMotorcycle AG, BRP-Rotax, Tm Racing, Sutter Engineering, empresas essas que oferecem tecnologia eletrônica em motores de ciclo dois tempos nos dias atuais, atendendo determinados nichos de mercado, como motores de motocicletas de competição, karts, snowmobiles e motores náuticos. Este fato corrobora que esta ideia de tecnologia não está morta, (para uso em veículos da linha comercial), mas ainda está muito viva em alguns setores da indústria automobilística.

Para tal, será adaptado e calibrado um sistema de injeção eletrônica programável (open source) chamado Speeduino que utiliza um Arduino mega 2560 como controlador. Foram adaptadas também diversas peças, sensores e atuadores, para que seja possível o funcionamento do mesmo.

Palavras chaves: Ciclo Dois Tempos, Motores de Combustão Interna, Injeção Eletrônica Programável, Speeduino, Arduino, Open Source.

ABSTRACT

The internal combustion engines seems to be on the borderline of its time, but in the meanwhile we search alternatives to this engines to have an extra overtime. Especificaly two stroke engines have characteristics that have not been achieved even with all the current technology. If comparated with similar engines but of other kind of cycles, two stroke engines, have low mass, simplicity of construction owning few movable parts and high volumetric efficiency. However, due to a huge amount of oil burning and the lack of valves, its combustion process provides, an enormous amount of poluents heat are thrown into the atmosphere.

This work aims to have positive results by providing the use of modern technology in an old two stroke engine. Originally this engine used a 24mm Mikuni carburetor, showing that it may be worth to be used in comercial applications nowadays, in some cases. And the proposal contained in this work, is out of an isolated fact, since some manufactures have developed new tecnologies applied to this kind of engine today, just like KTM SportMotorcycle AG, BRP-Rotax, TM Racing, Sutter Engineering, such companies that offer electronic tecnology in two stroke engines nowadays, attending specific market spaces, like race engines to bikes, karts, snowmobiles and nautics applications. This fact comes to show that this idea of tecnology is possible, (to commercial line vehicles), in some sectors of automotive industries.

According to this, a system of programable electronic fuel injection (open source) named Speeduino which uses an Arduino mega 2560 as controller will be adapted and tuned. Several parts will be also adapted, just like sensors and actuators, to make possible its operation.

Keywords: Two stroke cycle, Internal combustion engines, Programable electronic fuel injection, Speeduino, Arduino, Open Source.

Lista de Unidades de Medida

cm³ - unidade de volume, centímetros cúbicos

mm - unidade de medida, milímetros

Kgmf - unidade de torque, quilograma força vezes metro

Nm - unidade de torque, Newton vezes metro

Bar - unidade de pressão

Km/h - quilômetros por hora

°C - graus Celsius, unidade de temperatura

° - graus, unidade de ângulo

1/min - unidade de rotação por minuto

HP - Horse Power, unidade de potência

Cv - Cavalo Vapor, unidade de potência

V - Volts, unidade de tensão elétrica

mA - mili ampére, unidade de corrente elétrica

Ohms - unidade de resistência elétrica

MHz - Mega Hertz, unidade de frequência

KB - kilobyte, unidade de capacidade de armazenando ou memória

Lista de Siglas e Abreviaturas

RPM - Rotações por minuto

PMS - Ponto morto superior

PMI - Ponto morto inferior

CDI - *Capacitor Discharge Ignition*

PWM - *Pulse with modulation*

SMD - *Surface mounting device*

GND - *Ground*

AP - Modelo de motor Volkswagen

EA111 - Modelo de motor Volkswagen

E-torq - Modelo de motor Fiat

D.I.Y - *Do it yourself*

MAP - *Manifold Absolute Pressure*

IAT - *Intake Air Temperature*

TPS - *Throttle Position Sensor*

YPVS - *Yamaha Power Valve System*

Stand-Alone – Sistema que funciona independente de outros

Sumário

1	Introdução	18
1.1	Motivação	19
1.2	Objetivos	21
1.3	Contribuições Esperadas	21
1.4	Organização do Trabalho	22
2	Fundamentação	23
2.1	Objetivos do Capítulo	24
2.2	Princípios de Funcionamento dos Motores Dois Tempos	24
2.3	Admissão.....	29
2.4	Compressão	31
2.5	Combustão	35
2.5.1	Ignição.....	36
2.6	Exaustão	37
2.6.1	Escapamento	41
2.7	Gerenciamento Eletrônico de Motores de Combustão Interna ..	48
3	Detalhamento do Projeto.....	51
3.1	Dados do Motor	52
3.2	Escolha do Sistema de Gerenciamento Eletrônico	58
3.3	Arduino Mega 2560	60
3.4	Speeduino	62
3.5	Montagem do Sistema Speeduino	63
3.6	Funcionamento do Sincronismo Eletrônico	72
3.7	Corpo de Borboleta	76
3.8	Unidade de Sensores	77
3.8.1	Sensor TPS.....	77
3.8.2	Sensor IAT	78
3.8.3	Sensor MAP	79

3.9	Sistema de Ignição	82
4	Calibração do Motor	83
4.1	Inserção de dados iniciais	83
4.2	Tabela de Injeção de Combustível	85
4.3	Tabela de Avanço de Ignição	86
4.4	Considerações sobre a calibração utilizada	87
5	Dados do Motor (Modificado)	87
6	Resultados.....	88
7	Conclusão.....	89
8	Propostas Futuras	90
9	Referências Bibliográficas	91
10	Referência Figuras.....	92
	Apêndice I.....	98
	Anexo A	99
	Anexo B	111
	Anexo C	127

Lista de Figuras

Figura 1 - Fases do motor de ciclo dois tempos.....	25
Figura 2 - Sistema de Janelas de Admissão no Cilindro	26
Figura 3 - Sistema com admissão feita diretamente no cárter do moto	26
Figura 4 - Válvula de palhetas.....	27
Figura 5 - Válvula Rotativa	27
Figura 6 – Comportamento da entrada da mistura ar/combustível rumo ao cárter do motor, passando pela válvula de palhetas.	28
Figura 7- Válvula de palhetas, que se abrem com a depressão no cárter do motor, permitindo a passagem do fluxo de mistura ar/combustível.....	29
Figura 8 - Cilindro com a indicação (seta) da janela “Quinta Luz” ou “Boost Port”	30
Figura 9 - Exemplo de uma câmara de combustão de um motor dois tempos, pouco utilizado atualmente, com vela deslocada do centro.	31
Figura 10 - cabeçote com banda de “ <i>Squish</i> ” é o modelo mais utilizado, variando formatos e medidas de acordo com a proposta do projeto	32
Figura 11 - Cabeçotes Honda RS125 de competição com “ <i>Squish</i> ”	33
Figura 12 - Esquema elétrico de um sistema de ignição convencional por meio de platinado.....	36
Figura 13 - Sistema digital programável, específico para uso em karts	37
Figura 14 - Diagrama TZ250 modelos - D/E/F	39
Figura 15 - Diagrama Suzuki PE175, janela de exaustão bi partida	39
Figura 16 - YPVS, <i>Yamaha Powervalue System</i>	40
Figura 17 - Válvulas pneumáticas, utilizadas em motores dois tempos	41
Figura 18 – Dimensões de um escapamento de motores dois tempos.....	42
Figura 19 – Carburador, Formação de mistura carburante	48
Figura 20 - Esquema elétrico de um sistema básico de ignição.....	49
Figura 21 - Sistema de gerenciamento eletrônico genérico veicular e seus periféricos.....	50
Figura 22 - Motocicleta Yamaha RD 135	51
Figura 23 - Carburador Mikuni TM 30	53
Figura 24 - Sistema de Ignição Motoplat de ponto fixo	53
Figura 25 – Curva de torque e potência	54
Figura 26 - Motor Yamaha 135cm ³ , base para o projeto.....	55

Figura 27 - Processo de desmontagem – Fase 1.....	55
Figura 28 - Processo de desmontagem – Fase 2.....	56
Figura 29 - Processo de pintura	56
Figura 30 - Processo de montagem - transmissão.....	57
Figura 31 - Processo de montagem - roda fônica adaptada e instalada	57
Figura 32 - Instalação do motor na motocicleta.....	58
Figura 33 - ECU Magneti Marelli Motorsport	59
Figura 34 - ECU Bosch MS 15.1	59
Figura 35 - Sistema de eletrônica programável Speeduino.....	60
Figura 36 - Arduino Mega 2560.....	61
Figura 37 - Layout da placa de circuito impresso Speeduino	63
Figura 38 - Início da montagem da placa	64
Figura 39 - Sistema Speeduino, montagem finalizada	65
Figura 40 - Interface de calibração TunerStudio	66
Figura 41 - Aterramento feito externamente.....	67
Figura 42 - Testes do sinal de rotação em torno mecânico.....	68
Figura 43 - Testes de atuação em bancada.....	69
Figura 44 - Adaptação da Roda Fônica.....	70
Figura 45 - Roda Fônica 60-2 dentes.....	71
Figura 46 - Sensor de rotação "efeito hall" Fiat E-torq 1.8 16v.....	71
Figura 47 - Sinal de rotação proveniente do sensor de efeito Hall	72
Figura 48 - Roda Fônica.....	73
Figura 49 - Referência do sensor de rotação	74
Figura 50 - Calibração da referência do sensor de rotação	75
Figura 51 - Corpo de Borboleta	76
Figura 52 - Calibração do Sensor TPS.....	78
Figura 53 - Calibração do sensor IAT.....	79
Figura 54 - Princípio strain gage	80
Figura 55 - Calibração do Sensor MAP	81
Figura 56 - Bobina de Ignição VW.....	82
Figura 57 - Cabo de Vela Fiat Tipo	82
Figura 58 - Inserção das características do motor	84
Figura 59 - Tabela de Injeção de Combustível VE	85
Figura 60 - Tabela de avanço de ignição	86
Figura 61 - RD135 - EFI, após modificações.....	88

Lista de Gráficos

Gráfico 1– Curva de potência de motocicletas do mundial de motocross 125cm ³ 1996	20
Gráfico 2 - Gráfico de pressão x temperatura, em um motor de ciclo dois tempos com rotação em 6000 RPM.....	35
Gráfico 3 – Efeito do ângulo do Difusor na intensidade e duração da onda de retorno	44
Gráfico 4 – Efeito do ângulo do Defletor	46

Lista de Quadros

Quadro 1 – Comparativo entre vantagens e desvantagens dos motores dois tempos em relação aos motores de quatro tempos	23
Quadro 2 - Fator de Multiplicação para o “ <i>Header</i> ”	43
Quadro 3 - Determinação do ângulo do Difusor	44
Quadro 4 - Ângulos usuais para o defletor	45
Quadro 5 - Comprimento da ponteira	47
Quadro 6 - Características Técnicas Arduino Mega 2560	61

Lista de Fórmulas

1 - Cálculo da Taxa de Compressão	34
2 - Volume a ser comprimido (fabricantes japoneses)	34
3 - Cálculo do comprimento ideal do escapamento.....	42
4 - Dimensões do Escapamento, " <i>Header</i> "	43
5 - Dimensões do Escapamento, "Difusor"	45
6 - Dimensões do Escapamento, "Defletor"	46
7 - Dimensões do Escapamento, "Bojo"	47
8 - Cálculo do Fator Gauge	80

1 Introdução

Em 1878 um engenheiro escocês criou o projeto tido como o primeiro motor de ciclo dois tempos e é atribuído a ele esta invenção, este engenheiro era Dugald Clerk. Porém este motor possuía algumas diferenças dos motores dois tempos que conhecemos e utilizamos durante todo o século XX até os dias de hoje. Nos motores de Clerk a admissão era feita por bombeamento separado do motor, possuía válvulas e utilizava gás como combustível. (NUNNEY, 1992)

O primeiro motor de ciclo dois tempos com as características que hoje conhecemos, com admissão inicial e compressão no cárter, transferência da mistura feita por janelas nas laterais do cilindro, sem válvulas, só foi inventado por volta de 1892 pelo inglês Joseph Day, que por volta de 1889 começou a desenvolver um motor de combustão interna, sem infringir as patentes de Nikolaus Otto, as quais eram as patentes do motor com ciclo a quatro tempos. (BOOTHROYD, 2006)

As patentes de Nikolaus Otto são atualmente inválidas e atribuídas a um engenheiro francês, Alphonse-Eugene Beau de Rochas o qual havia feito todos estudos, pesquisas e projetos sobre este ciclo anos antes em 1862, porém não chegou a construir um motor, assim como Otto o fez. (TILLMAN, 2013)

A invenção do motor dois tempos é creditada a Dugald Clerk. São citados diversos pesquisadores, engenheiros, inventores e construtores, como pessoas que desenvolveram e agregaram conhecimento a este tipo de motor, porém foi possível observar durante as pesquisas, que Day é pouco lembrado em livros e documentos, porém historicamente foi quem idealizou e construiu as soluções para o motor dois tempos que utilizamos quase que literalmente até os dias de hoje. (BOOTHROYD, 2006)

Durante o século XX os motores dois tempos foram amplamente utilizados na indústria automotiva. Foram construídos diversos veículos com esses motores, carros, motocicletas, caminhões e tratores. O primeiro estudo e construção de protótipo de injeção eletrônica voltada para motores dois tempos aconteceu em 1978, exatos cem anos da construção do motor de Clerk, e foi feita por Edmond Vieilledent, que conseguiu obter relativo sucesso em suas pesquisas e desenvolvimento, porém a tecnologia de microprocessamento na

época inicial e o custo para implementação relativamente alto em motores de baixa cilindrada, aparentemente inviabilizou o projeto em larga escala. (VIEILLEDENT, 1978)

Quarenta anos após o trabalho de Vieilledent, em 2018 a fabricante de motocicletas austríacas KTM Motorcycle, disponibiliza para venda no mercado, motocicletas de competição off-road, de 250 e 300cm³ com sistema de injeção eletrônica, o que vem a corroborar a ideia de que os motores dois tempos para determinadas aplicações merecem a implementação de novas tecnologias para que haja junto com a evolução eletrônica, novos resultados aplicados aos motores dois tempos.

1.1 Motivação

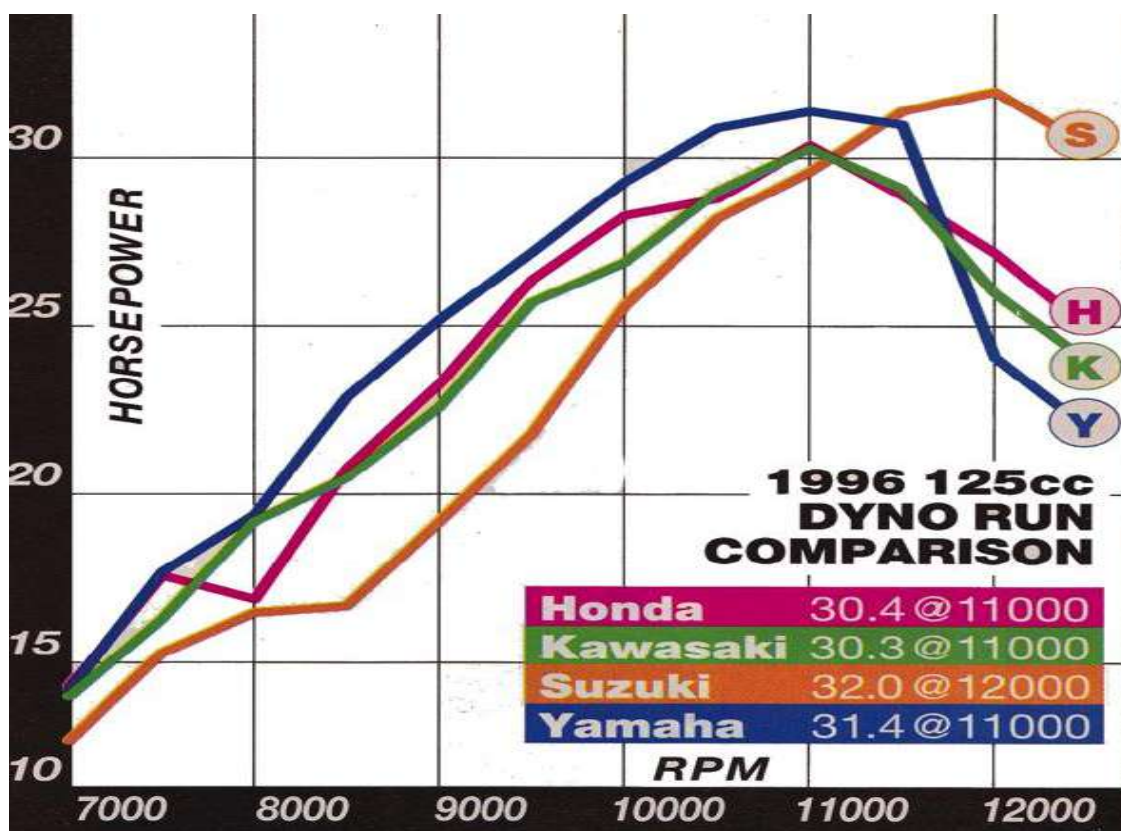
As motivações deste trabalho surgem da premissa de reduzir algumas deficiências intrínsecas do funcionamento dos motores de ciclo dois tempos, funcionamento que será abordado e explicado em um tópico específico adiante. Para isso será utilizado um sistema de injeção eletrônica programável com processamento de dados feito a partir de um Arduino Mega 2560, montado em um motor Yamaha de 135cm³ de 2 tempos de fabricação nacional produzido até o ano de 2000. Este motor equipou por mais de vinte anos as motocicletas Yamaha Rd e Rdz 135cm³ e possuíam como sistema de alimentação de combustível carburadores com diâmetro de venturi 24mm e 26mm respectivamente e sistema de ignição por descarga capacitiva com curva de ignição pré-estabelecida.

Os motores dois tempos possuem características de funcionamento muito peculiares e produzem uma potência específica relativamente alta, porém esta potência vem de uma curva de torque característica do projeto do motor, sendo muito difícil conseguir obter uma curva onde se consiga que a potência seja alta em todas as faixas de rotação. A maioria dos projetos de motores dois tempos favorece a potência em uma faixa de rotação muito estreita, por exemplo motores que são projetados para terem alto torque não possuem alta rotação e motores para alta potência só conseguem atingir esta potência após os 10.000rpm e todo o resto da curva de potência do motor é esquecida. Este trabalho visa a

introdução de um sistema de gerenciamento de combustível e ignição eletrônico para obter uma possível melhora da faixa de potência, aumentando a largura dessa faixa de potência elevada.

Podemos notar ao analisarmos o gráfico 1 que este tipo de motor produz uma faixa de trabalho útil de aproximadamente 1.500 rpm somente após os 10.000 rpm, esta característica torna a pilotagem destas motocicletas em regime de competição muito difícil e cansativa.

Gráfico 1– Curva de potência de motocicletas do mundial de motocross 125cm³ 1996



Fonte: <http://pulpmx.com/>

Com a inserção do sistema de gerenciamento eletrônico será feita a tentativa de implementar uma calibração que não privilegie somente uma faixa tão pequena de trabalho, buscando antecipar e ampliar esta faixa de potência.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho são construir, montar, adaptar e talvez, a parte mais complexa, calibrar um sistema de injeção eletrônica programável em um motor de ciclo dois tempos. Não existem muitas informações a respeito de calibração eletrônica para motores em geral, muito menos para motores dois tempos o que torna esse acerto um tanto quanto difícil.

Como descrito anteriormente, a motivação vêm da capacidade de tentar incrementar potência em um motor de pouca massa, e isso é o essencial para regimes de performance em competições de karts, náuticas e de motocicletas. A busca será por uma calibração final que alargue a faixa de potência do motor, ou seja melhorando suas características de funcionamento, utilizando um sistema de gerenciamento eletrônico com alguns sensores, que seja confiável e que permita a sua utilização em quaisquer condições climáticas e ambientais, tais como umidade, temperatura e pressão atmosférica.

1.3 Contribuições Esperadas

As contribuições estão relacionadas com os objetivos descritos na subseção 1.2 e são elas:

- a) Promover uma análise de forma ampla sobre os aspectos positivos e negativos dos motores que utilizam o ciclo de dois tempos;
- b) Renovar alguns dados encontrados na literatura técnica a respeito dos motores dois tempos que na maioria dos livros sobre motores de combustão interna, são dados advindos do estudo de motores anteriores a década de 1950, ou seja informações que merecem atualização;
- c) Expor os aspectos positivos do uso da eletrônica e programação no gerenciamento de motores;
- d) Possibilitar a adaptação de uma tecnologia moderna e aberta (open source) em antigos motores de combustão interna que originalmente possuíam alimentação de combustível mecânica e sistema de ignição simplificado;
- e) Mostrar as possíveis e esperadas dificuldades de se calibrar o sistema de injeção eletrônica em um motor de ciclo dois tempos;

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho abordará a inserção de um sistema de gerenciamento eletrônico em um motor de ciclo dois tempos, sendo assim o assunto é abordado em três fases.

Fase Inicial: Aborda todo o conceito de funcionamento mecânico do motor de ciclo dois tempos, princípios, características de construção, soluções adotadas ao longo da história, principais aplicações. Esta parte também tem por objetivo ampliar o entendimento deste tipo de motor, que é pouco esclarecido em literaturas técnicas e quando apresentado em livros utiliza o princípio de funcionamento correto, porém demonstra exemplos de motores antigos, sem muitas soluções eficientes.

Fase Intermediária: Aborda todas as soluções elétricas e eletrônicas que serão utilizadas para o desenvolvimento do protótipo, histórico de aplicações em motores dois tempos, processo de escolha, montagem de componentes e sensores, análise de funcionamento, e dificuldades enfrentadas.

Fase Final: Mostra os processos necessários para fazer a calibração de um motor de combustão interna utilizando gerenciamento eletrônico, aplicação em motores dois tempos, quais as dificuldades e resultados obtidos.

2 Fundamentação

Os motores de ciclo dois tempos possuem o conceito mecânico da termodinâmica para seu funcionamento, onde é admitido uma mistura de ar e combustível pelo orifício de admissão. Posteriormente essa mistura sofre uma melhor homogeneização no cárter junto ao eixo de manivelas onde também é comprimido e transferido para a cabeça do pistão pelos orifícios de transferência, após a transferência o pistão inicia o ciclo de subida sentido PMS onde comprime a mistura ar combustível e sofre combustão por meio de uma centelha.

Nos motores de ciclo dois tempos, os pistões assim como nos motores com ciclo quatro tempos possuem movimento alternativo em relação ao cilindro, porém a lubrificação dos cilindros é feita por meio de óleo misturado com o combustível podendo ser forçado por uma bomba de lubrificação que injeta o óleo no orifício de admissão, ou mesmo por uma mistura óleo/combustível que pode ser previamente feita. Esse sistema simplifica todo o funcionamento deste tipo de motor, porém também traz consigo suas deficiências intrínsecas desse processo de combustão.

Segundo o Manual de Tecnologia Automotiva Bosch (2005) os motores dois tempos possuem as vantagens e desvantagens que vemos a seguir:

Quadro 1 – Comparativo entre vantagens e desvantagens dos motores dois tempos em relação aos motores de quatro tempos

Vantagens:	Desvantagens:
• Design Simples do Motor	• Maior Consumo de Combustível
• Baixo Peso	• Altas Emissões de Hidrocarbonetos
• Baixo Custo de Fabricação	• Pressão Efetiva Média mais Baixa
• Padrão Melhor de Força de Torção	• Cargas Térmicas mais Altas
	• Marcha Lenta mais deficiente

(Bosch, 2005)

O desenvolvimento deste trabalho não busca fazer um comparativo entre os diversos ciclos de funcionamento dos motores de combustão interna existentes, apesar de que em determinados tópicos essa comparação seja inevitável. Após a análise deste trabalho será possível, tirar as próprias conclusões a respeito do funcionamento de motores dois tempos, visto que a maioria das literaturas a respeito dos motores dois tempos não são específicas nem tampouco profundas a respeito do tema.

2.1 Objetivos do Capítulo

As seções a seguir apresentam o princípio de funcionamento dos motores de ciclo dois tempos. O capítulo irá abordar e analisar as fases de funcionamento e alguns componentes mecânicos deste tipo de motor e os resultados de possíveis modificações em seus componentes.

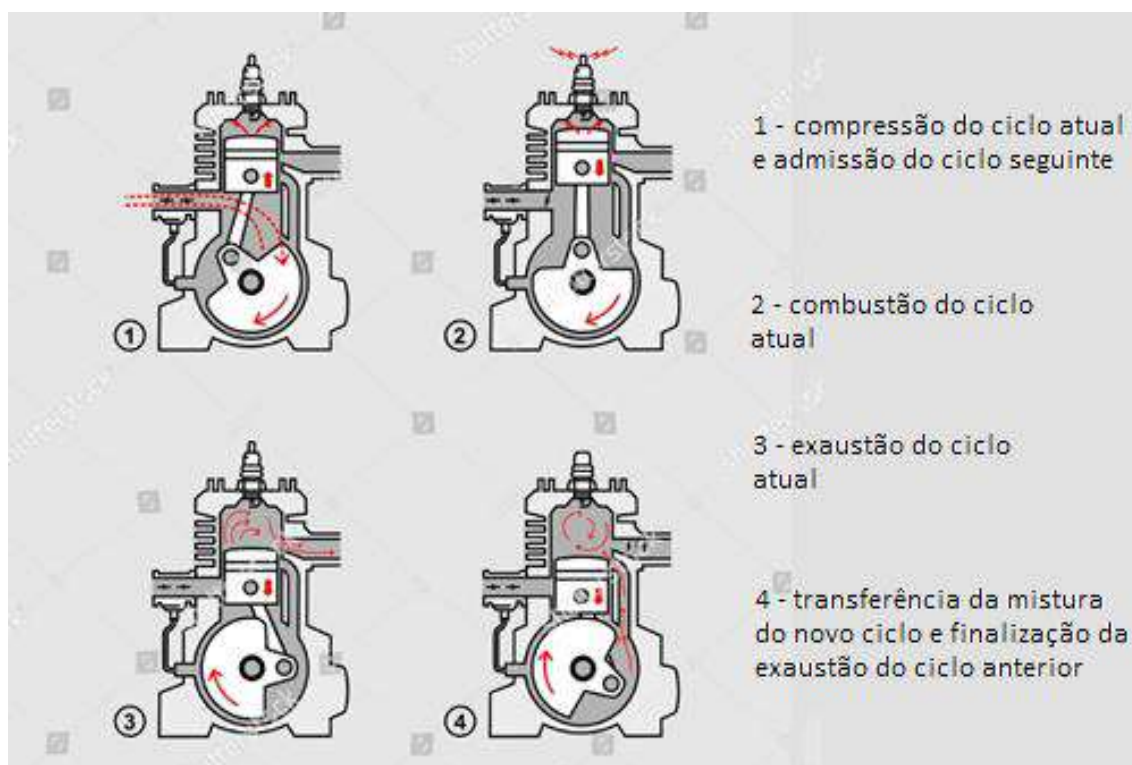
2.2 Princípios de Funcionamento dos Motores Dois Tempos

Diferentemente dos motores de ciclo otto a 4 tempos, que necessitam a rotação de 720° do eixo árvore de manivelas, os motores de ciclo dois tempos necessitam apenas de 360° do eixo árvore de manivelas para executar as quatro operações básicas de funcionamento de um motor de combustão interna:

- Admissão
- Compressão
- Combustão
- Exaustão

Apesar das operações e princípio de funcionamento dos motores dois tempos serem parecidas com as do ciclo otto, a concepção e construção do motor é totalmente diferente. Os motores dois tempos não possuem válvulas como existem nos motores de ciclo otto, pelo menos não no sistema mais básico de funcionamento desses motores (conforme Figura 1).

Figura 1 - Fases do motor de ciclo dois tempos



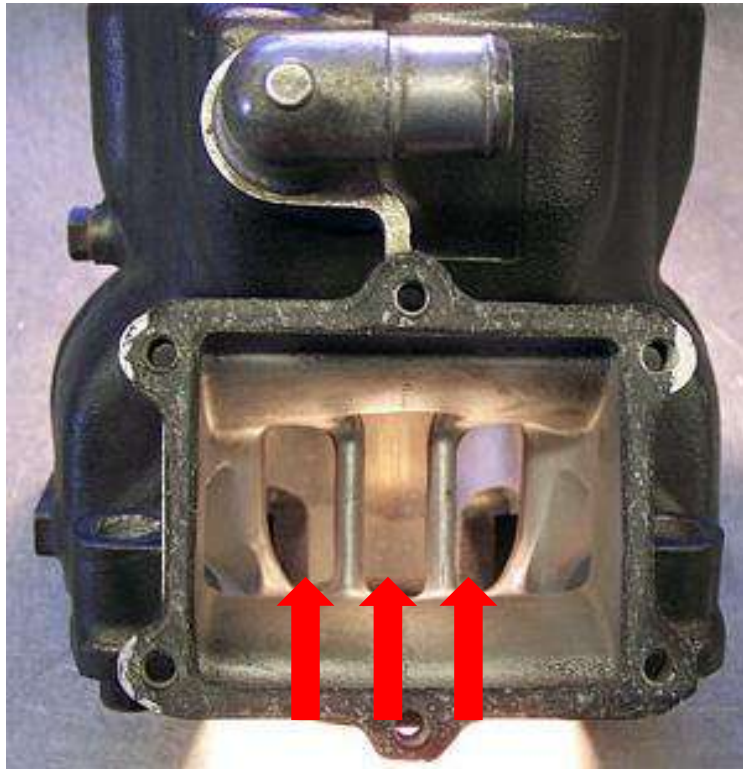
Editado pelo Autor: Fonte: <https://www.shutterstock.com>

No sistema básico de funcionamento de um motor dois tempos o cilindro possui aberturas, chamadas janelas, elas são como portas para entrada e saída da mistura ar/combustível.

A mistura ar/combustível após ser succionada através do carburador, entra através da chamada janela de admissão no cilindro (conforme Figura 2) e chega primeiramente no cárter do motor, alguns motores, normalmente os de competição ou maior performance, possuem a entrada de ar/combustível diretamente no cárter (conforme Figura 3), não necessitando entrar no cilindro e ir para o cárter, porém isto não é regra. A entrada desse combustível no cárter também é utilizada para a lubrificação dos rolamentos inferiores do motor, já que na maioria dos casos o combustível e óleo lubrificante são misturados, salvo

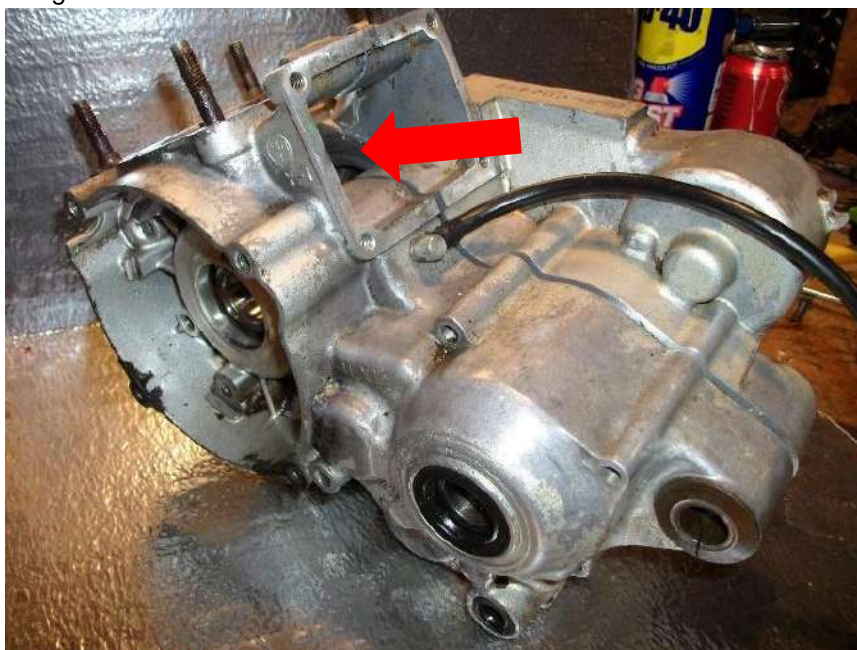
raros casos em que existem pontos de injeção apenas de óleo em determinadas partes do motor.

Figura 2 - Sistema de Janelas de Admissão no Cilindro



Editado pelo Autor: Fonte: <http://www.richstaylorporting.com>

Figura 3 - Sistema com admissão feita diretamente no cárter do moto



Editado pelo Autor: Fonte: <http://www.ebay.com>

Como dito anteriormente os motores dois tempos em essência não utilizam válvulas, porém com o desenvolvimento desse tipo de motor foi-se aprimorando a tecnologia e notou-se a necessidade do uso de válvulas na admissão, visto que parte da mistura era expelida novamente pela admissão quando havia compressão no cárter, anteriormente este papel de válvula de admissão era feito pelo próprio pistão que ao passar pela janela de admissão determinava os intervalos de tempo entre admissão e exaustão. Para melhorar a eficiência do sistema de válvula feito pelo pistão, adotou-se principalmente dois sistemas, o sistema de palhetas (conforme Figura 4) e o sistema de válvula rotativa (conforme Figura 5).

Figura 4 - Válvula de palhetas



Fonte: www.amazon.com

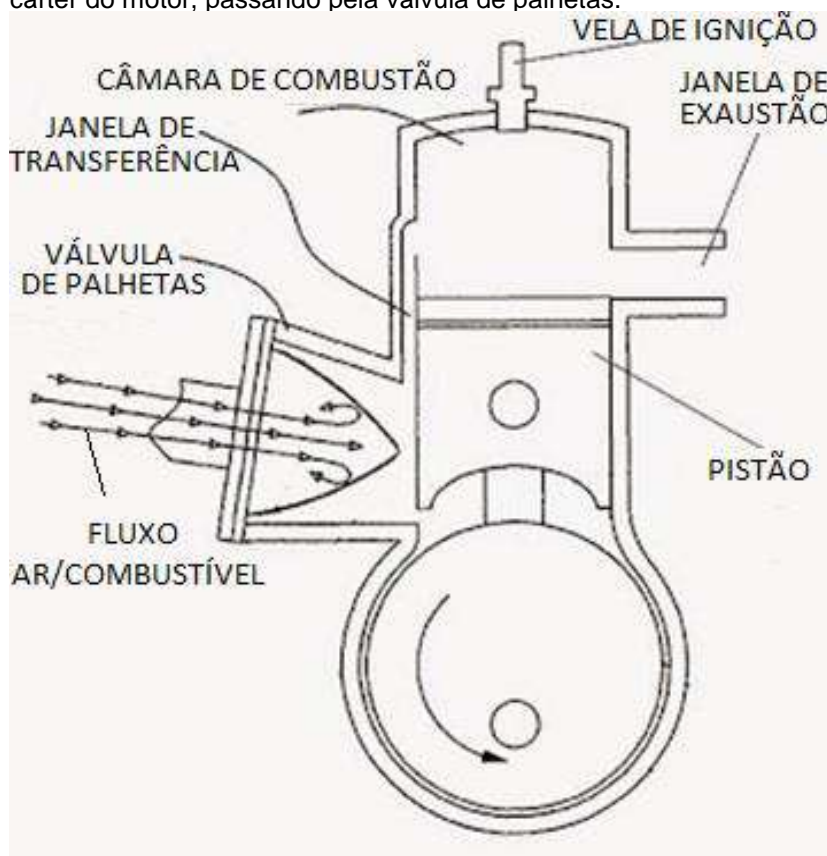
Figura 5 - Válvula Rotativa



Fonte: <https://cellcode.us>

Após ser recebida no cárter, a mistura ar/combustível é comprimida com a descida do pistão sentido ao PMI o que gera o aumento de pressão no cárter e faz com que a mistura seja transportada para a parte superior do pistão, através das chamadas janelas de transferência (conforme Figura 6). Essas janelas possuem aberturas na parte inferior do cilindro junto ao cárter do motor que é por onde passa esta mistura ar/combustível, essas aberturas ligam dutos de transferência até uma abertura na camisa do cilindro, já na parte superior do pistão (conforme Figura 6). Com a mistura já na parte superior do pistão ela é comprimida e por fim queimada, e os gases resultantes da queima são expulsos pela janela de exaustão (conforme Figura 6).

Figura 6 – Comportamento da entrada da mistura ar/combustível rumo ao cárter do motor, passando pela válvula de palhetas.

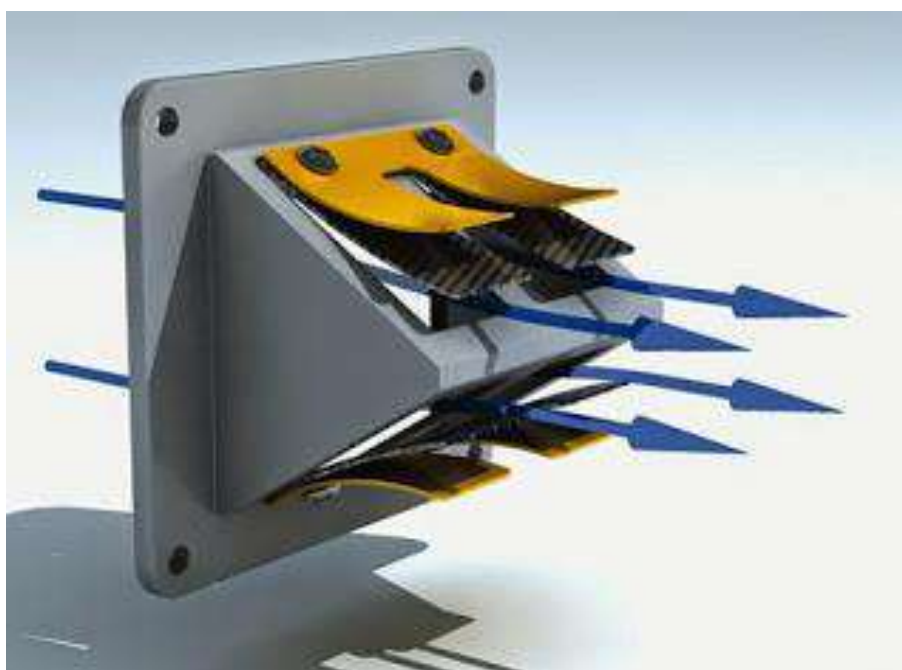


Editado pelo Autor: Fonte: www.patentimages.com

2.3 Admissão

O processo de admissão inicia-se com a subida do pistão sentido PMS, isso cria uma pequena depressão no cárter do motor, porém suficiente para arrastar a mistura ar/combustível/lubrificante advinda do sistema de alimentação, usualmente carburadores. Essa mistura passa por válvulas que controlam a entrada de mistura fresca no motor. Na maioria dos motores atuais utilizam-se válvulas de palhetas, elas também têm a função de impedir que a mistura retorne para o coletor de admissão quando há a movimentação do pistão sentido PMI (conforme Figura 7). Os primeiros motores de Joseph Day já haviam adotado uma solução de válvulas de palhetas, porém esse sistema foi esquecido por muitos anos e novamente adotados para motores de motocicletas de competição em meados dos anos 70. Notemos que a mistura no cárter do motor além de ar e combustível, também possui lubrificante que nesse momento faz a lubrificação das peças móveis na parte inferior do motor. Nas figuras seguintes podemos notar como se comporta a entrada da mistura ar/combustível para o cárter do motor e também o funcionamento das válvulas de palhetas.

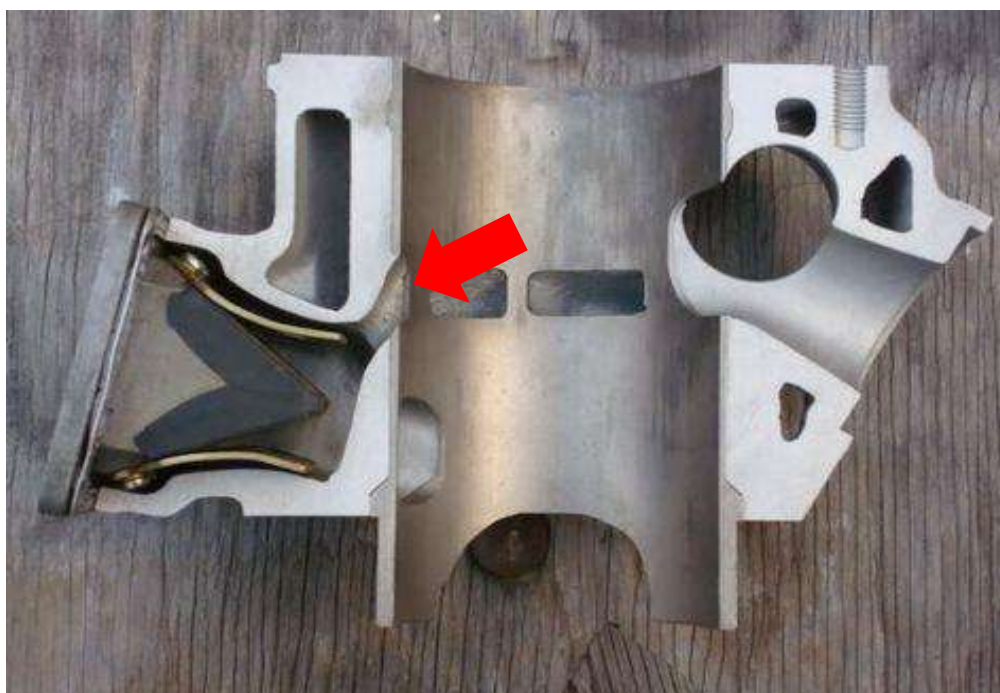
Figura 7- Válvula de palhetas, que se abrem com a depressão no cárter do motor, permitindo a passagem do fluxo de mistura ar/combustível.



Editado pelo Autor: Fonte: www.1bp.blogspot.com

O principal momento de admissão da mistura ar/combustível para o motor se dá com subida do pistão rumo ao PMS, no entanto esse não é o único período em que o motor recebe mistura fresca do sistema de alimentação. Quando o pistão inicia o movimento de descida rumo ao PMI após a exaustão, também temos admissão de mistura ar/combustível fresca. A quantidade é bem menor e se dá pela depressão gerada pelo escape dos gases queimados junto a janela de exaustão. Essa admissão acontece passando por uma janela conhecida popularmente como “Quinta Luz” ou em inglês “Boost Port” (conforme Figura 8), porém esse curto período de admissão tem maior influência no processo de exaustão dos gases. Essa admissão favorece a expulsão dos gases e limpeza da câmara de combustão para início de um novo ciclo.

Figura 8 - Cilindro com a indicação (seta) da janela “Quinta Luz” ou “Boost Port”



Editado pelo Autor: Fonte: <https://www.pinterest.com>

A duração desse período em graus, da duração da admissão na quinta luz pode ser tido como um dos períodos críticos no que diz respeito a eficiência do motor dois tempos, pois se o período tiver uma duração muito prolongada pode resultar em excesso de mistura fresca que é “jogada fora” para a exaustão, e se for muito curto acaba mantendo gás queimado na câmara de combustão o que gera perda de potência para o motor.

2.4 Compressão

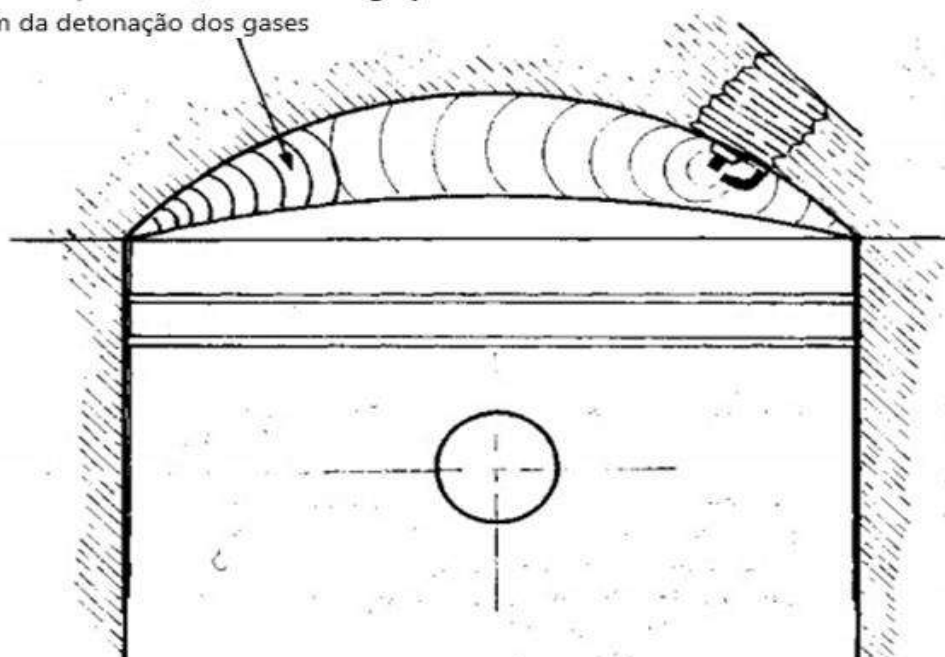
A compressão no motor dois tempos acontece assim como no motor de quatro tempos, comprimindo o volume total do cilindro em uma pequena área da câmara de combustão. Porém diferentemente do motor quatro tempos, o cilindro do motor dois tempos não é totalmente vedado, possuindo aberturas que, como dito anteriormente, se chamam janelas (conforme Figura 6).

Podem existir vários formatos de câmara de combustão ou popularmente conhecido como cabeçote, cada tipo buscando um resultado final diferente (conforme Figuras 9,10 e 11).

Como os cabeçotes de motores dois tempos não possuem válvulas, são praticamente um material usinado ou fundido, contemplando um formato final. E esse formato nos motores dois tempos, influencia muito na performance do motor.

Figura 9 - Exemplo de uma câmara de combustão de um motor dois tempos, pouco utilizado atualmente, com vela deslocada do centro.

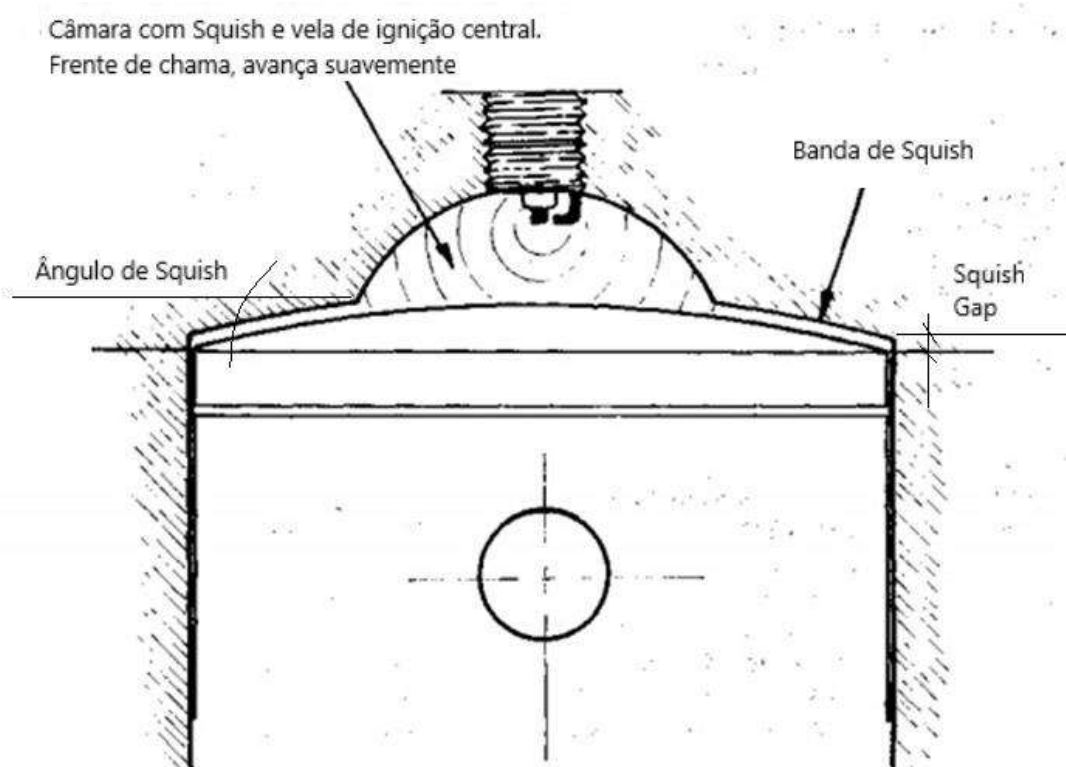
Câmara quiescente, com vela de ignição deslocada.
Fim da detonação dos gases



Editado pelo Autor: Fonte: Bell, 1999

Os cabeçotes dos motores dois tempos possuem formatos que privilegiam determinadas faixas de rotação ou comportamento do motor com relação a torque. Os chamados “*Squish*” são um formato que impõem uma alta velocidade à mistura em direção a vela de ignição e produz melhora no comportamento da queima (conforme Figura 10).

Figura 10 - cabeçote com banda de “*Squish*” é o modelo mais utilizado, variando formatos e medidas de acordo com a proposta do projeto



Editado pelo Autor: Fonte: Bell, 1999

O “*Squish*” é composto por algumas medidas, que são:

Banda do Squish: é a largura da faixa onde se concentra o *squish*, e contorna toda a circunferência do cabeçote, podendo ser mais larga ou estreita dependendo do regime de funcionamento do motor.

Ângulo do Squish: é o ângulo feito na banda de *squish* podendo acompanhar ou não o ângulo existente na cabeça do pistão, não é usual, mas podem existir cabeçotes cujos ângulos de *squish* sejam retos, assim como a cabeça dos pistões nesses motores.

Folga do Squish: essa folga é a folga do topo da cabeça do pistão quando em PMS até o ponto físico mais próximo da banda de *squish*.

Segundo Bell (1999) os cabeçotes que contemplam “*Squish*” vieram a promover melhorias significantes na performance dos motores dois tempos. Esse tipo de cabeçote promove melhor homogeneização da mistura ar/combustível e também de qualquer porção de gases de escapamento residuais presentes na câmara. Esse formato também evita que a propagação de chama para as laterais do cilindro promovam o aquecimento do mesmo, fator que pode dar início a um ciclo de detonação que é muito prejudicial para o funcionamento do motor.

Figura 11 - Cabeçotes Honda RS125 de competição com “*Squish*”



Fonte: <http://www.cmrracing.com>

Um outro fator que gera uma certa confusão em motores dois tempos é a medição da taxa de compressão. A compressão efetiva do volume do cilindro ocorre apenas quando os anéis de segmento do pistão passam pela última abertura sentido PMS, sendo que a última abertura em motores dois tempos são as janelas de exaustão.

O que pode se notar usualmente é que fabricantes europeus utilizam a mesma maneira de se calcular taxa de compressão de motores quatro tempos em motores de ciclo dois tempos.

$$RC = \frac{VC+VCC}{VCC}$$

onde:

RC: Relação de Compressão

VC: Volume do Cilindro (cm³)

VCC: Volume da Câmara de Combustão (cm³)

Enquanto fabricantes japoneses utilizam uma maneira específica de medir a taxa compressão para motores dois tempos, avaliando o volume total de compressão efetiva somente após a passagem dos anéis de segmento pela janela de escapamento, fazendo sua vedação. Nesse caso o volume total do cilindro não entra na conta, o que se utiliza é a altura da janela de exaustão como referência para o volume total a ser comprimido.

Pode-se assim calcular o Volume a ser Comprimido:

$$VAC = \pi * r^2 * h$$

onde:

VAC: Volume a ser comprimido (cm³)

π : Constante

r: Raio do cilindro (mm)

h: distância percorrida pelo pistão, do momento de fechamento da janela de exaustão até a chegada em PMS (mm)

Quando pesquisa-se em fichas técnicas sobre motores dois tempos, tais literaturas podem gerar uma confusão de entendimento, pois pode-se entender que motores europeus utilizam taxa de compressão muito maior que os motores japoneses, e isto não é verdade, apenas utilizam métodos de medição diferentes.

2.5 Combustão

O processo de combustão em motores dois tempos é muito semelhante ao dos motores de quatro tempos, mas com uma diferença essencial ao entendimento deste tipo de motores. Nos motores de ciclo de quatro tempos acontece a centelha na vela de ignição a cada 720° de rotação do eixo árvore de manivelas, enquanto no motor de ciclo dois tempos a centelha ocorre a cada 360° de rotação do eixo árvore de manivelas, ou seja a cada subida do pistão sentido PMS ocorre uma combustão.

Segundo Najafabadi, Aziz, Adams e Leman (2013), existem alguns efeitos gerados no processo de combustão advindos do ciclo anterior, devido a gases residuais que se mantiveram na câmara de combustão. Este fenômeno afeta a combustão podendo ocorrer avanço ou atraso do tempo de ignição devido a temperatura desses gases. Ainda a pressão no interior do cilindro que veio do ciclo anterior afeta o fluxo de transição do motor, podendo a quantidade de gases residuais ser diferente (conforme Gráfico 2).

Gráfico 2 - Gráfico de pressão x temperatura, em um motor de ciclo dois tempos com rotação em 6000 RPM



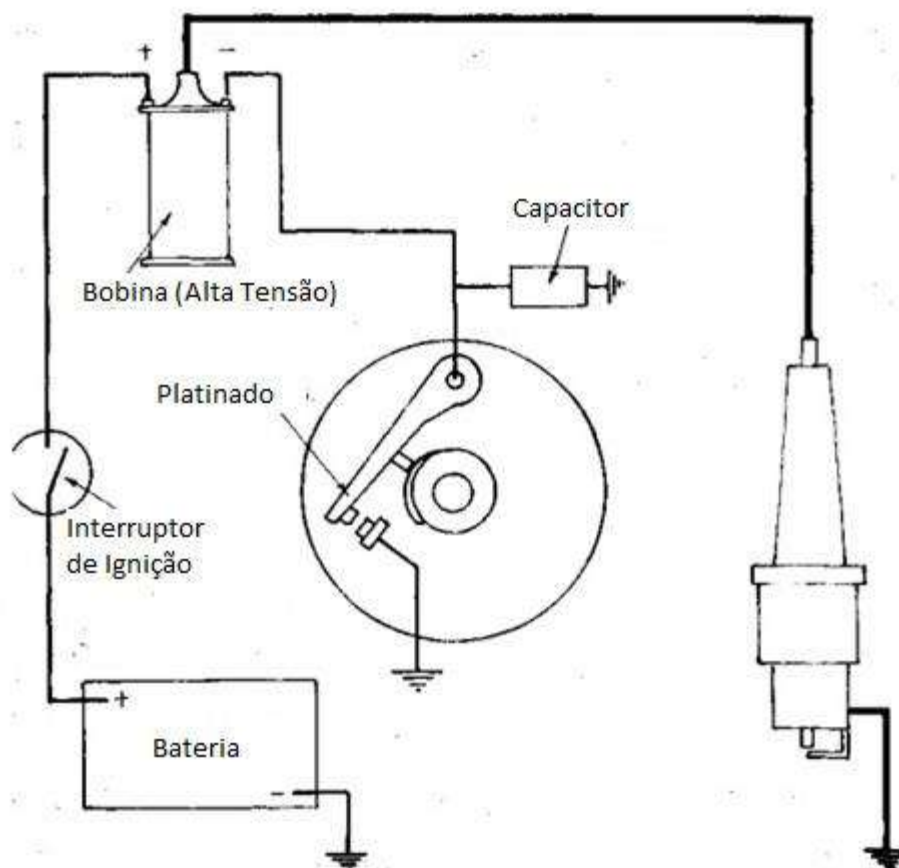
Fonte: Najafabadi, et al., 2013

2.5.1 Ignição

Este mecanismo é importante para que o processo de combustão seja equilibrado, bem executado e responda com um bom funcionamento do motor.

Existem diversos sistemas de ignição disponíveis para motores dois tempos, desde os mais simplificados (conforme Figura 12), até sistemas programáveis, onde pode-se determinar a curva de avanço desejada por meio de programação do dispositivo via software (conforme Figura 13), porém para entendimento do funcionamento o esquema elétrico do sistema de ignição por platinado possui fácil entendimento, este sistema foi utilizado por muitos anos e o único motivo de cair em desuso era a necessidade de regulação constante devido ao desgaste mecânico do contato elétrico.

Figura 12 - Esquema elétrico de um sistema de ignição convencional por meio de platinado



Fonte: Bell, 1999

Figura 13 - Sistema digital programável, específico para uso em karts



Fonte: <http://www.pvl-zuendungen.de>

2.6 Exaustão

Este é com certeza o processo mais importante dentre todos os processos no motor dois tempos, a janela de exaustão é a área do motor que se sofrer uma alteração de alguns décimos de milímetros, pode mudar completamente o comportamento do motor.

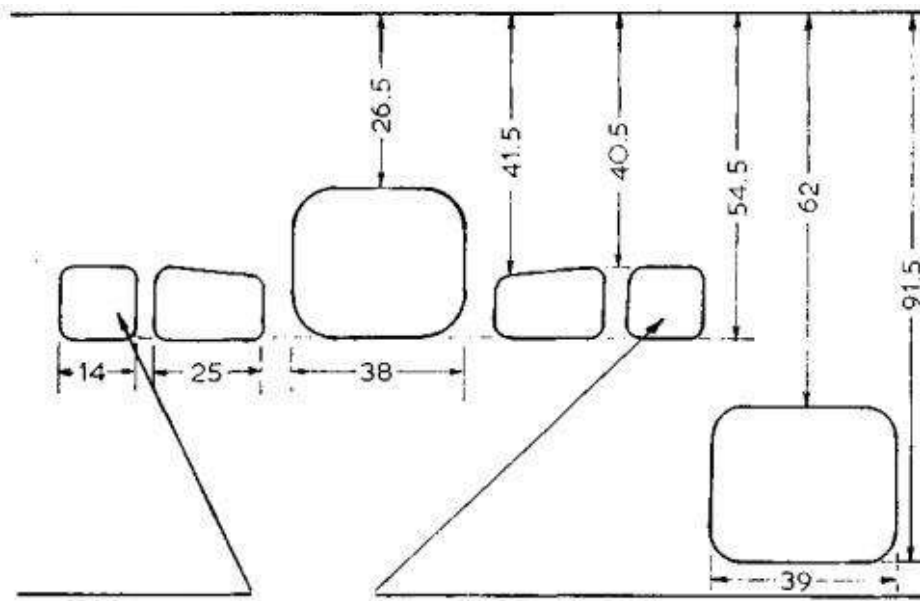
Como já discurremos, os motores dois tempos não possuem válvulas como os motores quatro tempos, pelo menos não nos mesmos moldes, ou então válvulas que vedem completamente a passagem dos gases. Em um motor de quatro tempos, o comando de válvulas determina qual é momento de abertura das válvulas, a ordem, o levante, etc. No motor dois tempos essa função de duração da admissão e exaustão é composta pela diagramação das janelas do cilindro (conforme Figura 14), e são fixas, não existe um comando de válvulas rotativo, ou qualquer dispositivo semelhante, dentre essa diagramação a duração mais importante e que determina o desempenho do motor e como ele se comportará é a da janela de exaustão.

Segundo Bell (1999) o processo de modificação da janela de exaustão é talvez um dos mais críticos dentro dos motores dois tempos, (conforme Figuras 14 e 15) pôde-se notar que as diagramações possuem desenhos diferentes de janelas de exaustão, o primeiro modelo da Yamaha TZ250 (conforme Figura 14) é de janela única, pois as dimensões que foram determinadas para o tamanho e duração da janela dado o diâmetro do cilindro permitiram que isso fosse feito. Já no segundo diagrama da Suzuki PE175 podemos notar que a janela de exaustão é bi partida (conforme Figura 15), isso acontece por que por projeto foi determinado um tamanho de janela de exaustão demasiadamente grande para o diâmetro desse cilindro, não é regra mas usualmente a largura de uma janela de exaustão pode ter no máximo 70% do diâmetro do cilindro, isso acontece para que os anéis de segmento não tendam a entrar no duto de exaustão quando por lá passarem, por isso a solução adotada na Suzuki PE175 de adicionar mais uma divisão na janela, permite ter uma janela de exaustão mais larga sem comprometer a durabilidade do motor.

Por ser uma medida física e determinante para o funcionamento do motor dois tempos a janela de exaustão sempre foi um ponto crítico no projeto desses motores, pois se o projeto determinava uma medida para a janela de exaustão a performance do motor era inerente a esta medida. Motores que foram desenvolvidos até o final da década de 1970 não conseguiam melhorar suas características em todas as faixas de funcionamento. Por exemplo se o projeto da janela de exaustão era feito para funcionar bem em baixas rotações isso caracterizava aquele motor e nada podia ser feito para ser melhorado sem que isso compromettesse outras faixas de rotação.

Motocicletas e karts de competição que eram projetados para funcionar bem em altas rotações tinham todo o torque em baixa muito comprometido, se vemos corridas de motocicletas da década de 1970 e início dos anos de 1980, podemos ver pilotos que largavam praticamente empurrando a motocicleta até que ela embalasse e chegasse a uma rotação onde o motor pudesse andar sozinho.

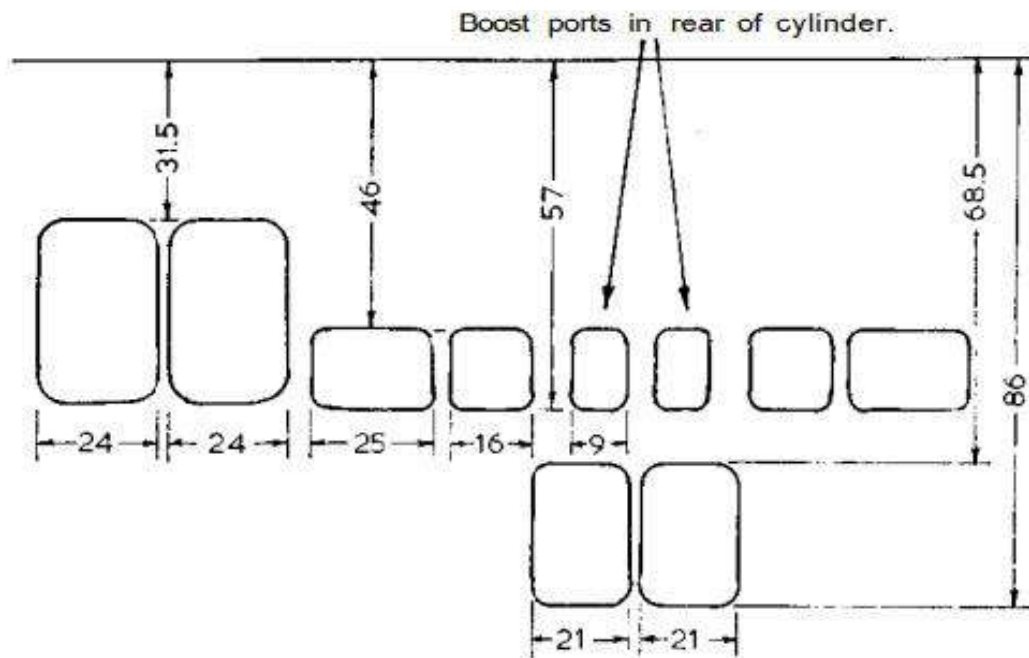
Figura 14 - Diagrama TZ250 modelos - D/E/F



Yamaha TZ250 D/E/F porting.

Fonte: Bell, 1999

Figura 15 - Diagrama Suzuki PE175, janela de exaustão bi partida

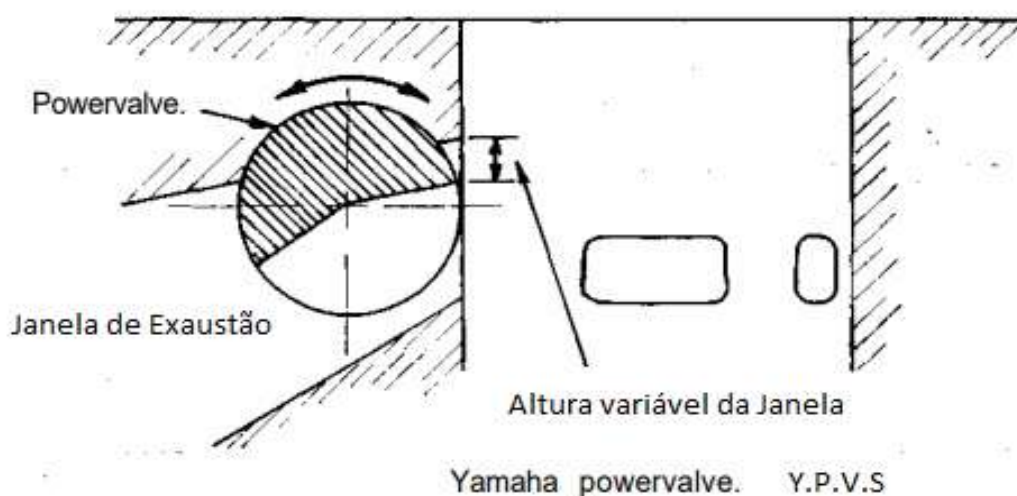


Suzuki PE175 C porting.

Fonte: Bell, 1999

No início dos anos de 1980 a Yamaha criou uma solução para melhorar o desempenho dos motores dois tempos em todas as faixas de rotação, é um sistema com uma válvula mecânica que variava as dimensões da janela de exaustão durante o funcionamento do motor, esse sistema é chamado YPVS (*Yamaha Power Valve System*) (conforme Figura 16) foi um sistema que permitiu a Yamaha ganhar diversas competições on e off road, até que seus concorrentes pudessem desenvolver sistemas semelhantes.

Figura 16 - YPVS, *Yamaha Powervalue System*



Editado pelo Autor: Fonte: Bell, 1999

Inicialmente esse sistema era totalmente mecânico e era tocado por uma bomba centrífuga ligada ao eixo árvore do motor, posteriormente em motocicletas de rua foi adotado o mesmo princípio porém foi utilizado um sistema eletrônico com um servo motor. Outros fabricantes desenvolveram sistemas semelhantes ao longo do tempo e adotaram as mais diversas soluções. Um outro sistema bastante popular foi o sistema pneumático (conforme Figura 17), que era composto por uma válvula do tipo guilhotina e uma membrana na janela de exaustão, a válvula se mantinha fechada em baixas rotações melhorando o torque naquele momento, e a membrana era calibrada para que em um certo momento, quando certa quantidade de gases de escape estivessem sendo produzidos, a membrana empurrava a válvula para trás aumentando as dimensões da janela de exaustão, melhorando o torque em altas rotações.

Figura 17 - Válvulas pneumáticas, utilizadas em motores dois tempos



Fonte: <http://www.bikemanperformance.com>

2.6.1 Escapamento

Ainda na fase de exaustão o escapamento é o acessório mais importante para o bom funcionamento dos motores dois tempos e necessita cuidados especiais em seu desenvolvimento. É intrínseco do funcionamento e da forma construtiva do motor dois tempos, o fato de que, ele acaba por jogar mistura fresca para o escapamento e isso causa perda de performance. Assim o escapamento promove ondas de ressonância que causam o retorno de parte dessa mistura fresca novamente para dentro do cilindro.

Este sistema determina muito das características importantes de funcionamento desse tipo de motor. São peças complexas de serem construídas e produzem um som característicos de “ring-ding” a este tipo de motor.

Para um bom projeto de escapamento são necessários diversos cálculos, para que se obtenha as dimensões ideais. Posteriormente outro desafio é aplicar as dimensões calculadas ao projeto do veículo, o que produz verdadeiras esculturas mecânicas (conforme Figura 18).

Cálculo para determinação do comprimento ideal do escapamento:

$$LE = \frac{DE \times 42545}{RPM}$$

Onde:

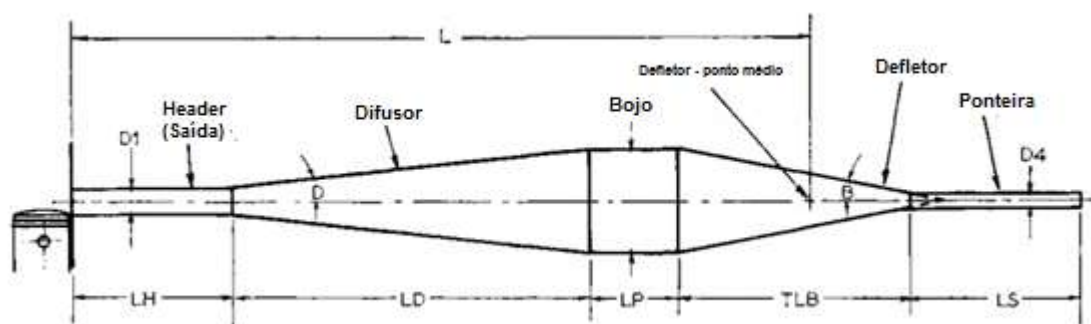
LE = Comprimento do escapamento (mm)

DE = Duração da janela de exaustão em graus (°)

RPM = Rotação para melhor funcionamento do motor (1/min)

42545 = Constante que leva em conta que a onda sônica sempre viaja na velocidade do som no ar

Figura 18 – Dimensões de um escapamento de motores dois tempos



Fonte: Bell, 1999

O trecho do escapamento que sai do cilindro do motor é chamado em inglês “Header” esse trecho usualmente é cônico e utiliza ângulos entre $1,15^\circ$ e $1,5^\circ$. Entretanto, ao longo da história, os fabricantes testaram ângulos variando entre $0,8^\circ$ até $2,3^\circ$ de conicidade para determinadas aplicações.

As dimensões do *Header* podem ser determinadas da seguinte maneira: Para o comprimento pode-se utilizar o fator de multiplicação (conforme Quadro 2).

Quadro 2 - Fator de Multiplicação para o “*Header*”

Volume do Cilindro (cm³)	Motovelocidade	Motocross e Enduro
50 – 80	8.5 – 9.5	10 -11
100 – 125	7.8 – 8.5	7.8 – 8.5
175 – 250	7.3 – 8.3	9 -10
350 - 500	7.3 – 8.3	8.5 – 9.5

Fonte: Bell, 1999

Já com o fator de correção apropriado, multiplicamos esse valor pelo diâmetro da janela de exaustão, e esse é o comprimento ideal do *Header*.

O diâmetro maior do *Header* pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$D2 = \left[\frac{CH \times 2}{\cotg H} \right] + D1$$

Onde:

D2 = é o diâmetro maior do *Header* para união com o Difusor (mm)

CH = é o Comprimento do *Header* (mm)

D1 = é o diâmetro inicial do *Header* determinado pelo diâmetro da janela de exaustão (mm)

Cotg H = é a cotangente do ângulo do *Header* usualmente entre 1,15 e 1,5°

O segundo trecho do escapamento chamado Difusor pode ser calculado da seguinte maneira: O diâmetro inicial é o mesmo diâmetro D2 do *Header*, o comprimento do Difusor é usualmente calculado utilizando 2,5 vezes o diâmetro da janela de exaustão, porém pode-se usar de 2,2 a 2,9 vezes o diâmetro da janela de exaustão dependendo do projeto, tendo em mente que quanto menor o comprimento melhor o rendimento em altas rotações e quanto maior o comprimento melhor as respostas do motor em baixas rotações. Ao final, o que

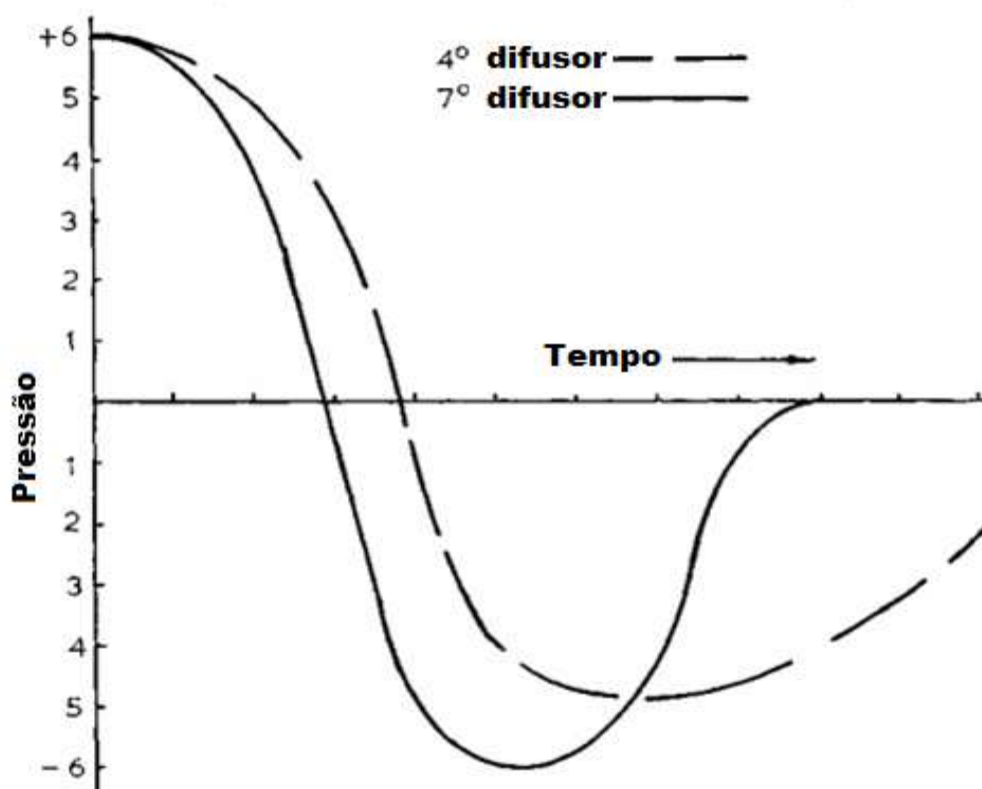
irá determinar o comprimento é a proposta do motor. O ângulo de conicidade do Difusor varia normalmente entre 3° e 7° com diferentes reações ao rendimento do motor (conforme Quadro 3), modificando a duração e os efeitos da onda de ressonância (conforme Gráfico 3).

Quadro 3 - Determinação do ângulo do Difusor

Volume do Cilindro (cm³)	Motovelocidade	Motocross e Enduro
50 – 80	6,5 a 7°	3 a 3,5°
100 – 125	6,5 a 7,5°	4 a 4,8°
175	6,5 a 7,5°	3.5 a 4,5°
250	7 a 7,5°	4 a 4,5°
350 – 500		4 a 5°

Fonte: Bell, 1999

Gráfico 3 – Efeito do ângulo do Difusor na intensidade e duração da onda de retorno



Efeito do cone do difusor na intensidade e duração da onda de retorno

Fonte: Bell, 1999

O segundo diâmetro, o diâmetro maior do Difusor, pode ser calculado utilizando a seguinte expressão:

$$CD = \left[\frac{D3 - D2}{2} \right] \times \cotg D$$

Onde:

CD = Comprimento do Difusor

D3 = Diâmetro maior do Difusor

D2 = Diâmetro menor do Difusor

cotg D = Cotangente do ângulo de conicidade que foi determinado para o Difusor

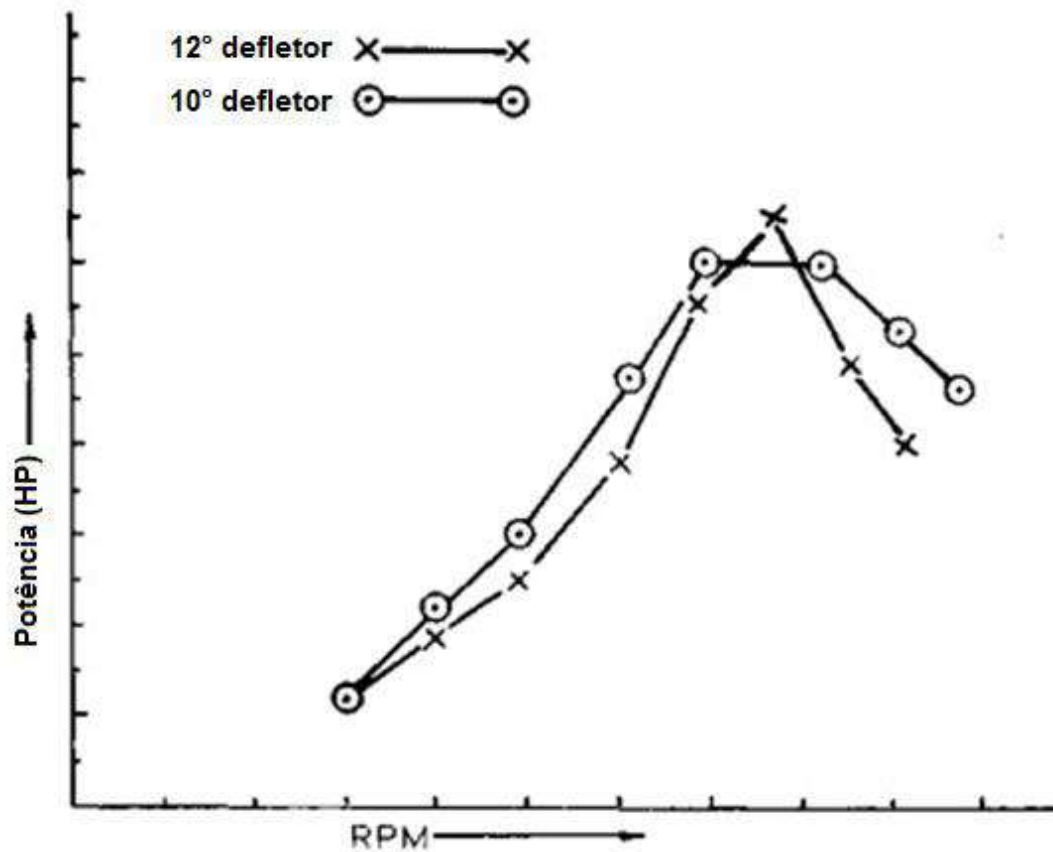
Existe uma seção paralela que liga o diâmetro maior do difusor ao último cone, esse trecho é popularmente chamado de Bojo (conforme Figura 18), porém não se pode calcular o comprimento dela sem antes calcular as dimensões do cone final que é chamado de “*Baffle*” ou defletor (conforme Quadro 4). Essa seção por sua vez determina a duração e a intensidade das ondas de ressonância que irá manter o cilindro cheio, de maneira eficiente. Segundo Bell (1999), um defletor com um cone curto e ângulo muito abrupto irá permitir um ganho de potência máxima, ao custo de sacrificar as baixas e médias rotações (conforme Gráfico 4).

Quadro 4 - Ângulos usuais para o defletor

Volume do Cilindro (cm³)	Motovelocidade	Motocross e Enduro
50 -80	10,5 a 12°	8,5 a 9,5°
100	10,5 a 12°	9 a 10°
125	9,5 a 12°	8,5 a 10°
175	10 a 12°	8 a 10°
250	10 a 12°	7,5 a 10°
350 - 500		9 a 11°

Fonte: Bell, 1999

Gráfico 4 – Efeito do ângulo do Defletor



Fonte: Bell, 1999

Para se calcular o comprimento do cone, utilizamos a expressão:

$$\text{CTD} = (D3/2) \times \cotg D$$

Onde:

CTD: Comprimento total do cone do defletor

D3: Diâmetro maior do defletor, ou seja o mesmo diâmetro que o diâmetro maior do difusor

cotg D: Cotangente do ângulo escolhido para o defletor

Agora com todos esses valores calculados, podemos calcular o comprimento da parte central do escapamento, o chamado bojo. Para isso utilizamos a seguinte expressão:

$$CB = L - (CH + CD + (CDE/2))$$

Onde:

CB: Comprimento do Bojo

L: Comprimento total do escapamento até o meio da seção do defletor

CH: Comprimento do *Header*

CD: Comprimento do Difusor

CDE: Comprimento total do Defletor

Por fim ainda necessitamos saber as dimensões do “*Stinger*” ou ponteira, que segundo Graham Bell após várias experimentações chegou a alguns valores, que resultaram em boas respostas do motor (conforme Quadro 5).

Quadro 5 - Comprimento da ponteira

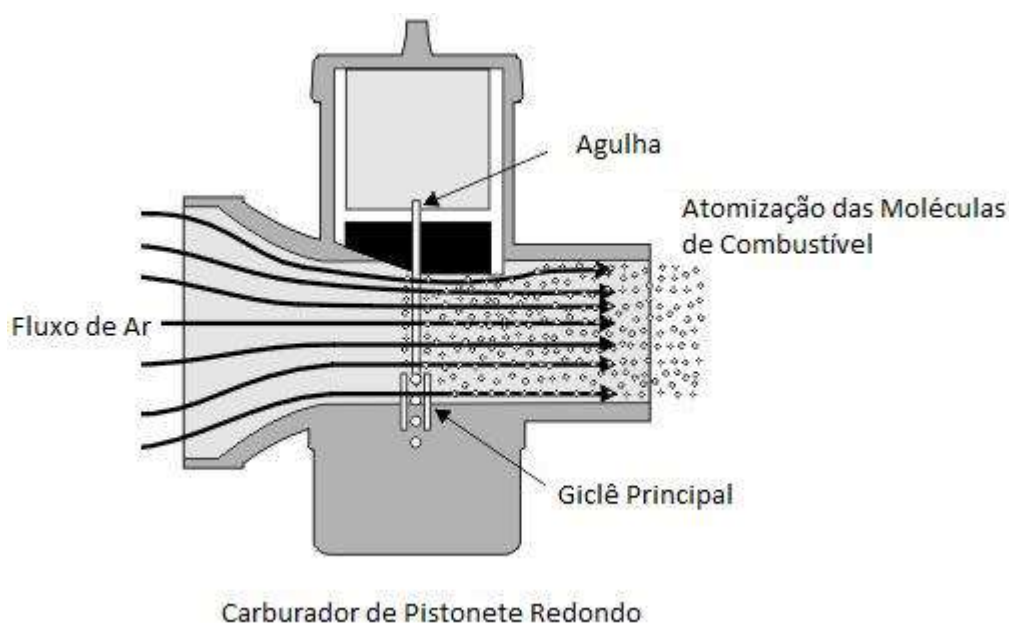
Volume do cilindro (cm ³)	Comprimento (mm)	Diâmetro Interno (mm)
50 - 80	205 – 230	17 -19
100	230 – 250	19 - 21
125	265 – 290	22 -24
175	270 - 295	25 – 27
250	280 – 305	26 – 28
350 -500	285 - 310	27 – 29

Fonte: Bell, 1999

2.7 Gerenciamento Eletrônico de Motores de Combustão Interna

Em seu funcionamento os motores de combustão interna independentemente do tipo de ciclo necessitam de um gerenciamento da admissão de uma mistura carburante, para o interior dos cilindros para que possa haver a combustão da mesma. Anteriormente essa admissão se dava por um processo puramente mecânico com a utilização de carburadores, que eram sistemas mecânicos sofisticados que proporcionavam a atomização do combustível com o ar atmosférico para a formação da mistura carburante (conforme Figura 19).

Figura 19 – Carburador, Formação de mistura carburante



Fonte: <http://www.thunderproducts.com>

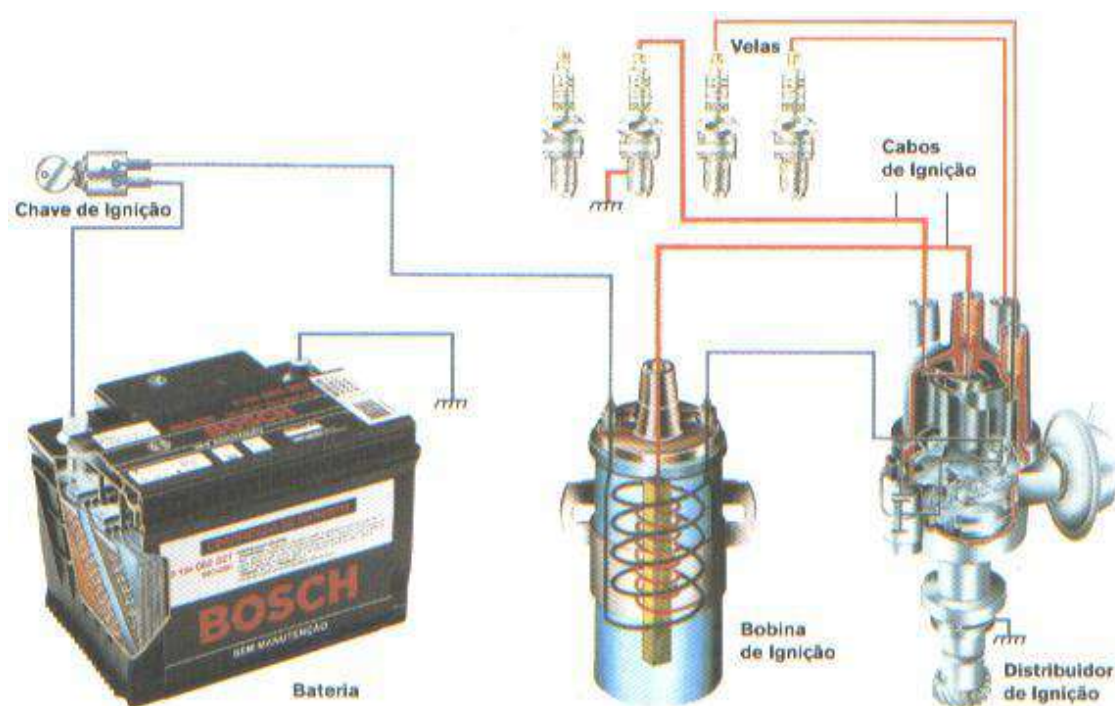
Porém este sistema possuía algumas deficiências, pois necessitava de constante regulação e qualquer mudança de condição climática de temperatura, pressão ou umidade fazia com que o carburador saísse de sua faixa de trabalho, gerando um mal funcionamento do motor e por vezes até mesmo sua quebra.

Parte muito importante também do funcionamento dos motores de combustão interna são os sistemas de ignição, que anteriormente eram sistema independentes do sistema de alimentação de combustível, porém atualmente pertencem ao mesmo pacote de gerenciamento do motor. Estes sistemas de

ignição eram normalmente sistemas eletromecânicos, podendo ser sistemas simples com ponto de ignição fixo, ou sistemas mais elaborados com a presença de circuitos eletrônicos para fazer a variação do ponto de ignição. Estes sistemas possuem alguns componentes básicos:

Distribuidor (no caso de haver mais de um cilindro), bobina de ignição (para gerar alta tensão), cabos de ignição e velas de ignição. Este é o esquema mais básico de funcionamento dos sistemas de ignição, podendo haver variações elétricas, mecânicas e em alguns casos eletrônicas (conforme Figura 20).

Figura 20 - Esquema elétrico de um sistema básico de ignição



Fonte: <http://dicasmotores.blogspot.com>

Atualmente os sistemas mais modernos de gerenciamento de motores de combustão interna, são quase que puramente eletrônicos e contemplam os dois mundos, alimentação de combustível e ignição em um único sistema (conforme Figura 21). Todo o gerenciamento é feito com base em leitura de sensores, uma calibração que prevê diversas situações de uso do motor e atuadores que fazem o processo físico de alimentação de combustível do motor. Estes são sistemas complexos que se baseiam na condição imediata de diversos fatores que são

interpretados por sensores, como por exemplo: pressão atmosférica, temperatura do motor, massa de ar admitida, etc. Estas leituras feitas pelos sensores são recebidas por um circuito eletrônico que contém um processador onde essas informações são recebidas e com base em dados armazenados em sua memória para cada condição, ter-se atuação eletrônica onde é feita a injeção de combustível pelos injetores e o disparo da centelha de ignição para que haja a combustão.

Figura 21 - Sistema de gerenciamento eletrônico genérico veicular e seus periféricos



Fonte: <https://www.flaviolucasmmm.blogspot.com>

3 Detalhamento do Projeto

Os capítulos anteriores serviram para o embasamento técnico para que fosse possível uma melhor compreensão do que se trata o projeto a ser executado neste trabalho de conclusão de curso. Neste ponto iremos tratar especificamente do projeto de adaptação de um sistema completo de injeção eletrônica em um motor de ciclo dois tempos Yamaha de 135cm³, proveniente de uma motocicleta Yamaha RD 135 (Conforme Figura 22) e todos os componentes utilizados para tornar esta adaptação possível.

Figura 22 - Motocicleta Yamaha RD 135



Fonte: <https://motos-motor.com.br>

3.1 Dados do Motor

O motor utilizado neste projeto é proveniente de uma motocicleta Yamaha Rd 135cm³ que foi fabricado no Brasil de 1988 a 1999. Trata-se de um motor monocilíndrico que utiliza o ciclo de trabalho dois tempos, refrigerado à ar, seguem os dados técnicos:

Cilindro: em alumínio com camisa em ferro fundido nodular.

Diâmetro x Curso: 58mm x 50mm

Cilindrada: 132cm³

Taxa de Compressão: 6,82 : 1 (método europeu)

Sistema de Alimentação: Carburador Mikuni VM24 com 24mm de venturi

Sistema de Ignição: Ignição eletrônica de descarga capacitiva ou popularmente C.D.I (*Capacitor Discharge Ignition*)

Lubrificação: Óleo dois tempos bombeado através de uma bomba chamada Autolube nos motores Yamaha, este óleo é proveniente de um reservatório que alimenta a bomba, que por sua vez transfere o óleo através de uma mangueira diretamente ao coletor de admissão do motor, variando a quantidade de óleo de acordo com a rotação e abertura do carburador.

Sistema de Partida do Motor: Pedal de partida

Combustível: Gasolina

Potência: 16cv a 9000rpm

Torque: 1,74kgfm a 8500rpm

Para este projeto, o motor utilizado já possuía modificações mecânicas para atingir melhores rendimentos que o motor original pois é um motor que foi utilizado em competições de motovelocidade na categoria RD 135. Diversas peças foram modificadas tais como sistema de alimentação, escapamento, válvula de palhetas, ignição, combustível, diagramação do cilindro e taxa de compressão. O sistema de alimentação original foi substituído por um carburador Mikuni TM 30 (conforme Figura 23), o escapamento foi substituído por um escapamento dimensionado construído artesanalmente, o sistema de ignição

utilizado foi um Motoplat de ponto fixo (conforme Figura 24), e o combustível utilizado foi o etanol, que além de ser o combustível regulamentado para o campeonato, também é um combustível que permite extrair mais potência do motor, pois com esse combustível é possível fazer modificações mecânicas como taxa de compressão e avanço de ignição que não seriam possíveis utilizando gasolina como combustível.

Figura 23 - Carburador Mikuni TM 30



Fonte: www.japanbaiku.com

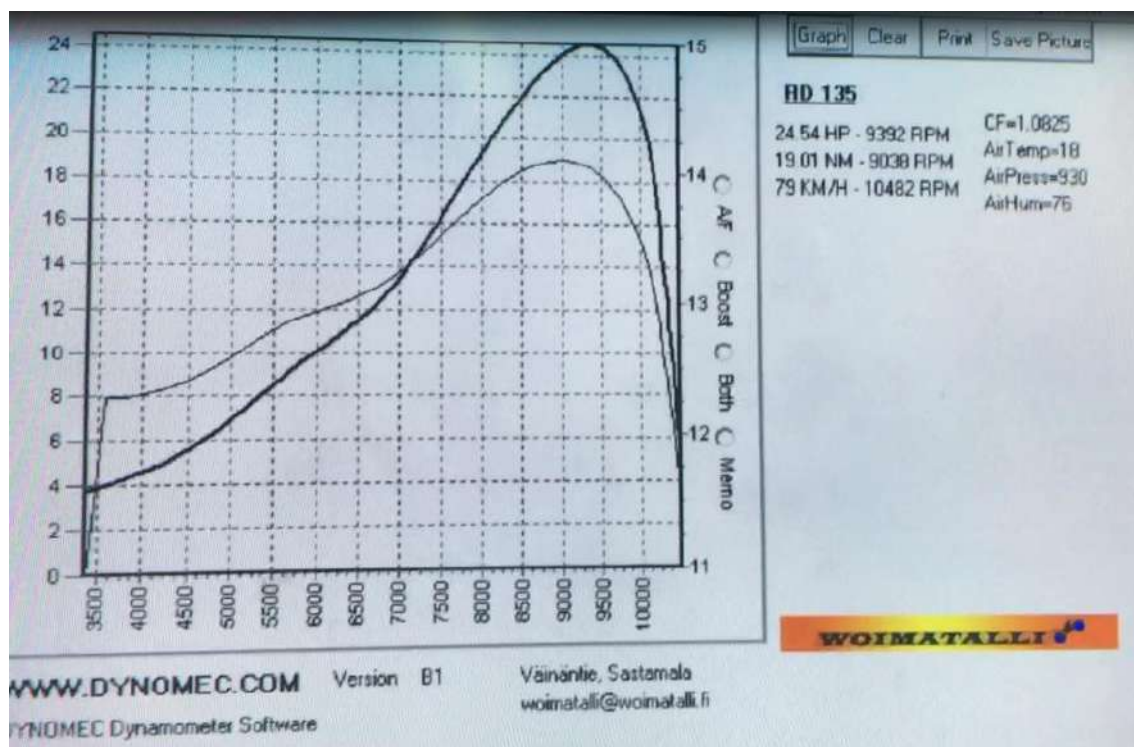
Figura 24 - Sistema de Ignição Motoplat de ponto fixo



Fonte: www.custojusto.pt

O motor utilizado como base nesse trabalho não é um motor original, é um motor de competição e para haver base para comparação do antes e depois do processo de inserção do sistema de injeção eletrônica, este motor teve sua potência medida em dinamômetro inercial, com sua curva de torque e potência aquisitadas (conforme Figura 25).

Figura 25 – Curva de torque e potência



Fonte: Autor

O motor utilizado passou por uma revisão geral havendo troca de peças, por se tratar de um motor de competição foi por diversas vezes levado ao extremo, e com a escolha desse motor para o projeto, esta revisão se fez necessária. As imagens a seguir mostram o processo de desmontagem para verificação das condições do motor e posterior montagem (Conforme Figuras 26,27,28,29,30,31 e 32).

Figura 26 - Motor Yamaha 135cm³, base para o projeto



Fonte: Autor

Figura 27 - Processo de desmontagem – Fase 1



Fonte: Autor

Figura 28 - Processo de desmontagem – Fase 2



Fonte: Autor

Figura 29 - Processo de pintura



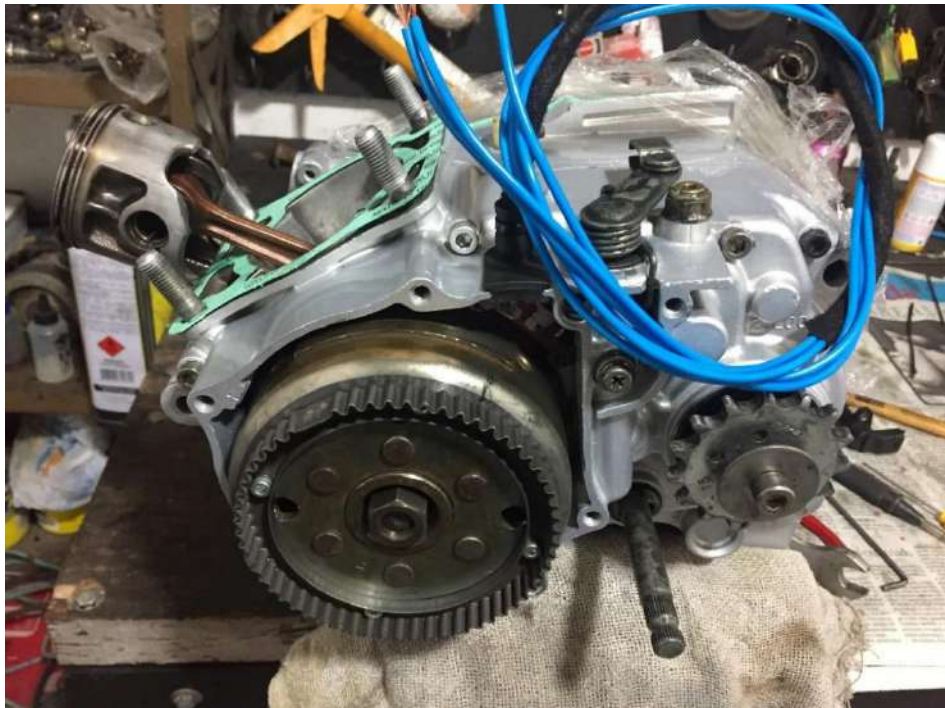
Fonte: Autor

Figura 30 - Processo de montagem - transmissão



Fonte: Autor

Figura 31 - Processo de montagem - roda fônica adaptada e instalada



Fonte: Autor

Figura 32 - Instalação do motor na motocicleta



Fonte: Autor

3.2 Escolha do Sistema de Gerenciamento Eletrônico

Para a escolha do sistema de gerenciamento eletrônico, foi necessária grande pesquisa entre as opções disponíveis no mercado nacional e internacional. Os sistemas de injeção eletrônica disponíveis originalmente em motocicletas de fabricação nacional, poderiam ter sido uma opção, mas foram logo descartados, pois foram concebidos para trabalhar com motores de ciclo otto, o que não é o caso, e as maneiras de calibração desses sistemas originais se tornariam difíceis de conseguir, tornando essa escolha inviável.

A busca foi por um sistema “*stand-alone*”, auto suficiente e que permitisse mudança total nos parâmetros de calibração, normalmente são sistemas utilizados em competições de automóveis, motocicletas, caminhões, etc.

Existem sistemas de injeção eletrônica “*stand-alone*” muito sofisticados, de fabricantes renomados mundialmente dentro e fora das pistas de corridas, como Magneti Marelli (conforme Figura 33) e Bosch (conforme Figura 34), em suas divisões motorsport.

Figura 33 - ECU Magneti Marelli Motorsport

Fonte: www.magnetimarelli.com

Figura 34 - ECU Bosch MS 15.1

Fonte: www.ellis-components.co.uk

Sistemas desses fabricantes são reconhecidamente confiáveis, o problema é o valor de um sistema desses que é muito caro e os tornam inviáveis para um projeto experimental de baixo custo. Opções nacionais também foram cogitadas como o sistema Fueltech, porém ainda possuem um custo alto e suas opções de programação e flexibilidade do sistema ainda eram limitados para o tipo de ciclo do motor a ser utilizado.

A escolha do sistema após grande pesquisa foi pelo sistema “*stand-alone*” Speeduino (conforme Figura 35), um sistema totalmente programável que utiliza como microcontrolador um Arduino Mega 2560, esse é um sistema do tipo “D.I.Y” *Do It Yourself*, ou em português “faça você mesmo”. Estão disponíveis na internet os layouts das placas de circuito impresso e o usuário pode fabricar as próprias placas ou comprá-las prontas em determinados sites da internet, e sua lista de componentes para montagem também está disponível na internet e é relativamente fácil encontrá-los. O custo de produção de um sistema desse é relativamente baixo, comparado com outros sistemas do mesmo segmento, e por utilizar Arduino como controlador, sua programação é inteira aberta e pode ser modificada de acordo com as necessidades do usuário.

Figura 35 - Sistema de eletrônica programável Speeduino



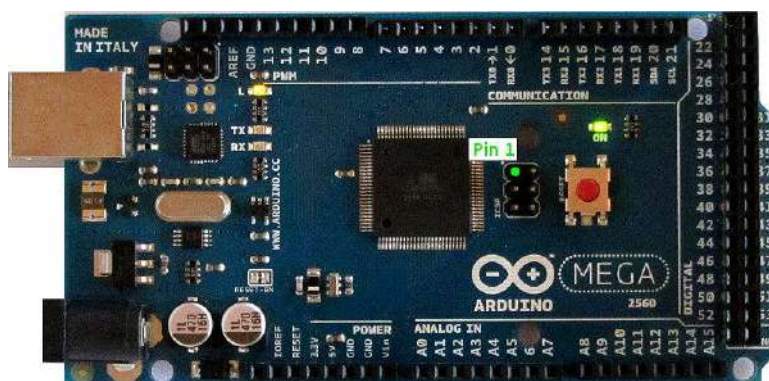
Fonte: Autor

3.3 Arduino Mega 2560

Arduino é uma plataforma para programação criada na Itália por Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis, no ano de 2005 para entusiastas e profissionais da programação e da eletrônica, permitindo diversos tipos de projetos para estes seguimentos. Trata-se de uma placa com um microcontrolador Atmel, possuindo diversas entradas/saídas analógicas e digitais, a quantidade dessas entradas e saídas varia de acordo com o modelo do Arduino. Essas entradas/saídas podem ser programadas por uma interface IDE Arduino via computador utilizando linguagem C.

Na prática é um microcontrolador programável como qualquer outro de outros fabricantes, por exemplo PIC (Microchip) ou ARM (Freescale), porém tem sua utilização facilitada por já estar inserido em uma placa, que contempla soquetes para pinagem das entradas e saídas e porta de comunicação USB Serial para gravação da programação no microcontrolador. Diferentemente de outros microcontroladores que necessitam da confecção de uma placa de circuito impresso para uso e de um programador serial para gravação da programação (conforme Figura 36).

Figura 36 - Arduino Mega 2560



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

Quadro 6 - Características Técnicas Arduino Mega 2560

Microcontrolador	ATmega 2560 (Atmel)
Tensão de Operação	5V
Tensão de Alimentação (recomendado)	7-12V
Tensões Limites de Operação	6-20V
Saídas Digitais I/O	54 saídas, sendo 15 PWM
Entradas Analógicas	16
Corrente da Saídas I/O	20mA
Corrente nos Pinos 3.3V	50mA
Memória Flash	256Kb
SRAM	8Kb
EEPROM	4Kb
Frequência do Clock	16Mhz
LED_BUILTIN	13
Comprimento da Placa	101,52mm
Largura da Placa	53,33mm
Peso da Placa Completa	37g
Altura da Placa	12mm

Editado pelo Autor: Fonte: <http://www.Arduino.com>

3.4 Speeduino

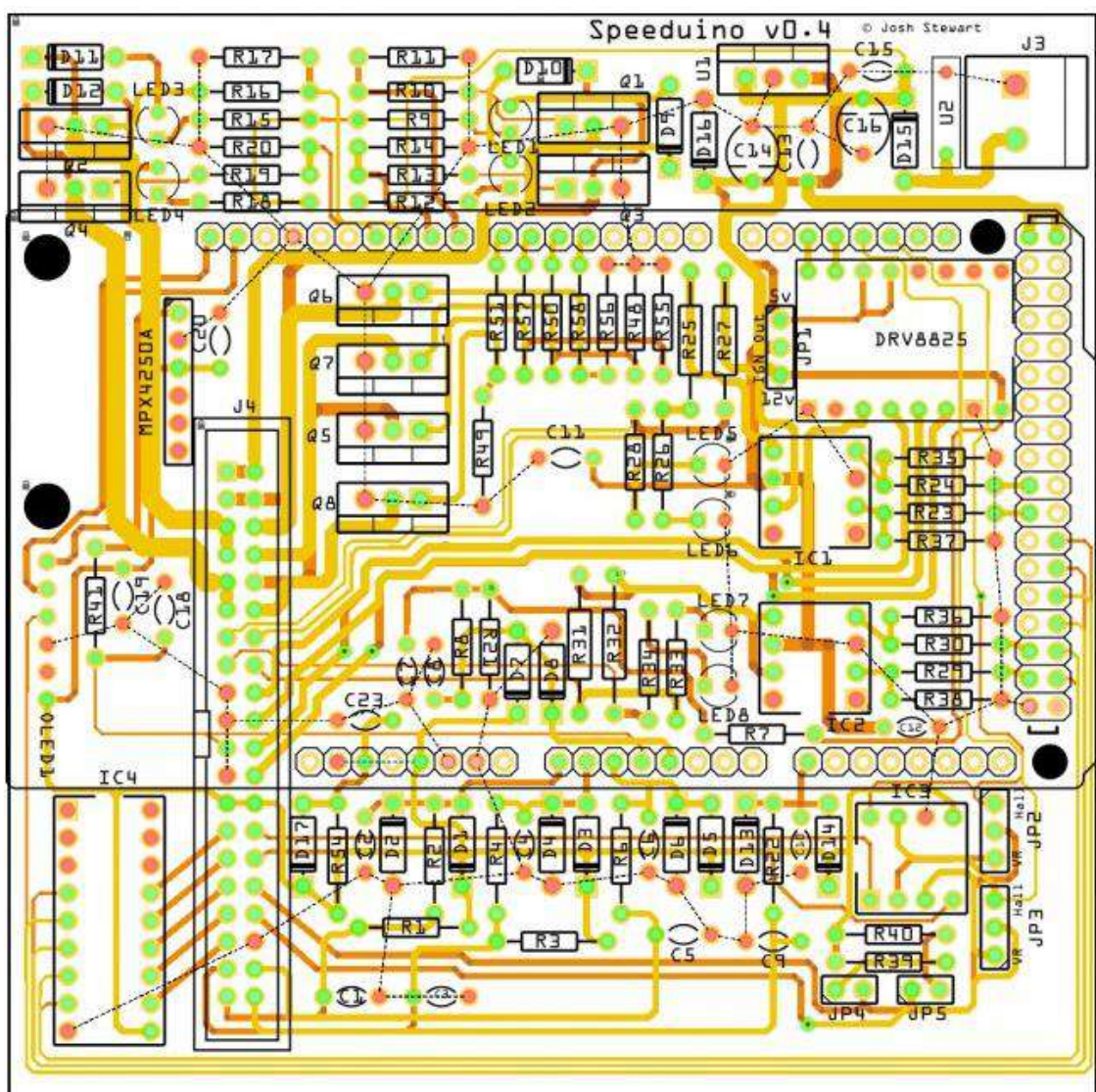
O sistema Speeduino foi o sistema de injeção eletrônica escolhido para o projeto. É um sistema de injeção eletrônica totalmente programável criado por Josh Stuart e utiliza um Arduino Mega 2560 como microcontrolador, assim como outros sistemas de injeção eletrônica programável possibilita a calibração por completo do sistema de injeção e ignição. Para tal utiliza um software de calibração chamado Tuner Studio, que permite diversas configurações do sistema de injeção, tais como o método de calibração utilizado, configuração dos mapas de avanço de ignição e tempo de injeção, sistema de malha aberta ou malha fechada, etc.

O sistema de injeção eletrônica Speeduino é um sistema “*stand-alone*”, ou seja trabalha independente de outros sistemas, apenas para gerenciar o motor a combustão interna seja ele de ciclo quatro ou dois tempos. É um sistema difundido pela internet e permite troca de informações entre usuários, que trabalham em conjunto para desenvolvimento e aperfeiçoamento do hardware e do software, o layout principal da placa de circuito impresso também está disponível na internet, bem como a lista de componentes necessários para a montagem. Este sistema requer um mínimo de conhecimento de eletrônica para sua construção, um mínimo de conhecimento em elétrica/eletrônica automotiva para a instalação do sistema no motor e grande conhecimento em programação e mecânica automobilística para calibração do sistema no motor.

3.5 Montagem do Sistema Speeduino

A partir do momento onde foi feita a escolha do sistema Speeduino, foi necessário obter os componentes necessários para confecção da placa (conforme Anexo C). O primeiro passo foi a fabricação da placa de circuito impresso, a partir do layout disponível (conforme Figura 37).

Figura 37 - Layout da placa de circuito impresso Speeduino



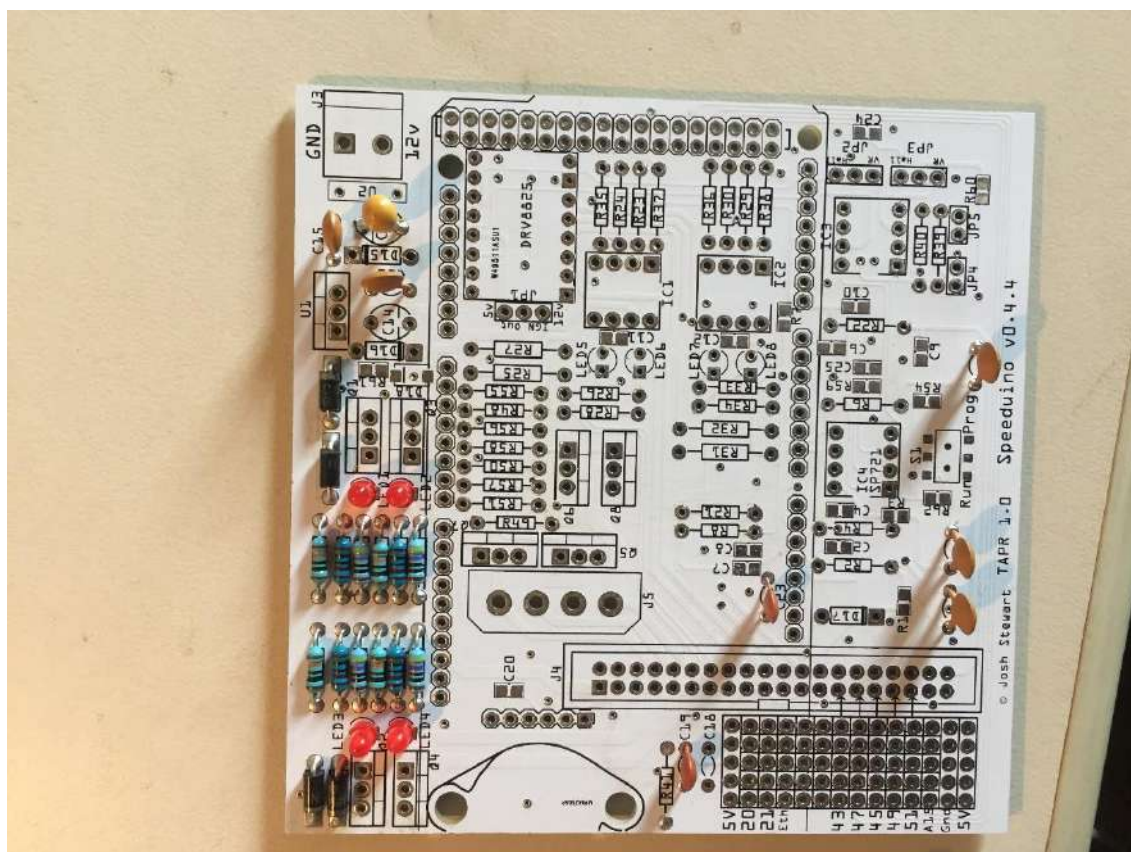
Fonte: www.Speeduino.com

Posteriormente foi feita a aquisição dos componentes necessários para a montagem da placa. Esses componentes também estão disponíveis na internet em uma planilha eletrônica, e são encontrados com relativa facilidade no

mercado, com exceção de determinados componentes cuja importação foi necessária, porém com baixo custo (conforme Anexo C).

Com todos os componentes necessários em mãos foi executada a montagem do sistema, o que necessita uma certa habilidade, pois o projeto possui diversos componentes tipo SMD (conforme Figura 38).

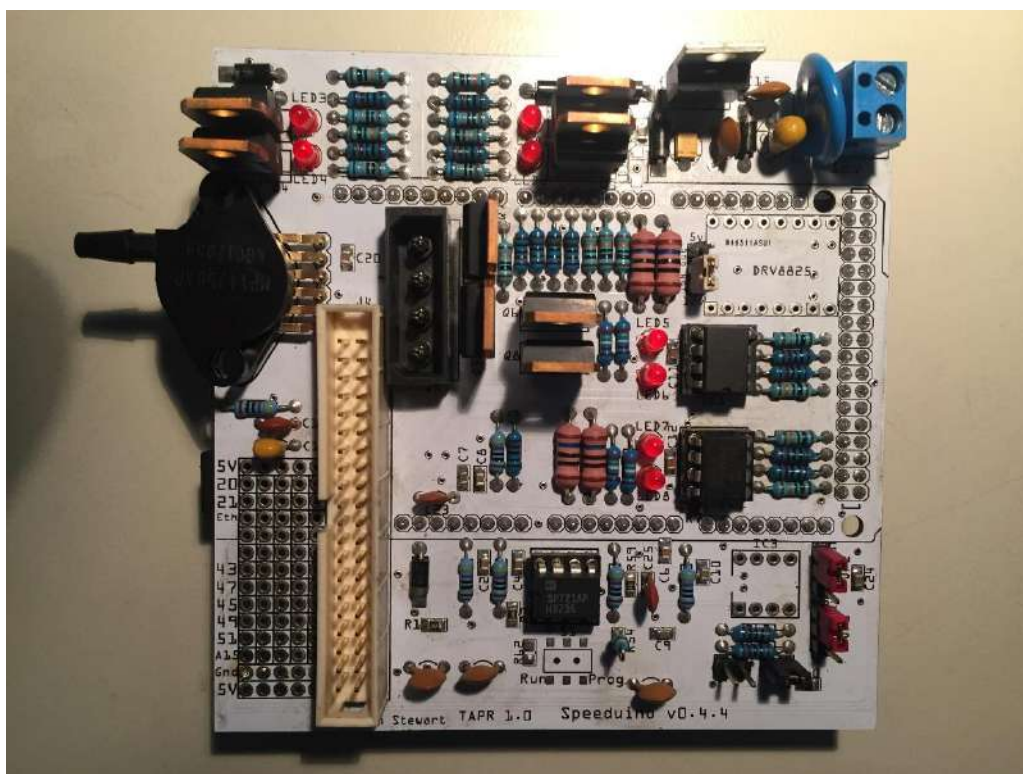
Figura 38 - Início da montagem da placa



Fonte: Autor

Com a placa já montada (conforme Figura 39), antes da montagem de todo o chicote elétrico para funcionamento do motor, iniciaram-se os testes de funcionamento do sistema. Por ser um sistema montado artesanalmente os testes pareciam ser o passo mais certo a se seguir.

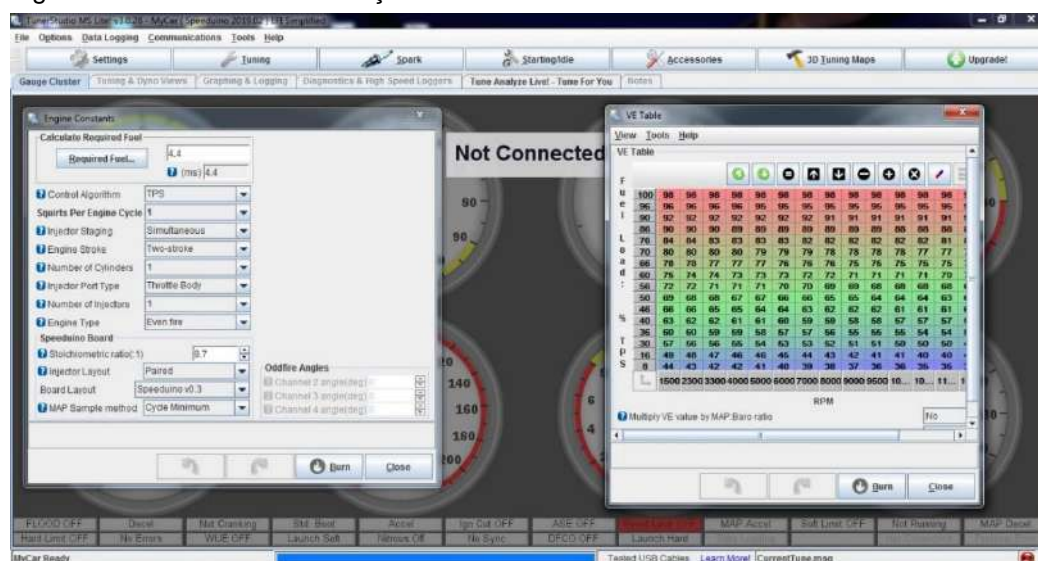
Figura 39 - Sistema Speeduino, montagem finalizada



Fonte: Autor

É importante mostrar que o sistema Speeduino utiliza um software de calibração chamado Tuner Studio (conforme Figura 40), é um freeware na versão básica, que foi criado para funcionar em conjunto com outro sistema de injeção eletrônica programável conhecido como Megasquirt, e o mesmo também é utilizado na calibração do sistema Speeduino. Mais adiante serão feitas explicações detalhadas das configurações do software.

Figura 40 - Interface de calibração TunerStudio

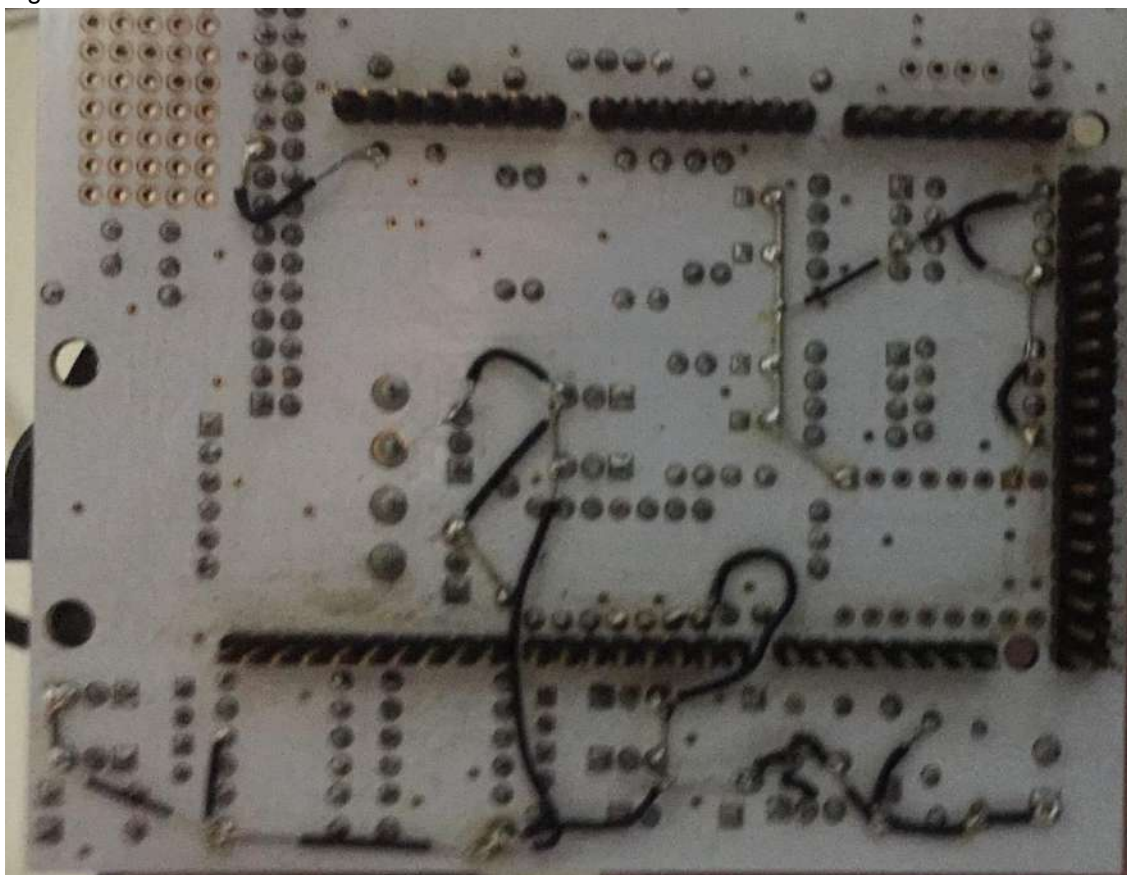


Fonte: Autor

Já no primeiro teste, este apresentou resultados negativos, com a eletrônica não respondendo às configurações e nem mostrando leituras de sensores.

A solução deste problema veio depois de procurar muito e fazer diversas medições analisando os diagramas elétricos (conforme Anexo A). O problema estava na placa de circuito impresso, a trilha do aterramento (GND) não havia sido impressa, ou seja não havia aterramento em nenhum ponto do sistema. A placa havia sido impressa por um terceiro. Ao entrar em contato com o mesmo, ele disse que enviaria outra placa porém para agilizar o processo e não ter que esperar novamente a chegada de componentes, uma única opção surgiu devido aos prazos, a de refazer o aterramento da placa de forma externa (conforme Figura 41), sem nenhuma pretensão de que isso desse certo, porém era uma alternativa para que todo o processo de funcionamento do motor fosse agilizado.

Figura 41 - Aterramento refeito externamente

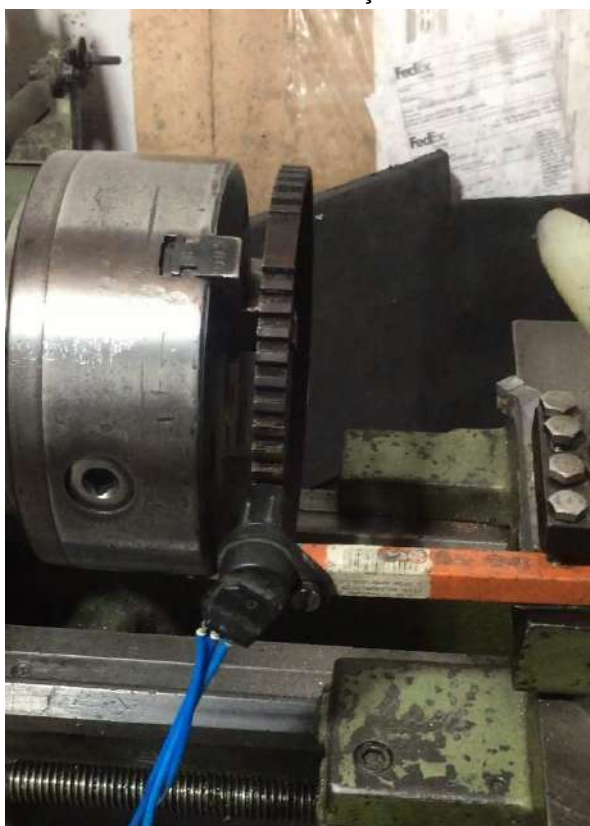


Fonte: Autor

Após todo o trabalho de refazer as trilhas de aterramento, iniciou-se novamente a fase testes de funcionamento, e os resultados foram positivos. O sistema começou a responder perfeitamente aos testes iniciais.

O elemento de maior importância para o funcionamento desse sistema de gerenciamento eletrônico é o sensor de rotação do motor e foi por ele que se iniciaram os testes. Foi adaptada uma roda fônica a um torno mecânico e também o sensor de rotação do tipo “*hall*” (conforme Figura 42), para verificar se o conjunto eletrônico do sistema estava recebendo os sinais de rotação.

Figura 42 - Testes do sinal de rotação em torno mecânico



Fonte: Autor

O teste obteve resultados positivos respondendo perfeitamente a rotação do torno mecânico sendo testado em diversas rotações diferentes, com a interface do software sempre mostrando os valores de rotação corretos. Então os testes que se seguiram foram os de atuação elétrica como injetor de combustível e bobina de ignição, todos testes feitos a princípio em bancada (conforme Figura 43).

Figura 43 - Testes de atuação em bancada



Fonte: Autor

Após todos os testes em bancada, partiu-se para a montagem do chicote elétrico para funcionamento do sistema no motor e também a adaptação mecânica de suportes para sensores e a adaptação da roda fônica (conforme Figura 44).

Figura 44 - Adaptação da Roda Fônica



Fonte: Autor

A roda fônica utilizada é proveniente de um motor Volkswagen EA-111 (conforme Figura 45), o sensor de rotação a ser utilizado pelo sistema de gerenciamento eletrônico Speeduino foi o sensor de efeito *hall*, poderia ser utilizado o sensor de relutância magnética porém seria necessário a confecção de uma eletrônica para o condicionamento de sinal, transformando-o para sinal de onda quadrada com amplitude de 5V de tensão. Para evitar a confecção de mais uma eletrônica, sendo um potencial ponto fraco do sistema, optou-se por utilizar um sensor de rotação de efeito *hall*, proveniente dos motores Fiat E-torq 1.8 (conforme Figura 46), fabricado pela Continental.

Figura 45 - Roda Fônica 60-2 dentes



Fonte: Autor

Figura 46 - Sensor de rotação "efeito hall" Fiat E-torq 1.8 16v



Fonte: www.mercadolivre.com.br

3.6 Funcionamento do Sincronismo Eletrônico

Neste projeto o sistema de sincronismo eletrônico possui dois componentes apenas, são eles a roda fônica e o sensor de rotação, ambos adaptados ao projeto e advindos de carros.

O sistema de sincronismo eletrônico consiste em transformar o sincronismo mecânico do motor em sinais de onda quadrada (conforme Figura 47) que possam ser interpretados pelo sistema de gerenciamento eletrônico, proporcionando a injeção de combustível e disparo da centelha no momento exato que fora previamente calibrado.

Figura 47 - Sinal de rotação proveniente do sensor de efeito Hall



Fonte: Autor

O sistema consiste de uma roda fônica com 60 menos 2 dentes, ou seja são 58 dentes e ausência de 2 dentes. Foi adaptada uma roda fônica do motor Volkswagen EA-111, porém após alguns problemas de captação do sinal esta foi alterada por uma roda fônica utilizada em motores Volkswagen AP quando convertidos a injeção eletrônica (conforme Figura 48), essa roda mostrou melhor resolução do sinal Hall, com menos ruídos no sinal.

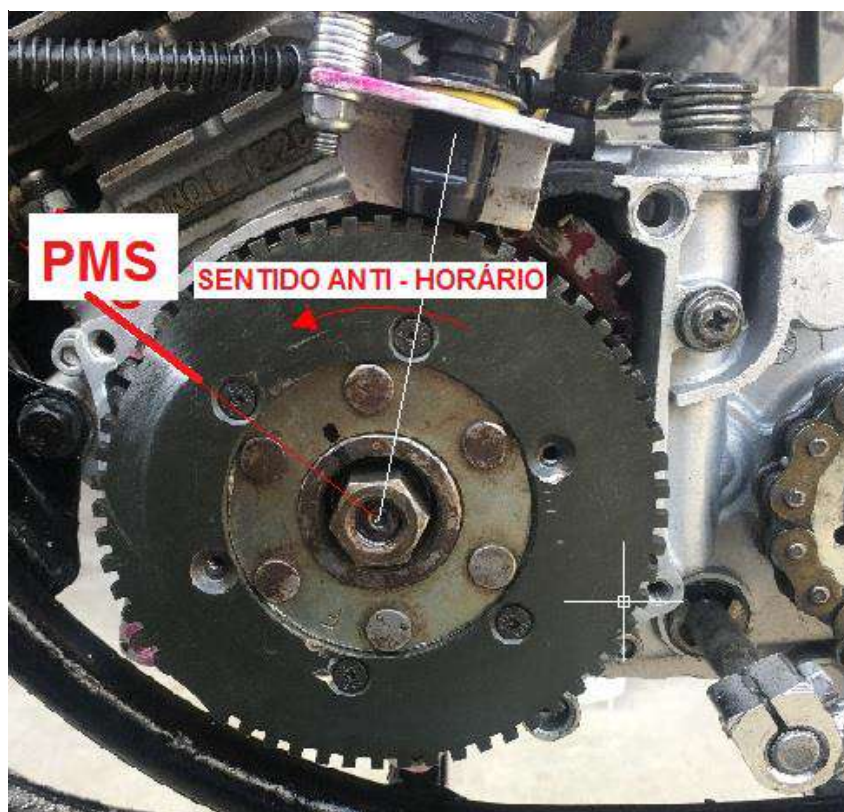
Figura 48 - Roda Fônica



Fonte: Autor

Após vários testes esta foi a combinação que melhor funcionou no motor, a roda fônica aliada ao sensor de rotação permite a sincronização mecânica do motor em relação ao sistema de gerenciamento eletrônico do motor. A calibração é feita da seguinte maneira, junto ao software de calibração do sistema de injeção eletrônica é dada a referência em graus da posição física da roda fônica em relação ao motor. O primeiro passo é colocar o motor em PMS e ver onde se situa a falha dos dois dentes da roda fônica, a partir disso contar quantos dentes se tem até o dente que coincide com o sensor de rotação (conforme Figura 49).

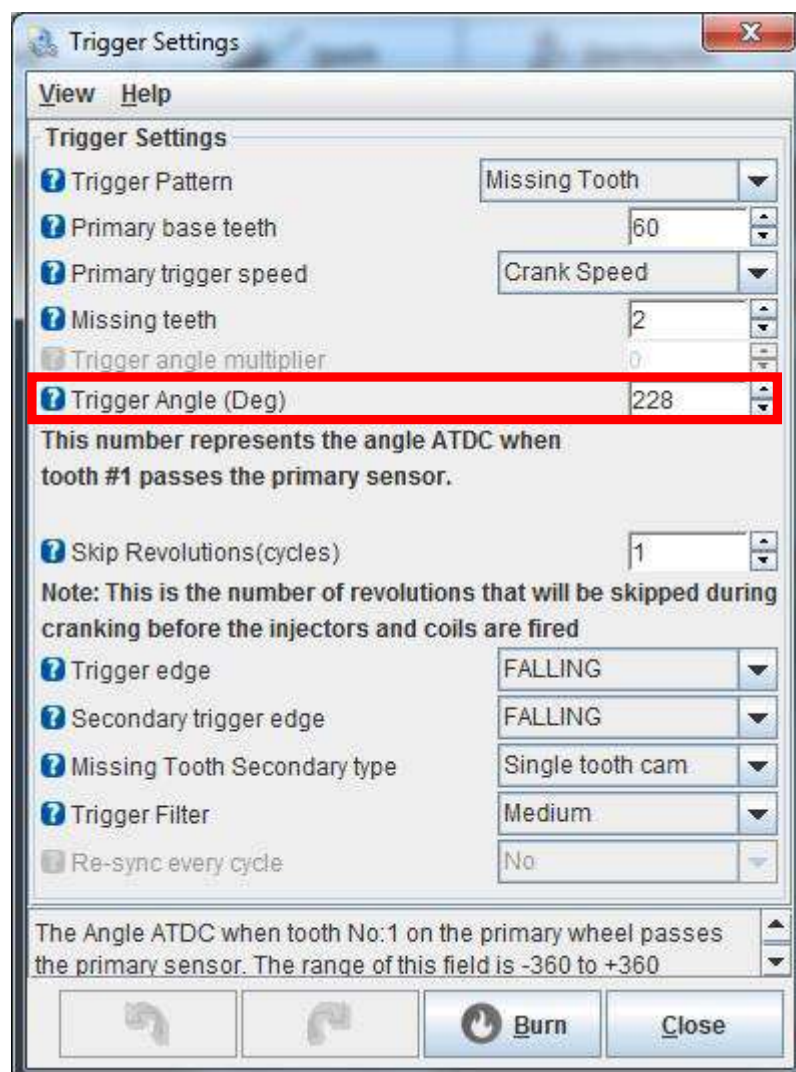
Figura 49 - Referência do sensor de rotação



Fonte: Autor

Como é utilizada uma roda fônica com 60 menos 2 dentes, cada dente equivale a 6° graus de resolução sendo 3° do bordo de subida e 3° do bordo de descida, no caso do projeto o sensor coincide com o 37° dente a partir da falha, e isso equivale a 228° graus a partir da falha. Todo o sincronismo do motor é feito baseado nessa referência, sendo este valor colocado como referência no software de gerenciamento eletrônico (conforme Figura 50).

Figura 50 - Calibração da referência do sensor de rotação



Fonte: Autor

A partir deste momento todo o sincronismo do motor está baseado nestes dados, e quando o motor estiver em PMS o sistema eletrônico saberá disso pois o sensor de rotação estará alinhado com o 37° dente que é a referência para o sistema.

3.7 Corpo de Borboleta

O corpo de borboletas utilizado (conforme Figura 51) é proveniente das motocicletas Honda CB300 e XRE300, possui 35mm de venturi, e é fabricado pela empresa japonesa Keihin, famosa pela fabricação de carburadores de motocicletas, também possui uma unidade de sensores integrados. Foi utilizado por ser um componente de fácil aquisição no mercado brasileiro, o que permite fácil manutenção quando necessário e seu formato físico permite a utilização de uma grande gama de injetores diferentes, quando isso se faz necessário. Também houve uma pequena adaptação no coletor de admissão, que também é proveniente das mesmas motocicletas Honda, essa adaptação se deve ao fato de o motor em questão possuir o sistema de válvulas de palhetas na admissão, o que não acontece nas motocicletas Honda que possuem motor de quatro tempos.

Figura 51 - Corpo de Borboleta



Fonte: Autor

3.8 Unidade de Sensores

A unidade de sensores, refere-se a uma unidade composta por três sensores que já está acoplada ao corpo de borboletas Keihin, e contempla os sensores:

MAP – *Manifold Absolute Pressure* (Pressão Absoluta no Coletor)

IAT – *Intake Air Temperature* (Temperatura do Ar Admitido)

TPS – *Throttle Position Sensor* (Sensor de Posição do Acelerador)

Destes sensores não foi utilizado apenas o sensor Map, pois a unidade de gerenciamento eletrônico já possui um sensor Map integrado que foi utilizado.

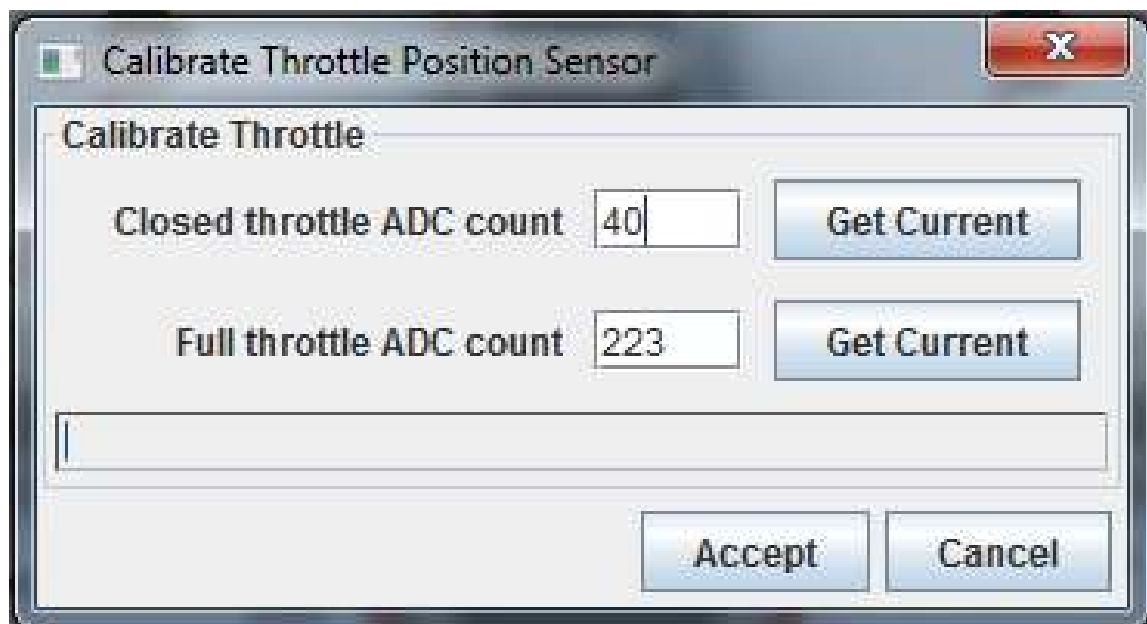
Estes sensores puderam ser configurados para utilização com o sistema de gerenciamento eletrônico sem o menor problema.

3.8.1 Sensor TPS

Este sensor se refere ao sensor que envia a informação de posição da borboleta para o sistema de gerenciamento eletrônico. Nada mais é do que um potenciômetro, que varia a resistência ôhmica ao se variar a posição do acelerador.

Sua calibração é feita em tempo real com a unidade de gerenciamento eletrônico (conforme Figura 52), onde se informa a posição do acelerador totalmente fechado e totalmente aberto, o sistema de gerenciamento já adquire o valor de resistência ôhmica e faz os cálculos para os valores intermediários e a interpretação das posições.

Figura 52 - Calibração do Sensor TPS



Fonte: Autor

3.8.2 Sensor IAT

Este sensor é responsável por adquirir a temperatura do ar que está sendo admitido, ou seja que está momentaneamente passando pelo corpo de borboletas. Este, assim como o sensor de posição da borboleta e também o sensor de pressão absoluta no coletor, é utilizado para o cálculo da massa de ar que está sendo admitida pelo motor. Este sensor é calibrado a partir dos valores de resistência ôhmica, cujos valores são inseridos no software de calibração da unidade de gerenciamento eletrônico, esses valores não são facilmente adquiridos, pois o fabricante da unidade de sensores não os disponibiliza, porém outro fabricante de sensores, a MTE-Thompson fabrica esse mesmo modelo de unidade de sensores para reposição do original, e entrando em contato com o departamento técnico, eles passam os valores de funcionamento do sensor e esses valores foram os utilizados para calibração do sensor de temperatura do ar admitido (conforme Figura 53).

Figura 53 - Calibração do sensor IAT

Help

Calibrate Thermistor Tables...

Sensor Table

Air Temperature Sensor

Table Input Solution

3 Point Therm Generator

Thermistor Measurements

Common Sensor Values Select a Common Sensor

Bias Resistor Value (Ohms) 2490

☐ Fahrenheit ☒ Celsius

Temperature(°C)	Resistance (Ohms)
20	3800
60	810
80	400

Select settings, click
"Write to Controller"

Write to Controller

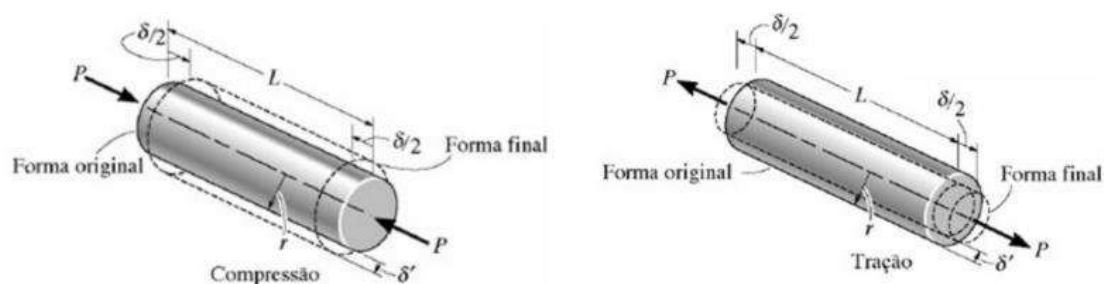
Close

Fonte: Autor

3.8.3 Sensor MAP

Sensores MAP, são utilizados para determinar a pressão do ar admitido que passa pelo coletor de admissão, são muito usados nos sistemas atuais de gerenciamento eletrônico de motores de combustão interna. Este tipo de sensores trabalha utilizando o princípio de *strain gage* onde há a deformação do material metálico, variando também sua resistividade (conforme Figura 54).

Figura 54 - Princípio strain gage



Fonte: Nota de aula – Prof. Adriano Ribolla (Sist. De Gerenc. Eletrônico, 2018)

A função de variação da resistência ou fator Gauge, pode ser dada pela expressão:

$$R = \rho * L/A$$

Onde:

R: resistência (Ω)

ρ : constante do material

L: comprimento do fio (m)

A: secção transversal do fio (m^2)

O sistema de gerenciamento eletrônico Speeduino já possui em sua montagem um sensor MAP interno na sua montagem e mesmo que na unidade de sensores Keihin utilizada já possuísse um sensor MAP, foi escolhido utilizar o sensor existente na eletrônica da unidade de gerenciamento eletrônico, apenas pela facilidade de calibração (conforme Figura 55).

Figura 55 - Calibração do Sensor MAP

Calibrate MAP

MAP Sensor

Common Pressure Sensors: MPX4250

kPa At 0.0 Volts(kpa): 10

kPa At 5.0 Volts(kpa): 260

Baro Sensor

Use external Baro sensor: No

Analog pin to use for ext. Baro sensor: A0

Common Pressure Sensors: Custom

kPa At 0.0 Volts(kpa): 1

kPa At 5.0 Volts(kpa): 315

EMAP Sensor

Use EMAP sensor: No

Analog pin to use for ext. Baro sensor: A0

Common Pressure Sensors: MPX4250

kPa At 0.0 Volts(kpa): 10

kPa At 5.0 Volts(kpa): 260

Buttons: [Back] [Forward] [Burn] [Close]

Fonte: Autor

O sensor MAP existente no sistema de gerenciamento eletrônico é do fabricante NXP/Freescale, modelo MPX 4250AP (conforme Anexo B) com um range de leitura pressão de 20 a 250 kPa.

Após o funcionamento do motor e leitura do sensor foi possível notar que nos motores de ciclo dois tempos, justamente pelo seu tipo de ciclo e forma construtiva, não seria possível fazer a calibração dos mapas de funcionamento do motor levando-se em conta a leitura de pressão no coletor, pois a depressão no coletor deste tipo de motor é muito baixa, variando muito pouco. Porém este fato já era de se esperar, mas a inserção deste sensor não foi em vão: Ela já foi feita com o objetivo de futuros trabalhos sobre este tipo de sensor em motores dois tempos para obtenção de valores palpáveis de pressão que possam ser levados em conta na calibração do motor.

3.9 Sistema de Ignição

O sistema de ignição deve ser compatível com o sistema de gerenciamento eletrônico utilizado que foi o Speeduino. Para isso o sistema de ignição original do motor foi substituído por uma bobina utilizada em motores da linha VW (conforme Figura 56), bobinas essas com módulo de ignição integrado e para evitar interferências com o sensor de rotação ou demais eletrônicas do hardware de gerenciamento foi utilizado cabo vela resistivo do veículo Fiat Tipo i.e (Conforme Figura 57), as velas originais da motocicleta já eram do tipo resistiva. A bobina poderia ter sido utilizada qualquer uma com módulo de ignição integrado e o cabo de vela também poderia ser qualquer um do tipo resistivo, porém estes foram escolhidos apenas por se integrarem melhor fisicamente ao projeto.

Figura 56 - Bobina de Ignição VW



Fonte: www.mercadolivre.com.br

Figura 57 - Cabo de Vela Fiat Tipo



Fonte: www.acnpecas.com.br

4 Calibração do Motor

Atualmente a calibração de motores de combustão interna tem tido como objetivo principal melhorar autonomia com relação a consumo de combustível e diminuição das emissões de poluentes, muito em função de legislações mais rígidas e restritivas. Novas técnicas construtivas de motores e implementações de novas técnicas de calibração tem sido utilizadas como downsizing, turbo-compressores, injeção direta de combustível para sistemas “*flex-fuel*” ou até mesmo sistemas mistos utilizando injeção direta e indireta de combustível em um mesmo motor. Estes métodos elevaram o nível tecnológico dos motores de combustão interna, extraíndo grande potência, diminuindo massa de motores, porém com a necessidade de muita eletrônica embarcada.

Um dos intuitos deste trabalho é a inserção de um sistema de gerenciamento eletrônico em um motor de ciclo dois tempos, a princípio de maneira experimental, apenas para obter prévias de sua viabilidade construtivamente e dar a motores que utilizam este tipo de ciclo a oportunidade de ressurgirem ou não no mercado com a utilização de novas tecnologias e eletrônica embarcada, ou mesmo proporcionar uma longevidade de seu uso em competições.

Para a calibração do sistema de gerenciamento eletrônico que foi escolhido, o sistema Speeduino, utilizamos o software de calibração Tuner Studio, o qual já foi previamente apresentado. Serão mostrados a seguir os passos e direções tomadas, no que diz respeito a calibração deste motor de ciclo dois tempos em questão.

4.1 Inserção de dados iniciais

Inicialmente é necessário a introdução de alguns dados pertinentes ao motor e a estratégia de funcionamento do mesmo, para tal, utilizamos a tela “*Engine Constants*” ou constantes do motor, no software Tuner Studio. Em seguida detalhamos os dados de acordo com as características do motor que foi escolhido para o trabalho (conforme Figura 58).

Figura 58 - Inserção das características do motor

Engine Constants

Calculate Required Fuel

Required Fuel... 5.0
(ms) 5.0

Control Algorithm TPS

Squirts Per Engine Cycle 1

Injector Staging Simultaneous

Engine Stroke Two-stroke

Number of Cylinders 1

Injector Port Type Throttle Body

Number of Injectors 1

Engine Type Even fire

Speeduino Board

Stoichiometric ratio(:1) 9.5

Injector Layout Paired

Board Layout Speeduino v0.4

MAP Sample method Cycle Minimum

Oddfire Angles

Channel 2 angle(deg) 0

Channel 3 angle(deg) 0

Channel 4 angle(deg) 0

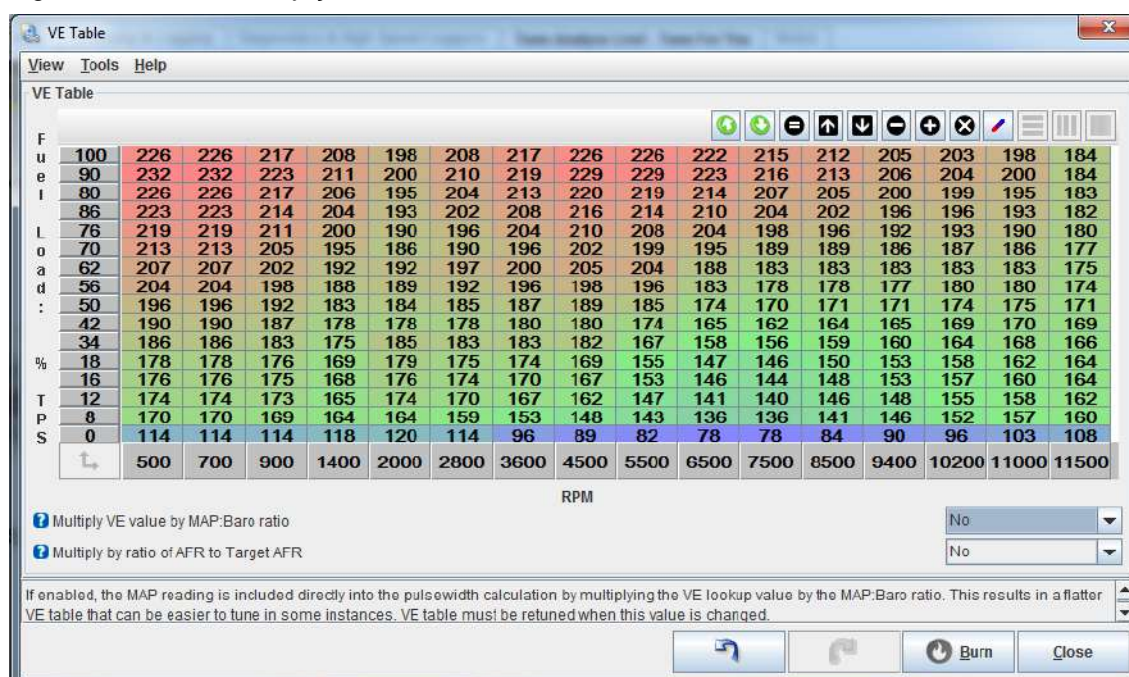
Burn **Close**

Fonte: Autor

4.2 Tabela de Injeção de Combustível

A tabela de injeção de combustível é baseada no método VE “*Volumetric Efficiency*” ou eficiência volumétrica, neste sistema utiliza-se o item “*Calculated Required Fuel*” ou cálculo de combustível necessário (Conforme Figura 58), o valor disponibilizado neste item representa o tempo necessário de injeção de combustível baseado em 100% da eficiência volumétrica do motor e posteriormente desenvolve-se a tabela VE de acordo com as necessidades do motor (conforme Figura 59), em função de rotação do motor e posição da borboleta, podendo ou não estes valores serem multiplicados pelo valor de pressão do sensor MAP, porém no caso deste trabalho não se utilizou o a multiplicação pelo sensor, pois este dado se mostrou insatisfatório para motores de ciclo dois tempos que geram pouca ou nenhuma depressão no coletor de admissão.

Figura 59 - Tabela de Injeção de Combustível VE



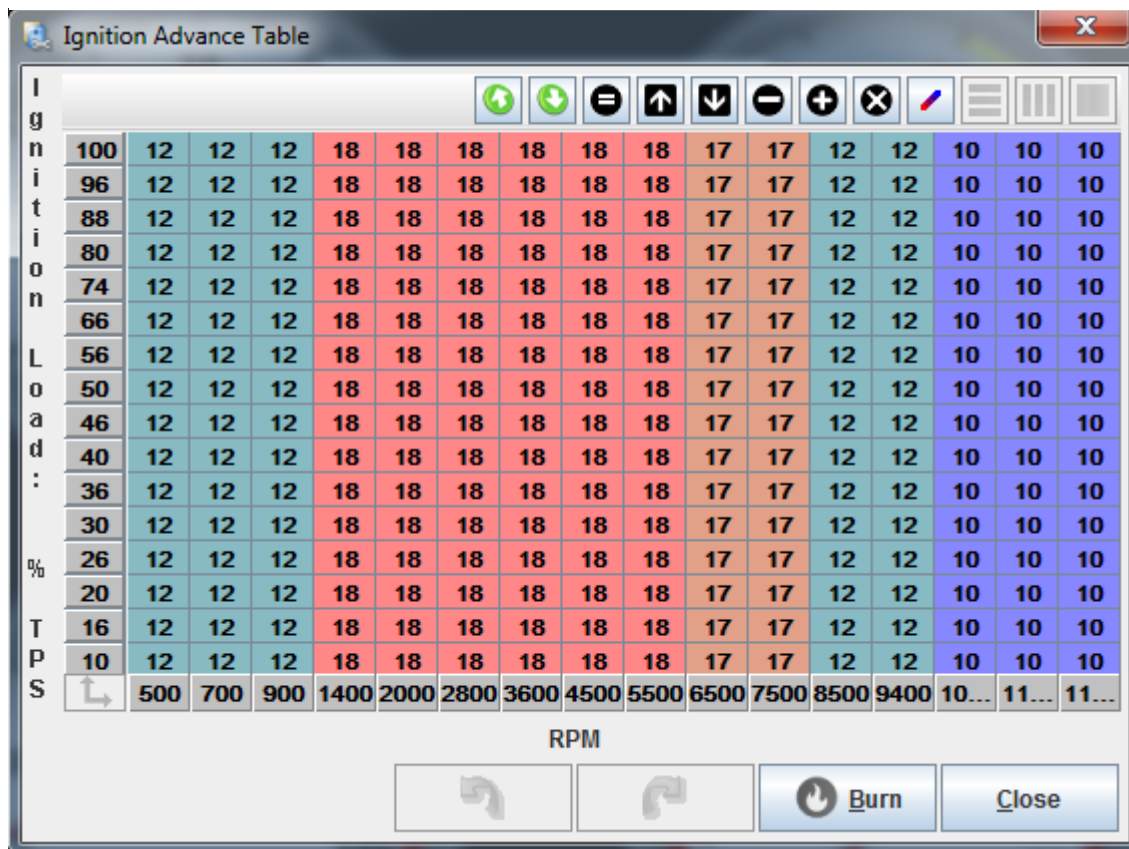
Fonte: Autor

4.3 Tabela de Avanço de Ignição

A tabela de avanço de ignição permite determinar o momento em que será disparada a centelha pela vela de ignição permitindo a queima da mistura ar/combustível. Os valores inseridos na tabela são valores que representam o ângulo em graus antes do ponto morto superior do motor PMS (conforme Figura 60), em que será disparada a centelha, esta deve ser disparada alguns graus antes do PMS pois a queima da mistura deve ser aproveitada ao máximo e para que isso aconteça deve se adotar um ponto de ignição de forma que a frente de chama tenha tempo suficiente para queimar dentro do cilindro, caso contrário a queima se torna ineficiente e acaba por desperdiçar combustível que acaba sendo jogado para o escapamento sem que este seja queimado.

Os valores de avanço em graus inseridos nesta tabela também têm seu funcionamento em função dos eixos de posição da borboleta do acelerador e rotação do motor.

Figura 60 - Tabela de avanço de ignição



Ignition	100	96	88	80	74	66	56	50	46	40	36	30	26	20	16	10	S
500	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
700	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
900	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
1400	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
2000	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
2800	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
3600	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
4500	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
5500	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
6500	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
7500	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
8500	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
9400	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
10...	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
11...	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	
11...	12	12	12	18	18	18	18	18	18	17	17	12	12	10	10	10	

Fonte: Autor

4.4 Considerações sobre a calibração utilizada

Usualmente em uma grande montadora ou grande equipe de corridas, essas tabelas seriam desenvolvidas em um laboratório de desenvolvimento de motores, com diversos equipamentos para controle e aquisição de dados. Porém por se tratar de um trabalho acadêmico e de baixo custo, não houve a possibilidade de utilização de ferramentas desta espécie, desta maneira a tabela foi toda desenvolvida experimentalmente, através de horas observando deficiências e comportamentos do funcionamento do motor.

5 Dados do Motor (Modificado)

Tendo em vista que este motor é proveniente de uma motocicleta de competição as características originais dele foram modificadas, e a motocicleta utilizada no projeto também (conforme Figura 61). Seguem os dados técnicos com a modificações do motor:

Cilindro: em alumínio com camisa em ferro fundido nodular.

Diâmetro x Curso: 59mm x 50mm

Cilindrada: 136,7cm³

Taxa de Compressão: 14,5 : 1 (método europeu)

Sistema de Alimentação: Injeção eletrônica com corpo de borboletas de 35mm de diâmetro e injetor de combustível Keihin Flex

Sistema de Ignição: Ignição gerenciada a partir da ECU com o uso de Bobina Bosch utilizada em motores Volkswagen AP – MI.

Lubrificação: Premix, na proporção de 35ml por litro de etanol.

Sistema de Partida do Motor: Pedal de partida

Combustível: Etanol

Potência: 24,5cv a 9400rpm

Torque: 1,90kgfm a 9000rpm

Figura 61 - RD135 - EFI, após modificações



Fonte: Autor

6 Resultados

Os resultados obtidos neste trabalho foram deveras satisfatórios mostrando que é possível o funcionamento de um motor de ciclo dois tempos utilizando como método de injeção de combustível e ignição, um sistema de gerenciamento eletrônico moderno. Abordagem essa que seria impensável anos atrás hoje se tornou uma realidade, talvez abrindo novos horizontes para o futuro de motores que utilizem ciclo dois tempos, talvez não comercialmente, mas ainda que para seu uso em competições, possa ser extraído o máximo de rendimento possível.

7 Conclusão

Seguramente o desenvolvimento de uma metodologia sólida no desenvolvimento de sistemas de gerenciamento eletrônico e calibração voltadas para motores de ciclo dois tempos não será uma tarefa fácil, existe uma longa estrada a se percorrer para se chegar ao mesmo nível de desenvolvimento existente destes sistemas para motores de ciclo quatro tempos ou mesmo diesel. Contudo o projeto se mostrou viável e mesmo que não tenha havido possibilidade de testes em dinamômetro, o comportamento do motor mostrou-se estável com o uso da injeção eletrônica. Possivelmente houve ganhos de desempenho e esses testes podem ser executados como tarefa futura no intuito de comprovar possíveis resultados favoráveis.

Cabe aos futuros projetos novas soluções e abordagens, que podem ser pensadas especificamente para o motor de ciclo dois tempos, pois mesmo que sua fabricação seja descontinuada para veículos comerciais, sua fabricação para suprir necessidades de veículos de competição ainda pode prosseguir por anos e o uso de tecnologia moderna nesses motores, pode vir a extrair níveis de potência e torque antes não atingidos com a utilização de ignições de ponto fixo e carburadores. Também pode alterar características de desempenho do motor como a falta de torque em baixas rotações.

Neste projeto o motor original utilizado não foi fabricado para comportar uma injeção eletrônica, por isso houve muitos esforços nas adaptações para que o funcionamento deste motor com esta tecnologia fosse possível. Porém, se pensarmos em uma produção fabril para motores dois tempos projetados para que utilizem injeção eletrônica originalmente, isso torna o processo todo muito mais viável do ponto de vista comercial, além de implementar uma tecnologia que tiraria os motores de ciclo dois tempos da aposentadoria, podendo até se pensar em níveis de emissões poluentes melhores, mesmo que seu uso seja exclusivo apenas em competições. De toda forma um passo foi dado com a realização deste projeto, e o uso da injeção eletrônica se mostrou ser uma tecnologia segura e confiável para a utilização em motores de ciclo dois tempos.

8 Propostas Futuras

Vários passos podem ser dados como propostas futuras, mas pensando no alto índice de poluição gerado por este tipo de motor, pode-se pensar em um controle eletrônico da injeção de óleo dois tempos para lubrificação, podendo-se desenvolver algum método de verificação da necessidade de lubrificação do motor, fazendo injeção de óleo controlada por quantidade e por demanda. Também pode-se pensar na utilização de catalisadores no escapamento para diminuição das emissões de gases poluentes, o que com certeza deverá ser estudado e caberá diversos testes e experimentações de materiais, porém podendo obter resultados positivos.

No sistema de injeção de combustível utilizado neste trabalho, foi usado o método de injeção indireta de baixa pressão, utilizando uma pressão na linha de combustível na ordem de 3bar. Futuramente pode-se fazer testes e análises a respeito do uso da injeção indireta de combustível neste tipo de motor, em busca de quais seriam seus benefícios. Ainda sobre a injeção de combustível uma análise que deve ser feita é em relação a modificação da posição do injetor de combustível que atualmente se situa no coletor de admissão, este pode ser montado em alguma posição estratégica, como no cárter do motor diretamente, ou em alguma das janelas, por exemplo nas janelas de transferência, devendo-se analisar os ganhos e perdas dessa montagem.

Um sistema que foi utilizado neste trabalho porém trouxe pouco benefício foi o uso do sensor MAP. Devido à baixa depressão no coletor de admissão gerada por motores dois tempos, uma solução seria a aquisição de dados com alguns sensores de pressão instalados em determinados pontos do motor, como no cárter, admissão e janelas de transferência. Isto para se analisar pontos de baixa e alta pressão durante os ciclos do motor, podendo ser criado um algoritmo que calcule uma média de pressão mais palpável que possa ser levada em conta na calibração da injeção de combustível.

9 Referências Bibliográficas

Blair, Gordon P. Design and simulation of two-stroke engines. 1.Ed. USA: Society of Automotive Engineers, Inc. 1996.

Boothroyd, Dave. Forgotten Hero: The man who invented the two-stroke engine. 2014. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20041215125856/http://the-vu.com/forgotten_hero.htm> Acesso em: 19/11/2018 às 20:30.

Bosch, Robert. Manual de tecnologia automotiva/Robert Bosch. São Paulo: Blucher, 2005.

Graham, Bell A. Two-stroke performance tuning. 2. Ed. Reino Unido: Haynes, 1999.

Jennings, Gordon. Two-stroke tuner's handbook. 1. Ed. Canada: HPBooks, 1973.

Dr. N. John Beck, W.P.Johnson, R.L. Barkhimer, S.H. Patterson, BKM Inc. Electronic Fuel Injection for Two-Stroke Cycle Gasoline Engines, SAE Paper 861242. EUA, 1986.

Najafabadi, Mohammad Izadi. Aziz, Nuraini Abdul. Adam, Nor Mariah. Leman, Abdul Motalib. Effects of intake temperature and equivalence ratio on HCCI ignition timing and emissions of a 2-stroke engine. Trans Tech Publications. Malásia, 2013.

Nunney, Malcolm J. Light and Heavy Vehicle Technology. 2 Ed. EUA: Newnes, 1992. 166 p.

Tillmann, Carlos Antonio da Costa. Motores de Combustão. Pelotas - RS: Rede eTec Brasil, 2013.

Vieilledent, Edmond. Low Pressure Electronic Fuel Injection System for Two-Stroke Engines, SAE Paper 780767. EUA, 1978.

10 Referência Figuras

Figura 1

Fonte: <https://image.shutterstock.com/image-vector/system-twostroke-engines-vectortwostroke-engine-600w-524929192.jpg>, acessado em 26/05/2019 às 19:22

Figura 2

Fonte: http://www.richstaylorporting.com/image/photo_Modern2strokePorting_3.jpg, acessado em 26/05/2019 às 19:24

Figura 3

Fonte: <https://i.ebayimg.com/images/g/~TsAAOSw~1FUVYxa/s-l1600.jpg>, acessado em 26/05/2019 às 19:27

Figura 4

Fonte: <https://www.amazon.es/Boyesen-varillas-v%C3%A1lvula-Yamaha-Blaster/dp/B003Y7YXPO>, acessado em 26/05/2019 às 19:30

Figura 5

Fonte: <http://personal.psu.edu/users/b/m/bmb5967/Electronic%20Rotary%20Valve%20Essay.pdf>, acessado em 26/05/2019 às 19:36

Figura 6

Fonte: <http://patentimages.storage.googleapis.com/US7047918B1/US07047918-20060523-D00000.png>, acessado em 26/05/2019 às 19:38

Figura 7

Fonte: http://1.bp.blogspot.com/_LFtpWtfk_J0/VVcNRz024fI/AAAAAAAAACqE/OFi6kADEwjw/s1600/valves-a12i2.jpg, acessado em 26/05/2019 às 19:41

Figura 8

Fonte: <https://i.pinimg.com/236x/cc/ff/c0/ccffc0bbf8d95f226062728cd4d4dc1e--configuration-port.jpg>, acessado em 26/05/2019 às 19:44

Figura 9

Fonte: Graham, Bell A. Two-stroke performance tuning. 2. Ed. Reino Unido: Haynes, 1999.

Figura 10

Fonte: Graham, Bell A. Two-stroke performance tuning. 2. Ed. Reino Unido: Haynes, 1999.

Figura 11

Fonte: <http://www.cmraracing.com/showthread.php?30922-For-Sale-And-yet-even-more-Honda-RS125-Parts>, acessado em 02/06/2019 às 20:44

Figura 12

Fonte: Graham, Bell A. Two-stroke performance tuning. 2. Ed. Reino Unido: Haynes, 1999.

Figura 13

Fonte: <https://www.pvl.de/en/products/electronic-electrical-engineering/>, acessado em 02/06/2019 às 20:51

Figura 14

Fonte: Graham, Bell A. Two-stroke performance tuning. 2. Ed. Reino Unido: Haynes, 1999.

Figura 15

Fonte: Graham, Bell A. Two-stroke performance tuning. 2. Ed. Reino Unido: Haynes, 1999.

Figura 16

Fonte: Graham, Bell A. Two-stroke performance tuning. 2. Ed. Reino Unido: Haynes, 1999.

Figura 17

Fonte: <https://bikemanperformance.com/supreme-tool-arctic-cat-rave-style-exhaust-valves.html>, acessado em 02/06/2019 às 20:55

Figura 18

Fonte: Graham, Bell A. Two-stroke performance tuning. 2. Ed. Reino Unido: Haynes, 1999.

Figura 19

Fonte: http://thunderproducts.com/?attachment_id=316, acessado em 02/06/2019 às 21:00

Figura 20

Fonte: <http://dicasmotores.blogspot.com/2014/04/>, acessado em 02/06/2019 às 21:04

Figura 21

Fonte: <http://flaviolucasmm.blogspot.com/2015/08/componentes-da-injecao-eletronica.html>, acessado em 02/06/2019 às 21:10

Figura 22

Fonte: <https://motos-motor.com.br/m/fipe/precos-tabela-yamaha-rd-135-1994/>, acessado em 02/06/2019 às 21:16

Figura 23

Fonte: <https://www.japanbaiku.com/tm-27-8006>, acessado em 02/06/2019 às 21:22

Figura 24

Fonte: <https://www.custojusto.pt/leiria/pecas-motas/rotor-motoplat-bobine-externa-anti-horario-28261205>, acessado em 02/06/2019 às 21:24

Figura 25

Fonte: Autor

Figura 26

Fonte: Autor

Figura 27

Fonte: Autor

Figura 28

Fonte: Autor

Figura 29

Fonte: Autor

Figura 30

Fonte: Autor

Figura 31

Fonte: Autor

Figura 32

Fonte: Autor

Figura 33

Fonte: <https://www.magnetimarelli.com/node/65>, acessado em 02/06/2019 às 21:30

Figura 34

Fonte: <https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/en-GB/49044619111858827.html>, acessado em 02/06/2019 às 21:35

Figura 35

Fonte: Autor

Figura 36

Fonte: <https://www.amazon.com/SmartProjects-Mega-Arduino-MEGA-Board/dp/B004A7H3DG>, acessado em 02/06/2019 às 21:41

Figura 37

Fonte: https://Speeduino.com/shop/index.php?id_product=18&controller=product, acessado em 02/06/2019 às 21:45

Figura 38

Fonte: Autor

Figura 39

Fonte: Autor

Figura 40

Fonte: Autor

Figura 41

Fonte: Autor

Figura 42

Fonte: Autor

Figura 43

Fonte: Autor

Figura 44

Fonte: Autor

Figura 45

Fonte: Autor

Figura 46

Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-879906333-080036-sensor-de-rotaco-fiat-idea-e-torq-16-linea-16-18- JM?quantity=1>, acessado em 02/06/2019 às 22:20

Figura 47

Fonte: Autor

Figura 48

Fonte: Autor

Figura 49

Fonte: Autor

Figura 50

Fonte: Autor

Figura 51

Fonte: Autor

Figura 52

Fonte: Autor

Figura 53

Fonte: Autor

Figura 54

Fonte: Slides aulas SAGE – Prof. MSc. Adriano Ribolla

Figura 55

Fonte: Autor

Figura 56

Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-839220558-bobina-ignico-gol-saveiro-parati-10-kombi-16-mi-3-pinos- JM?matt_tool=14302715&matt_word&gclid=CjwKCAjwr8zoBRA0EiwANmvpYIz4XIO7I-

[OvI7_2OEUpSgy57Vriq67T2bbuVtWP0MawULSQk9SCjBoCXZcQAvD_BwE&q_uantity=1](#), acessado em 22/06/2019 às 23:40

Figura 57

Fonte: <https://www.acnpeças.com.br/produto/cabo-de-vela-fiat-tipo-1-6-ie-mpi-todos-injecao-eletronica/>, acessado em 22/06/2019 às 23:45

Figura 58

Fonte: Autor

Figura 59

Fonte: Autor

Figura 60

Fonte: Autor

Figura 61

Fonte: Autor

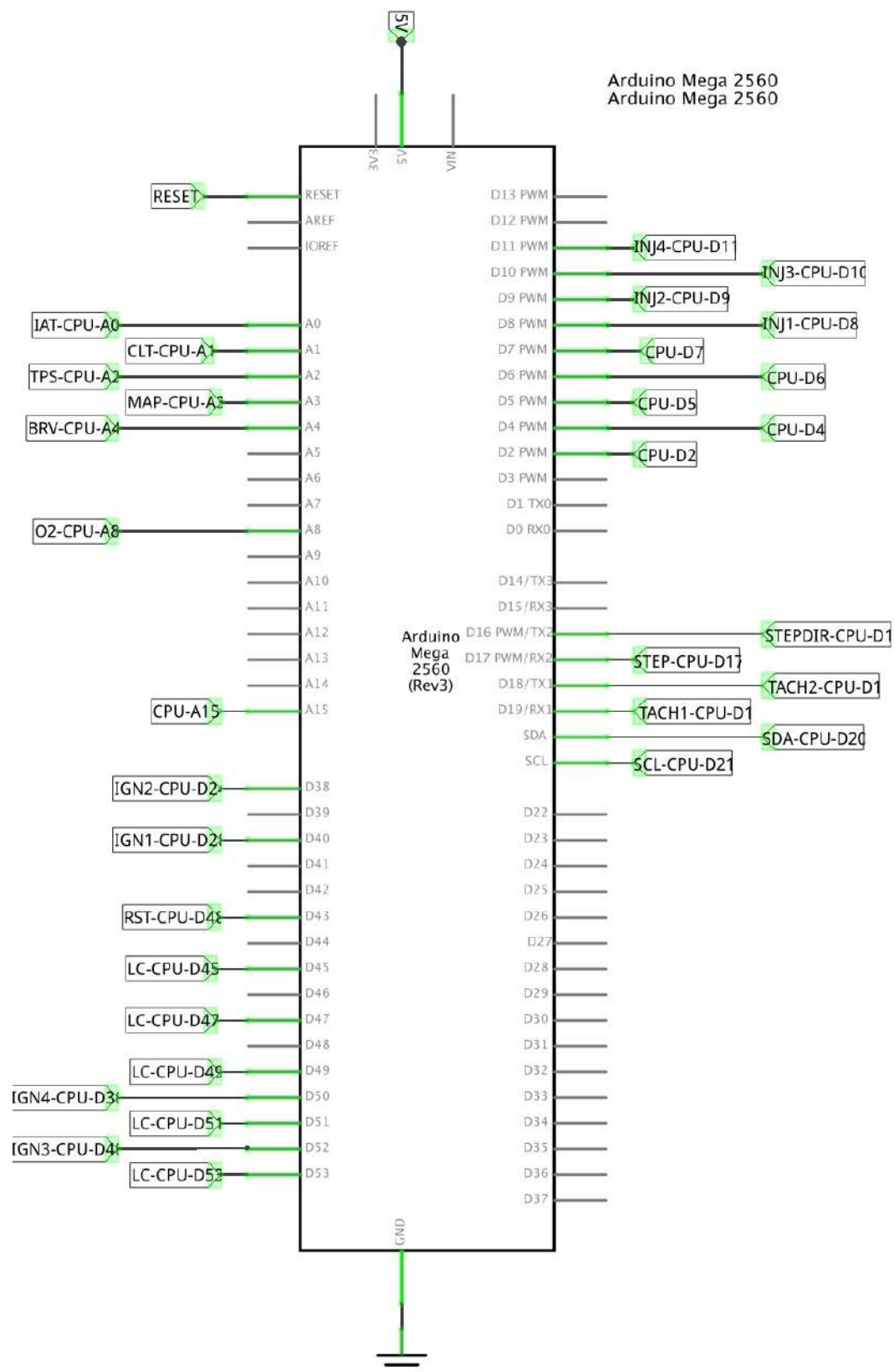
Apêndice I

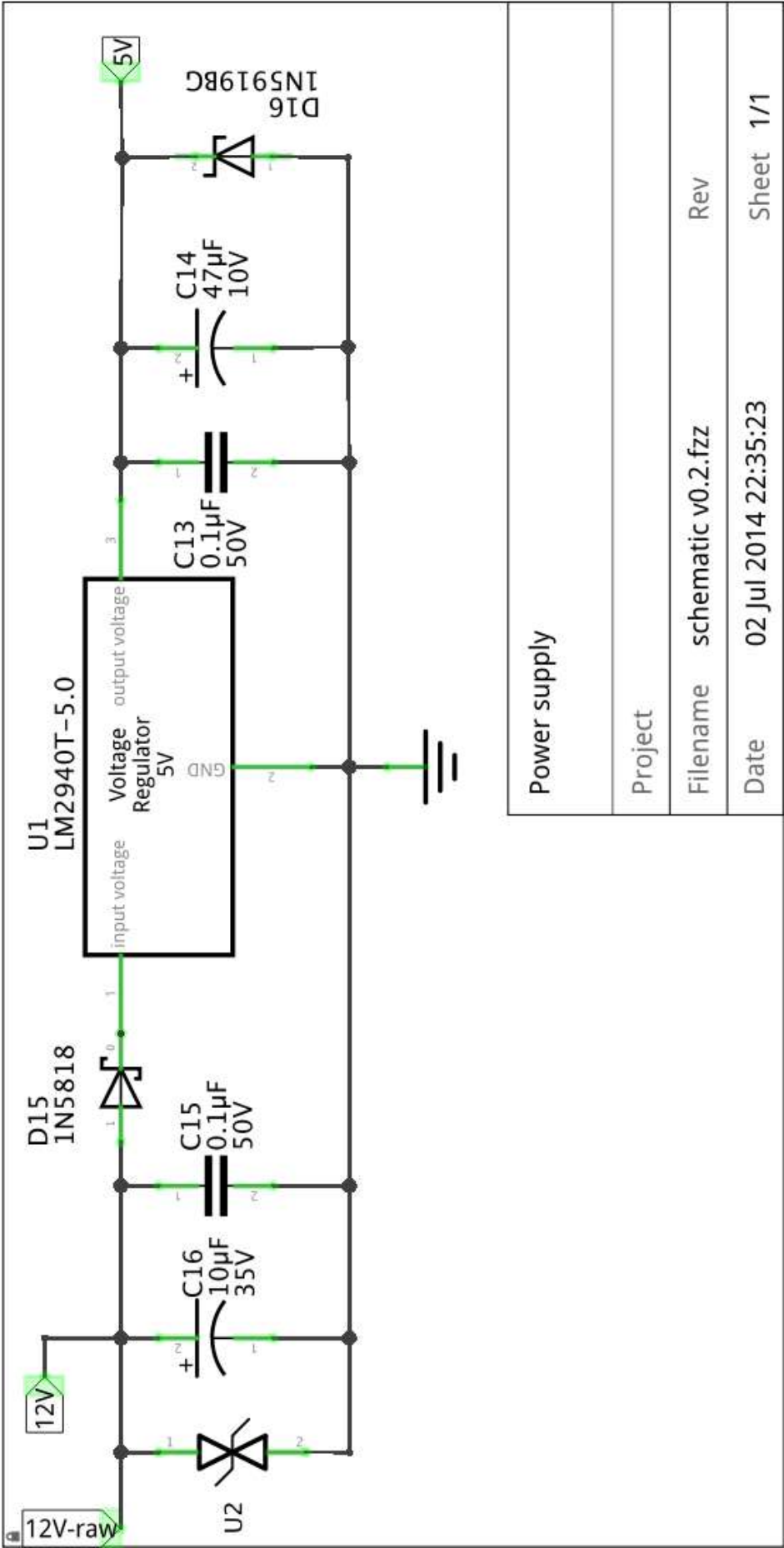
Lista de peças e componentes utilizados

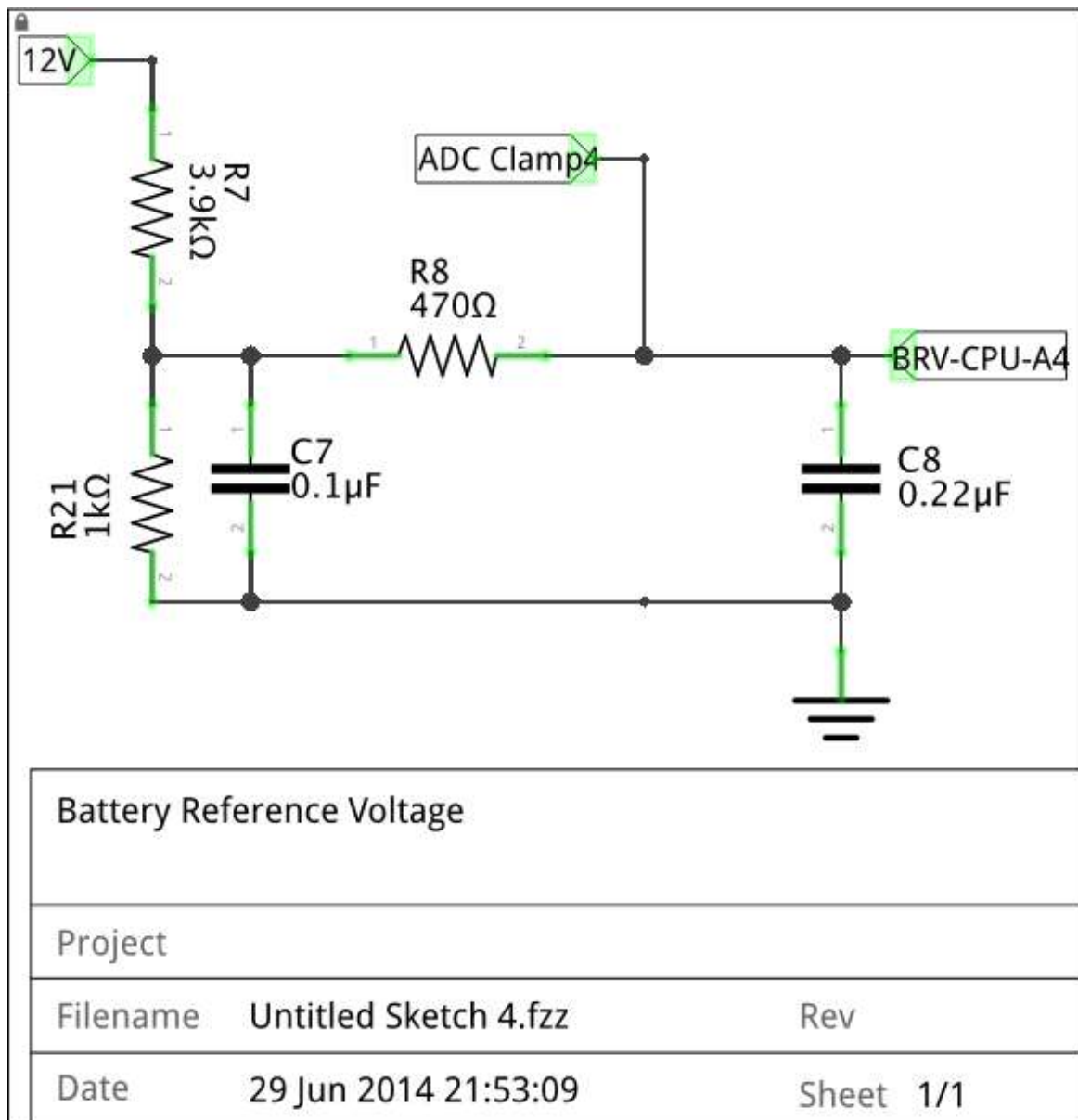
Componente	Fabricante	Part Number (OEM)	Fabricante	Part Number (Reposição)	Qtd.
Injetor de Combustível	Keihin	3340-9657-7489	Magnetron	MAGNETRON 154-209-B	1
Bobina de Ignição	Bosch	F000ZS0104	NGK	NGK U1092	1
Cabo de Vela	Bosch	F00099C067	NGK	NGK SC-T58	1
Sensor Híbrido - MAP - TPS - IAT	Keihin	16060-KVK-901	MTE-Thomson	MTE6701	1
Sensor de Rotação HALL	Continental	55223464	MTE-Thomson	MTE70565	1
Bomba de Combustível	Delphi	BCD 00101	Bosch	580464070	1
Regulador de Pressão Comb.	SPA	SPA TURBO			1
Roda Fônica 60-2	Fueltech	JR7401PTAz			1
Corpo de Boboletas XR300	Keihin	1641A-KWT-305			1

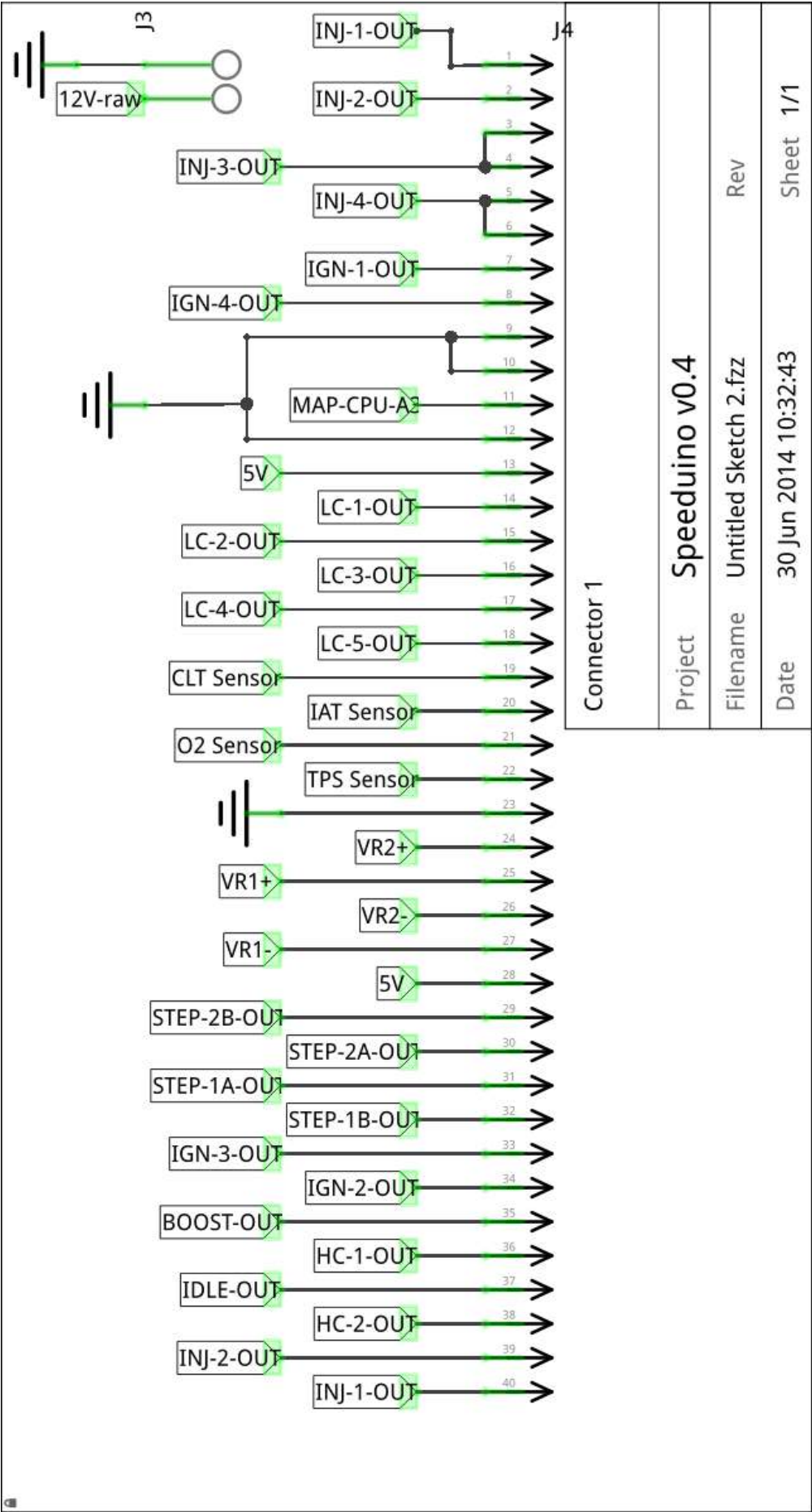
Anexo A

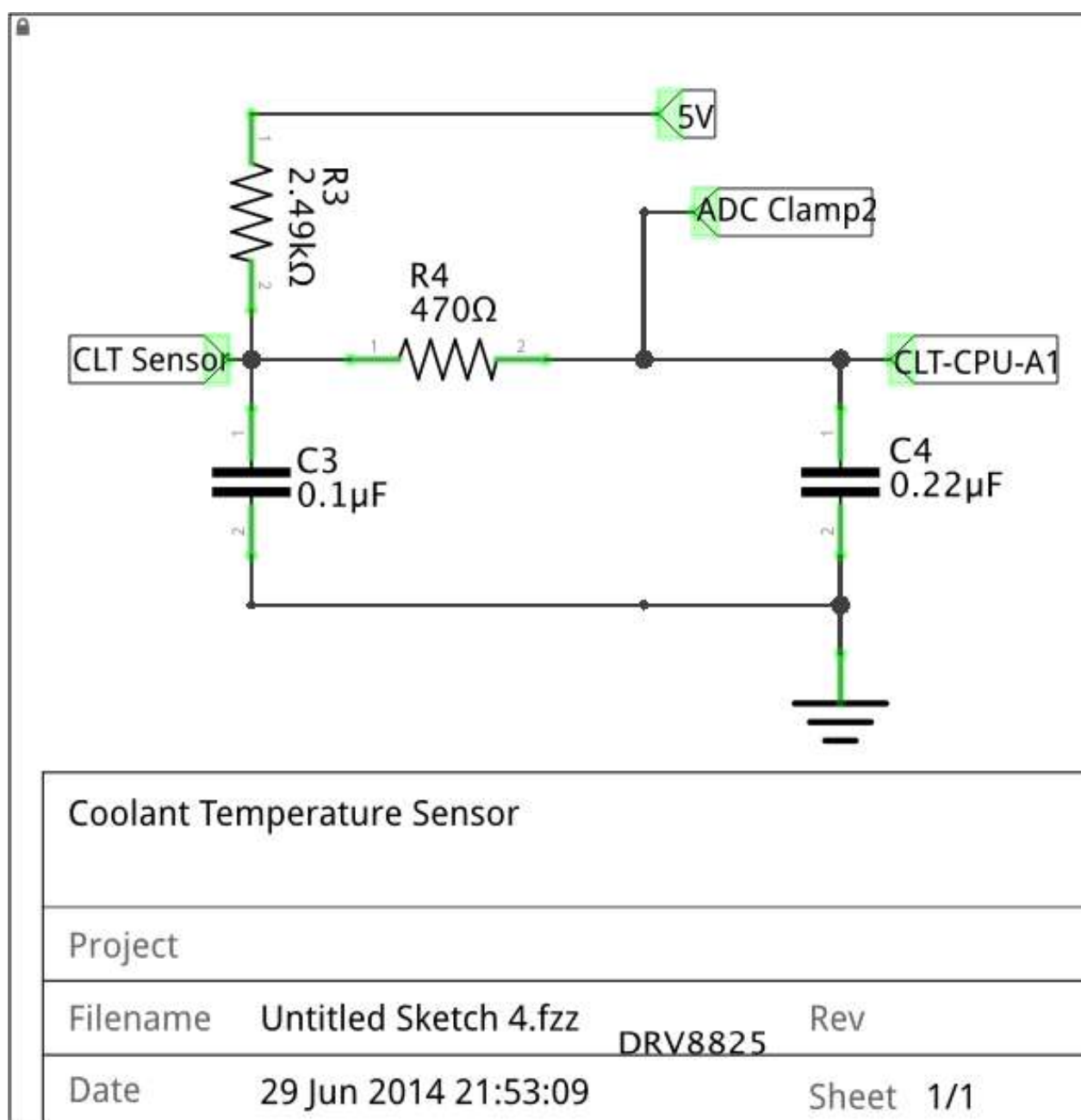
Esquema elétrico do sistema de gerenciamento eletrônico

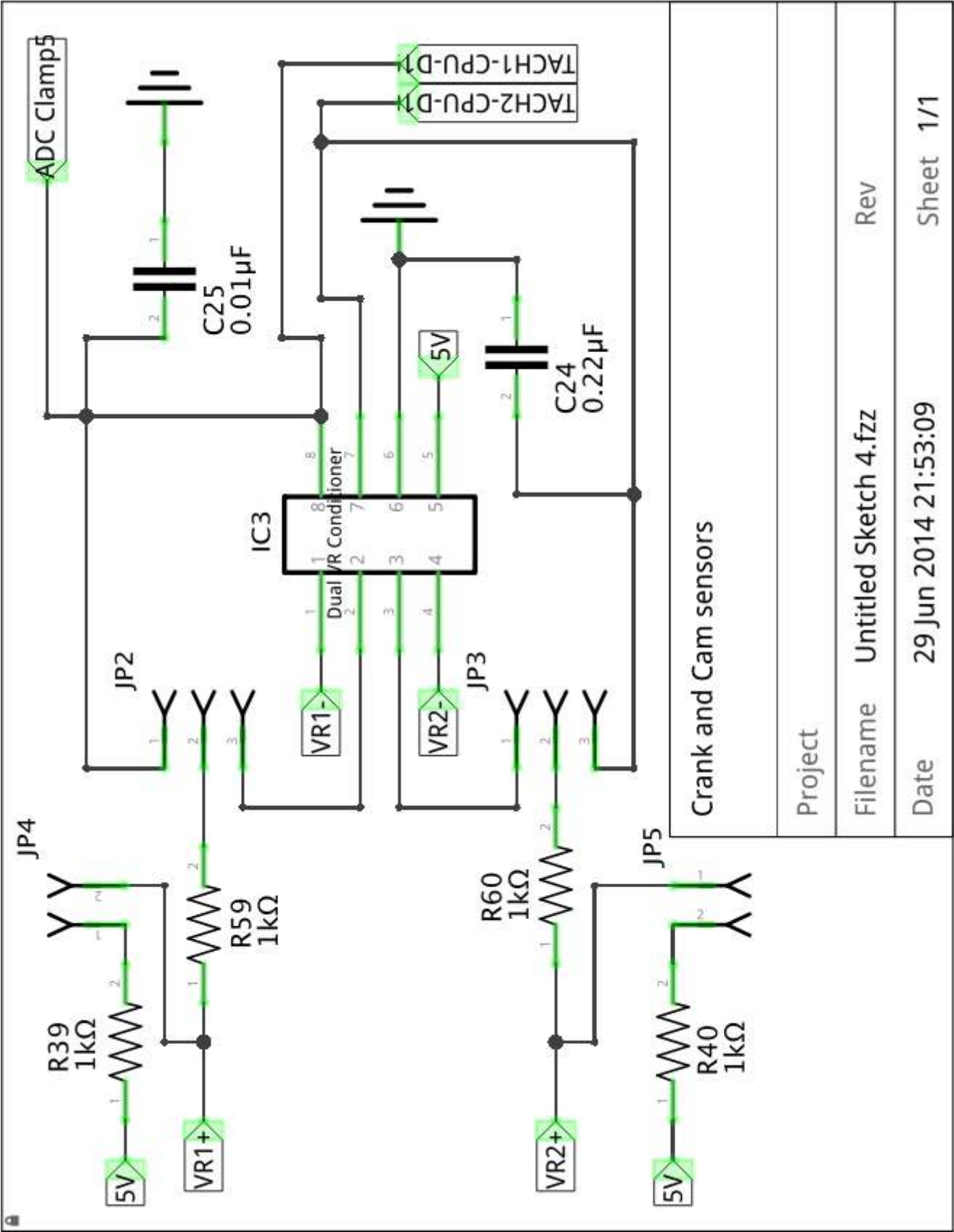


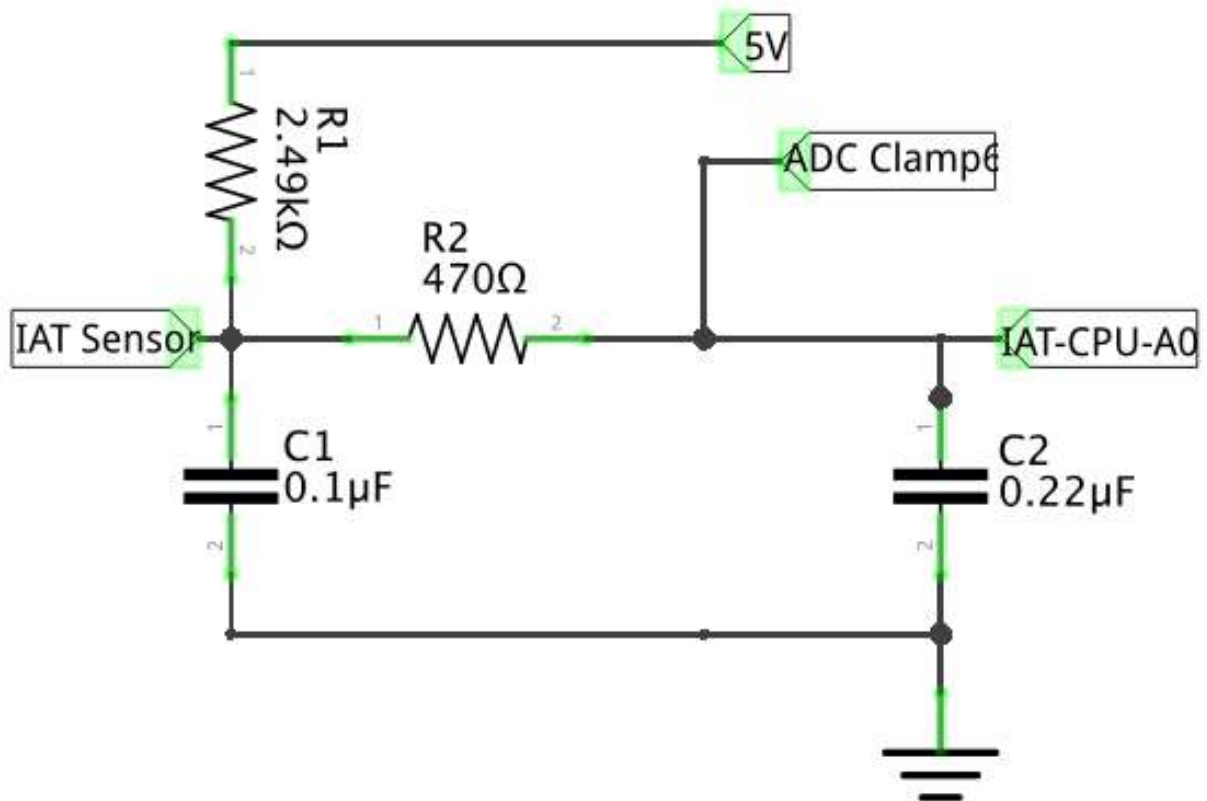












Inlet Air Temperature sensor

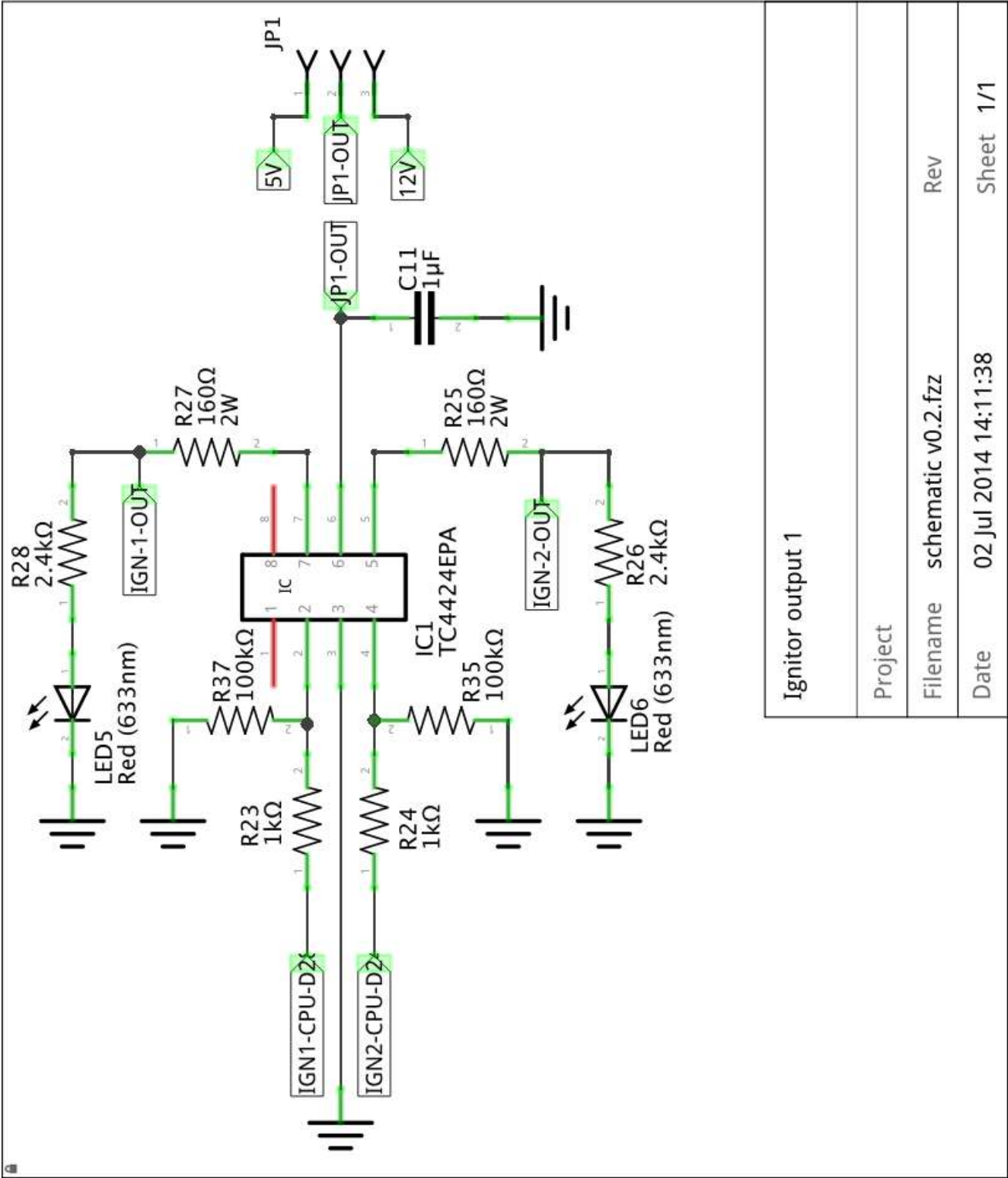
Project

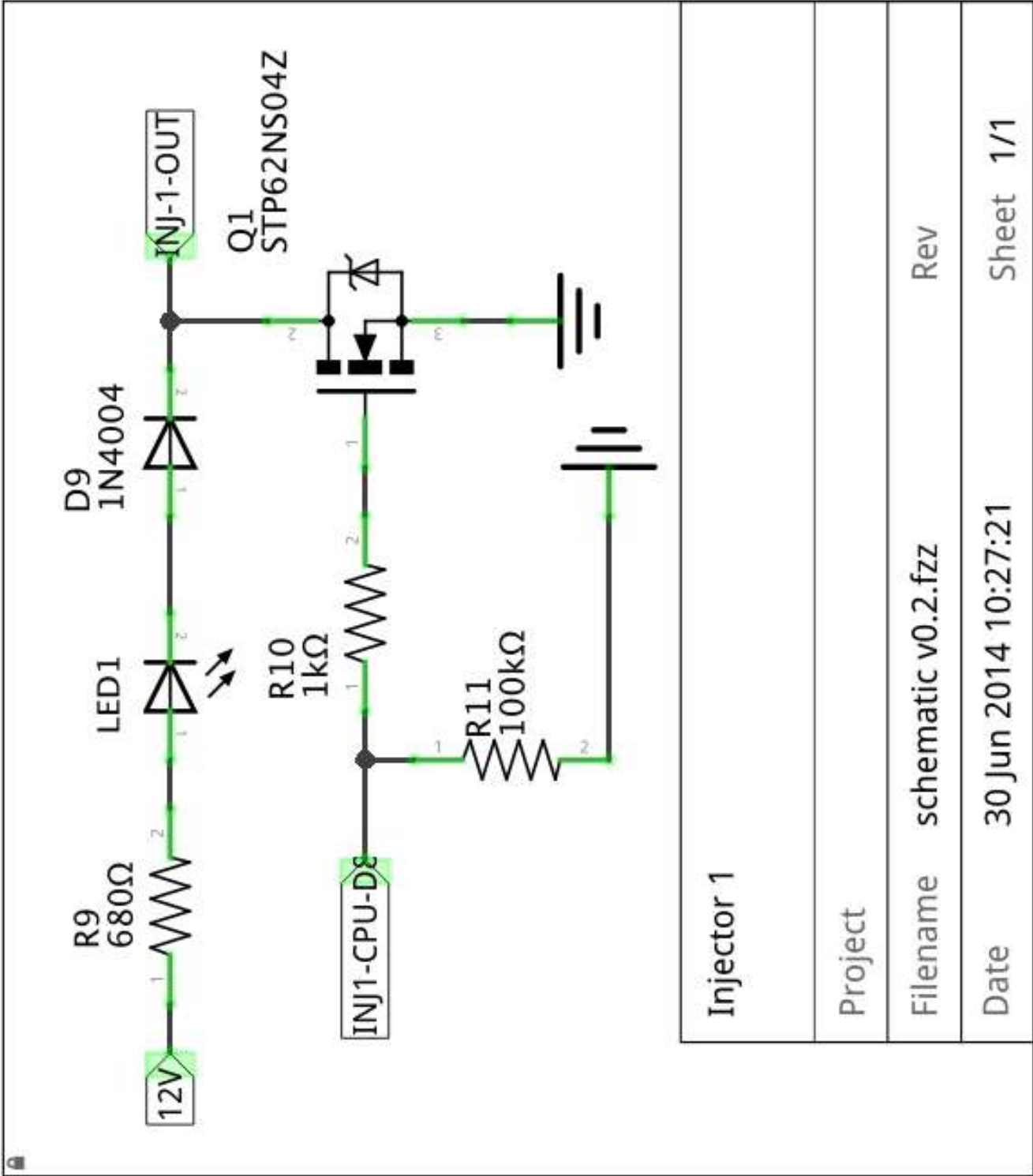
Filename Untitled Sketch 4.fzz

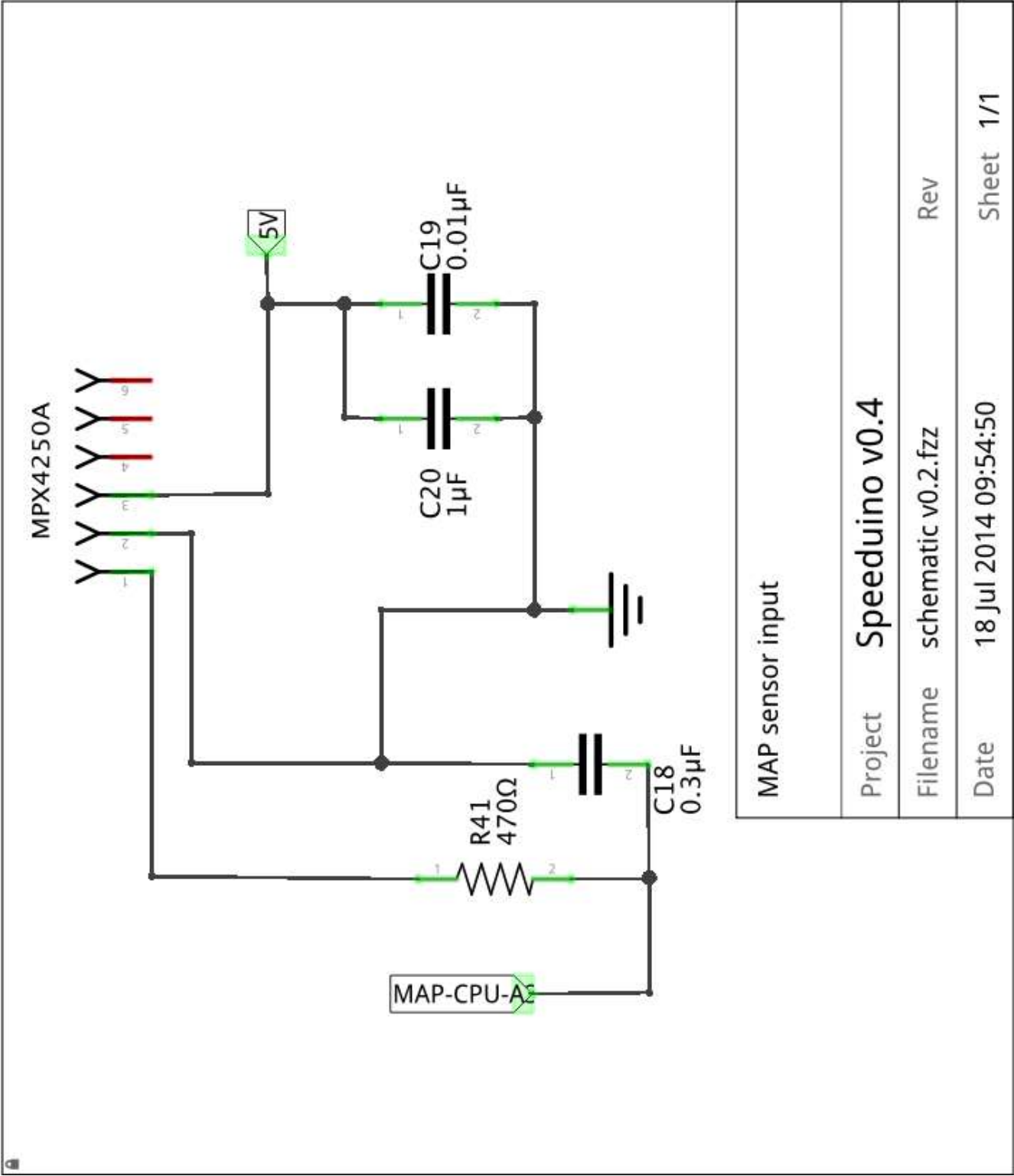
Rev

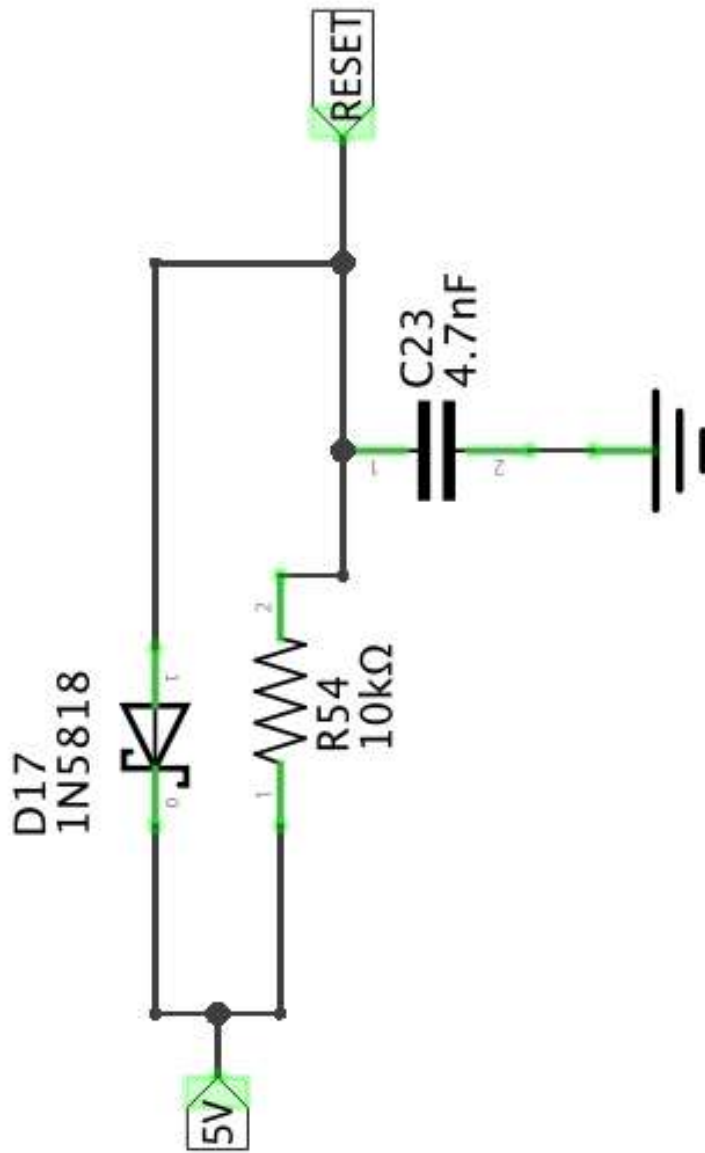
Date 29 Jun 2014 21:53:09

Sheet 1/1









Reset Protection - Refer AVR040 Application note

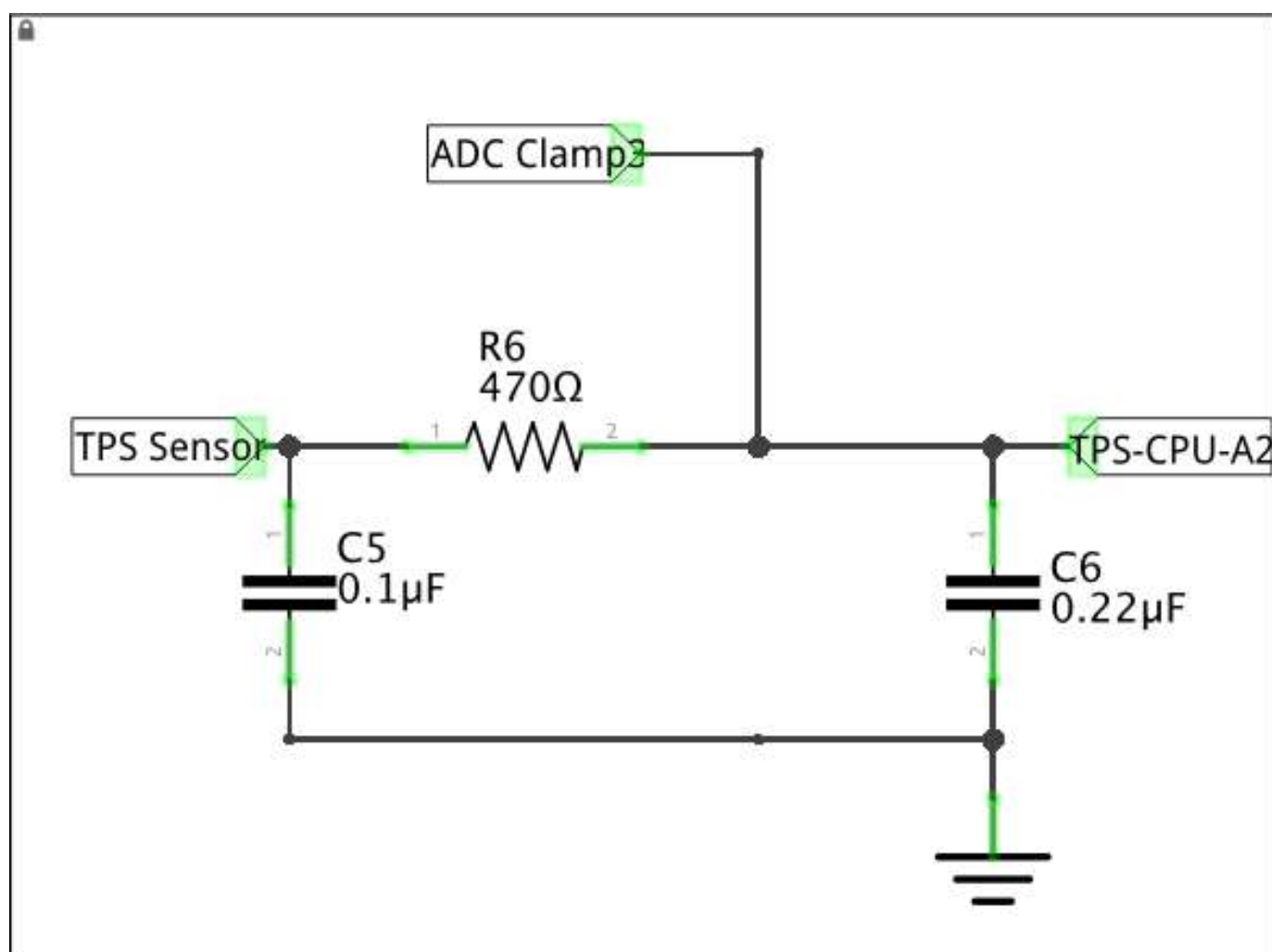
Project

Filename schematic v0.2.1.fzz

Rev

Date 07 Dec 2014 07:36:11

Sheet 1/1



Throttle Position Sensor

Project **Speeduino v0.4**

Filename **Untitled Sketch 2.fzz**

Rev

Date **29 Jun 2014 21:53:09**

Sheet **1/1**

Anexo B

Datasheet Sensor MAP – NXP/Freescale MPX4250AP

MPX4250A, MPXA4250A

20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated

Rev. 8.0 — 25 July 2017

Data sheet: technical data

1 General description

The MPX4250A/MPXA4250A Manifold Absolute Pressure (MAP) sensor for engine control is designed to sense absolute air pressure within the intake manifold. This measurement can be used to compute the amount of fuel required for each cylinder.

The MPX4250A/MPXA4250A piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This transducer combines advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high-level analog output signal that is proportional to the applied pressure. The small form factor and high reliability of on-chip integration make the NXP sensor a logical and economical choice for the automotive system engineer.

2 Features

- 1.5 % maximum error over 0 °C to 85 °C
- Specifically designed for intake manifold absolute pressure sensing in engine control systems
- Patented silicon shear stress strain gauge
- Temperature compensated over -40 °C to +125 °C
- Offers reduction in weight and volume compared to existing hybrid modules
- Durable epoxy unbody element or thermoplastic small outline, surface mount package
- Ideal for non-automotive applications
- Available in three small outline packages and two unbody packages

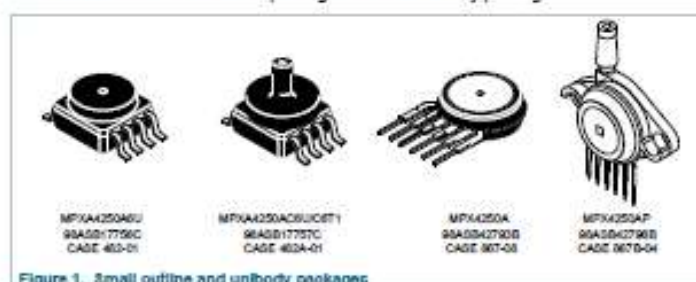


Figure 1. Small outline and unbody packages

3 Typical applications

- Turbo boost engine control
- Ideally suited for microprocessor or microcontroller-based systems



MPX4250A, MPXA4250A

20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated

4 Ordering information

Table 1. Ordering information

Device name	Package Options	Package Name	# of Ports			Pressure type			Device marking
			None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
Small outline package (MPXA4250A series)									
MPXA4250ABU	Rail	08ASB17758C	*					*	MPXA4250A
MPXA4250ACBU	Rail	08ASB17757C		*				*	MPXA4250A
MPXA4250ACBT1	Tape and Rail	08ASB17757C		*				*	MPXA4250A
Unibody package (MPXA250A series)									
MPXA250A	Tray	08ASB42703B	*					*	MPXA250A
MPXA250AP	Tray	08ASB42706B		*				*	MPXA250A

5 Block diagram

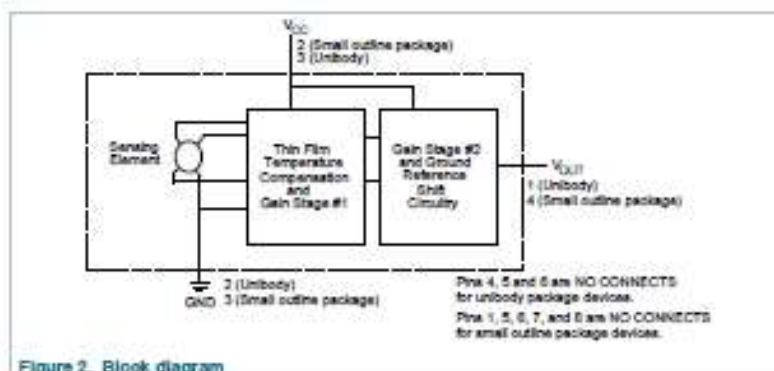


Figure 2. Block diagram

6 Pinning information

6.1 Pinning

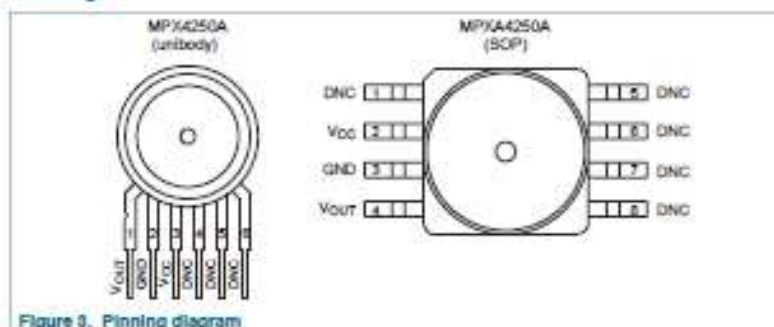


Figure 3. Pinning diagram

6.2 Pin description

Table 2. Pin descriptions — Unibody package

Symbol	Pin	Description
V _{OUT}	1	Output voltage
GND	2	Ground
V _{CC}	3	Voltage supply
DNC	4	Do not connect to external circuitry or ground
DNC	5	Do not connect to external circuitry or ground
DNC	6	Do not connect to external circuitry or ground

Table 3. Pin descriptions — 8-pin outline package

Symbol	Pin	Description
DNC	1	Do not connect to external circuitry or ground
V _{CC}	2	Voltage supply
GND	3	Ground
V _{OUT}	4	Output voltage
DNC	5	Do not connect to external circuitry or ground
DNC	6	Do not connect to external circuitry or ground
DNC	7	Do not connect to external circuitry or ground
DNC	8	Do not connect to external circuitry or ground

7 Mechanical and electrical specifications

7.1 Maximum ratings

Table 4. Maximum ratings

T_A = 25 °C unless otherwise noted. Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum pressure (P1 > P2)	P _{MAX}	1000	kPa
Storage temperature	T _{STG}	-40 to +125	°C
Operating temperature	T _A	-40 to +125	°C

[Figure 2](#) shows a block diagram of the internal circuitry integrated on a pressure sensor chip.

7.2 Operating characteristics

Table 6. Operating characteristics

($V_{CC} = 5.1$ Vdc, $T_A = 25$ °C unless otherwise noted; $P1 > P2$. Decoupling circuit shown in [Figure 5](#) required to meet electrical specifications.)

Symbol	Characteristic	Min	Typ	Max	Unit
P_{OP}	Pressure range ^[1]	20	—	250	kPa
V_{CC}	Supply voltage ^[2]	4.85	5.1	5.35	Vdc
I_s	Supply current	—	7.0	10	mAdc
V_{off}	Minimum pressure offset ^[3] (0 °C to 85 °C)	0.133	0.204	0.274	Vdc
V_{FSO}	Full scale output ^[4] (0 °C to 85 °C)	4.826	4.896	4.966	Vdc
V_{FSs}	Full scale span ^[5] (0 °C to 85 °C)	—	4.692	—	Vdc
—	Accuracy ^[6] (0 °C to 85 °C)	—	—	±1.5	% V_{FSs}
$\Delta V/\Delta P$	Sensitivity	—	20	—	mV/kPa
t_R	Response time ^[7]	—	1.0	—	ms
I_{O+}	Output source current at full scale output	—	0.1	—	mAdc
—	Warm-up time ^[8]	—	20	—	ms
—	Offset stability ^[9]	—	±0.5	—	% V_{FSs}

[1] 1.0 kPa (kilopascal) equals 0.145 psi.

[2] Device is ratiometric within this specified excitation range.

[3] Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.

[4] Full scale output (V_{FSO}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.

[5] Full scale span (V_{FSs}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.

[6] Accuracy (error budget) consists of the following:

- Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
- Temperature hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero pressure applied.
- Pressure hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25 °C.
- ToFSpan: Output deviation over the temperature range of 0 °C to 85 °C, relative to 25 °C.
- ToOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0 °C to 85 °C, relative to 25 °C.

[7] Variation from nominal: The variation from nominal values, for offset or full scale span, as a percent of V_{FSs} , at 25 °C. Response time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10 % to 90 % of its final value when subjected to a specified step change in pressure.

[8] Warm-up time is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the pressure has been stabilized.

[9] Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of pulsed pressure, temperature cycling with bias test.

8 On-chip temperature compensation and calibration

[Figure 4](#) illustrates the absolute pressure sensing chip in the basic chip carrier (98ASB42793B). A fluorosilicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the sensor diaphragm.

The MPX4250A/MPXA4250A pressure sensor operating characteristics and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media, other than dry air, may have adverse effects on sensor performance and long-

20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated

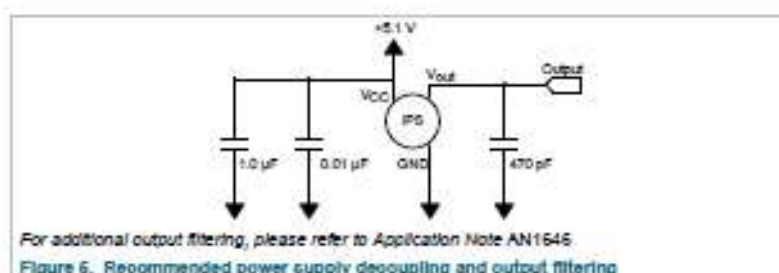
term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

[Figure 5](#) shows the recommended decoupling circuit for interfacing the output of the integrated sensor to the A/D input of a microprocessor or microcontroller.

[Figure 6](#) shows the sensor output signal relative to pressure input. Typical, minimum, and maximum output curves are shown for operation over a temperature range of 0 °C to 85 °C using the decoupling circuit shown in [Figure 5](#). The output will saturate outside of the specified pressure range.



Figure 4. Cross sectional diagram (not to scale)



For additional output filtering, please refer to Application Note AN1646.

Figure 5. Recommended power supply decoupling and output filtering

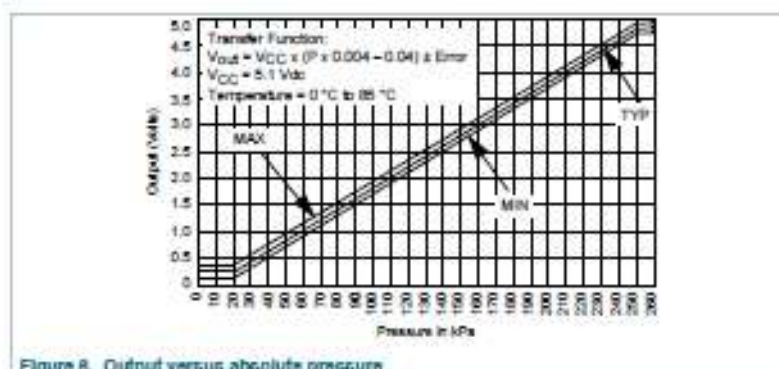


Figure 6. Output versus absolute pressure

20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated

Nominal transfer value: $V_{OUT} = V_{DD} \times (P \times 0.004 - 0.04) \pm (\text{Pressure error} \times \text{Temp. Factor} \times 0.004 \times V_{DD})$
 $V_{DD} = 5.1 \pm 0.25 \text{ Vdc}$

Figure 7. Transfer function

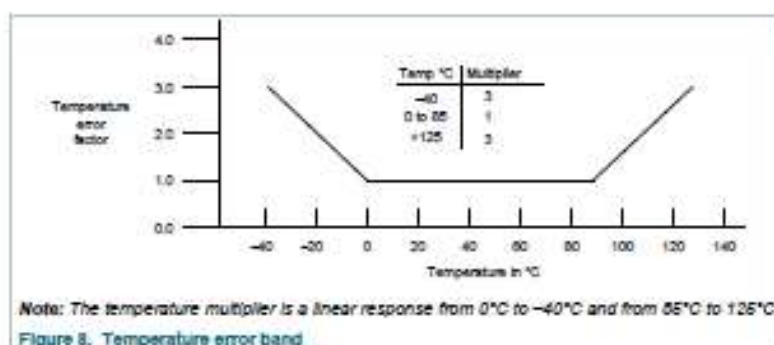


Figure 8. Temperature error band

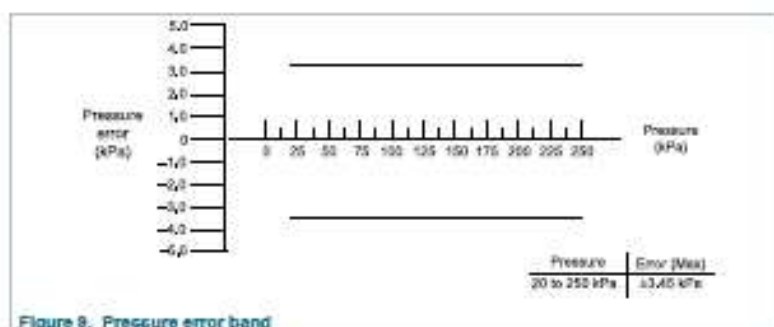


Figure 9. Pressure error band

9 Package information

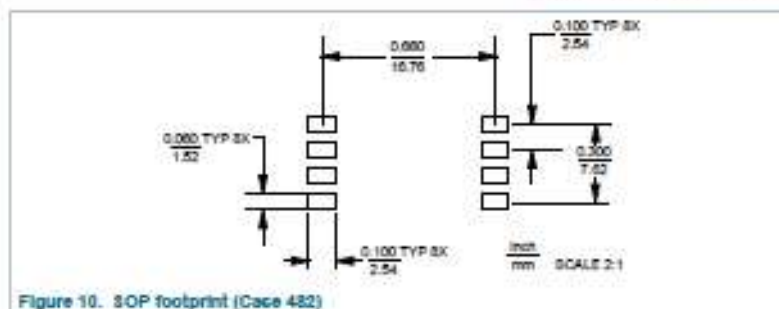
9.1 Minimum recommended footprint for surface mounted applications

Surface mount board layout is a critical portion of the total design. The footprint for the surface mount packages must be the correct size to ensure proper solder connection interface between the board and the package. With the correct Footprint, the packages will self align when subjected to a solder reflow process. It is always recommended to design boards with a solder mask layer to avoid bridging and shorting between solder pads.

NXP Semiconductors

MPX4250A, MPXA4250A

20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated



NXP Semiconductors

MPX4250A, MPXA4250A

20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated

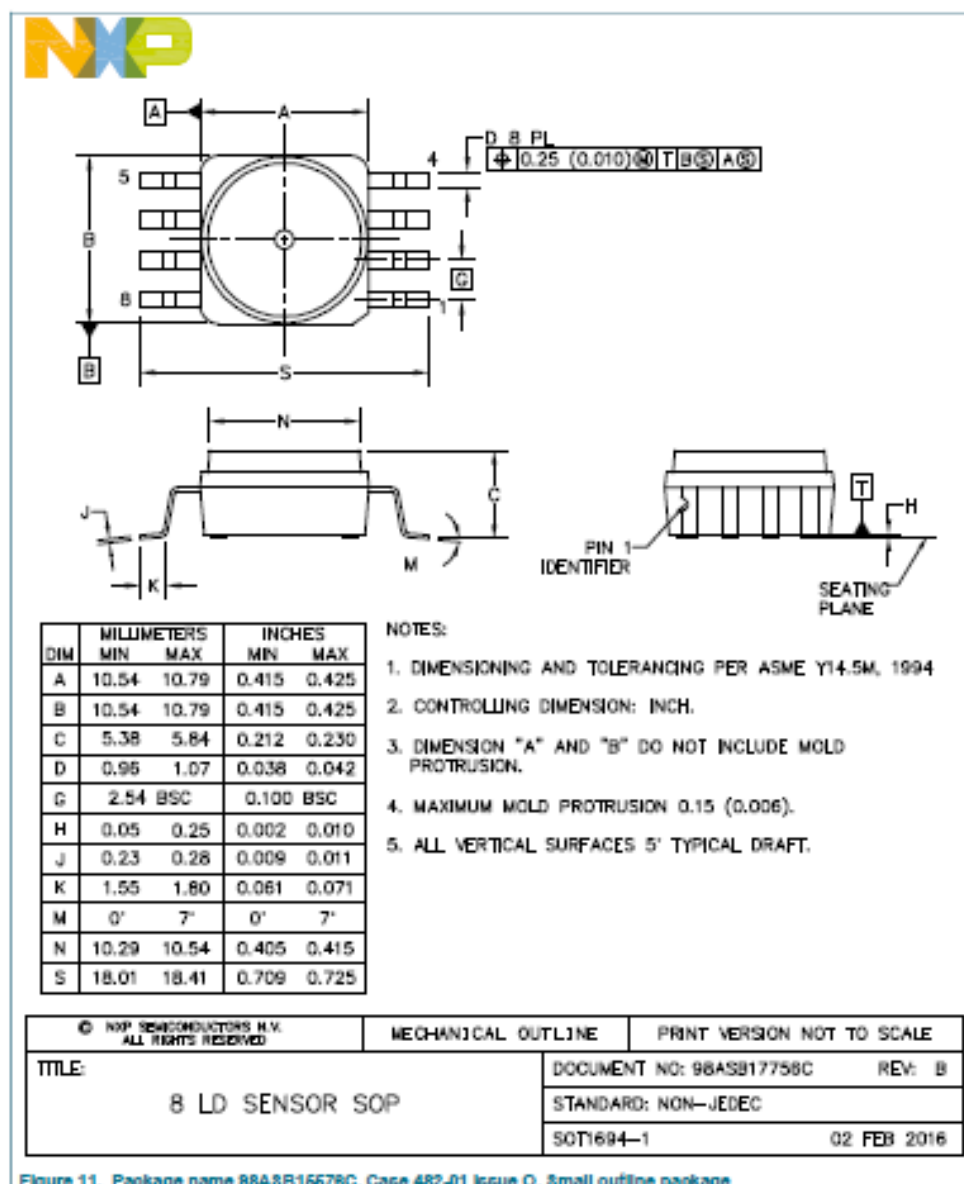
9.2 Package description

Figure 11. Package name 88A8B16678C, Case 482-01 Issue O, Small outline package

MPX4250A

All information provided in this document is subject to legal disclaimer.

©NXP B.V. 2017. All rights reserved.

Data sheet: technical data

Rev. 8.0 — 25 July 2017

8 / 18

NXP Semiconductors

MPX4250A, MPXA4250A

20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated

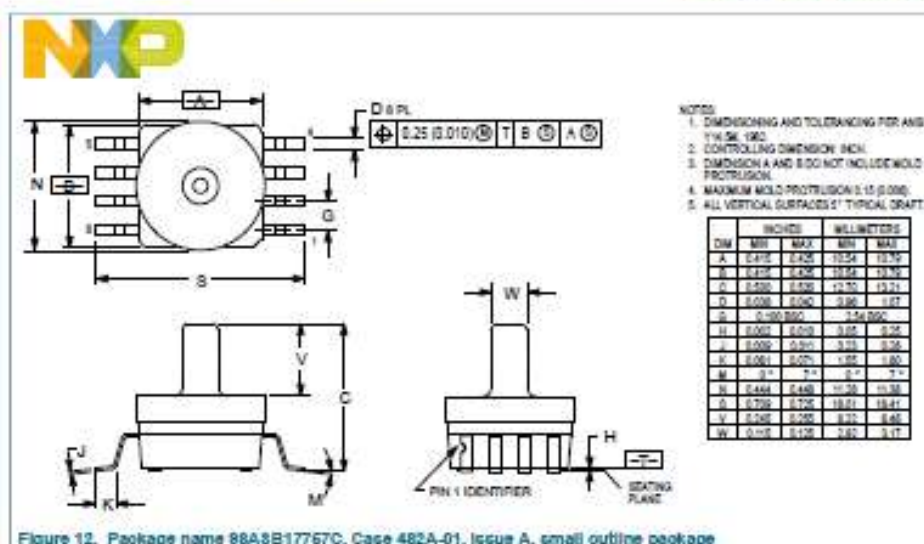


Figure 12. Package name 88ASB17767C, Case 482A-01, Issue A, small outline package

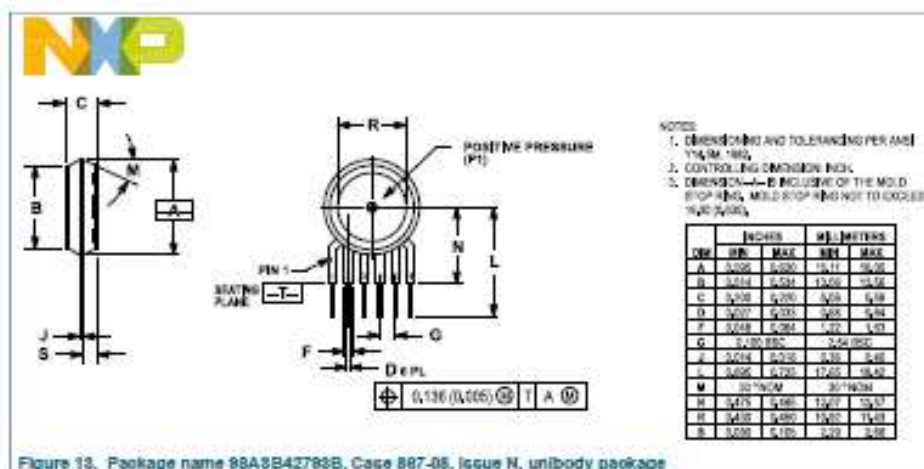


Figure 13. Package name 88ASB42783B, Case 887-08, Issue N, unibody package

MPX4250A

All information contained in this document is subject to legal disclaimer

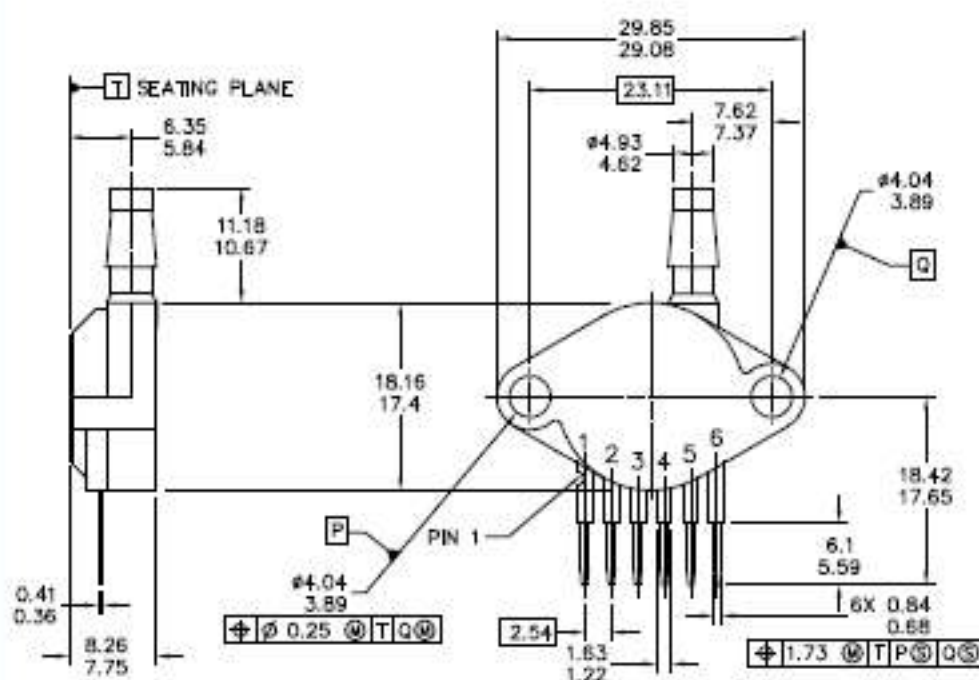
© NXP B.V. 2011. All rights reserved.

Data sheet: technical data

Rev. 8.0 — 25 July 2017

9 / 18

20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated



© NXP SEMICONDUCTORS NV. ALL RIGHTS RESERVED	MECHANICAL OUTLINE	PRINT VERSION NOT TO SCALE
TITLE: SENSOR, 6 LEAD UNIBODY CELL, AP & GP 01ASB09087B	DOCUMENT NO: 9BASB42796B	REV: J
	STANDARD: NON-JEDEC	
	SOT1852-1	15 MAR 2016

NXP Semiconductors

MPX4250A, MPXA4250A

20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated



NOTES:

1. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
2. DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M-1994.
3. 867B-01 THRU -3 OBSOLETE, NEW STANDARD 867B-04.

© NXP SEMICONDUCTORS N.V. ALL RIGHTS RESERVED	MECHANICAL OUTLINE	PRINT VERSION NOT TO SCALE
TITLE: SENSOR, 6 LEAD UNIBODY CELL, AP & GP 01ASB09087B	DOCUMENT NO: 9BASB42796B	REV: J
	STANDARD: NON-JEDEC	
	SOT1852-1	15 MAR 2016

Figure 14. Package name 88A8B42796B, Case 867B-04, Issue J

MPX4250

All information provided in this document is subject to legal disclaimers

© NXP N.V. 2017. All rights reserved.

Data sheet: technical data

Rev. 8.0 — 25 July 2017

11 / 18

NXP Semiconductors

MPX4250A, MPXA4250A

20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated

10 Revision history

Table 8. Revision history

Document ID	Release date	Data sheet status	Change notice	Supersedes
MPX4250A v.8.0	20170725	Technical data	—	MPX4250A v.7.0
Modifications:	<ul style="list-style-type: none"> The format of this data sheet has been redesigned to comply with the new identity guidelines of NXP Semiconductors. Legal texts have been adapted to the new company name where appropriate. Updated the document title from "Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated" to "0 to 250 kPa, Differential, gauge pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated." Added Figure 1 "Small outline and unibody packages" in Section 2 "Features". Updated Table 1 "Ordering information" in Section 4 "Ordering information". Revised Figure 2 "Block diagram" in Section 5 "Block diagram" as follows: <ul style="list-style-type: none"> Changed V_B to V_{CC} Added pinning illustration as Figure 3 "Pinning diagram" in Section 5.1. Added pin descriptions in Table 2 "Pin descriptions — Unibody package" and Table 3 "Pin descriptions — Small outline package" in Section 5.2. Changed V_B to V_{CC} in the description and within the body of Table 5 "Operating characteristics" in Section 7.2 "Operating characteristics". Updated the figures in Section 8 "On-chip temperature compensation and calibration" as follows: <ul style="list-style-type: none"> Figure 4 "Cross sectional diagram (not to scale)" Figure 5 "Recommended power supply decoupling and output filtering" Figure 6 "Output versus absolute pressure" Figure 7 "Transfer function" Figure 8 "Pressure error band" Updated the figures and figure titles in Section 9.2 "Package description" as follows: <ul style="list-style-type: none"> Figure 11 "Package name 88ASB15576Q, Case 482-01, Issue O, Small outline package" Figure 12 "Package name 88ASB17757C, Case 482A-01, Issue A, small outline package" Figure 13 "Package name 88ASB42793B, Case 857-08, Issue N, unibody package" Figure 14 "Package name 88ASB42796B, Case 857B-04, Issue J" 			
MPX4250A v.7.0	20090131	Technical data	—	MPX4250A v.6.0

11 Legal information

11.1 Data sheet status

Document status ^[1]	Product status ^[2]	Definition
[short] Data sheet: product_preview	Development	This document contains certain information on a product under development. NXP reserves the right to change or discontinue this product without notice.
[short] Data sheet: advance information	Qualification	This document contains information on a new product. Specifications and information herein are subject to change without notice.
[short] Data sheet: technical data	Production	This document contains the product specification. NXP Semiconductors reserves the right to change the detail specifications as may be required to permit improvements in the design of its products.

[1] Please consult the most recently issued document before initiating or completing a design.

[2] The term 'short data sheet' is explained in section 'Definitions'.

[3] The product status of device(s) described in this document may have changed since this document was published and may differ in case of multiple devices. The latest product status information is available on the internet at URL: <http://www.nxp.com>.

11.2 Definitions

Draft — The document is a draft version only. The content is still under internal review and subject to formal approval, which may result in modifications or additions. NXP Semiconductors does not give any representations or warranties as to the accuracy or completeness of information included herein and shall have no liability for the consequences of use of such information.

Short data sheet — A short data sheet is an extract from a full data sheet with the same product type number(s) and title. A short data sheet is intended for quick reference only and should not be relied upon to contain detailed and full information. For detailed and full information see the relevant full data sheet, which is available on request via the local NXP Semiconductors sales office. In case of any inconsistency or conflict with the short data sheet, the full data sheet shall prevail.

Product specification — The information and data provided in a technical data sheet shall define the specification of the product as agreed between NXP Semiconductors and its customer, unless NXP Semiconductors and customer have explicitly agreed otherwise in writing. In no event however, shall an agreement be valid in which the NXP Semiconductors product is deemed to offer functions and qualities beyond those described in the technical data sheet.

11.3 Disclaimers

Limited warranty and liability — Information in this document is believed to be accurate and reliable. However, NXP Semiconductors does not give any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of such information and shall have no liability for the consequences of use of such information. NXP Semiconductors takes no responsibility for the content in this document if provided by an information source outside of NXP Semiconductors. In no event shall NXP Semiconductors be liable for any indirect, incidental, punitive, special or consequential damages (including - without limitation - lost profits, lost savings, business interruption, costs related to the removal or replacement of any products or rework charges) whether or not such damages are based on tort (including negligence), warranty, breach of contract or any other legal theory. Notwithstanding any damages that customer might incur for any reason whatsoever, NXP Semiconductors' aggregate and cumulative liability towards customer for the products described herein shall be limited in accordance with the Terms and conditions of commercial sale of NXP Semiconductors.

Right to make changes — NXP Semiconductors reserves the right to make changes to information published in this document, including without

limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

Applications — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. NXP Semiconductors makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification. Customers are responsible for the design and operation of their applications and products using NXP Semiconductors products, and NXP Semiconductors accepts no liability for any assistance with applications or customer product design. It is customer's sole responsibility to determine whether the NXP Semiconductors product is suitable and fit for the customer's applications and products planned, as well as for the planned application and use of customer's third party customer(s). Customers should provide appropriate design and operating safeguards to minimize the risks associated with their applications and products. NXP Semiconductors does not accept any liability related to any default, damage, costs or problem which is based on any weakness or default in the customer's applications or products, or the application or use by customer's third party customer(s). Customer is responsible for doing all necessary testing for the customer's applications and products using NXP Semiconductors products in order to avoid a default of the applications and the products or of the application or use by customer's third party customer(s). NXP does not accept any liability in this respect.

Limiting values — Stresses above one or more limiting values (as defined in the Absolute Maximum Ratings System of IEC 60134) will cause permanent damage to the device. Limiting values are stress ratings only and (proper) operation of the device at these or any other conditions above those given in the Recommended operating conditions section (if present) or the Characteristics sections of this document is not warranted. Constant or repeated exposure to limiting values will permanently and irreversibly affect the quality and reliability of the device.

Terms and conditions of commercial sale — NXP Semiconductors products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale, as published at <http://www.nxp.com/profile/terms>, unless otherwise agreed in a valid written individual agreement. In case an individual agreement is concluded only the terms and conditions of the respective agreement shall apply. NXP Semiconductors hereby expressly objects to applying the customer's general terms and conditions with regard to the purchase of NXP Semiconductors products by customer.

No offer to sell or license — Nothing in this document may be interpreted or construed as an offer to sell products that is open for acceptance or the grant, conveyance or implication of any license under any copyright, patents or other industrial or intellectual property rights.

Suitability for use in automotive applications — This NXP Semiconductors product has been qualified for use in automotive

NXP Semiconductors

MPX4250A, MPXA4250A

20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated

applications. Unless otherwise agreed in writing, the product is not designed, authorized or warranted to be suitable for use in life support, life-critical or safety-critical systems or equipment, nor in applications where failure or malfunction of an NXP Semiconductors product can reasonably be expected to result in personal injury, death or severe property or environmental damage. NXP Semiconductors and its suppliers accept no liability for inclusion and/or use of NXP Semiconductors products in such equipment or applications and therefore such inclusion and/or use is at the customer's own risk.

Export control — This document as well as the item(s) described herein may be subject to export control regulations. Export might require a prior authorization from competent authorities.

Translations — A non-English (translated) version of a document is for reference only. The English version shall prevail in case of any discrepancy between the translated and English versions.

11.4 Trademarks

Notice: All referenced brands, product names, service names and trademarks are the property of their respective owners.

Freemove — is a trademark of NXP B.V.

NXP — is a trademark of NXP B.V.

NXP Semiconductors

MPX4250A, MPXA4250A

20 to 250 kPa, Manifold absolute pressure sensor, on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated

Tables

Tab. 1.	Ordering information	2	Tab. 4.	Maximum ratings	3
Tab. 2.	Pin descriptions — Unibody package	3	Tab. 5.	Operating characteristics	4
Tab. 3.	Pin descriptions — Small outline package	3	Tab. 6.	Revision history	12

Figures

Fig. 1.	Small outline and unibody packages	1	Fig. 10.	SOP footprint (Case 482)	7
Fig. 2.	Block diagram	2	Fig. 11.	Package name 98ASB15576C, Case 482-01 Issue O, Small outline package	8
Fig. 3.	Pinning diagram	2	Fig. 12.	Package name 98ASB17757C, Case 482A-01, Issue A, small outline package	9
Fig. 4.	Cross sectional diagram (not to scale)	5	Fig. 13.	Package name 98ASB42793B, Case 867-08, Issue N, unibody package	9
Fig. 5.	Recommended power supply decoupling and output filtering	5	Fig. 14.	Package name 98ASB42796B, Case 867B-04, Issue J	10
Fig. 6.	Output versus absolute pressure	5			
Fig. 7.	Transfer function	6			
Fig. 8.	Temperature error band	6			
Fig. 9.	Pressure error band	6			

Contents

1	General description	1
2	Features	1
3	Typical applications	1
4	Ordering information	2
6	Block diagram	2
8	Pinning information	2
6.1	Pinning	2
6.2	Pin description	3
7	Mechanical and electrical specifications	3
7.1	Maximum ratings	3
7.2	Operating characteristics	4
8	On-chip temperature compensation and calibration	4
9	Package information	8
9.1	Minimum recommended footprint for surface mounted applications	6
9.2	Package description	8
10	Revision history	12
11	Legal information	13

Please be aware that important notices concerning this document and the product(s) described herein, have been included in section 'Legal information'.

© NXP B.V. 2017.

All rights reserved.

For more information, please visit <http://www.nxp.com>
For sales office addresses, please send an email to salesaddresses@nxp.com

Date of release: 26 July 2017
Document identifier: MPX4250A

Anexo C

Lista de componentes Speeduino

Qtd.	Referência na Placa	Componente	Valor	Modelo
1	C16	CAP TANT 10uF 35V 10% RADIAL	10uF	
6	C2,C4,C6,C8,C10,C24	CAP CER 0.22uF 50V 10% RADIAL	220nF	224
7	C1,C3,C5,C7,C9,C13,C15	CAP CER 0.1uF 50V 20% RADIAL	100nF	104
1	C14	CAP TANT 47uF 6.3V 10% RADIAL	47uF	
1	C18	CAP CER 0.33uF 50V 10% RADIAL	330nF	334
2	C19,C25	CAP CER 10000pF 50V 10% RADIAL	10nF	103
3	C11,C12,C20	CAP CER 1uF 50V 20% RADIAL	1uF	105
1	C23	CAP CER 4700pF 100V 10% RADIAL	4.7nF	472
1	D16	DIODO ZENER 5.6V 3W AXIAL	1N5919BG	1N5919BG
2	D15,D17	DIODO SCHOTTKY 1A 30V DO41	1N5818	1N5818
8	LED1,LED2,LED3,LED4,LED5,LED6,LED7,LED8	LED SS 3MM	LED	
4	D9,D10,D11,D12	DIODO USO GERAL 400V 1A DO41	1N4004	1N4004
1	U2	VARISTOR 14MM 22V 1000A ZNR	Varistor	ZNR V14D220
8	Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q6,Q7,Q8	MOSFET N-CH 33V TO-220	62A MOSFET	STP75NS04Z
1	R54	RES 10.0K Ohm 1/4W 1% METAL FILM	10kΩ	1/4W - 1%
17	R10,R13,R16,R19,R21,R23,R24,R29,R30,R39,R40,R50,R51,R57,R58,R59,R60	RES 1.00K Ohm 1/4W 1% FILME METÁLICO	1kΩ	1/4W - 1%
4	R9,R12,R15,R18	RES 680 Ohm 0.6W 1% AXIAL	680Ω	1/4W - 1%
6	R2,R4,R6,R8,R22,R41	RES FILME METÁLICO 1/4W 470 Ohm 1% AXIAL	470Ω	1/4W - 1%
7	R1,R3,R26,R28,R33,R34,R61	2.49k Ohm ±1% 0.25W, 1/4W FILME METÁLICO	2.49kΩ	1/4W - 1%
1	R7	RES 3.9K Ohm 1/4W 0.1% FILME METÁLICO	3.9kΩ	1/4W - 1%
12	R11,R14,R17,R20,R35,R36,R37,R38,R48,R49,R55,R56	RES 100K Ohm 1/4W 1% FILME METÁLICO	100kΩ	1/4W - 1%
4	R25,R27,R31,R32	RES 160 Ohm 2W 1% AXIAL	160Ω	2W - 1%
1	U1	REGULADOR DE TENSÃO LM2940-5.0 1A TO220	LM2940T	5.0/NOPB
1	MPX4250A	SENSOR MAP 36.3 PSI MAX	1-Bar MAP	MPX4250AP
2	IC1,IC2	CI MOSFET DVR 3A DUAL HS 8-DIP	TC4424EP A	TC4424EPA