

BRUNO DE OLIVEIRA SANTOS

**IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE IGNIÇÃO MAPEADA EM UM
MOTOR DE BAIXA CILINDRADA**

Santo André/SP

2013

BRUNO DE OLIVEIRA SANTOS

**IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE IGNIÇÃO MAPEADA EM UM
MOTOR DE BAIXA CILINDRADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de Santo André, sob a orientação do Professor Fabio Delatore, como requisito parcial para a obtenção do diploma de Graduação no Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva.

Santo André/SP

2013

Faculdade de Tecnologia de Santo André

LISTA DE PRESENÇA
SANTO ANDRÉ, 13 DE NOVEMBRO DE 2013.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA “IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE IGNição MAPEADA EM UM MOTOR DE BAIXA CILINDRADA” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF.MSC. CLEBER WILLIAN GOMES

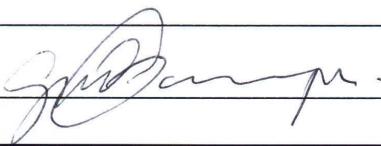


MEMBROS:

PROF. DR. FABIO DELATORE



ENG. GUSTAVO OIOLI



ALUNOS:

BRUNO DE OLIVEIRA SANTOS



Dedico este trabalho minha noiva, a minha família e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte desta fase da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a Deus, a minha noiva Bruna por ter me apoiado e por ter auxiliado durante todo o desenvolvimento do meu trabalho, ao meu orientador Professor Fábio Delatore pela paciência, por ter acreditado em meu potencial, por ter sido presente e prestativo na execução do projeto, ao Sr. Gustavo da empresa HIS por ter patrocinado e cedido o aparelho a ser utilizado em meu projeto, a todos os Professores que auxiliaram no desenvolvimento do projeto, Professor Marco Aurélio Fróes, Cleber Gomes e ao Professor Wagner pelo incentivo e também pelos sermões para que finalizasse o meu projeto, a todos os colegas de graduação que contribuíram de alguma forma no decorrer do trabalho, aos meus familiares pelo apoio, e a todos que de alguma forma ajudaram para que este sonho fosse realizado.

SANTOS, Bruno de Oliveira.

Implementação de Sistema de Ignição mapeada em um Motor de Baixa Cilindrada.
43 f. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de
Santo André, 2013.

RESUMO

Este trabalho apresentará um descriptivo sobre as características de um motor de combustão interna e em particular um estudo sobre o sistema de ignição eletrônico mapeado e sua adição ao motor que inicialmente possuía um sistema mecânico e através disto o que se pode alcançar em termos de eficiência energética, ganhos que a eletrônica pode trazer aos sistemas mecânicos no auxílio para um funcionamento cada vez mais eficiente e facilmente controlável, o trabalho mostra também as dificuldades e conhecimentos necessários para que possamos utilizar tais sistemas e como controla-los, quais os parâmetros mínimos necessários para a utilização e controle de um sistema de gerenciamento eletrônico de motores, por fim os resultados que foram ou possam ser alcançados e mostrar que hoje em dia a eletrônica se faz cada vez mais presente no setor automotivo tornando o mais perfeito a cada dia.

Palavras Chave: sistema de gerenciamento eletrônico; eletrônica; eficiência energética; sistema de ignição; motores de combustão interna.

ABSTRACT

This work will show a description about the characteristics of a internal combustion engine and in particular a search of electronic ignition system and your contribution for a engine that initially had a mechanic system completely and through this what can be improved in energetic efficiency, the growth that the electronic can bring to mechanic systems to obtain a functioning more efficient and easily controllable, work shows too the difficulties and required knowledge to we can using and controlling this electronic management of engine systems, finally to show the results that can be achieve with it and nowadays to show that electronic is each time more present in automotive department making one each day more perfect.

Keywords: electronic management system; electronic; energetic efficiency; ignition systems; internal combustion engines.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classificação de Motor de Combustão Interna 19

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação do Processo de Gás com Quatro Tempos no Gráfico.	20
Figura 2 - Processo de troca de gás em 4 tempos.....	20
Figura 3 - Componentes de um sistema de ignição convencional.	26
Figura 4 - Propagação da Chama.	28
Figura 5 - Sistema de Controle Eletrônico Drive by Wire (Fonte: Manual de Injeção Eletrônica Bosch).	29
Figura 6 - Gráfico de torque e potência (Fonte: Manual de especificações motor GX25).	31
Figura 7 - Construção do motor (Fonte: Manual de especificações motor GX25)....	32
Figura 8 – Montagem do TPS	33
Figura 9 - Diagrama de hardware do sensor TPS	34
Figura 10 – Sensor de Rotação.....	35
Figura 11 – Fixação da Roda Fônica	36
Figura 12 - Sinal do Sistema de Ignição Original extraído do Osciloscópio	37
Figura 13 – Montagem do pencoil	38
Figura 14 - Mapa de Ignição.....	39

LISTA DE SIGLAS

CO2	<i>Dióxido de Carbono</i>
ECU	<i>Unidade de controle de motor</i>
MCI	<i>Motor de combustão interna</i>
Pencoil	<i>Bobina de ignição com driver interno</i>
A/C	<i>Ar combustível</i>
TPS	<i>Throttle position sensor</i>
PMS	<i>Ponto morto superior</i>
PMI	<i>Ponto morto inferior</i>
V	<i>Volts</i>
KV	<i>Kilo volts</i>
MAP	<i>Manifold absolute pessure</i>
MAF	<i>Mass air flow</i>
EGR	<i>Exhaust gas recirculation</i>
HP	<i>Horse Power</i>
LB-FT	<i>Pound foot</i>
ED	<i>External driver</i>
RPM	<i>Rotações por minuto</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3	PROPOSTA DO TRABALHO	16
3.1	Motivação	16
3.2	Objetivos.....	16
3.3	Justificativa	16
3.4	Metodologia	16
4	CONCEITOS TEÓRICOS.....	18
4.1	Os motores de combustão interna (MCI)	18
4.2	Constituição de um MCI.....	21
4.2.1	Componentes fixos	21
a)	Bloco do motor e cárter	21
b)	Cabeçotes	21
4.2.2	Componentes móveis	21
a)	Êmbolo ou Pistões	21
b)	Biela	22
c)	Árvore de manivelas ou (virabrequim).....	22
d)	Comando de válvulas.....	22
e)	Válvulas.....	22
f)	Volante	23
4.3	A mistura Ar-Combustível (A/C).....	23
4.3.1	Variações da mistura Ar-Combustível (A/C)	24
a)	Regime de partida a frio	24
b)	Regime de aquecimento do motor	24
c)	Regime de marcha lenta	24
d)	Regime de carga parcial	24
e)	Regime de plena carga	25
f)	Regime de acelerações.....	25
g)	Regime de desaceleração.....	25
4.4	Sistema de ignição	25

4.4.1	Elementos constituintes de um sistema de ignição	26
4.4.2	O tempo de ignição.....	27
4.4.3	Variações no tempo de ignição.....	28
4.4.4	A ignição eletrônica mapeada.....	29
4.4.5	Sistema de gerenciamento programável (HIS)	30
5	Desenvolvimento do projeto	31
5.1	O motor utilizado: Honda GX25	31
5.2	Os sensores utilizados.....	32
5.3	As alterações no sistema de ignição.....	36
5.5	As dificuldades encontradas.....	40
6	Considerações finais.....	41
6.1	Propostas de melhoria	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o cenário automotivo está totalmente voltado à sustentabilidade, pede-se que profissionais desta área estejam cada vez mais capacitados e empenhados a aumentarem os níveis de eficiência dos veículos automotores e que para isto utilizem materiais e tecnologias que otimizem alguns aspectos como peso e vida útil do produto. Por exemplo, para que as empresas se tornem competitivas perante as demais concorrentes, devem cada vez mais otimizarem seus produtos afim de que ele se tornem mais atraentes a visão dos consumidores devido a proposta de eficiência, conforto e preocupação com o meio ambiente empregadas a cada produto.

A partir deste preceito, os novos projetos que estão sendo lançados estão cada vez mais eficientes, o que implica em motores cada vez menores mantendo um ganho de torque e potência com um menor consumo de combustível, otimizando os níveis de emissão de poluentes e atendendo a uma legislação cada dia mais rigorosa. Isso só é possível com a adoção da eletrônica embarcada que torna os sistemas cada vez mais inteligentes e complexos e através dela é que vem se conseguindo alcançar tais níveis de precisão nos diversos sistemas de um veículo principalmente para a motorização e segurança dos veículos, itens estes que fazem bastante diferença na hora do consumidor escolher entre um produto ou outro.

Um bom exemplo das novas tecnologias eletrônicas são os sistemas com combustível alternativo e bi combustíveis bem como os motores híbridos. Segundo a Bosch (2013), os motores movidos a GNV (gás natural veicular) são uma boa alternativa principalmente do ponto de vista ambiental visto que ele é um combustível que emite uma quantidade muito menor de dióxido de carbono em comparação a gasolina e não apresenta nenhuma partícula ou odor nos gases de escape.

O GNV não necessita de aditivos na sua preparação e como não é derivado do petróleo, não passa por nenhum processo complicado e nem depende deste recurso sendo produzido através de recursos orgânicos. Os sistemas bicombustíveis são os que fazem com que os veículos utilizem mais de um tipo de combustível em

seu funcionamento, por exemplo, etanol ou gasolina ou qualquer mistura em proporção destes dois combustíveis. Segundo a Magneti Marelli (2012), uma das principais empresas na construção de softwares para veículos *flex fuel*¹, os mesmos representam 83% dos veículos vendidos, o que também ajuda no controle de emissões já que o etanol também é orgânico e emite uma quantidade menor de CO₂. Isto somente é possível através do controle feito pelas ECU's por meio da leitura dos diversos sensores que leem informações de variáveis como rotação, abertura de borboleta e quantidade de oxigênio nos gases de escape e permitem o controle minucioso no gerenciamento do motor.

Temos como bom exemplo, a tecnologia que normalmente utiliza um motor a combustão e um motor elétrico denominado veículo híbrido, que reduz a quantidade de emissões e utilização de bens naturais e além disto, torna os veículos mais silenciosos (TOYOTA, 2013).

A partir destes conceitos de controle eletrônico, redução de emissões e menor utilização de bens naturais, este trabalho retrata o ganho de eficiência de um motor de combustão interna (MCI) ciclo Otto a começar pela adoção de um sistema de controle de ignição eletrônico, que será gerenciado através de um sistema de controle HIS, que auxilia no gerenciamento de Motores, sendo possíveis diversos tipos de programação, para diversos tipos de regimes de funcionamento em que estes são submetidos. A ideia é mostrar o quão grande pode ser o ganho de eficiência com a mínima adoção de um simples sistema controlado eletronicamente e a partir deste conceito, entendermos a aquisição que a eletrônica embarcada pode trazer para os sistemas automotivos atualmente.

¹ *Flex fuel* – sistema “capaz de operar com qualquer mistura de gasolina e álcool em uma faixa entre o E25 e o E100” (<http://revistagt.fpl.edu.br/get/article/view/252>). Acesso em 16 de junho de 2013.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Businaro e Sforcin (2011) que utilizaram um sistema de gerenciamento eletrônico para um motor de combustão interna que originalmente não utilizava este tipo de dispositivo, ressaltaram que é importante o total controle das entradas e saídas para um resultado satisfatório no mapeamento e objetivos esperados, está ideia nos faz refletir muito sobre estes itens e fez com que tivéssemos uma grande atenção no quesito de montagem e controle das entradas e saídas.

O trabalho dos mesmos tem um foco voltado a emissões e potência diferente do nosso que tem como foco principal apenas a eficiência não importando qual seria a relação com ganho ou perda de potência porém por dedução esperamos também ter um ganho em todos os aspectos, como eles observaram que com a utilização do sistema HIS(mesmo sistema utilizado por nós neste trabalho) foi possível ter um ótimo resultado em todos os quesitos e em muitos os casos que este ganho foi muito significativo.

Uma observação interessante de Braga (2007) é a dificuldade em se ter uma unidade de controle ECU aberta para um estudo detalhado no controle eletrônico de motores, justamente o que o sistema de controle utilizado em nosso trabalho nos permite fazer e com isso avaliar a situação em estudo. o trabalho do mesmo se baseia em criar uma destas unidades programáveis porém com a utilização de somente alguns parâmetros e de acordo com o exposto sendo possível controlar corretamente os parâmetros de injeção e ignição porém devido a falta de equipamentos de medição não foi possível identificar por exemplo se o nível de emissões obtido respeitaria a legislação mas a estequiometria da mistura foi possível manter nas situações estudadas e através de seu dispositivo criar novos mapas de controle e até mesmo tomar estratégias diferenciadas.

3 PROPOSTA DO TRABALHO

3.1 Motivação

Este trabalho foi desenvolvido afim de criar um veículo protótipo para a participação na maratona da eficiência energética, gincana onde participam universitários com a iniciativa de promover projetos que visam alcançar a maior eficiência em veículos automotores com motores a combustão e elétricos, afim de mostrar o potencial dos alunos da Fatec de Santo André e com ideias simples levar o nome de nossa organização como sendo séria e de um potencial muito grande dentro do âmbito automotivo.

3.2 Objetivos

Obter uma melhor eficiência energética em um motor de combustão interna Honda GX25 de quatro tempos, a fim de reduzir o seu consumo, ou seja, a relação de quilometragem por litro de combustível utilizado somente com o controle eletrônico do sistema de ignição eletrônico.

3.3 Justificativa

Será realizado o trabalho a fim de fixar conhecimentos com calibração de motores e utilização das ferramentas de gerenciamento eletrônico, ferramentas essas que são cada vez mais empregadas no mercado automotivo. Será apresentado também o quão grande são as possibilidades e caminhos a serem tomados para se obter um melhor desempenho desses motores e principalmente as possibilidades de adoção de sistemas eletrônicos neste setor.

3.4 Metodologia

Será adicionado a um motor da marca Honda, modelo GX25, um sistema de leitura da abertura da borboleta (TPS), uma roda fônica e um sensor de rotação para que possamos entender em que fase o motor se encontra e utilizando um sistema de gerenciamento eletrônico HIS obter controle sobre o momento exato para ignição da mistura de ar-combustível de acordo com o regime em que o motor estará

trabalhando e assim minimizar os momentos onde o motor esteja desperdiçando energia, utilizaremos também um pencoil (sistema em que a bobina é acoplada diretamente a vela de ignição) e uma bateria auxiliar para alimentar os sistemas já que inicialmente este motor não possuía estas tecnologias e não se via necessário uma fonte de energia deste tipo.

4 CONCEITOS TEÓRICOS

4.1 Os motores de combustão interna (MCI)

Em 1862, Beau de Rochas dá início as análises sobre motores de combustão interna e patenteia a ideia que alguns anos depois seria concretizada por Nicolaus A. Otto em 1876 com a construção deste motor que no início foram baseados na teoria termodinâmica clássica afim de obter como resultado o estudo do funcionamento dos motores e a máxima eficiência térmica que poderiam ser atingidas por eles (BARROS, 2007).

Em 1971, Obert (apud BARROS, 2007) apresenta um trabalho sobre os fenômenos que estão ligados aos motores de combustão interna descrevendo uma análise sobre a curva de pressão versus ângulo da árvore de manivelas permitindo a avaliação de vários fenômenos envolvidos em MCI como, por exemplo, ignição, queima, detonação e velocidade de queima do combustível.

Motores de combustão interna são máquinas térmicas que através de uma conversão de energia química dos combustíveis geram calor e este é transformado em energia mecânica de trabalho, trabalho este gerado através do aumento da pressão dentro da câmera de combustão, ocasionado pela expansão dos gases da mistura de ar-combustível que ocorre dentro de um cilindro devido a sua combustão e só é possível por ser um processo cíclico e aberto onde os gases de combustão são eliminados e uma nova carga é admitida. Neste trabalho trataremos apenas com análise para motores de combustão interna para processos de quatro tempos, ciclo Otto, pois é característica do motor utilizado.

O MCI com processo de quatro tempos caracterizam-se pela sincronização das válvulas e troca de gases que possui seus controles feitos pelo eixo comando acionados diretamente pela árvore de manivelas e com a metade da frequência de sua rotação. O eixo comando faz com que a válvula de escape abra eliminando cerca de 50% dos gases provenientes da combustão apenas pelo coeficiente de pressão supercrítico, conforme o pistão em seu ciclo ascendente se move até o PMS quase todo o gás de escape é expulso da câmera de combustão caracterizando o

ciclo de escape, logo após está fase e antes que a válvula de escape se feche a válvula de admissão se abre ocasionado um processo de sobreposição onde os processos de admissão e escape está ocorrendo paralelamente.

Tipo de processo	Processo aberto				Processo fechado					
	Combustão interna				Combustão externa					
	Gás de combustão Δ meio de serviço				Gás de combustão \neq meio de serviço					
					Transformação de fase em meio de serviço					
			Não		Sim					
Tipo de combustão	Combustão cíclica			Combustão contínua						
Tipo de ignição	Auto- ignição	Ignição fornecida externamente								
Tipo de máquina	Motor Δ máquina contendo uma câmara de serviço	Diesel	Híbrido	Ignição por centelha	Rohs	Stirling	Vapor			
	Turbina Δ turbina de gás				Gás	Vapor quente	Vapor			
Tipo de mistura		Heterogênea (na câmara de combustão)		Homogênea	Heterogênea (em uma chama contínua)					

Tabela 1 Classificação de Motor de Combustão Interna
(Fonte: Manual de Tecnologia Automotiva BOSCH, 2005)

A válvula de escape se fecha e o pistão em seu ciclo descendente começa aspirar a mistura nova a ser admitida caracterizando ciclo de admissão. Após isto teremos os dois ciclos sequentes que serão o de compressão, fase onde as duas válvulas se encontram fechadas e a pressão no interior do cilindro será elevada, nesta fase o pistão se deslocará do PMI para o PMS, e o de combustão fase onde teremos a ignição e a expansão dos gases, fase esta é a que gera trabalho (BOSCH, 2005).

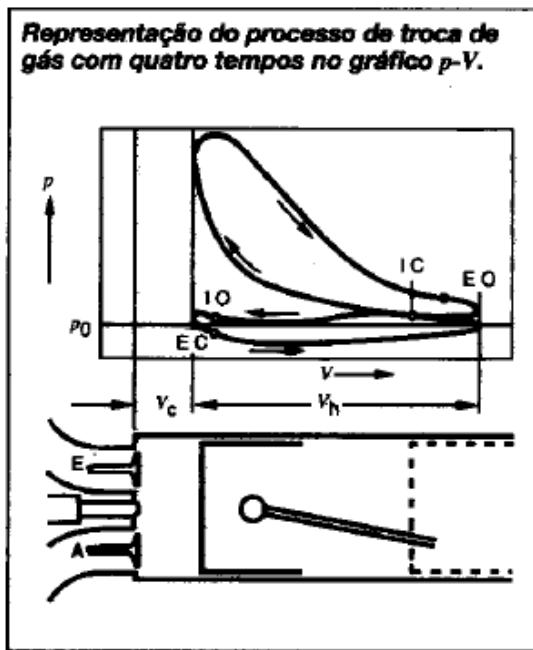


Figura 1 - Representação do Processo de Gás com Quatro Tempos no Gráfico.
(Fonte: Manual de Tecnologia Automotiva BOSCH, 2005)

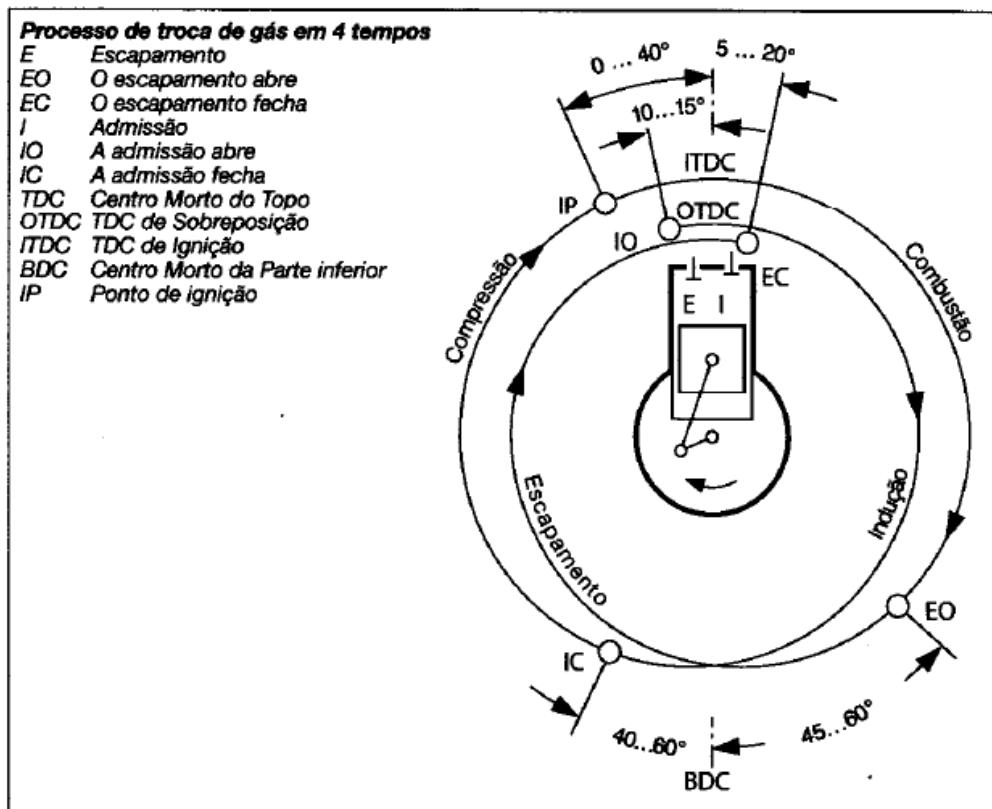


Figura 2 - Processo de troca de gás em 4 tempos.
(Fonte: Manual de Tecnologia Automotiva BOSCH, 2005)

4.2 Constituição de um MCI

Basicamente os motores de combustão interna possuem dois tipos de componentes sendo eles os fixos e móveis (SANTOS, 2009), sendo os componentes fixos caracterizados pelo bloco do motor, cárter e cabeçote. Já os componentes móveis são caracterizados pelos pistões, bielas, árvore de manivelas ou virabrequim, comando de válvulas, válvulas e volante do motor. As características desses componentes são detalhadas nos itens 4.2.1 e 4.2.2 a seguir.

4.2.1 Componentes fixos

a) Bloco do motor e cárter

O bloco do motor e cárter suportam todo o conjunto de transferência de força entre o cabeçote e a árvore de manivelas, apoia os mancais da árvore de manivelas, no bloco estão dispostas as camisas e as galerias de óleo e água e é utilizado para fixação e/ou suporte para a maioria dos sistemas auxiliares do motor tendo o cárter normalmente prolongado abaixo do eixo central da árvore de manivelas para obter maior resistência (BOSCH, 2005).

b) Cabeçotes

Montados na extremidade superior do bloco eles vedam os cilindros e nele estão alojados os conjuntos de válvulas, velas, injetores de combustível e na grande maioria dos MCI's principalmente para veículos leves são o alojamento do comando de válvulas, também são os responsáveis pelo design da câmara de combustão juntamente com o desenho dos pistões (BOSCH, 2005).

4.2.2 Componentes móveis

a) Êmbolo ou Pistões

Os pistões possuem várias funções em um MCI das quais algumas das mais importantes são transferir a força gerada pela combustão as bielas, vedar as câmaras de combustão para com a árvore de manivelas e absorver parte do calor gerado na combustão. Eles podem possuir vários formatos e configurações de pinos

devido as características com que se é construído o motor e por estar constantemente exposto a um ambiente severo esperasse que ele trabalhe o mais leve possível e resista a todo este esforço e temperatura a qual são submetidos (BOSCH, 2005).

b) Biela

A biela faz a junção entre o pistão e a árvore de manivelas, também operando em um ambiente severo deve possuir uma alta resistência a esforços de compressão de tração e flexão e tem seu comprimento diferenciado devido a construção de cada motor (BOSCH, 2005).

c) Árvore de manivelas ou (virabrequim)

Tem como sua principal função transformar o movimento linear alternado dos pistões transferidos pelas bielas até ela em movimento rotativo disponibilizando para o sistema de transmissão todo o torque possível, tem sua geometria muito complexa e cuidadosamente calculada devido aos vários esforços a qual é submetida visto que dependendo do tipo de motor utilizado pode variar seu material e processo pelo qual é fabricada como, por exemplo, árvores de manivelas que são submetidas a tensões altas acabam sendo forjadas e em aplicações de menor esforço podem ser fabricadas em ferro fundido (BOSCH, 2005).

d) Comando de válvulas

Sua função é controlar todo o movimento das válvulas de admissão e escape visto que seu acionamento se da pela árvore de manivelas seja através de correia, corrente ou engrenagem e controlam através de cames a abertura, fechamento, altura dentre outras variáveis na dinâmica das válvulas (BOSCH, 2009).

e) Válvulas

As válvulas precisam possuir propriedades térmicas e uma ótima dureza superficial devido a trabalhar sob um regime de temperatura muito alta e são elas responsáveis por permitir a entrada e saída tanto da mistura de ar-combustível quanto as dos gases de escape.

f) Volante

O volante do motor é responsável por armazenar a energia cinética proveniente da queima da mistura de ar-combustível no tempo de expansão e manter o motor em funcionamento durante suas demais etapas, geralmente fabricado em aço e também responsável por como será o comportamento do motor (mais lento ou mais rápido em relação a sua rotação) (SANTOS, 2009a).

4.3 A mistura Ar-Combustível (A/C)

A mistura ar-combustível é uma relação direta entre as massas dos mesmos (mistura real) e pode variar de acordo com o regime de funcionamento do motor, ela possui valores definidos para uma relação correta do ponto de vista químico chamado valor estequiométrico (mistura estequiométrica) e é definido por um fator chamado lambda (λ) que tem sua equação dada por

$$\lambda = \frac{\text{mistura real}}{\text{mistura estequiométrica}}, \quad \text{Eq. 4.1}$$

onde λ pode assumir os seguintes valores:

$\lambda = 1$: Mistura quimicamente correta;

$\lambda > 1$: Mistura denominada pobre, onde há uma quantidade maior de ar do que combustível;

$\lambda < 1$: Mistura denominada rica, ou seja, uma mistura onde a quantidade de combustível é superior a da razão estequiométrica.

Esses valores, como já dito anteriormente, podem variar de acordo com o regime de operação dos motores e estarem normalmente subentendidos a partir de 0,75 até 1,7 em casos mais extremos visando uma melhor eficiência (SANTOS, 2009a).

4.3.1 Variações da mistura Ar-Combustível (A/C)

De acordo com as faixas de trabalho de um MCI mostraremos agora os diversos comportamentos sobre a mistura A/C, nos regimes de partida a frio, de aquecimento do motor, de marcha lenta, de cargas parciais e plenas, de aceleração e desaceleração.

a) Regime de partida a frio

No regime de partida a frio a mistura A/C ao entrar em contato com as peças do motor ainda frias fazem com que o combustível se torne líquido e tenha uma parte de sua massa retida nestas peças fazendo com que a mistura se torne pobre prejudicando a partida do motor, uma estratégia muito comum é um leve enriquecimento da mistura nesta fase.

b) Regime de aquecimento do motor

Nesta fase o motor necessita que as peças no caminho do fluxo da mistura se aqueçam rapidamente para que o motor atinja sua temperatura de trabalho para isto normalmente é utilizada a estratégia de enriquecimento da mistura como na partida a frio até que essa temperatura seja alcançada.

c) Regime de marcha lenta

Nesta fase o motor somente necessita do mínimo torque para se manter em funcionamento e é nesta fase onde se encontra o maior nível de consumo de combustível, cerca de 30%, provenientes de uma diferença de pressão entre o cilindro e o coletor de admissão onde se retorna parte dos gases de escape para a admissão diminuindo o poder de combustão desta e fazendo com que ela seja enriquecida novamente.

d) Regime de carga parcial

Regime este compreendido entre o momento da abertura da borboleta à três quartos do seu total e normalmente possuem nesta fase uma mistura mais próxima da estequiométrica possível.

e) Regime de plena carga

Neste regime subentendesse a fase de abertura acima dos $\frac{3}{4}$ da borboleta e a mistura deve ser rica devido à necessidade da entrega de potência disponível do motor.

f) Regime de acelerações

Nesta fase as mudanças bruscas da posição da borboleta de aceleração causam uma variação na pressão no interior do coletor de admissão e ocasionado um baixo nível de evaporação do combustível forçando o sistema a novamente enriquecer a mistura.

g) Regime de desaceleração

Nesta fase o sistema encontra o fechamento da borboleta e ao contrário da fase de aceleração a pressão no interior do coletor de admissão diminui ocasionando um enriquecimento da mistura o que poderá causar danos ao catalisador e consumo excessivo de combustível, neste caso algumas estratégias como o *cut-off* (corte na alimentação de combustíveis) podem ser tomadas para diminuição dos valores de gases a serem emitidos e consumo de combustível desnecessários (SANTOS, 2009b).

4.4 Sistema de ignição

O sistema de ignição é o responsável por enviar uma centelha ao interior dos cilindros de um MCI ciclo Otto e está centelha é por sua vez responsável pela queima da mistura ar/combustível admitida pelos cilindros do motor, para que esta queima ocorra se faz necessário que o sistema de ignição envie para as velas uma tensão entre 5 e 20KV bem diferente dos 12V gerados pela bateria dos veículos, a seguir mostraremos resumidamente como funciona um sistema ignição para que está centelha tenha a tensão requerida para cada regime de funcionamento do motor, como elas são distribuídas aos cilindros baseado no sistema mais comum e

suas evoluções até termos o sistema eletrônico que será utilizado em nosso projeto (DELATORE, 2013).

4.4.1 Elementos constituintes de um sistema de ignição

Para que o sistema de ignição funcione corretamente a tensão gerada pela bateria deve ser amplificada para os níveis já comentados acima e para isto se faz necessário a utilização de uma bobina de ignição que é responsável por este trabalho, após este passo é entendido que está centelha seja enviada até a vela de ignição e para isto utilizamos um distribuidor que como o nome já diz distribui as centelhas de acordo com a rotação e ordem de ignição de cada motor com a ajuda do cachimbo e do platinado que faz o chaveamento da alta tensão gerada pela bobina e a partir daí é enviada para as velas de cada cilindro (DELATORE, 2013), sendo que a Figura 3 é apresentado o sistema básico de ignição, cujos índices de 1 a 7 correspondem, respectivamente à bateria (1), chave de ignição (2), bobina de ignição (3), distribuidor de ignição (4), condensador (5), platinado (6) e velas de ignição (7).

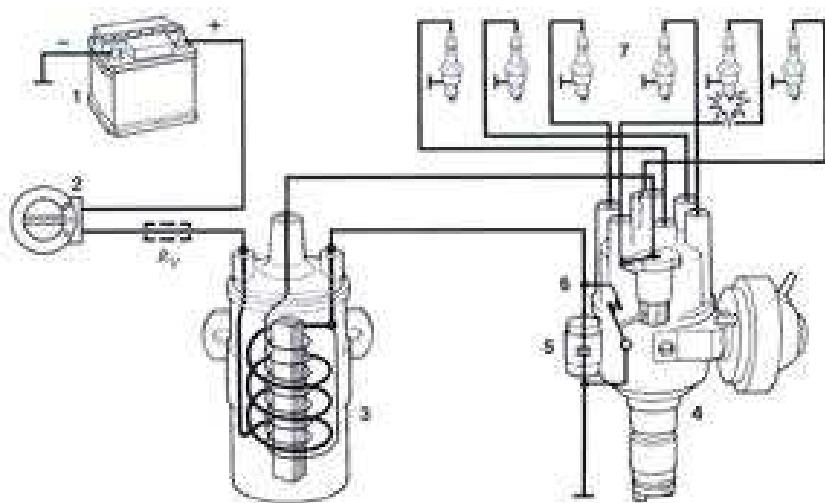


Figura 3 - Componentes de um sistema de ignição convencional.
 (Fonte: <http://www.mecanicaautomotiva.com/70009/forum/elc3a9trica/1135-sistema-de-ignic3a7c3a3o-com-ignic3a7c3a3o-convencional>)

4.4.2 O tempo de ignição

O período do eixo do distribuidor do sistema de ignição é relacionado com a rotação do motor já que sabemos que para cada volta do eixo comando onde está acoplado nosso sistema de ignição, o virabrequim realiza duas voltas e através desta relação estimamos a tensão para a geração da centelha.

$$T_{eixo} = \frac{1}{\frac{RPM_{motor}}{120}} [s]. \quad \text{Eq. 4.2}$$

O eixo do distribuidor possui ressaltos de acordo com o número dos cilindros do motor e estes são responsáveis pela abertura e fechamento do platinado de acordo com a rotação do motor. Através destas variáveis, número de ressaltos, período do eixo do rotor e número de cilindros podemos calcular o tempo de armazenamento de energia da bobina [s] de ignição através da Equação 4.3

$$T_{armaz.} = \frac{T_{eixo}}{(n^{\circ} \text{ cilindros})} [s] \quad \text{Eq. 4.3}$$

onde $T_{platinado}$ é o tempo em que o platinado permanece fechado.

O intervalo angular entre a abertura e o fechamento do platinado em relação aos ressaltos do eixo rotor recebe o nome de *dwell* e é definido pela Equação 4.4

$$dwell = \frac{\gamma_{armaz.}}{\eta_{res}} \cdot 100 [^{\circ}] \quad \text{Eq. 4.4}$$

O tempo em que o platinado permanece fechado é importantíssimo já que a energia armazenada é dependente dele logo a energia armazenada é o que fará com que a mistura A/C seja queimada por completo, com o aumento da rotação do

motor este tempo tende a ser cada vez menor e consequentemente a energia acumulada cada vez menor prejudicando assim a queima da mistura e o rendimento do motor (DELATORE, 2013).

4.4.3 Variações no tempo de ignição

Com o problema apresentado no tópico anterior se fez necessário avaliar o momento exato em que a centelha deve ser liberada e para que este controle fosse possível foi adotado um sistema conhecido como ignição eletrônica, a partir dai viu-se que para resolver este problema podíamos utilizar atrasos e avanços no ponto em que esta centelha será liberada ao motor e esta estratégia resultará em um controle a partir da rotação e carga do motor fazendo com a centelha seja agora liberada em um momento mais propício a queima do combustível (DELATORE, 2013). O gráfico a seguir mostra genericamente como se comporta a propagação da chama em relação ao ângulo de ignição.



Figura 4 - Propagação da Chama.

Fonte: Aula Ministrada na Fatec Santo André².

Com os problemas e conhecimento que foram sendo adquiridos com o tempo sobre o sistema de ignição e o funcionamento do motor e suas reações foram se

² FRÓES, Marco Aurélio. Santo André: Faculdade de Tecnologia de Santo André, 28 de agosto de 2009. Aula ministrada aos alunos do curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva.

fazendo necessário várias melhorias nos sistemas até chegarmos nos dias de hoje, comentaremos somente os sistemas de ignição eletrônica mapeada que é o sistema utilizado em nosso trabalho e também um dos mais completos hoje em dia.

4.4.4 A ignição eletrônica mapeada

Hoje em dia existem sistemas moderníssimos em gerenciamento eletrônico de motores que tornam possíveis o controle minucioso no fornecimento de injeção e ignição, afim de obter um desempenho cada vez melhor bem como atender os requisitos da legislação quanto as emissões de gases de escape por exemplo.

Os sistemas eletrônicos têm como função analisar dados obtidos através de sensores enviados a ECU e com isto definir a melhor estratégia a ser adotada, estas estratégias é denominado mapas de ignição e injeção e são definidos pelo corpo de engenharia de cada montadora através da calibração de seus respectivos motores. Hoje em dia este controle eletrônico já pode ate mesmo trabalhar com sistemas de ignição com bobinas individuais e sem a utilização de distribuidores sendo controlados pela ECU a que cilindro deve receber a centelha e o exato momento deste acontecimento que é controlado, por exemplo, pelo sensor de detonação, sensor este que indica se está ocorrendo detonação espontânea dentro do cilindro e ajuda a ECU a aperfeiçoar este momento (DELATORE, 2013).

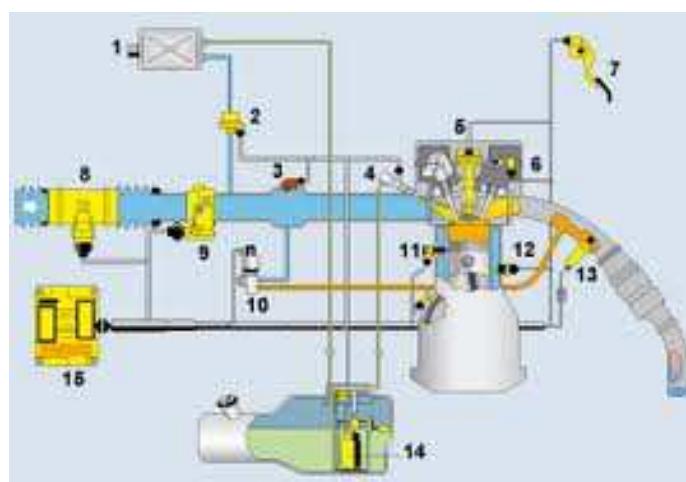


Figura 5 - Sistema de Controle Eletrônico Drive by Wire (Fonte: Manual de Injeção Eletrônica Bosch³).

³ BOSCH, Robert. *Manual de Injeção Eletrônica Bosch*, 2008.

4.4.5 Sistema de gerenciamento programável (HIS)

O sistema de gerenciamento programável (HIS) em nosso caso utilizado a versão PW6X é constituído de um software de controle para computadores, uma unidade de controle programável e chicotes que conectam a unidade de controle aos sensores e atuadores presentes no MCI. Este dispositivo foi criado para uso exclusivo em veículos de competição, porém já se mostra muito eficaz em diversas aplicações na área automotiva devido a flexibilidade de seu software (HIS, 2013).

5 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Nosso projeto consiste em agregar a um MCI (motor Honda GX25 de quatro tempos) um sistema de controle eletrônico de ignição mapeado e avaliar o quanto isto acarreta em uma melhoria na eficácia deste motor, inicialmente funcionamos o motor em seu estado original e avaliamos o que deveria ser alterado para que este motor recebesse tal controle eletrônico, já que não havia preparação alguma para isto como sensores a serem utilizados, alterações no sistema de ignição e adoção de um sistema gerenciador eletrônico.

5.1 O motor utilizado: Honda GX25

O motor utilizado em nosso trabalho será um GX25 Honda, motor este de quatro tempos refrigerado a ar com potência de 1 HP @ 7000 rpm com torque de 0.74 lb-ft @ 5000 rpm, inicialmente possuía um sistema de ignição transistorizado magnético e funcionamento com qualquer combustível com 86 octanas ou mais.

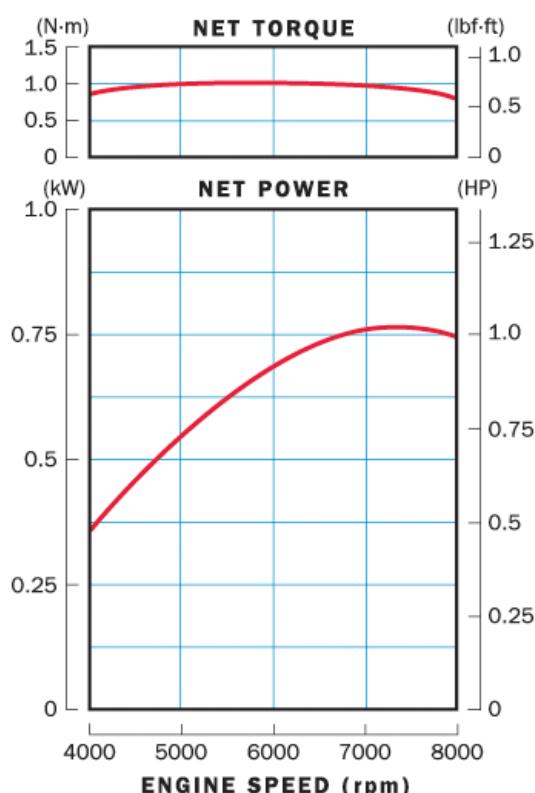


Figura 6 - Gráfico de torque e potência (Fonte: Manual de especificações motor GX25).

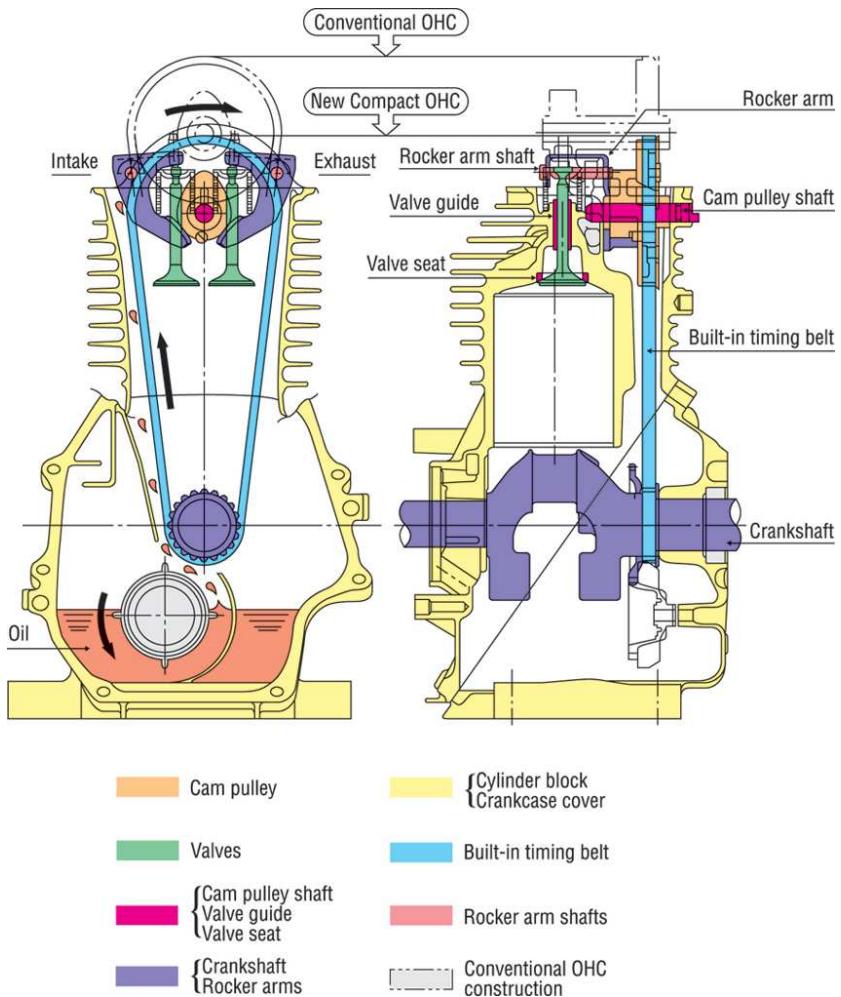


Figura 7 - Construção do motor (Fonte: Manual de especificações motor GX25).

5.2 Os sensores utilizados

Primeiramente agregamos ao sistema de admissão um TPS (*throttle position sensor*), ou seja, sensor de posicionamento angular da borboleta do sistema de admissão, este sensor é um potenciômetro com curva característica linear, tem seu funcionamento dado em 5 volts e varia sua resistência conforme ângulo da válvula borboleta, este sensor será imprescindível para o funcionamento do HIS como comentado no tópico de ignição 4.3 que diz que o gerenciamento eletrônico da ignição depende também da carga do motor e está é reconhecida através da informação obtida através do TPS.



Figura 8 – Montagem do TPS
(Fonte: Foto retirada da montagem do projeto).

Nosso sensor TPS foi fixado à borboleta de abertura do sistema de admissão e ligado ao gerenciador HIS que fará a interpretação deste sinal para que possamos no mapeamento fazer as correções e ajustes de acordo com estas informações.

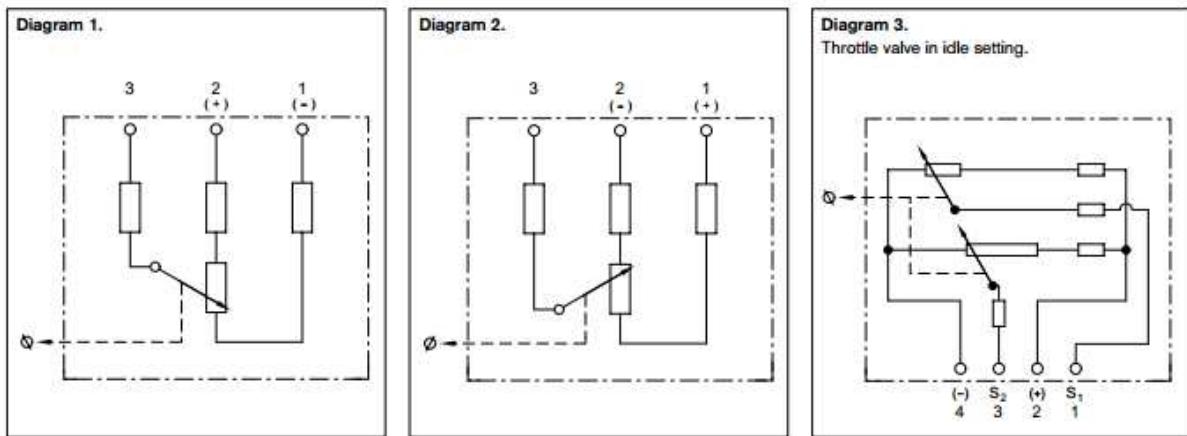


Figura 9 - Diagrama de hardware do sensor TPS
(Fonte: http://www.bosch.com.au/content/language1/downloads/sensors_throttleposition.pdf).

Outro sensor utilizado e imprescindível para o sucesso deste projeto é o sensor de rotação, para que este sensor funcionasse em nosso projeto foi necessário se adicionar uma roda fônica ou roda dentada de 60-2 dentes, como utilizada na maioria dos motores maiores, está é responsável por emitir o sinal para o sensor de rotação que emiti uma tensão gerada pelo campo magnético de acordo com a passagem dos dentes da roda fônica e através da região da falha na roda fônica identifica o momento em que a faísca deve ser emitida para o motor, foi escolhida está peça devido ao conhecimento do seu funcionamento simplificando assim nossa montagem como mostrado na figura 10 abaixo.



Figura 10 – Sensor de Rotação
(Fonte: Foto da montagem do projeto).

A montagem do sensor de rotação deve ser feita bem próxima a roda fônica deixando a ponta do sensor a aproximadamente 1mm dos dentes da roda fônica para obter o melhor aproveitamento do campo magnético entre elas.



Figura 11 – Fixação da Roda Fônica
(Fonte: Foto retirada da montagem do projeto).

A figura 11 mostra como foi fixada a roda fônica devido a não haver local específico para fixa-la, foi necessário à montagem juntamente a uma polia já existente no motor original onde a mesma é fixada ao eixo virabrequim.

5.3 As alterações no sistema de ignição.

Primeiramente, como já comentado anteriormente, o motor GX25 possuía um sistema de ignição transistorizada com uma pequena bobina de ignição alimentada por um campo magnético gerado através de uma roda magnetizada, bem semelhante a uma roda fônica, porém sem os dentes, utilizava-se também uma vela de ignição e um cabo responsável por levar a faísca da bobina até a vela de ignição.

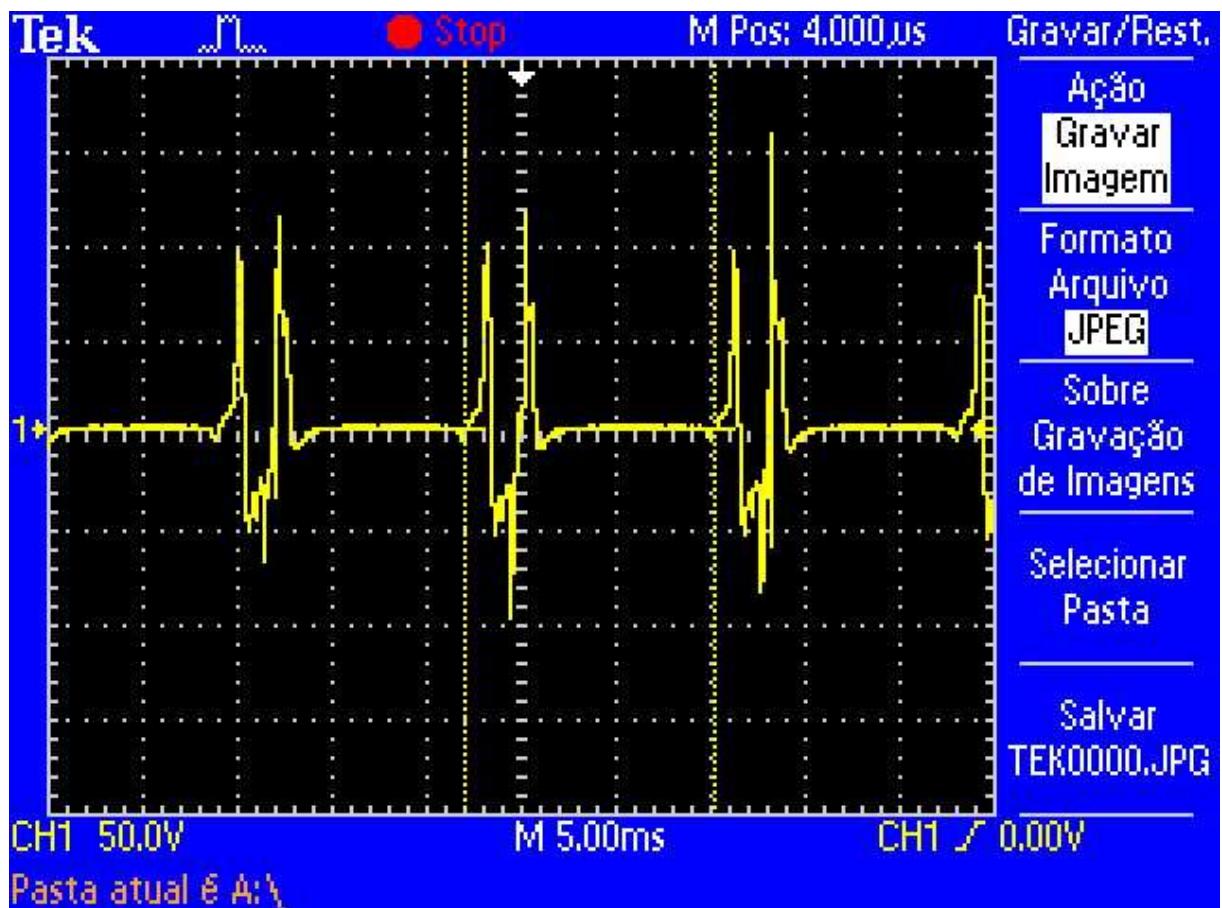


Figura 12 - Sinal do Sistema de Ignição Original extraído do Osciloscópio
(Fonte: Dados do Osciloscópio, 2013).

Este sistema foi substituído por um *pencoil*, ou seja, uma bobina com driver de potência interna o que nos favorece a utilização do gerenciador eletrônico HIS com a versão ED (*external driver*), está bobina é originalmente utilizada no veículo Volkswagen Jetta e seu funcionamento é bem simples sendo necessário apenas fornecer a ela o sinal de ignição e a conversão de potência é totalmente feita por ela, também não é necessário a utilização de um cabo que leve a faísca gerada até a vela de ignição já que esta é ligada diretamente ao *pencoil*. Como comentado no tópico anterior foi adicionada uma roda fônica que junto ao sensor de rotação são responsáveis a fornecer o sinal de ignição ao HIS que utiliza esta informação e envia o sinal diretamente ao sistema de ignição através da leitura do mapa desenvolvido.



Figura 13 – Montagem do pencoil
(Fonte: foto retirada do projeto).

O pencoil foi colocado substituindo o sistema que inicialmente possuía uma bobina e um cabo que ligava esta à vela localizada no corpo do motor.

5.4 O mapa de ignição

O mapa de ignição nada mais é do que uma espécie de planilha onde se determina valores de ponto de ignição determinados através do cruzamento da carga do motor pela rotação em nosso caso, porém pode ser determinado através de outras variáveis, este mapa inicialmente fazia com que o funcionamento do motor fosse irregular porém analisando seu funcionamento e alterando parâmetros do mapa conseguimos chegar a mapa bem interessante e um funcionamento do motor bem melhor do que o anterior visto que a marcha lenta pode ser baixada de 4000 rpm's para cerca de 1500 rpm's, isto mesmo sem podermos mensurar, devido a falta

de um dinamômetro de bancada, nos leva a uma conclusão de que a utilização de combustível com certeza foi otimizada, e o funcionamento do motor ficou bem mais suave do que o anterior, também através do gerenciador pode se limitar a rotação máxima através do corte do sistema de ignição e fazendo com que não se utilize o motor em condições de rotação mais severas do que o necessário para devidos fins, fazendo com que seja salvo mais combustível através da entrega apenas da potência desejada e nada mais.

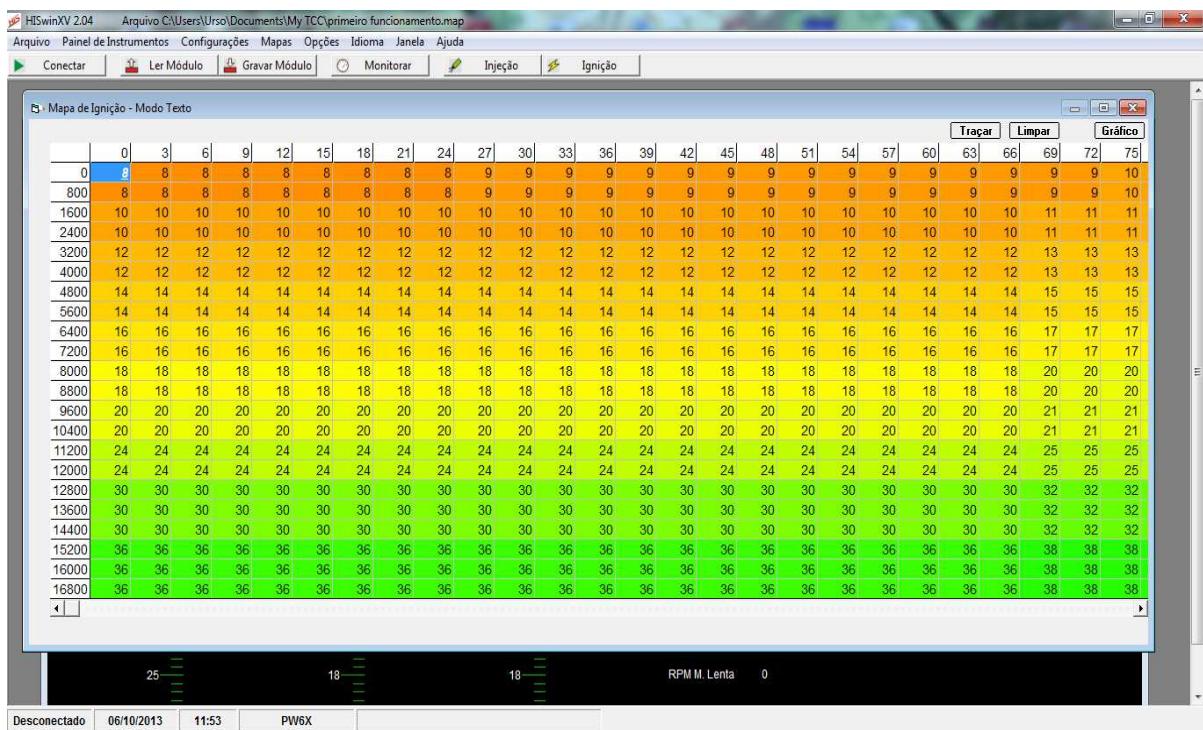


Figura 14 - Mapa de Ignição

(Fonte: Dados do software de calibração da HIS).

Acima podemos ver nosso mapa de ignição finalizado, a coluna da esquerda mostra os valores de rotação enquanto na coluna superior mostra os valores de carga do motor e o mapa busca os valores do ponto de ignição para cada cruzamento destas duas variáveis, otimizando assim o ponto exato da ignição para cada regime de funcionamento.

5.5 As dificuldades encontradas.

As primeiras dificuldades encontradas foram a fixação dos sensores e atuadores já que o motor GX25 é pequeno e não possui locais adequados a fixação destes dispositivos, o desafio maior nesta parte foi do sensor de rotação já que este é um sensor que necessita de uma fixação extremamente estável, para seu correto funcionamento viu se necessário utilizar dois suportes para uma boa fixação, fazendo com que o sensor se comporte de forma eficaz visto que em algumas rotações a ressonância causa uma vibração no sensor prejudicando seu funcionamento e aliado a isto a centralização da roda fônica fez se um ponto difícil e imprescindível para o funcionamento do sensor de rotação, pois o sensor trabalha muito próximo a ela e a vibração pode causar danos ao sensor. Outro ponto de dificuldade foi entender a ligação do pencoil já que para isto tivemos que estudar o seu funcionamento diretamente através do mapa de ligação elétrica do veículo, pois a literatura sobre o mesmo é bastante escassa e de difícil acesso, nossa primeira tentativa foi frustrada e danificamos o drive devido a ligação estar incorreta, porém em uma próxima tentativa obtivemos o sucesso na ligação e funcionamento da bobina.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conseguimos alcançar um melhor funcionamento do motor e apesar de não conseguirmos mensurar podemos dizer que conseguimos salvar combustível e tornar o funcionamento do GX 25 mais eficiente e suave que originalmente ele se encontrava devido ao regime de marcha lenta ter sido melhorado e sua rotação diminuída de cerca de 4000 rpm para aproximadamente 1500 rpm, a diminuição da rotação neste regime nos remete a chegar a está conclusão visto que ao decorrer de minha pesquisa identifiquei que o regime que mais consome combustível é o regime de marcha lenta e que está rotação de 4000 rpm é excessiva para este regime em motores de ciclo Otto. (BRAGA, 2007) enfatiza que através do controle de marcha lenta se controla a vazão de ar e com isso o fator lambda afetando também a rotação.

A resposta às mudanças de regime foram positivas, e também a possível utilização de regimes de rotação mais alta devido ao controle do ponto de ignição, permitindo adotar valores superiores ao do sistema original. O controle de qual rotação se quer alcançar e como controlar a maneira que se quer chegar até elas utilizando a melhor estratégia para que se tenha a melhor eficiência e não se desperdice combustível já que o momento de entrega da centelha está sendo controlado.

Também o gerenciamento eletrônico permitiu que se controle estas variáveis como se desejar e abre um leque bastante grande para futuras melhorias já possibilitando a utilização de injeção mapeada por exemplo.

6.1 Propostas de melhoria

- Adicionar o sistema de injeção ao gerenciador eletrônico e sua calibração;
- Adicionar outros sensores e atuadores de um sistema eletrônico, visando otimizar as informações recebidas e utiliza-las na calibração do motor;
- Utilizar um dinamômetro de bancada para mensurar como o motor se encontra atualmente e poder enxergar a diferença que se pode alcançar em termos de eficiência após as melhorias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, José Eduardo Mautone. *Estudo de Motores de Combustão Interna Aplicando Análise Orientada a Objetos*. Disponível em: <http://www.mautone.eng.br/works/PhDThesis/Cap0a3_Introducao%26Revisao.pdf>. Acesso em 31 de Março de 2013.

BOSCH. *Port Fuel Injection bicombustível/GNC*. Disponível em: <http://www.bosch-tecnologiaautomotiva.com.br/pt_br/br/powertrain_2/powertrain_systems_for_passenger_cars_3/bi_fuel_cng_port_fuel_injection_2/bi_fuel_cng_port_fuel_injection_1.html> . Acesso em 09 de junho de 2013.

BOSCH. *Manual de Tecnologia Automotiva*. Tradução de Euryale de Jesus Zerbini et al. São Paulo: Edgard Blucher, 2005, 1231 p.

BRAGA, Gabriel Teixeira. *Uma Contribuição ao Controle de Motores de Combustão Interna de Ignição por Centelha na Condição de Marcha Lenta*. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/documentos/Defesas/700/Dissertacao_vFinal_gabriel_braga.pdf>. Acesso em 31 de Março de 2013.

BUSINARO, Daniel Alvarez; SFORCIN, Fabrício Cristiano Fróes. *Implementação de um sistema de gerenciamento eletrônico programável para motores de combustão interna*. Disponível em: <<http://www.fatecsantoandre.com.br/tccs.html>>. Acesso em 09 de Junho de 2013.

DELATORE, Fábio. *O sistema de ignição automotiva*. Acesso em 22 de Junho de 2013.

HIS. *Manual de instalação e operação*. Disponível em: <<http://www.his-power.com.br/manuais/Manual%20PW6X%20REV15.pdf>>. Acesso em 10 de junho de 2013.

MAGNETI MARELLI. *Magneti Marelli atinge marca histórica*. Disponível em: <<http://www.magnetimarelli.com.br/noticia.php?id=152>>. Acesso em 09 de junho de 2013.

SANTOS, Antonio Moreira dos. a. *Introdução aos motores de combustão interna*. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/13183029/Introducao-Ao-Motores-de-Combustao-Interna>>. Acesso em 30 de Maio de 2013.

SANTOS, Antonio Moreira dos. b. *Preparação da mistura ar-combustível*. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/13183026/Estequiometria-Preparacao-Da-Mistura-ArCombustivel>>. Acesso em 30 de Maio de 2013.

TOYOTA. *Tecnologia Híbrida.* Disponível em: <
http://www.toyota.pt/inside_toyota/environment/green_technologies/hybrid_technology_tmex> Acesso em 07 de junho de 2013.