

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ
TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA AUTOMOTIVA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IGNIÇÃO
ELETRÔNICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE UMA IGNIÇÃO
DISTRIBUÍDA**

**EDUARDO BATISTA DE SOUZA
THIAGO DUARTE BRASIL**

**SANTO ANDRÉ – SÃO PAULO
2017**

**EDUARDO BATISTA DE SOUZA
THIAGO DUARTE BRASIL**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IGNIÇÃO
ELETRÔNICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE UMA IGNIÇÃO
DISTRIBUÍDA**

*Monografia apresentada ao Curso de
Tecnologia em Eletrônica Automotiva da
FATEC Santo André, como requisito parcial
para conclusão do Curso de Tecnologia em
Eletrônica Automotiva.*

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

**SANTO ANDRÉ – SÃO PAULO
2017**

FICHA CATALOGRÁFICA

S729d

Souza, Eduardo Batista de
Desenvolvimento de um sistema de ignição eletrônica para substituição de uma ignição distribuída / Eduardo Batista de Souza, Thiago Duarte Brasil. - Santo André, 2017. – 98f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2017.

Orientador: Prof. Edson Caoru Kitani

1. Eletrônica automotiva. 2. Sistema de ignição. 3. Ignição mapeada. 4. Roda fônica. 5. Sistema mecânico. I. Brasil, Thiago Duarte. II. Desenvolvimento de um sistema de ignição eletrônica para substituição de uma ignição distribuída

621.389

FOLHA DE APROVAÇÃO



Faculdade de Tecnologia de Santo André

CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 19 de Dezembro de 2017

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
"DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INIÇÃO ELETRÔNICA
PARA SUBSTITUIÇÃO DE UMA INIÇÃO DISTRIBUÍDA." DOS
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:
PROF. EDSON CAORU KIYANI

MEMBROS:
PROF. CLEBER WILLIAN GOMES

PROF. MARCO ALRÉLIO FROES

ALUNO:

EDUARDO BATISTA DE SOUZA

THIAGO DUARTE BRASILE

Dedicamos este trabalho a nossa família que nos apoiaram e incentivaram. Com a contribuição para o nosso crescimento profissional e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente a Deus, que nos deu saúde e força para superar todas as dificuldades.

A nossa família. Mãe, o seu cuidado e dedicação foi o que nos deu a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estamos sozinhos nessa caminhada.

A todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de nós, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

A instituição Fatec Santo André e funcionários, por nos proporcionar toda a estrutura para a realização deste trabalho.

A todos os professores desta instituição, por nos dar conhecimento e suporte. Em especial, ao nosso orientador Prof. Dr. Edson Caoru Kitani, pela paciência, dedicação e ensinamentos que possibilitaram a realização deste trabalho.

Ao mundo por mudar as coisas, por nunca as fazer serem da mesma forma, pois assim não teríamos o que pesquisar, o que descobrir e o que fazer, através disso conseguimos concluir a nossa monografia.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

RESUMO

Os sistemas mecânicos começaram a perder um grande espaço nos veículos após a substituição de alguns componentes por sistemas eletrônicos. Um dos primeiros sistemas a serem substituídos foi o carburador, onde se tinham vários componentes não controlados que gerava uma gama de poluentes nocivos à saúde. Então, foi desenvolvido a central eletrônica de injeção que gerenciava o sistema de injeção e ignição no motor. A partir das limitações que um sistema de ignição por distribuidor impõe no rendimento do motor e no controle de emissões, verificou-se a possibilidade da construção e a realização de uma ignição mapeada para a substituir o distribuidor. Neste trabalho será realizado a substituição de um sistema de ignição com distribuidor por um sistema de ignição que utiliza roda fônica. O sistema escolhido para a construção foi com o objetivo de obter um melhor controle sobre o tempo de ignição, sendo posteriormente usado parte da construção para o controle de injeção. Os resultados obtidos nesse experimento têm mostrado que o sistema desenvolvido apresenta uma melhora no rendimento do motor, com a vantagem de proporcionar novas estratégias de controle, permitindo melhorar ainda mais o sistema desenvolvido.

Palavras-chave: Sistemas de ignição, Ignição Mapeada, Roda fônica.

ABSTRACT

Mechanical systems began to lose a lot of space in vehicles after replacement by electronic systems. One of the first systems to be replaced was the carburetor, where there were several uncontrolled components that generated a range of pollutants that were harmful to health. Then the electronic injection central was developed that managed the system of injection and ignition in the engine. But even the electronic injection central entering in the place carburetor had components that aided in control and ignition and engine timing that were not fully controllable. From the limitations that a system of ignition per distributor affects in the yield of the engine and control of emissions, it was verified the possibility of the construction and the accomplishment of this work. And in this work, will be carried out the replacement of an ignition system with distributor by an ignition system that uses phonic wheel. The development of this system is a multidisciplinary task, where it involves knowledge in programming, microcontroller and among other resources. The system chosen for the construction was to obtain a better control over the ignition time, after which part of the construction was used for the injection control. The results obtained in this experiment have shown that the developed system presents an improvement in the performance of the engine, with the advantage of providing new control strategies, allowing to improve even more the developed system.

Keywords: Ignition systems, Mapped ignition, Phonic wheel.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1	46
Equação 2.2	46
Equação 3.1	54
Equação 3.2	58
Equação 3.3	59
Equação 3.4	59
Equação 3.5	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ciclo de trabalho de um motor ciclo Otto.	21
Figura 2.2 - Pressão do cilindro em função da posição do pistão.	22
Figura 2.3 - Conceito de Huygens, máquina a base de pólvora de 1673.	23
Figura 2.4 - Centelha de Ruhmkorff.	24
Figura 2.5 - Sistema da ignição por bateria.	25
Figura 2.6 - Sistema de ignição transistorizada.	26
Figura 2.7 - Sistema de ignição eletrônica.	27
Figura 2.8 - Sistema de ignição eletrônica mapeada.	28
Figura 2.9 - Sistema de ignição estática.	29
Figura 2.10 - Desenvolvimento de sistemas de ignição indutiva.	29
Figura 2.11 - Distribuidor com sensor hall.	30
Figura 2.12 - Sinal gerado pelo sensor <i>hall</i>	31
Figura 2.13 - Construção de uma bonina de ignição.	34
Figura 2.14 - Circuito interno TFI (Original) MOTORCRAFT.	34
Figura 2.15 - Circuito Interno da TFI (Reposição).	35
Figura 2.16 - Sistema elétrico original do veículo.	35
Figura 2.17 - Pinagem da TFI.	36
Figura 2.18 - Localização Módulo TFI e conector <i>shorting plug</i>	40
Figura 2.19 - Bloco de funcionamento do CI.	43
Figura 2.20 - Diagrama do sensor de relutância.	44
Figura 2.21 - Captação dos sinais da roda fônica.	45
Figura 2.22 - Condicionamento do sinal de rotação.	47
Figura 2.23 - Ignição Estática de Faísca Perdida.	49
Figura 2.24 - Detalhe do percurso da corrente elétrica.	49
Figura 3.1 - Veículo Gol utilizado e disponibilizado pela FATEC-SA.	50
Figura 3.2 - Roda fônica e sensor de relutância original.	51
Figura 3.3 - Circuito condicionador de sinal com LM1815.	52
Figura 3.4 - Chicote do sensor de relutância envolvido por malha.	52
Figura 3.5 - Circuito de potência.	53
Figura 3.6 - Bobinas duplas.	55
Figura 3.7 - Circuito de elevação de sinal.	60
Figura 3.8 - Sistema modificado no veículo.	61
Figura 3.9 - Módulo de ignição desenvolvido.	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Controle da bobina de ignição.	32
Gráfico 2.2 - Corrente primária da bobina de ignição.	33
Gráfico 2.3 - Tensão secundária da bobina de ignição.	33
Gráfico 2.4 - Corrente secundária da bobina de ignição.	33
Gráfico 2.5 - Sinal PIP e SPOUT.....	38
Gráfico 2.6 - Sinal SPOUT e sinal da bobina primária.	39
Gráfico 2.7 - Funcionamento a 300 RPM.	42
Gráfico 2.8 - Sinal gerado pela roda fônica 60-2 através do sensor.....	46
Gráfico 2.9 - Sinal de tensão de saída de um sensor indutivo.	46
Gráfico 3.1 - Tempo de carregamento da bobina.....	54
Gráfico 3.2 - Criação do Sinal PIP virtual.	56
Gráfico 4.1 - Desempenho do veículo com sistema original “TESTE 1”.....	65
Gráfico 4.2 - Desempenho do veículo com sistema original “TESTE 2”.....	66
Gráfico 4.3 - Desempenho do veículo com sistema original “TESTE 3”.....	66
Gráfico 4.4 - Desempenho do veículo com sistema modificado “TESTE 1”.....	67
Gráfico 4.5 - Desempenho do veículo com sistema modificado “TESTE 2”.....	69
Gráfico 4.6 - Desempenho do veículo com sistema modificado “TESTE 3”.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Ordem de Ignição 1-3-4-2.	31
Tabela 2.2 - Pinagem da TFI.....	36
Tabela 2.3 - Pinagem do CI MC33094.	41
Tabela 3.1 - Momento de ignição.	59
Tabela 4.1 - Condições de teste e resultados obtidos (sistema original).	70
Tabela 4.2 - Condições de teste e resultados obtidos (sistema modificado)....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PMS – Ponto Morto Superior

PMI – Ponto Morto Inferior

EUA – Estados Unidos da América

RJ – Rio de Janeiro

ECU – Electronic Central Unit

CI – Circuito Integrado

TFI - Thick Film Integrated Ignition

PS – Push Start

PIP – Profile Ignition Pickup

CCD - Computer Controlled Dwell

RPM – Rotações por minuto

IIL - Integrated injection logic

CR – Capacitor de Rampa

CA – Capacitor Adaptativo

f.m.e – Força eletromotriz

VCC – Tensão de Corrente Contínua

Vr – Tensão de Referência

LISTA DE SÍMBOLOS

° - Graus

V – Volts

ms – Milisegundos

% - Porcento

A – Amperes

KV – Kilovolts

mH – Milihenry

μs – Microsegundos

MHz – Megahertz

KM/h – Kilometros por hora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Motivação.....	17
1.2	Objetivo	18
1.3	Resultados Esperados	18
2	REVISÃO BIBLOGRÁFICA	19
2.1	Motor a Combustão Interna.....	19
2.1.1	Motor de Combustão Interna	20
2.1.2	Ciclos do Motor Otto	20
2.2	Ignições.....	22
2.2.1	Robert Bosch e o Desenvolvimento das Ignições Automotivas	22
2.2.2	Primeiras Tentativas.....	23
2.2.3	Revolução das Ignições: Ignição por Bateria.....	24
2.2.3.1	Modo de Funcionamento da Ignição por Bateria.....	25
2.2.4	Ignição Transistorizada.....	26
2.2.5	Ignição Eletrônica	26
2.2.6	Ignição Eletrônica Mapeada	27
2.2.7	Ignição Estática	28
2.3	Sistema de Ignição: Veículo Volkswagen GOL 1.3i AE 1996.....	30
2.3.1	Distribuidor com Sensor <i>Hall</i>	30
2.3.2	Bobina de Ignição	31
2.3.2.1	Funcionamento da Bobina de Ignição	32
2.3.2.2	Construção das Bobinas de Ignição.....	34
2.3.3	Módulo de Ignição	34
2.3.4	Descrição da TFI	36
2.3.4.1	Funcionamento da TFI	37
2.3.4.2	Controle da Ignição MC33094.....	41
2.3.4.3	Descrição Funcional.....	41

2.4	Sensor de Relutância Magnética	44
2.4.1	Construção do Sensor de Relutância Magnética.....	44
2.4.2	Princípio de Funcionamento do Sensor de Relutância Magnética	45
2.5	Roda Fônica 60 - 2 Dentes	47
2.6	Condicionador de Sinal LM1815	47
2.7	Ignição Estática de Faísca Perdida (Bobinas Duplas).....	48
3	METODOLOGIA	50
3.1	Sincronismo com o Motor.....	51
3.2	Ignição.....	53
3.3	Microcontrolador: Módulo de Ignição	55
3.3.1	Software do Projeto	57
3.4	Circuito de Elevação de Tensão	60
3.5	Configuração do Sistema Modificado.....	61
4	RESULTADOS OBTIDOS	63
4.1	Torque e Potência nos Gráficos.....	63
4.2	Resultado dos Testes.....	64
5	CONCLUSÃO	71
6	PROPOSTAS FUTURAS.....	72
	APÊNDICE A – TFI Modelo Motorcraft	74
	APÊNDICE B – Momento de Ignição	74
	APÊNDICE C – Sinal de Rotação	75
	APÊNDICE D – Sinal de Rotação com Identificação da Falha	75
	APÊNDICE E – Sinal de Carregamento da Bobina.....	76
	APÊNDICE F – Sinal PIP Criado Sendo Elevado	76
	APÊNDICE G – Placa com Microcontrolador PIC18F4550.....	77
	ANEXO A – Esquema Elétrico do Veículo GOL 1.0i AE 1996.....	78
	ANEXO B – Software (Código) do Projeto	79
	ANEXO C – Data Sheet LM1815 da FREESCALE	88

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a eletrônica é uma ferramenta de muitíssima importância, que venho auxiliando em diversos aprimoramentos de sistemas e facilitando novas aplicações. Voltando-se para a área automotiva, muitos sistemas que anteriormente eram mecânicos e analógicos, passaram a ser totalmente eletrônicos, ocasionando benefício de controle, gerenciamento e desempenho.

1.1 Motivação

Na busca por soluções alternativas para melhorar a eficiência energética nos motores de combustão interna, novos sistemas foram sendo desenvolvidos para atender a redução dos níveis de emissões e consumo de combustível, bem como melhorar o desempenho geral. E a injeção eletrônica foi e vem sendo o principal sistema para atender tais objetivos.

A injeção eletrônica pouco mudou em questões de modo de funcionamento, mas em compensação os *softwares* que comandam os módulos evoluíram bastante e trouxeram mais inteligência para os motores automotivos.

A injeção eletrônica tem como grande objetivo melhorar o rendimento do motor com a maior economia possível de combustível. E desde que o CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) começou a fiscalizar os veículos produzidos no Brasil, foram criadas leis de emissões para regularizar os veículos, visando diminuir emissões de poluentes nocivos à saúde.

Contudo, os veículos vêm evoluindo de acordo com as tecnologias e leis que o acompanham, com o intuito de atender as necessidades de mercado em termos de: rendimento, qualidade, potência e redução de emissões.

1.2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo adaptar duas bobinas duplas de centelha perdida e um sensor de rotação (relutância magnética variável) para substituir o sistema de distribuição mecânica do Gol 1.3 1996. Um microcontrolador gerará sinais de controle para simular o sinal original de pulso de PIP provenientes do distribuidor e também de acionamento das bobinas. Os sinais gerados farão o controle de ignição do veículo. Com o novo sistema não será mais necessário a utilização do distribuidor em conjunto com o módulo de ignição original do veículo.

1.3 Resultados Esperados

Espera-se que o veículo possa vir a funcionar com as alterações e que através do sinal virtual gerado pelo microcontrolador, mas sem interferir acentuadamente no tempo de injeção e sobre o avanço de ignição. Serão realizados testes comparativos de Potência e Torque na condição original e na condição modificada.

2 REVISÃO BIBLOGRÁFICA

Na busca de alcançar um modelo de motor de combustão interna adequado, ou seja, que funcionasse melhor que a máquina a vapor, várias tentativas foram feitas a partir do século XVII até chegar no modelo Otto. Contudo, com inserção de novas tecnologias de cada época e na busca de um melhor desempenho, foi possível aprimorar os sistemas do motor (ex.: sistema de ignição).

2.1 Motor a Combustão Interna

Segundo Bosch, em meados do século 17 algumas patentes e tentativas de criações dos motores já se iniciava, com o intuito de substituir a máquina a vapor pela máquina de combustão interna, que era o que se tinha de disponível na época. (Bosch Professional Automotive Information, 2015).

Apresentado pela primeira vez na Exposição Industrial de Paris, em 1867, o motor concebido por Nikolaus Otto e Eugen Langen, tinha características bem melhores de desempenho. O conceito desse motor era o de “pistão livre”, impulsionado pela explosão dos gases no cilindro, o pistão estava ligado a um volante através de uma cremalheira e uma engrenagem. No retorno do pistão, produzia-se trabalho mecânico. Em 1876, o alemão Nikolaus Otto volta ao cenário e apresenta um motor de quatro cilindros que funcionava com os princípios estabelecidos por Beau de Rochas em 1962, as características básicas dele são as mesmas encontradas nos motores de hoje. Nesses primeiros tipos de motores, não havia uma compressão prévia da carga de combustível mais ar, embora diversos pesquisadores vissem vantagem em introduzir essa etapa no processo (Lebon, francês, em 1799; Barnett, inglês, em 1838; e Schmidt, alemão, em 1861). (TILLMANN, 2013)

2.1.1 Motor de Combustão Interna

Os motores de combustão interna têm por objetivo transformar energia térmica em energia mecânica. Após a mistura combustível e ar ser comprimida na câmara de combustão de cada cilindro, inicia-se uma queima, a qual libera uma força contra a cabeça do êmbolo, forçando este a deslocar-se na direção do eixo de manivelas. A biela, que é o elemento de ligação entre o êmbolo e o eixo de manivelas, transmite a força atuante na base superior do êmbolo (resultante da expansão dos gases) ao colo do eixo de manivela, fazendo com que esse eixo gire, e convertendo assim o movimento retilíneo alternado do êmbolo em movimento rotativo do eixo de manivelas (MAHLE Manual Técnico, 2016).

2.1.2 Ciclos do Motor Otto

Em um ciclo de 4 tempos o funcionamento do motor pode ser entendido considerando a ação de qualquer um dos cilindros durante um giro completo do motor. Um giro completo de um motor de quatro tempos requer duas rotações completas do eixo de manivelas. Nas duas revoluções completas do eixo de manivelas, que corresponde a um ciclo de motor, há quatro movimentos do êmbolo do ponto superior do cilindro para o ponto inferior ou vice-versa (MAHLE Manual Técnico, 2016). Colocar o ponto final após a citação.

Os quatro tempos do ciclo do motor são:

1. Admissão
2. Compressão
3. Expansão
4. Exaustão

Admissão (1º Tempo): A medida que o êmbolo se move do PMS para o PMI, a válvula de admissão se abre e a mistura de ar e combustível vaporizada é aspirada para o interior do cilindro. E o eixo de manivelas efetua meia volta (180°).

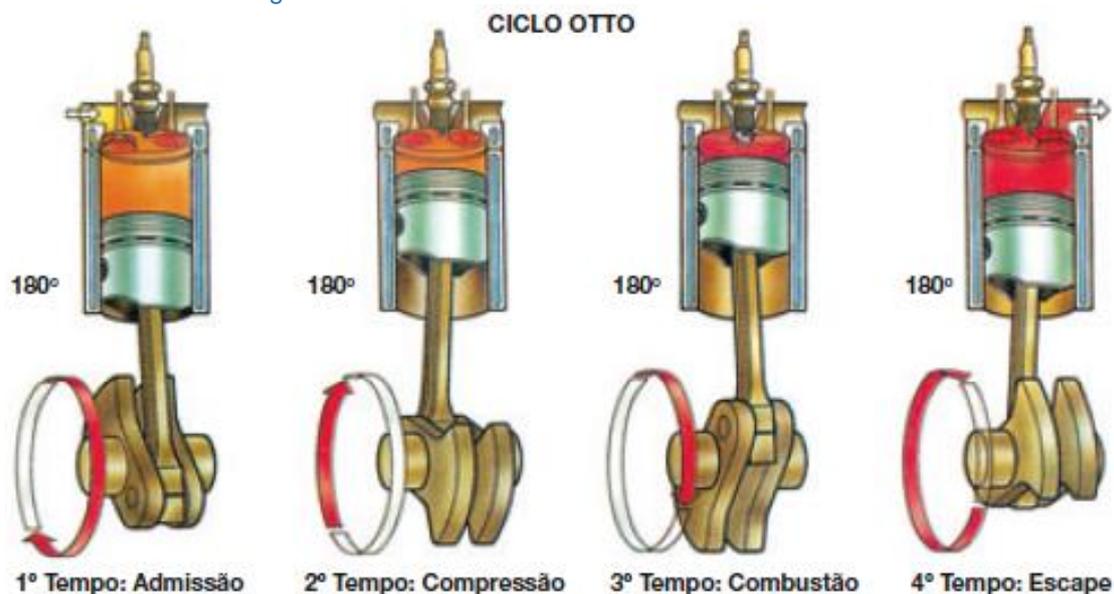
Compressão (2º Tempo): A seguir, a válvula de admissão fecha-se. A medida que o êmbolo se desloca para o PMS, comprime a mistura de combustível e ar. E o eixo de manivelas executa outra meia volta, completando a primeira volta completa (360°).

Combustão (3º Tempo): Pouco antes do êmbolo atingir o PMS, o sistema de ignição transmite corrente elétrica a vela, fazendo saltar uma centelha entre os eletrodos, que inflama a mistura fortemente comprimida. Os gases em expansão, resultantes da combustão, forçam o êmbolo do PMS para o PMI. E o eixo de manivelas efetua outra meia volta (540°).

Escape (4º Tempo): Depois da queima da mistura e expansão dos gases, a válvula de escape se abre. Os gases queimados são forçados para fora do cilindro quando o embolo se movimenta do PMI para o PMS. E o eixo de manivelas executa outra meia-volta, completando a segunda volta completa.

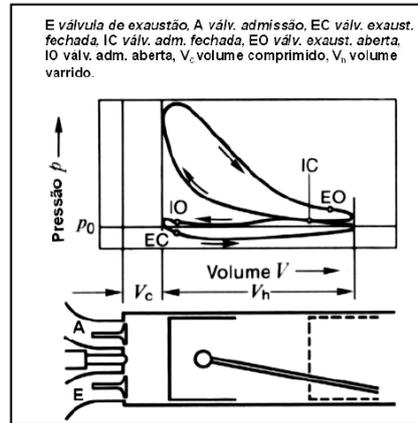
A figura 2.1 ilustra o ciclo de trabalho de um motor ciclo Otto.

Figura 2.1 - Ciclo de trabalho de um motor ciclo Otto.



É importante saber que nos motores de quatro tempos, somente no tempo de combustão se produz energia mecânica, enquanto que os outros três são passivos, isto é, absorvem energia. A figura 2.2 representa a variação de pressão no cilindro em função da posição do embolo e a fase em que está sendo realizada a ação.

Figura 2.2 - Pressão do cilindro em função da posição do pistão.



Extraído de: BOSCH, 1988.

2.2 Ignições

O motor de combustão interna é uma máquina térmica que necessita de uma energia de ignição para iniciar o seu funcionamento. A centelha de ignição inflama a mistura homogênea (ar e combustível) que está comprimida dentro da câmara de combustão e inicia o processo de combustão.

Como descrito em Bosch, “*Esta centelha de ignição é gerada por uma descarga disruptiva entre os eletrodos de uma vela de ignição e assim a frente de chama se prolonga para dentro da câmara de combustão. [...]*” (Bosch Professional Automotive Information, 2015). E para que esse sistema funcione corretamente os níveis de tensão devem ser adequados, pois eles irão influenciar na geração da centelha de ignição.

2.2.1 Robert Bosch e o Desenvolvimento das Ignições Automotivas

Desde do século 17 a ignição era um fator muito importante para o funcionamento do veículo. Porém, sempre teve suas complexidades com fatores tais como: velocidade máxima do veículo, tempo de ignição e taxa de combustão. Logo, esses pontos só responderiam adequadamente quando o sistema de ignição tivesse uma boa qualidade. Segundo a Bosch, as ignições só começaram a ter uma nova visão de desenvolvimento quando a empresa criou a ignição magnética de baixa tensão. Essa tecnologia era adequada para as condições existente no do fim do século 19. Porém, como a evolução dos veículos não

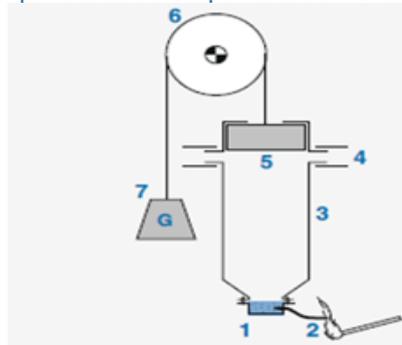
parava de crescer logo foi se tornando uma tecnologia ultrapassada. Foi somente quando a Robert Bosch desenvolveu a ignição magnética de alta tensão (Início do século XX) que foi possível satisfazer os sistemas dos motores com altas rotações (Bosch Professional Automotive Information, 2015).

2.2.2 Primeiras Tentativas

A Bosch em seu artigo cita que a primeira tentativa conhecida para a criação da máquina de combustão interna utilizando um sistema de ignição foi em 1673 por Christian Huygens com propósito em substituir a máquina a vapor. Huygens criou uma máquina representada na figura 2.3. Na proposta de um motor à combustão interna ele utilizava a pólvora (1) como combustível que se acendia por um pavio (2). Dando a ignição os gases de combustão escapavam através das válvulas anti-retorno (4) do tubo (3), no qual se cria um vácuo. A pressão atmosférica força o êmbolo (5) para baixo, e um peso de G (7) é levantado. (Bosch Professional Automotive Information, 2015).

Figura 2.3 - Conceito de Huygens, máquina a base de pólvora de 1673.

1. Capsula de pólvora;
2. Pavio;
3. Tubo;
4. Válvula anti-retorno;
5. Êmbolo;
6. Polia;
7. Peso.



Extraído de: Bosch Professional Automotive Information, 2015.

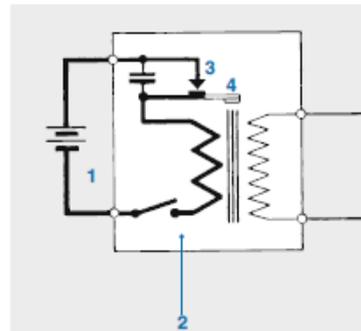
Porém, esta máquina não era nenhum um pouco eficaz, pois o seu combustível, no caso a pólvora, deveria ser recarregada a cada ignição não sendo adequado para um uso contínuo. (Bosch Professional Automotive Information, 2015)

Heinrich Daniel Ruhmkorff foi mais um dos inventores da época que buscava o desenvolvimento da área automotiva. E em meados do século XVIII, o mecânico desenvolveu seu próprio modelo de centelha utilizando uma bateria e Bosch cita o funcionamento da centelha ilustrado na Figura 2.4. O sistema

utilizava uma bobina como acumulador de campo magnético. O campo aumenta gradualmente quando a corrente aumentava no circuito, e quando atingia um valor específico, a armadura (4) era atraída e os contatos oscilantes (3) se abriam. O campo magnético colapsava quando o circuito abria. A mudança do campo magnético induzia rapidamente na segunda bobina uma tensão elevada de indução, o que provoca uma descarga disruptiva no circuito e o processo era repetido novamente. Aproximadamente, de 40 a 50 processos de ignição foram alcançados com esta alta tensão de ignição oscilante. O sistema oscilante emitia um som característico durante a operação (Bosch Professional Automotive Information, 2015). Colocar ponto final após a citação.

Figura 2.4 - Centelha de Ruhmkorff.

1. Bateria Galvânica;
2. Indutor da centelha Ruhmkorff;
3. Contatos;
4. Armadura.



Fonte: Bosch Professional Automotive Information, 2015, p. 139.

Após a máquina de Huygens e a ignição de Ruhmkorff, outras ignições foram sendo desenvolvidas, sendo elas:

- Ignição oscilante de alta tensão – Frenchman Etienne Lenoir (1860).
- Ignição de tubo quente – Gottlieb Daimler (1883).
- Ignição eletromagnética de baixa tensão – Nikolaus August Otto (1884).
- Ignição magnética – Robert Bosch
 - Ignição magnética de baixa tensão (1897)
 - Ignição magnética de alta tensão (1902)
- Ignição por Bateria – Robert Bosch (1925)

2.2.3 Revolução das Ignições: Ignição por Bateria

Em 1925, após Bosch ter desenvolvido a ignição magnética, a indústria exigia maior desempenho das ignições. Só que desta vez a questão era

um sistema mais barato. A ignição magnética tinha sido bem aceita e dominava boa parte dos veículos, mas logo que começou a produção da ignição por bateria as indústrias automotivas adotaram a nova ignição e com pouco tempo era o sistema mais usado nos EUA e na Europa (Bosch Professional Automotive Information, 2015).

2.2.3.1 Modo de Funcionamento da Ignição por Bateria

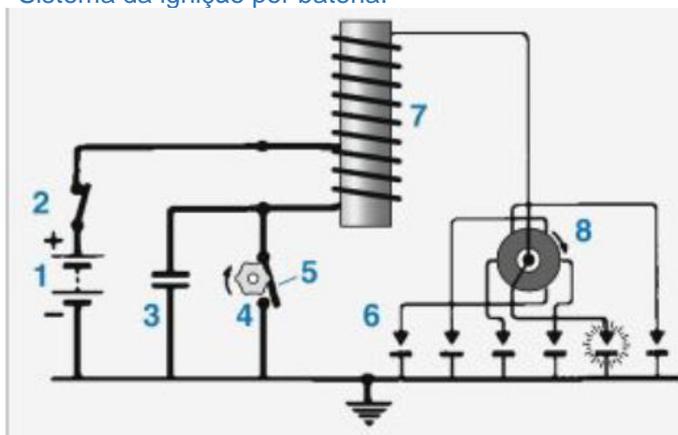
O sistema da ignição por bateria era separado em duas partes: o distribuidor de ignição motorizado e a bobina de ignição (Fig. 2.5). A bobina de ignição (7) continha os enrolamentos primário e secundário e o núcleo de ferro. O distribuidor (8) compreendia o disjuntor de contato (5), a câmara de atuação rotativa (4) e um mecanismo para distribuir a corrente secundária. O condensador de ignição (3) protegia os pontos de contato contra o desgaste prematuro suprimindo a formação do arco (Bosch Professional Automotive Information, 2015).

A ignição por bateria obtinha sua corrente primária a partir do sistema elétrico do próprio veículo. Segundo Bosch, a alta tensão gerada era bem parecida com a do sistema magnético, a corrente era interrompida por um interruptor de contato que era controlado mecanicamente. Ao colapsar o campo magnético era produzida uma alta tensão no enrolamento secundário (Bosch Professional Automotive Information, 2015).

A figura 2.5 ilustra um sistema de ignição por bateria.

1. Bateria;
2. Chave de ignição;
3. Condensador;
4. Came do disjuntor;
5. Ponto de interrupção;
6. Vela de ignição;
7. Bobina de ignição;
8. Distribuidor de ignição.

Figura 2.5 - Sistema da ignição por bateria.

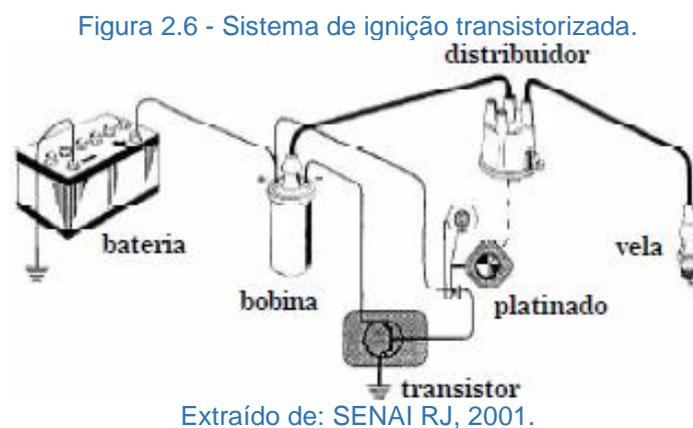


Extraído de: Bosch Professional Automotive Information, 2015.

2.2.4 Ignição Transistorizada

Comparado com o sistema com platinado, a ignição transistorizada ainda mantém o distribuidor e a única diferença é que a corrente do enrolamento primário é interrompida por um transistor. O platinado interrompe a corrente muito menor além de ser também uma carga resistiva, e em comparação com o sistema convencional há um aumento da sua vida útil. (SENAI RJ, 2001)

A figura 2.6 demonstra um sistema de ignição transistorizada.



2.2.5 Ignição Eletrônica

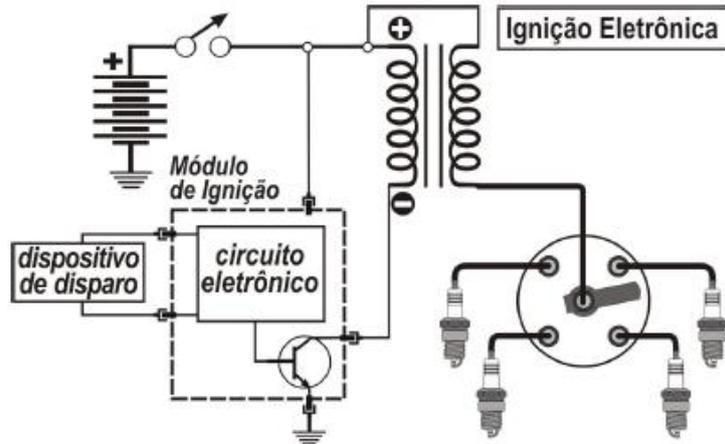
A ignição eletrônica, é uma evolução do sistema de ignição transistorizada. De acordo com MANAVELLA, com a eliminação do platinado, a função agora é assumida por dispositivos geradores de impulsos elétricos (dispositivos de disparo), podendo ser de três tipos, sendo eles:

- ✓ Sensor de relutância magnética variável.
- ✓ Sensor por efeito Hall.
- ✓ Interruptor ótico.

O transistor de potência é controlado através do dispositivo de disparo. Agora o transistor só é acionado quando houver um sinal de rotação. Pois, caso a ignição do veículo estiver ligada e sem rotação o transistor ficará em aberto não deixando circular corrente no primário da bobina. (MANAVELLA, 2003)

A figura 2.7 demonstra um sistema de ignição eletrônica.

Figura 2.7 - Sistema de ignição eletrônica.



Extraído de: MANAVELLA, 2003.

Com rotação do motor o dispositivo de disparo, que está alojado no distribuidor através de seus sinais, faz o controle do módulo de ignição. Através de um transistor é comandado o fechamento do circuito primário da bobina circulando corrente elétrica. Após o comando de abertura do transistor a centelha será distribuída através do distribuidor. A corrente circulando através do cabo da bobina vai até a tampa do distribuidor e em seguida, por meio de um rotor (cachimbo), é direcionada a centelha para um determinado cilindro, por meio dos cabos de vela, seguindo assim até a vela de ignição.

Vale ressaltar que esse tipo de ignição ainda necessita dos mecanismos para o avanço de ignição, podendo ser do tipo centrífugo ou à vácuo.

2.2.6 Ignição Eletrônica Mapeada

O dispositivo de disparo é substituído pelo sensor de rotação e o módulo, e não o sensor de rotação, é quem determina o momento da ignição (ponto de ignição). Vale lembrar que o sensor de rotação serve também para calcular a velocidade de rotação e fornecer referência da posição do virabrequim (MANAVELLA, 2003).

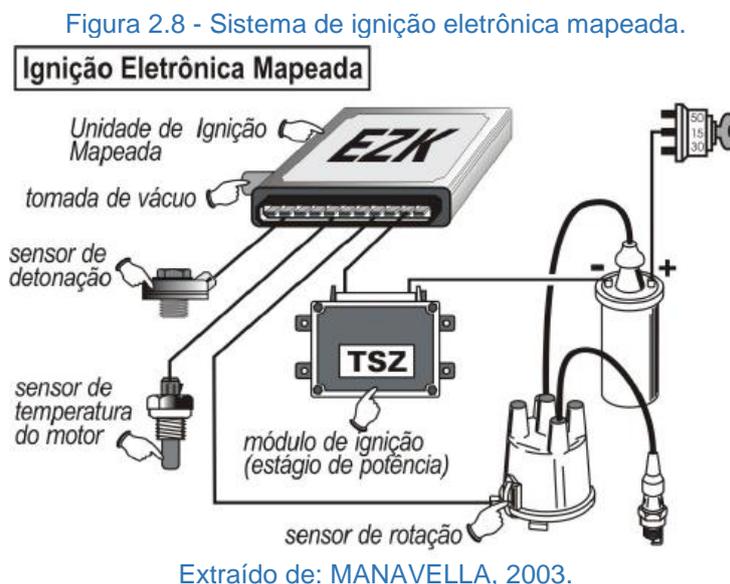
Os mecanismos de ajuste mecânico do avanço são substituídos por cálculos realizados pelo módulo a partir de informações recebidas dos sensores. O valor do avanço básico é determinado, como nos sistemas convencionais, em

função da rotação do motor (sensor de rotação) e da carga (sensor de pressão do coletor ou do sensor de posição da borboleta) (MANAVELLA, 2003).

Esse avanço básico é corrigido em função da informação de outros sensores:

- Temperatura do motor
- Temperatura do ar admitido
- Sonda lambda
- Sensor de detonação ou sensor de octanagem

A figura 2.8 demonstra o sistema de ignição eletrônica mapeada.



Os sinais de rotação, proveniente do sensor de rotação acoplado no distribuidor, envia sinais para a ECU, fornecendo a posição e rotação do motor. Por meio de alguns sensores e da tomada de vácuo, a ECU consegue, via mapa interno de ignição, informar ao módulo de ignição o momento exato em que a centelha deve ocorrer.

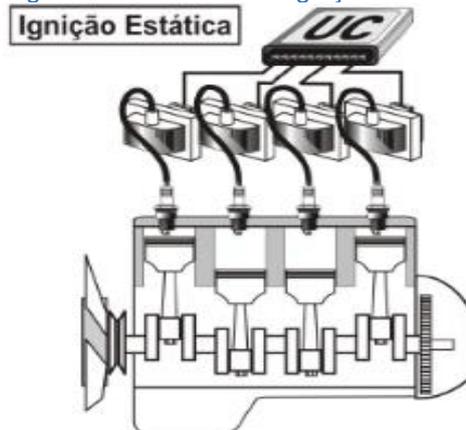
2.2.7 Ignição Estática

A ignição do tipo estática não possui um distribuidor e como consequência aumenta o número de bobinas no sistema, e é a unidade de

comando que irá determinar qual cilindro deverá receber a alta tensão na vela. A ECU comandará a sequência da ordem de ignição, pois para a unidade de comando entender qual cilindro deverá ocorrer a centelha ela necessita receber os sinais do sensor indutivo ou de efeito *hall*, instalado junto à roda fônica (MANAVELLA, 2003).

A figura 2.9 demonstra um sistema de ignição estática.

Figura 2.9 - Sistema de ignição estática.



Extraído de: MANAVELLA, 2003.

De modo resumido na figura 2.10 demonstra a evolução da ignição e as principais diferenças básicas entre elas.

Figura 2.10 - Desenvolvimento de sistemas de ignição indutiva.

1 Desenvolvimento de sistemas de ignição indutiva			
	Corrente de controle da bobina	Ajuste do tempo de ignição	Distribuição de tensão
Sistema de ignição indutiva			
Ignição Convencional da bobina	Mecânico	Mecânico	Mecânico
Ignição Transistorizada	Eletrônico	Mecânico	Mecânico
Ignição Eletrônica	Eletrônico	Eletrônico	Mecânico
Ignição Semicondutora sem Distribuidor	Eletrônico	Eletrônico	Eletrônico

Mecânico
 Eletrônico

UMZ0307E

Extraído de: Bosch Professional Automotive Information, 2015.

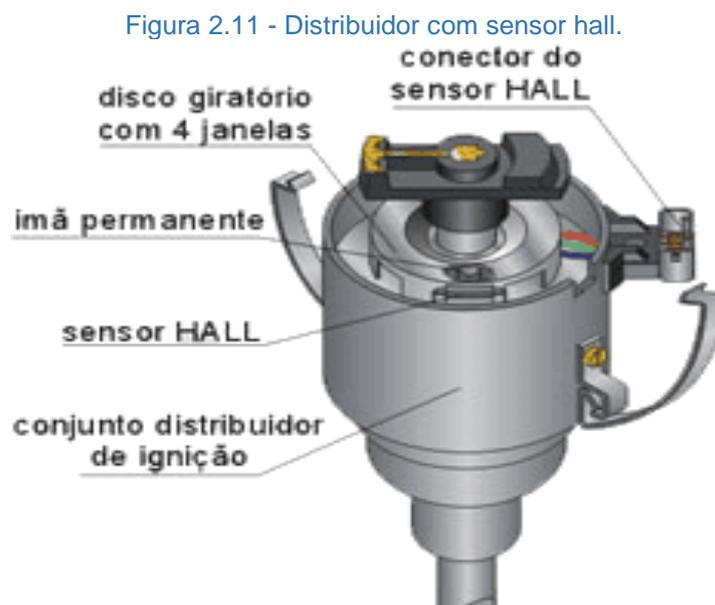
2.3 Sistema de Ignição: Veículo Volkswagen GOL 1.3i AE 1996

Neste capítulo serão apresentados os componentes responsáveis pelo sistema de ignição do veículo Volkswagen GOL 1.3i AE 1996 (Veículo alterado de 1.0 para 1.3 nas dependências da Fatec) disponibilizado pela instituição.

2.3.1 Distribuidor com Sensor *Hall*

Os distribuidores montados com sensor de efeito *hall* são equipados com um ímã permanente, um rotor metálico com janelas que correspondem ao número de cilindros do motor e um circuito condicionador de sinais do tipo *hall*. Esse sensor já fornece um sinal totalmente adequado para ser lido como um sinal digital para ser enviado à unidade de comando. O sinal é enviado para a ECU do veículo para calcular a rotação do motor e para auxiliar na identificação da posição do eixo de manivelas. Neste tipo de sistema ainda é utilizado apenas uma bobina para a geração da centelha.

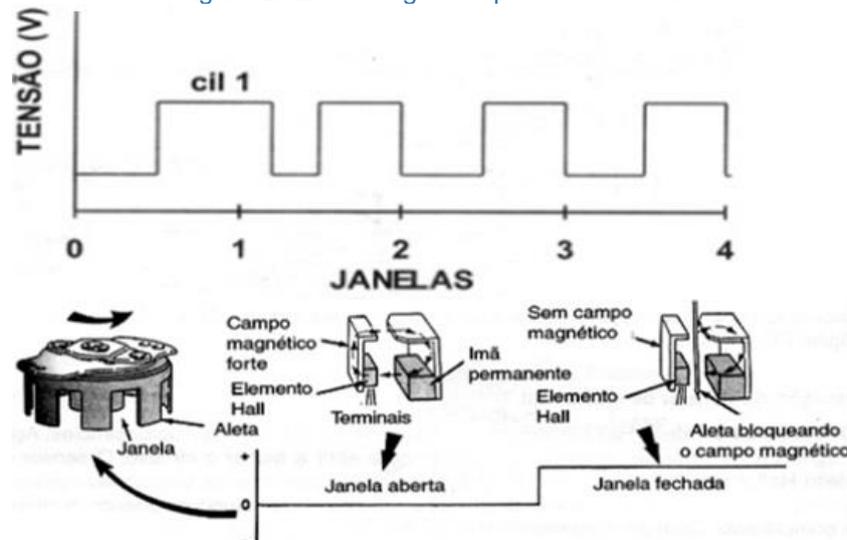
O sistema tem as mesmas características sistema apresentado no item 2.2.6, apenas que não possuindo sensor de detonação e nem tomada de vácuo junto ao módulo. Na figura 2.11 um exemplo de distribuidor.



Extraído de: DIAS, 2012.

Quando há a cobertura do sensor pelo rotor metálico corta-se o sinal *hall* e a saída indica nível lógico 1 (12V). Quando o rotor metálico está com a janela entre o imã permanente e o sensor, o sinal *hall* reaparece e a saída vai para nível lógico “0” (0V). Na figura 2.12 o sinal gerado pelo sensor *hall*.

Figura 2.12 - Sinal gerado pelo sensor *hall*.



Extraído de: GRACIANO, 2016.

Um ponto a destacar é que no veículo na qual foi desenvolvido o trabalho o sinal *hall* gerado no distribuidor contém as quatro janelas idênticas, pois o veículo em questão é monoponto, ou seja, não há necessidade de identificar o primeiro cilindro.

A ordem de ignição segue a tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Ordem de Ignição 1-3-4-2.

Virabrequim	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4	Comando
0 - 180°	EXPLOSÃO	ESCAPE	COMPRESSÃO	ADMISSÃO	0 - 90°
180 - 360°	ESCAPE	ADMISSÃO	EXPLOSÃO	COMPRESSÃO	90 - 180°
360 - 540°	ADMISSÃO	COMPRESSÃO	ESCAPE	EXPLOSÃO	180 - 270°
540 - 720°	COMPRESSÃO	EXPLOSÃO	ADMISSÃO	ESCAPE	270 - 360°

Extraído de: FERRO, 2012.

2.3.2 Bobina de Ignição

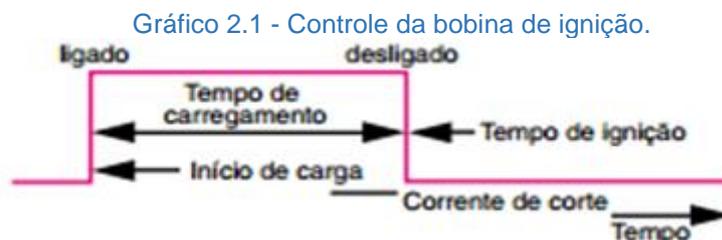
Nesta seção descreveremos o funcionamento e construção de uma bobina de ignição.

2.3.2.1 Funcionamento da Bobina de Ignição

Segundo Federal Moghul (2013), logo que o circuito da bobina primária se fecha é gerado um campo magnético na bobina. No momento da ignição a corrente da bobina é desligada e o campo magnético colapsará instantaneamente, gerando uma tensão de indução elevada no enrolamento primário. Essa variação de fluxo é transformada no lado secundário da bobina como uma tensão induzida e convertida na relação do "número de espiras dos secundários pelo número de espiras dos primários. Ocorre assim uma formação de centelha de alta tensão na vela de ignição, que por sua vez, conduz à ionização da região do gap da vela e, assim há um fluxo de corrente entre os terminais. Esse processo continua até ser descarregada toda energia acumulada. A medida que salta no eletrodo a centelha provoca a ignição da mistura do ar/combustível (BERU Federal Moghul, 2013).

Abaixo está o funcionamento de uma bobina segundo Federal Moghul (2013).

Armazenamento de energia (Gráfico 2.1): Durante o fornecimento de corrente à bobina é armazenada energia no campo magnético. Com a alimentação ligada a bobina é carregada (o circuito primário está fechado, o circuito secundário está aberto) e num ponto de ignição especificado, a corrente é interrompida.

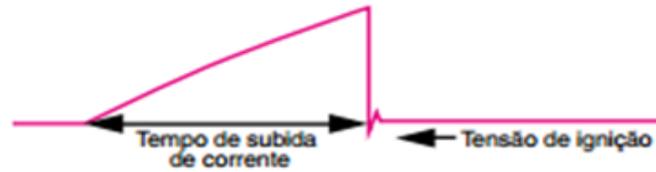


Extraído de: Informações Técnicas nº07 BERU, 2013.

Tensão induzida (Gráfico 2.2): Cada alteração de corrente numa indutância (bobina) induz (cria) uma tensão. É gerada uma alta tensão no secundário a partir do colapso do campo magnético no primário e cujo o valor da

tensão induzida é amplificada pela relação de espiras entre o primário e o secundário.

Gráfico 2.2 - Corrente primária da bobina de ignição.



Extraído de: Informações Técnicas nº07 BERU, 2013.

Alta tensão (Gráfico 2.3): Como acontece num transformador, a tensão alcançável é proporcional à relação do enrolamento primária pelo secundário. A formação de centelha ocorre quando a tensão da ignição tiver sido atingida (“*breakthrough*”).

Gráfico 2.3 - Tensão secundária da bobina de ignição.



Extraído de: Informações Técnicas nº07 BERU, 2013.

Centelha de ignição (Gráfico 2.4): Após a formação da centelha na vela de ignição, a energia acumulada é descarregada no canal de centelha (o circuito primário está aberto, o circuito secundário está fechado).

Gráfico 2.4 - Corrente secundária da bobina de ignição.



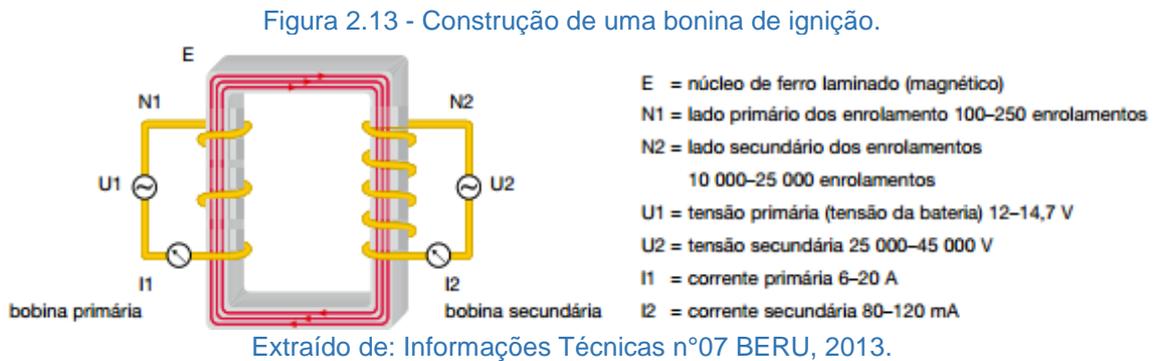
Extraído de: Informações Técnicas nº07 BERU, 2013.

A tensão máxima depende:

- Da relação do número de espiras do secundário em relação ao número de espiras do primário.
- Da qualidade do núcleo de ferro.
- Do campo magnético formado pelo consumo de corrente.

2.3.2.2 Construção das Bobinas de Ignição

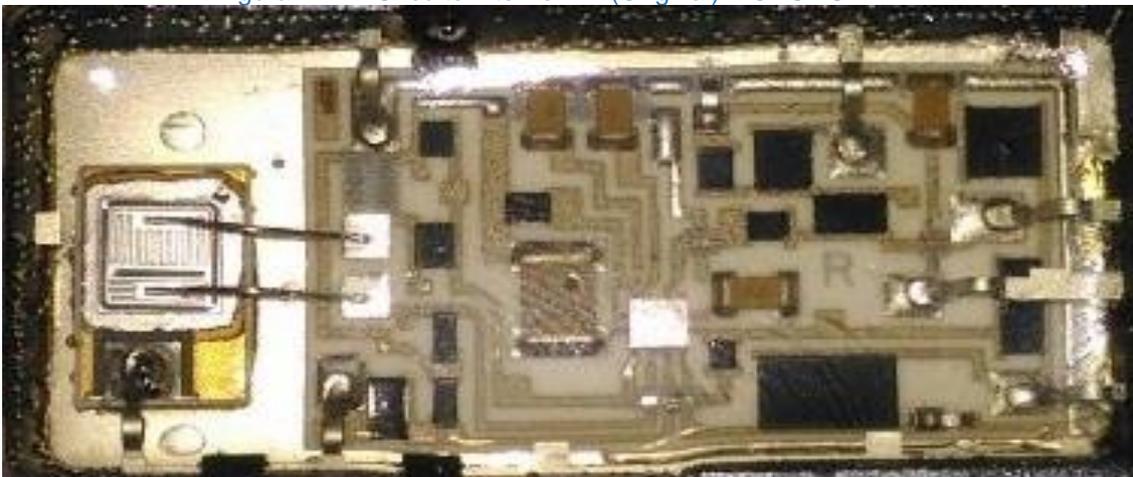
Como ilustrada na figura 2.13, uma bobina de ignição consiste dos mesmos componentes de um transformador.



2.3.3 Módulo de Ignição

Nesta seção será detalhado o funcionamento do módulo de ignição original do Gol, conhecido como TFI. Como pode ser observado na figura 2.14 não foi possível identificar o CI e compreender o circuito original, por ser um sistema antigo e proprietário da FORD. Contudo, na figura 2.15 é possível identificar o CI de controle e o circuito do módulo. As propriedades e a funcionalidade são as mesmas, sendo possível substituir um pelo outro no veículo, pois o item de reposição foi criado com base no original MOTORCRAFT.

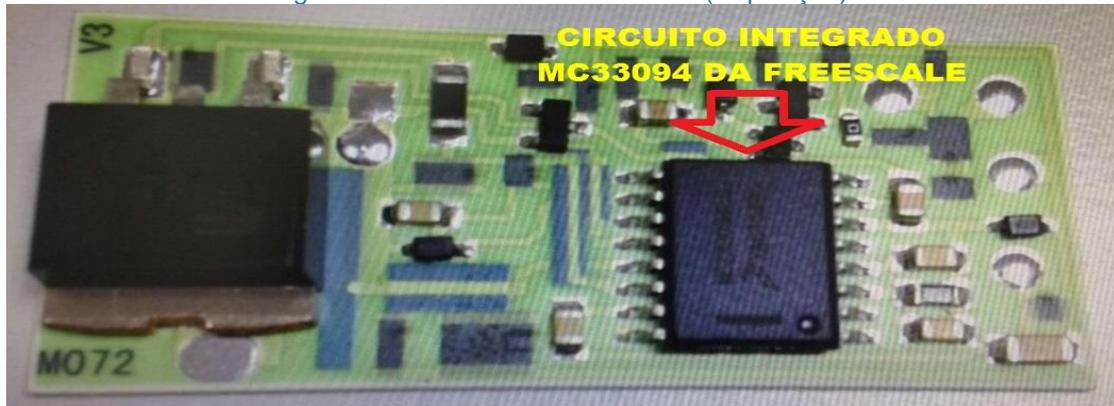
Figura 2.14 - Circuito interno TFI (Original) MOTORCRAFT.



Extraído de: Foto Autoral.

Na figura 2.15 é possível identificar o CI (MC33094 da Freescale) que atua no controle da bobina de ignição para criação da centelha.

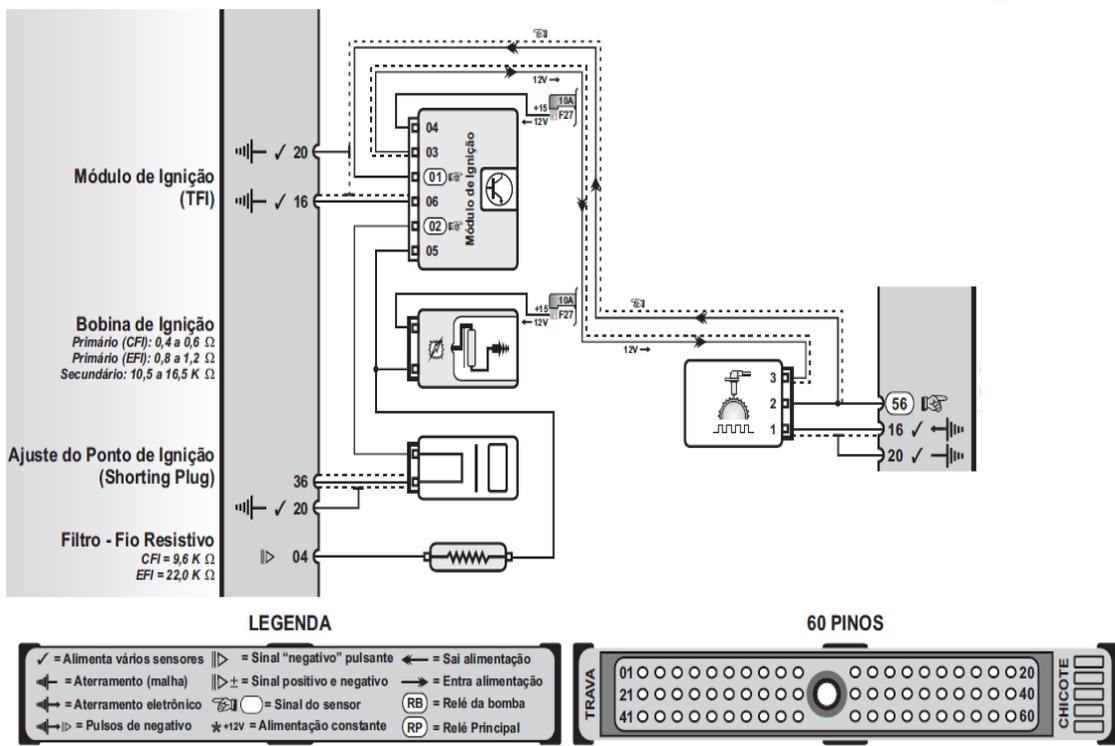
Figura 2.15 - Circuito Interno da TFI (Reposição).



Extraído de: Foto Autoral.

A figura 2.16, é um esquema de ligação do módulo instalado no veículo.

Figura 2.16 - Sistema elétrico original do veículo.



Extraído de: Adaptado de Didatec.

O módulo de ignição que o veículo utiliza em seu funcionamento original é denominado de TFI (*Thick Film Integrated Ignition*) Ignição Integrada de Película Grossa e é o responsável pela atuação da centelha da ignição.

Para que aconteça a centelha no momento correto, a TFI recebe sinais do sensor de sincronismo do motor (tipo *hall*), provenientes do distribuidor e que serão utilizados para identificar o momento correto em que deve ocorrer a centelha. Quando a bobina estiver carregada e o motor estiver no final da fase de compressão, a TFI chaveia a bobina de ignição, desligando-a e fazendo ela colapsar, gerando uma alta tensão por indução na vela de ignição.

Na figura 2.17 temos o modelo de TFI original do veículo. E na tabela 2.2 temos a pinagem do módulo.

Figura 2.17 - Pinagem da TFI.



Extraído de: RJM Injection Technologies, 2004.

Tabela 2.2 - Pinagem da TFI.

Pino	Nome	Descrição
1	PIP	Entrada do sinal posição
2	SPOUT	Entrada do sinal do sensor Hall
3	START	Controle do tempo de ignição
4	VCC	12 volts da linha 15
5	SINAL	Sinal de interrupção da corrente da bobina
6	GND	Terra

Extraído de: RJM Injection Technologies, 2004.

2.3.4 Descrição da TFI

O módulo de ignição (TFI) possui algumas informações sobre as conexões externas que nos possibilita identificar o seu funcionamento. Para explicar o funcionamento utilizamos como base o artigo “*TFI Ford Ignition System*” escrito por SILL, David (2001).

Cinza: A TFI do modelo acinzentado conhecida como *Push Start (PS)* é mais simples, pois não é computadorizada. Utilizando apenas o necessário para carregar a bobina.

Preta: A TFI do modelo preta conhecida como *Computer Controlled Dwell (CCD)* é mais robusta e é computadorizada. Sendo capaz de controlar e utilizar todos os sinais que recebe para carregar a bobina e monitorar o sistema.

Inicialmente as TFI eram encaixadas no próprio distribuidor por pinos laterais, com isso ela recebia diretamente o sinal *hall*, mas era exposta a alta temperatura do motor. Mas depois foi criado um modelo remoto que ficava na região do motor, mas distante de locais com altas temperaturas.

Dentro das TFI há uma lógica que controla a bobina de ignição, mas com o auxílio dos sinais de sincronismo que são: PIP (*Profile Ignition Pickup*), SPOUT, *Start*.

PIP: O sinal PIP nada mais é que o sinal *hall* do distribuidor, que é mascarado com esse nome nesse tipo de sistema. Após o PIP ser gerado ele é encaminhado para a TFI e para EEC-IV.

SPOUT: O sinal SPOUT é o sinal PIP que sai da EEC-IV após ser remodelado de acordo com a rotação do motor. Esse sinal é trabalhado e modificado dentro da EEC-IV para permitir que a TFI saiba se deve adiantar ou atrasar o tempo de carga da bobina.

Start: O Start é o sinal que identifica a partida do motor, mas há uma diferença entre as TFI PS e CCD.

- Na PS o sinal entra na TFI após o rele de partida ser energizado, recebendo a indicação para que o modulo comece a funcionar
- No CCD o sinal sai da TFI para a EEC-IV, pois é o próprio modulo que controla a partida do motor, sendo responsável por enviar o sinal de partida para todo sistema.

2.3.4.1 Funcionamento da TFI

A TFI PS e CCD possuem muitas semelhanças externas, mas internamente seu funcionamento é muito diferente.

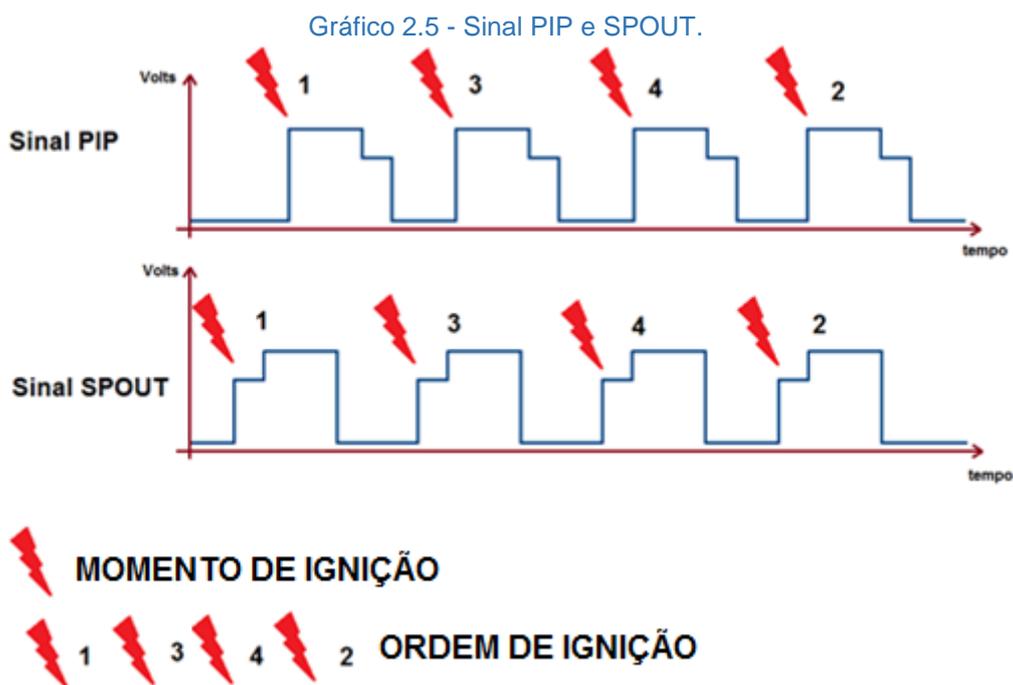
Push Start: Este módulo simples recebe o sinal SPOUT e utiliza apenas da borda de subida para que seja disparada a bobina.

Computer Controlled Dwell: O módulo computadorizado além de fazer o mesmo que o *Push Start*, ele utiliza da descida do sinal SPOUT para preparar a bobina para o próximo carregamento.

Na partida do veículo ambos os módulos desconsideram o sinal SPOUT, pois a rotação ainda não está estabelecida. Após a rotação da marcha lenta ser estabelecida os módulos entram no modo de funcionamento normal. Porém, o módulo CCD vai além. Após o arranque é determinado internamente o tempo do próximo carregamento da bobina, isso porque o módulo usa alguns dados tais como: a rotação do motor, a posição da última centelha e o tempo da última carga da bobina.

A TFI possui o modo de segurança para que se por acaso o sinal SPOUT não entrar no modulo TFI o motor não pare. Esse modo de segurança utiliza do sinal PIP para controlar o carregamento da bobina. O carregamento da bobina acontecerá na borda de subida do sinal e o veículo funcionará em temporização de base.

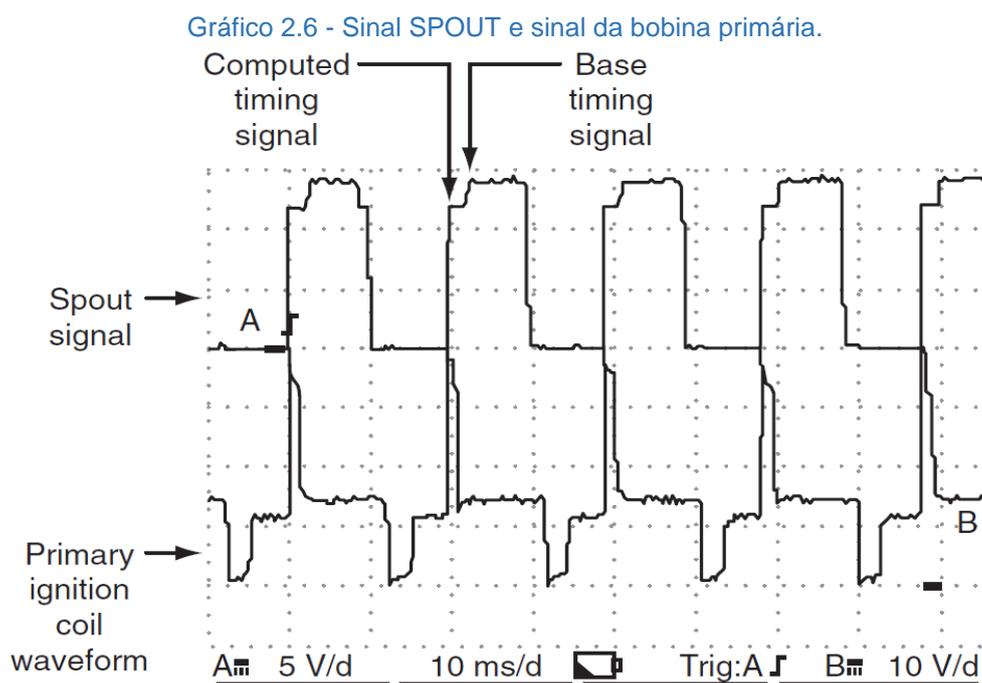
Para um entendimento mais claro, o gráfico 2.5 ilustra bem a descrição anterior.



Extraído de: Autoral.

O gráfico 2.6 representa o momento em que a centelha ocorre. No “Sinal PIP” a centelha sempre ocorrerá na borda de subida. No “Sinal SPOUT” da mesma maneira. Como pode ser observada, neste veículo a ordem de ignição é 1-3-4-2. Deixando claro que a alteração que ocorre sobre a forma de onda do sinal e é a ECU que faz a modificação, como explicado a seguir.

De modo sucinto, o motivo do sinal PIP e SPOUT sofrerem alteração no seu formato, será explicado a seguir com auxílio do gráfico 2.6.



Extraído de: HATCH, 2012.

Segundo HATCH, o sinal SPOUT é um sinal digital que pode oscilar entre 0 V e 14 V (isso devido a tensão de carregamento do sistema). Em cada um dos sinais há um entalhe no canto superior esquerdo, isso enquanto o *shorting plug* estiver conectado. A ECU altera o sinal do SPOUT fazendo assim também com o sinal PIP, mas alterando no canto superior direito.

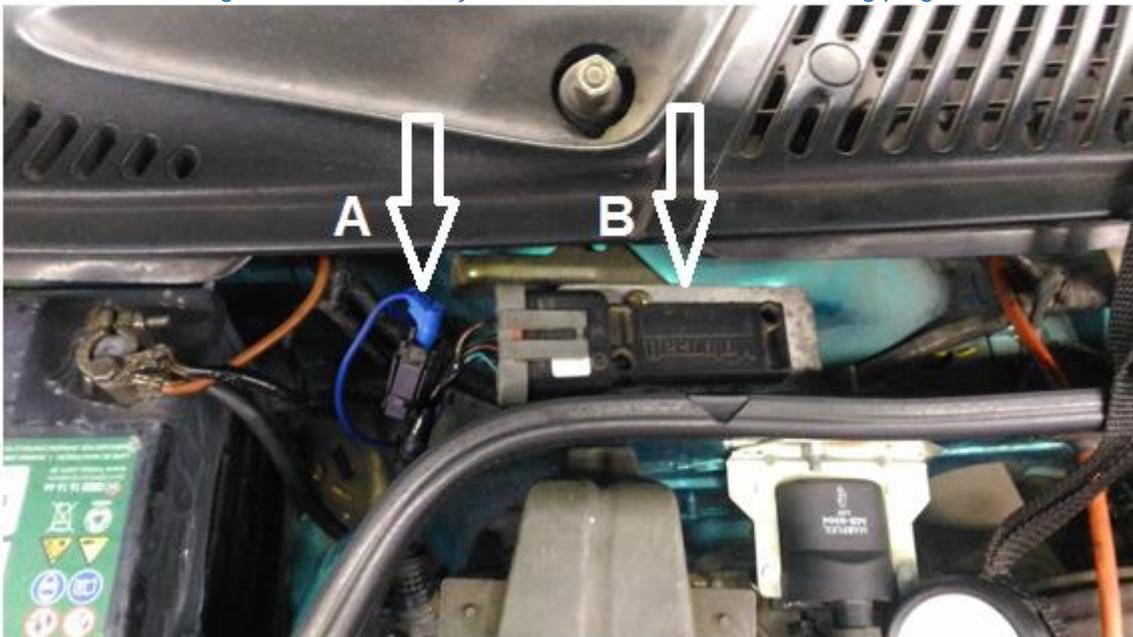
O aumento do entalhe (*Computed timing signal*) representa um comando calculado de tempo, ou seja, é a correção do ponto de ignição (ou ângulo) que a ECU faz sobre o sinal em função da condição de operação do motor. Devido a diferença de tempo entre esses dois levantamentos de tensão (*Computed timing signal* e *Base timing signal*) representa o quanto a ECU está adicionando ao tempo de base do sinal, ou quantos milissegundos a ECU está

comandando o módulo de ignição a disparar a bobina de ignição à frente do sinal de temporização base (fixo).

De acordo com o gráfico de exemplo, a diferença do comando de temporização calculado e o sinal de temporização base é de cerca de 2 ms. Caso o motor estivesse com 600 RPM (ou dez rotações por segundo, o que equivale a 3600° graus de rotação por milissegundo, os 2 ms de avanço da centelha equivaleriam cerca de 7,2° de aumento sobre o virabrequim.

Caso o *shorting plug* (esquema elétrico com o *shorting plug* verificar figura 2.16) do circuito seja removido a TFI começaria a disparar a bobina em linha com a temporização base, sem a correção sobre o sinal da ECU, e então o entalhe no canto superior esquerdo desaparece. Já o disparo da bobina de ignição não está sendo avançados os 2 ms no tempo, como têm ocorrido com o *shorting plug* instalado (HATCH, 2012). A figura 2.18 demonstra o módulo de ignição e o *shorting plug* instalados no veículo e sua localização.

Figura 2.18 - Localização Módulo TFI e conector *shorting plug*.



Extraído de: Foto autoral.

Na figura 2.18, a indicação A aponta o conector *shorting plug*. Já a indicação B é o módulo TFI.

2.3.4.2 Controle da Ignição MC33094

Projetado para aplicações para ignições automotivas em sistemas de 12 V, o CI 33094 fornece excelente controle da bobina de ignição quando usado com um Transistor Darlington adequado. Os sistemas de controle do motor que utilizam esses dispositivos para controle da bobina de ignição apresentam uma eficiência de combustível excepcional e baixas emissões de escape. O dispositivo é projetado para ser controlado a partir de uma entrada do sensor *hall* individual. O circuito é construído usando o processamento de Lógica de Injeção Integrada (IIL) de alta densidade incorporando transistores PNP e NPN de alto ganho de corrente (FREESCALE, 2006).

A tabela 2.3 apresenta pinagem do CI.

Tabela 2.3 - Pinagem do CI MC33094.

Número do Pino	Nome do Pino	Nome Formal	Definição
1, 5, 16	NC	Sem conexão	Não ligado ao circuito
2	MB	Master Bias	Circuito de polarização interno pino - ext. resistor
3	CA	Adaptive Capacitor	Gerencia o tempo de permanência - ext. capacitor
4	CR	Ramp Capacitor	Gerencia o tempo de permanência - ext. capacitor
6	GND	IC Ground	Fornecimento de terra
7	VIN (-)	Negative Input	Sinal do distribuidor de um sensor
8	ST	Start	Entrada do modo Start / Run
9	VCC	Supply	Tensão de alimentação (bateria, ignição ligada)
10	D	Distributor Signal	Monitor para o lado da bateria da bobina de faísca
11	CL	Coil	Monitor de tensão da bobina de ignição
12	O	Output	Fornecer corrente base para o ext. Darlington transistor
13	T	Process Test	Usado para medir funções internas
14	S	Current Sense	Entrada de detecção de corrente da bobina de faísca
15	CS	Stall Capacitor	Controla a corrente da bobina de ignição - ext. capacitor

Extraído de: FREESCALE, 2006.

2.3.4.3 Descrição Funcional

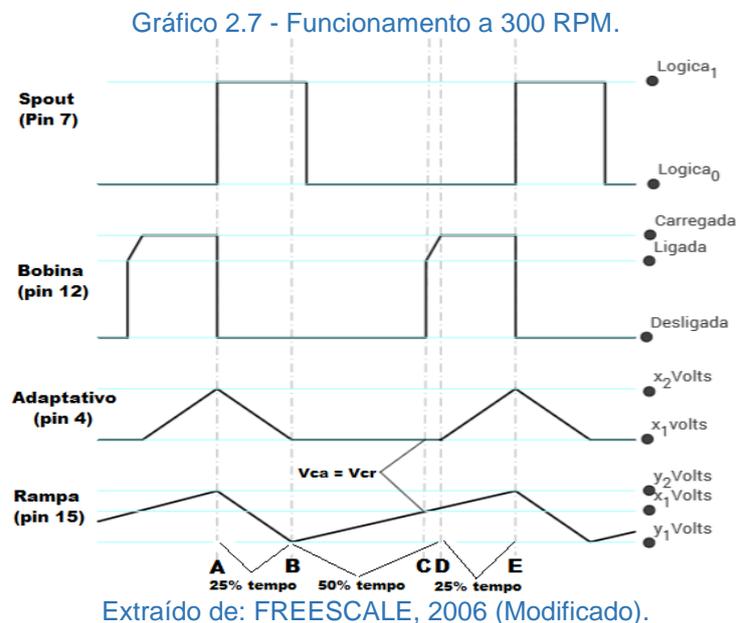
Temos uma entrada no CI que carrega a referência que será a base dos ciclos. Essa referência de onda quadrada é obtida por uma modulação

dentro da Central, isso depois que ela recebeu o sinal do sensor *hall*. A referência é utilizada para sincronizar dois capacitores que dão a base de tempo dos ciclos.

O primeiro capacitor é o de rampa (CR), responsável por indicar o momento que deve ser iniciado o carregamento da bobina

O Segundo capacitor é o adaptativo (CA), responsável por dar duas referências de tempo: a inicial com 25% e a final com 25%. Além de mostrar o momento que a bobina chegou no nível máximo (carregada).

Com auxílio do gráfico 2.7 podemos ver que o ciclo começa no início de uma borda de subida e é finalizado no momento que irá começar outra borda de subida.



Acompanhando a borda inicial (ponto A) podemos ver que os dois capacitores (CA e CR) começam o ciclo se descarregando e ao final dos descarregamentos (ponto B) obtemos 25% do tempo inicial.

Ao alcançar o seu nível mínimo de tensão o CR já volta a se carregar, porém o CA só irá se recarregar quando ele obtiver o sinal de que a bobina alcançou os 6,5 A (Bobina carregada).

Continuando, no ponto C será inicializado o carregamento da bobina, isso porque um bloco comparador de tensão verifica a todo momento os níveis dos capacitores e quando o capacitor CR (o que estava carregando) alcança o mesmo nível que o CA o bloco envia um sinal para que seja iniciado o

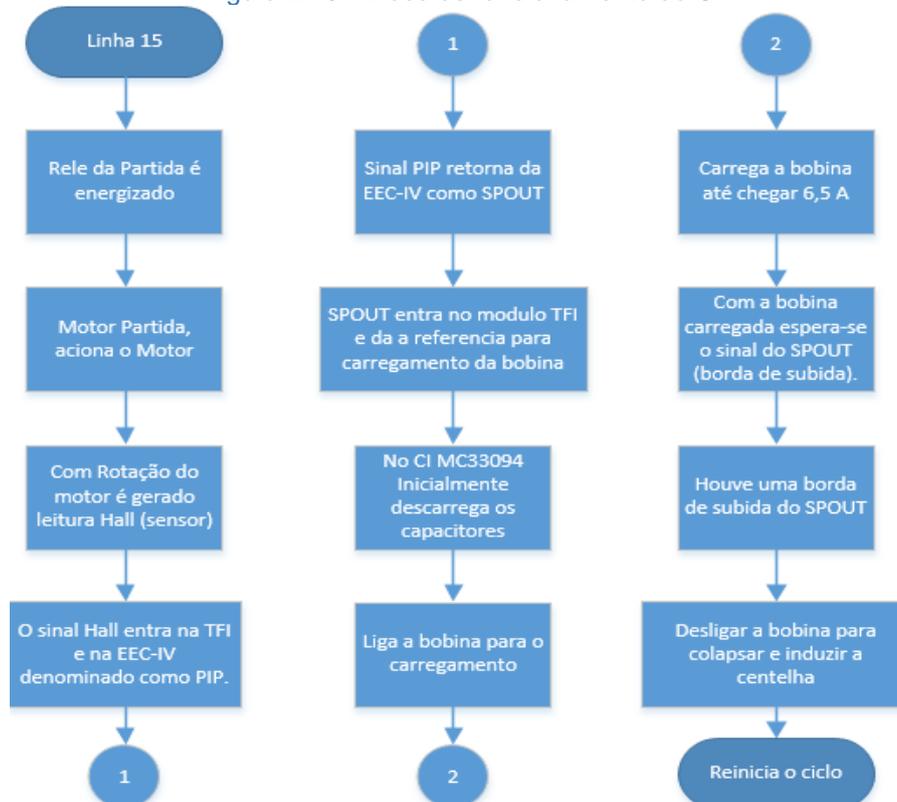
carregamento da bobina por intermédio do transistor Darlington, com isso a bobina irá ser carregada até alcançar 6,5 A.

Com auxílio do Darlington podemos entender o ponto D. No emissor do transistor é retornado para o CI uma referência que é lida gerando um sinal que indica como está o processo de carregamento da bobina. Quando é recebido a informação de que a bobina foi carregada, esse mesmo sinal é utilizado para dar início ao recarregamento do CA, onde do ponto D (onde começa a carregar) ao ponto E representa os 25% finais do ciclo.

Quando o ciclo chega no ponto E (início da borda de subida) é cortado a tensão na base do transistor, fazendo com que a bobina colapse e gere a tensão de indução na vela de ignição finalizando o ciclo.

O princípio dos demais ciclos são parecidos com o ciclo de partida, porém as únicas coisas que mudam é que os níveis (máximos e mínimos) de tensão dos capacitores se altera de acordo com o evento. Isso porque em determinadas rotações os ciclos são mais curtos sendo necessário que o carregamento dos capacitores seja mais rápido resultando em níveis menores ao aumento da rotação. Esses níveis são determinados pela lógica interna.

Figura 2.19 - Bloco de funcionamento do CI.



Extraído de: Autoral.

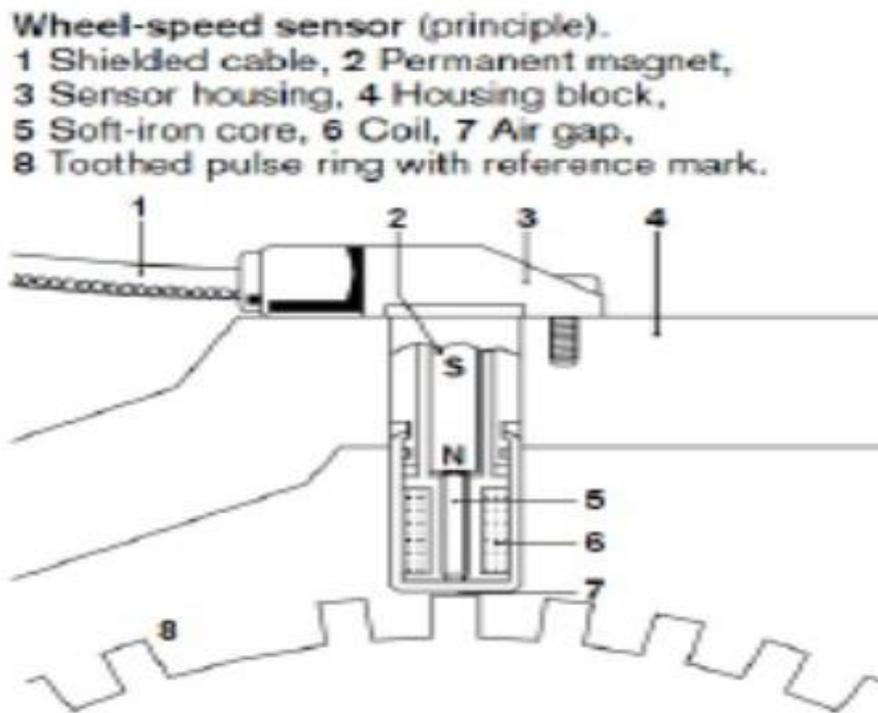
2.4 Sensor de Relutância Magnética

Neste capítulo apresentaremos características e como o sensor de relutância magnética capta os sinais da roda fônica.

2.4.1 Construção do Sensor de Relutância Magnética

Por ser um dispositivo robusto, poderemos identificar as características de sua construção, através da Figura 2.20.

Figura 2.20 - Diagrama do sensor de relutância.



Extraído de: LAGANA, 2012.

Como representado pela Fig.2.20 o sensor é constituído por um cabo blindado (1), ímã permanente (2), encapsulamento do sensor (3), suporte de fixação do sensor (4), núcleo ferromagnético (5), bobina (6). Em 7 temos a representação da distância do sensor para a roda fônica e em 8 os dentes da roda fônica. Observe que o itens 7 e 8 não pertencem ao sensor de relutância magnética.

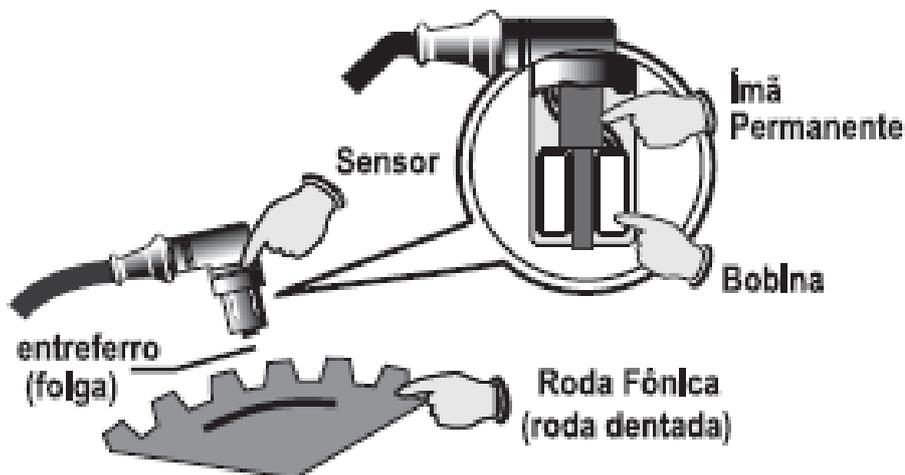
2.4.2 Princípio de Funcionamento do Sensor de Relutância Magnética

O sensor foi projetado com um revestimento de malha de cobre revestido com alumínio, sendo que, é ligado a massa do veículo. Esta malha tem a função de eliminar possíveis interferências no sinal do sensor. Podemos citar tais interferências como os gerados pelos cabos de vela e o alternador.

Quando o dente da roda fônica está alinhado com o sensor o fluxo magnético é máximo, isso devido as propriedades ferromagnéticas do material da roda fônica. Mas quando o sensor estiver alinhado com o “gap” da roda fônica o fluxo magnético é mínimo.

Devido a estas variações de fluxo entre dente e cavidade da roda fônica há uma variação de fluxo magnético que é suficiente para gerar uma força eletromotriz (f.m.e) na bobina do sensor. Essa f.m.e é representado por uma tensão senoidal e alternada que aparece nos terminais do cabo. A frequência e amplitude do sinal são diretamente proporcionais à velocidade de giro da roda fônica.

Figura 2.21 - Captação dos sinais da roda fônica.



Extraído de: MTE-THOMSON, 2010.

Os sinais gerados são transportados pelo cabo blindado para que interferências externas não distorçam o sinal que será interpretado pela unidade de gerenciamento do motor.

Através dos terminais do sensor é possível medir os pulsos de tensão, devido as variações do fluxo magnético. O valor da tensão depende da velocidade de giro com que a roda fônica se movimenta.

Segundo Laganá, é possível demonstrar que o fluxo magnético é modelado pela equação a seguir: (LAGANA, 2012)

Equação 2.1

$$\Phi = A_1 \text{sen}\omega t$$

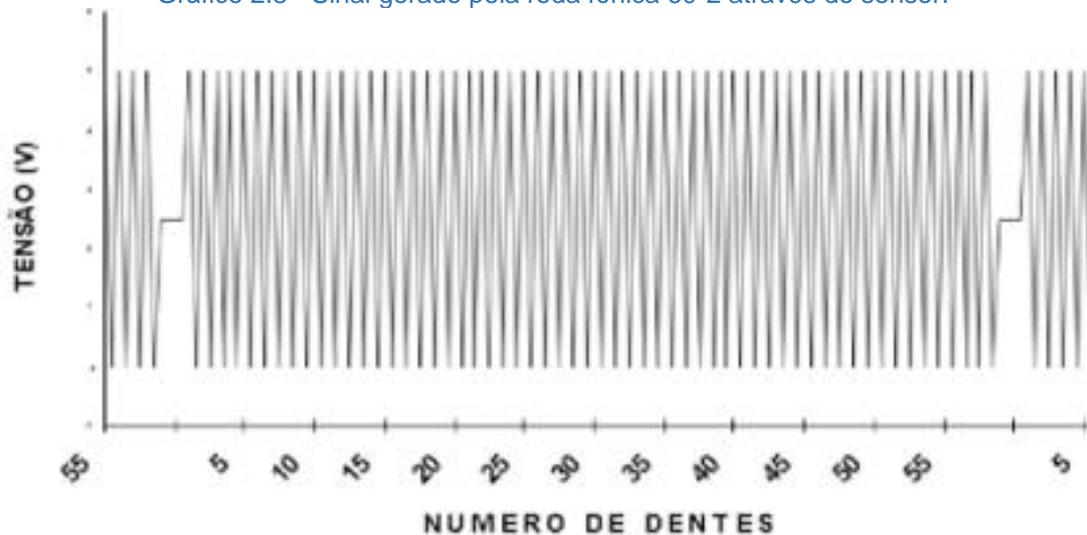
Na qual, pela lei de Faraday, o instante t quando igual a zero corresponde ao instante em que a linha central do núcleo coincide com a linha de subida do dente da roda fônica.

A tensão de saída (V_o) é representada pela seguinte equação:

Equação 2.2

$$V_o(t) = A_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = A_2 \cdot \omega \cdot \text{cos}\omega t$$

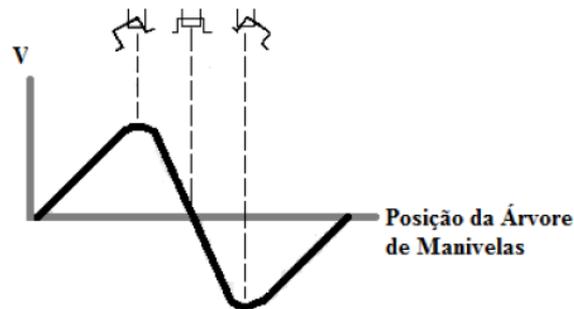
Gráfico 2.8 - Sinal gerado pela roda fônica 60-2 através do sensor.



Extraído de: Ciclo Engenharia – Volume 1, 2001.

Na figura abaixo pode-se observar com um pouco mais de detalha a construção do sinal em momentos de transição dos dentes da roda fônica.

Gráfico 2.9 - Sinal de tensão de saída de um sensor indutivo.



Extraído de: ALBALADEJO, 2013.

2.5 Roda Fônica 60 - 2 Dentes

A roda fônica basicamente é um disco de ferro com dentes em seu perímetro. Os dentes servem como referências de sincronismo para os sistemas de controle (ECU) acompanharem os ciclos do motor.

O modelo utilizando nesta aplicação possui 60 dentes, porém há dois dentes faltantes para que seja possível identificar o início do 1º (primeiro) ciclo do motor.

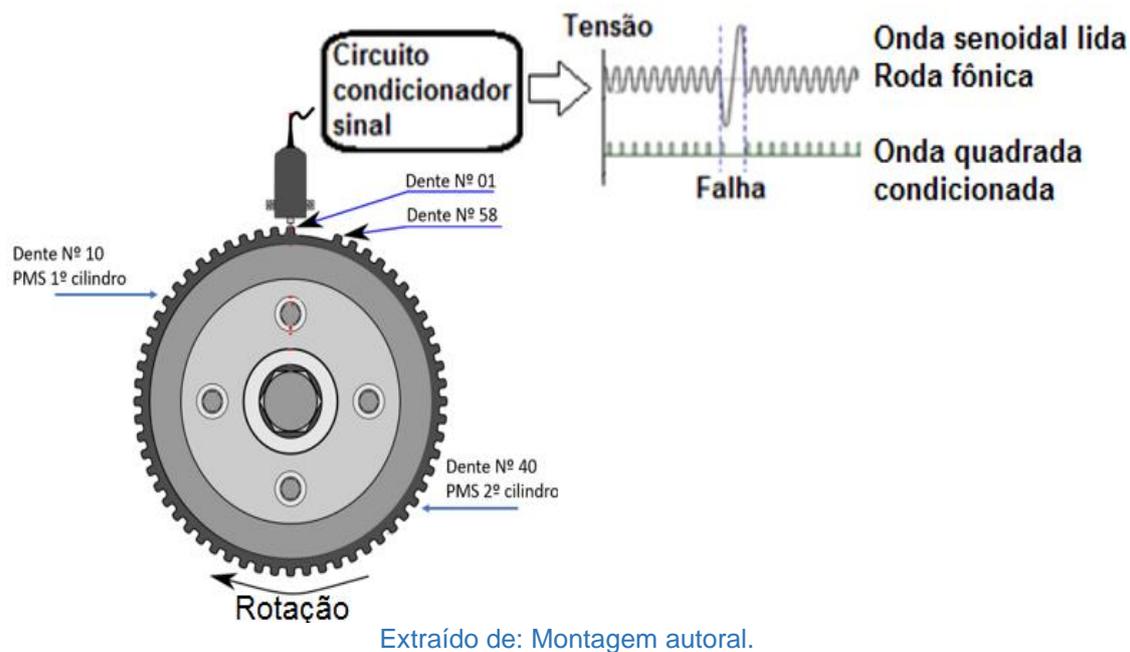
Por traz desse simples componente existe uma lógica de desenvolvimento, isso porque se pensarmos geometricamente lembramos que a circunferência possui 360° graus. Dessa maneira fica fácil para um sistema de controle contar valores divisíveis por 360°. Com uma roda fônica com 60 dentes, teremos 6° por dente.

O próximo capítulo ilustra uma de roda fônica 60-2 dentes já com o sistema de captação de sinal montado e será possível entender melhor como funciona esse conjunto.

2.6 Condicionador de Sinal LM1815

O sinal senoidal gerado pelo sensor de rotação lido da roda fônica 60-2 é captado por um circuito condicionador de sinais, mais especificamente o LM1815. Na figura 2.22 podemos verificar que o sinal é transformado de senoidal para um sinal digital.

Figura 2.22 - Condicionamento do sinal de rotação.



Ao receber um sinal senoidal na entrada do circuito é disparado um sinal na saída de amplitude de 5v. O tempo em que o sinal da saída fica igual ao valor de V_{cc} é determinado pelo resistor R3 e pelo capacitor C3. Por conveniência, foram mantidos os valores determinados no *datasheet* do componente. O resistor R1 tem a função de limitar a corrente do sinal e rotação.

2.7 Ignição Estática de Faísca Perdida (Bobinas Duplas)

“Este sistema se caracteriza pelo fato que uma mesma bobina gera a alta tensão para as velas de dois cilindros. A condição fundamental é que sejam cilindros gêmeos”. (MANAVELLA, 2003)

Segundo Manavella quando um embolo está na fase final do ciclo de compressão, o cilindro gêmeos estará no fim do ciclo de exaustão. Assim, a alta tensão será consumida principalmente pelo cilindro que está em compressão. A vela do cilindro que está em exaustão não precisa mais do que 1000V para gerar a centelha. Fazendo com que o restante da tensão fique disponível para o cilindro que está em compressão. (MANAVELLA, 2003)

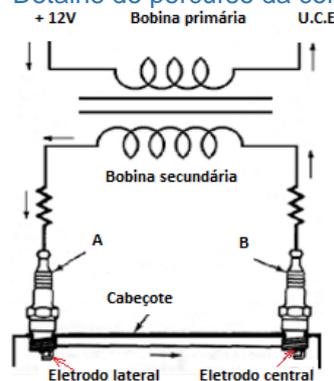
Figura 2.23 - Ignição Estática de Faísca Perdida.



Extraído de: MANAVELLA, Controle Integrado do Motor, 2003, p. 87.

Mais detalhes na próxima figura 2.24.

Figura 2.24 - Detalhe do percurso da corrente elétrica.



Extraído de: Ciclo Engenharia – Volume 1, 2001.

Segundo GLEHN, a resistência “A” (Não veja a resistência A e B) representa a vela “A” e a resistência “B”, a vela “B”. Pela Lei de OHM, a intensidade de corrente elétrica em “A” e em “B” são iguais. Já a tensão em “A” além da intensidade de corrente, é proporcional a resistência em “A” e por força do funcionamento do motor a resistência em “A” é diferente da resistência em “B”. Quando “A” está em compressão os gases que compõem o dielétrico estão em alta pressão e possuem grande resistência elétrica. Já “B” está em fase de descarga, os gases estão em baixa pressão e possuem baixa resistência elétrica. Portanto, teremos uma alta tensão em “A” e uma baixa tensão em “B” (aproximadamente 20KV em “A” e 500V em “B”). Com mais uma volta de 360° do virabrequim e a situação muda agora onde “B” é quem está em compressão e “A” está em descarga. As tensões em “A” e “B” se invertem em intensidade, porém o sentido do fluxo da corrente elétrica não muda, continua saltando do eletrodo central para o lateral em “A” e do lateral para o central em “B”, isso porque o sentido da corrente elétrica na bobina primária permanece a mesma. (Ciclo Engenharia – Volume 1, 2001).

3 METODOLOGIA

Será apresentado neste capítulo os componentes e circuitos que serão utilizados na adaptação do sistema de ignição por centelha perdida.

A ignição original do veículo possui em sua construção um distribuidor com sensor *hall*, uma bobina de ignição e um módulo de ignição, cujo funcionamento serão explicados posteriormente. Para os testes e validações será utilizado o veículo Volkswagen GOL 1.3i AE 1996 (Veículo alterado de 1.0 para 1.3 na Fatec Santo André), e que foi disponibilizado para o ensaio deste projeto.

Figura 3.1 - Veículo Gol utilizado e disponibilizado pela FATEC-SA



Extraído de: Foto Autoral.

Para a alteração utilizaremos os seguintes componentes:

- Roda Fônica 60-2 dentes;
- Sensor de Relutância Magnética;
- Circuito Integrado *Texas Instruments* LM1815;
- Hardware com microcontrolador MICROCHIP PIC184550;
- Driver de potência;
- Bobinas duplas de ignição.

3.1 Sincronismo com o Motor

Quando se trabalha com um veículo no desenvolvimento de um módulo de ignição ou injeção deve ser ter uma base de sincronismo com o motor bastante robusta para que não se perca nenhum ciclo do motor. Se houver uma perda de algum ciclo de sincronismo, o motor perdera potência e pode até “morrer” (parar involuntariamente).

Como já descrito neste trabalho, os principais itens estão respectivamente nesta ordem: Roda fônica 60-2, sensor de relutância magnética e condicionador de sinais.

Inicialmente a construção da roda fônica deve ser acoplada ao eixo de manivelas do motor, com isso teremos a roda fônica sincronizada com os ciclos do motor. O sensor de relutância irá captar os dentes da roda fônica, gerando assim uma tensão alternada. Por último temos o condicionador de sinais que transformara o sinal senoidal do sensor para onda quadrada sendo possível utilizar dentro do ECU (microcontrolador).

Parte da construção já descrita acima, está ilustrada na figura 3.2 mostrando sua montagem no veículo de testes.

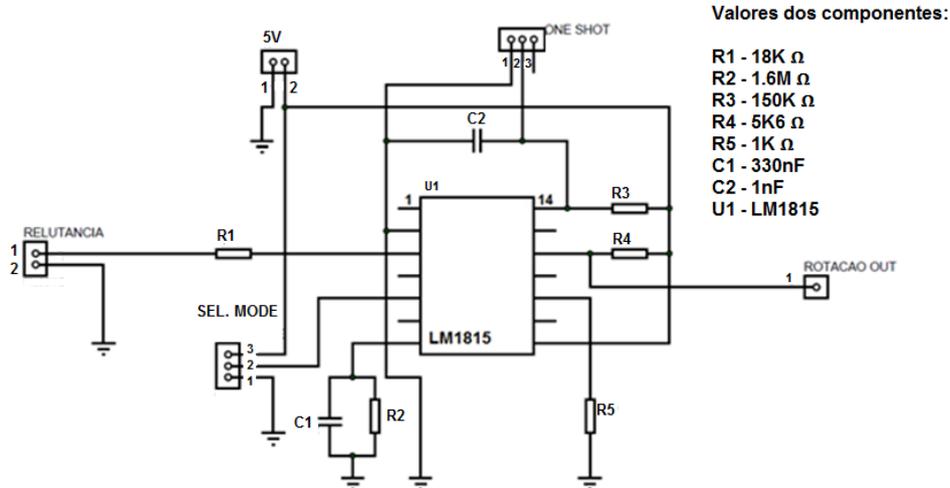
Figura 3.2 - Roda fônica e sensor de relutância original.



Extraído de: Autorial.

Observando a figura 3.3, o sinal do sensor chega ao borne RELUTÂNCIA que será condicionado pelo LM1815 e sai pelo pino ROTAÇÃO OUT, pois a partir desse sinal que o microcontrolador irá trabalhar para interpretar o sincronismo do motor e calcular o tempo correto para a ignição.

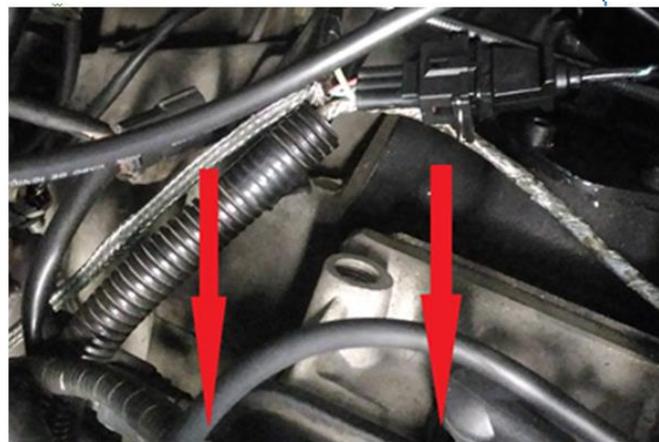
Figura 3.3 - Circuito condicionador de sinal com LM1815.



Extraído de: FREESCALE, 2006 (Adaptado).

Já a figura a seguir mostra parte do chicote de instalação do sensor de rotação para que o sinal chegue no condicionador de sinal

Figura 3.4 - Chicote do sensor de relutância envolvido por malha.



A **B**

Extraído de: Autoral.

O sensor de rotação utilizado é composto de três fios, sendo eles:

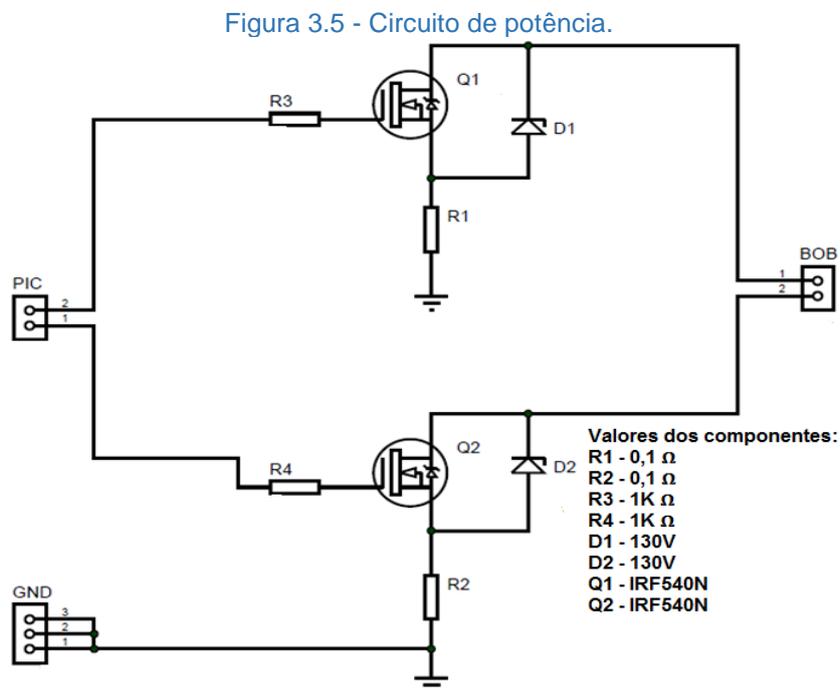
A - 1 fio para a malha que envolve os dois fios de sinal.

B – 2 fios para a obtenção do sinal gerado pelo sensor

Na indicação 1, é o conector do sensor de rotação. Já na indicação 2 é a malha que foi necessário colocar para atenuar as interferências eletromagnéticas sobre a linha do circuito do sensor. (Não encontrei o 1 e 2 na figura)

3.2 Ignição

Como proposto no trabalho a ignição será distribuída por duas bobinas duplas. Para o carregamento das bobinas será necessário utilizar um *driver* de potência. A bobina disponibilizada para o projeto não tem um *driver* de potência integrado, sendo necessário construir um *driver* para cada bobina, como indicado na figura 3.5. Contudo, no veículo original existe um *driver* na própria bobina, mas que não atende as necessidades deste projeto. Assim foi necessário criar um driver individualmente por circuito elétrico, como ilustrado na figura 3.5.



Extraído de: Autoral.

Analisando o circuito da figura 3.5. O sinal gerado pelo microcontrolador (nível alto em 5V) determina o tempo que a bobina ficará energizada (*Dwell Time*), e entra pelos pinos 1 e 2 do borne PIC (um para cada

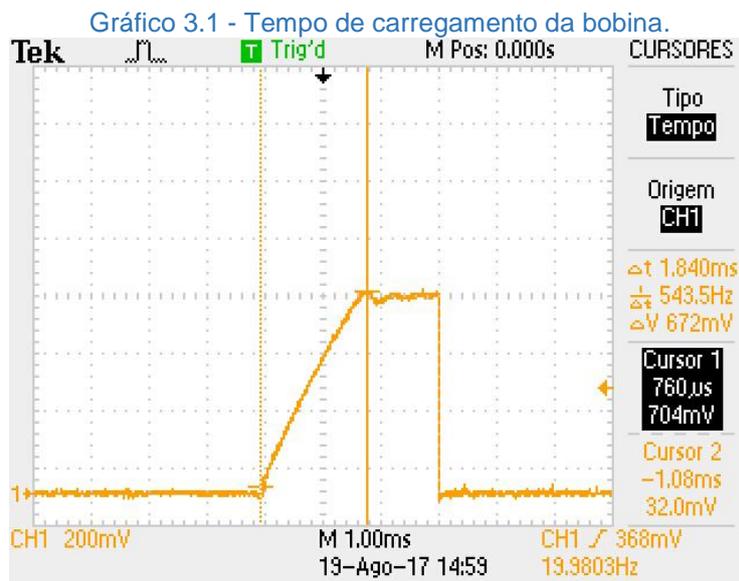
bobina), fazendo com que o transistor conduza como uma chave eletrônica, e assim carregando a bobina. Resumindo; o microcontrolador envia um sinal PWM para cada bobina, e durante o corte do sinal (nível baixo) faz com que a bobina colapse, gerando assim uma centelha nos cilindros do motor.

A bobina do veículo e da aplicação contém características diferentes de resistência e indutância, o que faz com que o *Dwell Time* (Tempo de permanência) mude de uma para outra, sendo necessário então calcular esse tempo novo tempo. A bobina dupla utilizada contém uma indutância de 2,86 mH e uma resistência de 1 ohm no primário da bobina. Como no veículo têm-se o alternador que consegue manter a tensão da bateria no nível de 14 volts foi utilizada essa tensão na formula 3.1 e obtivemos um tempo de 1,98 ms de tempo de carregamento, ou seja, Dwell Time.

Equação 3.1

$$Carregamento_{bobina} = \left\{ -\ln \left[-\left(\frac{R_{bob} \times I_{MAX}}{V} - 1 \right) \right] \right\} \times L$$

O gráfico 3.1, nos mostra um tempo de carregamento máximo na pratica de 1,84 (medição entre cursores).



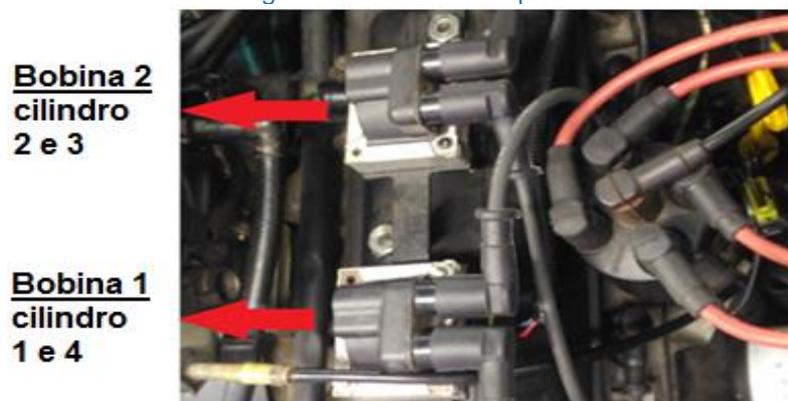
Extraído de: Foto Autoral.

Como foi descrito no capítulo 2.7 as bobinas duplas contém uma característica que facilita o seu controle. Quando um cilindro está em combustão

e recebe a centelha, este cilindro receberá toda a energia fazendo com que o seu cilindro gêmeo receba pouca quantidade de energia pois está em fase de exaustão.

Vendo a figura 1 (ciclo de trabalho do motor Otto (colocar a página)) e recordando que a cada duas voltas da roda fônica compreende um ciclo completo do motor, sabemos que para cada volta da roda fônica é necessário comandar apenas dois sinais de acionamento, um para cada bobina, e por fim ela mesmo faz a distribuição para os cilindros, vide capítulo 2.7.

Figura 3.6 - Bobinas duplas.



Extraído de: Foto Autoral.

3.3 Microcontrolador: Módulo de Ignição

O microcontrolador é uma ferramenta que possibilita diversos teste e controles para que dado um problema seja resolvido. Porém, apesar da grande flexibilidade e velocidade, o microcontrolador tem seus limites.

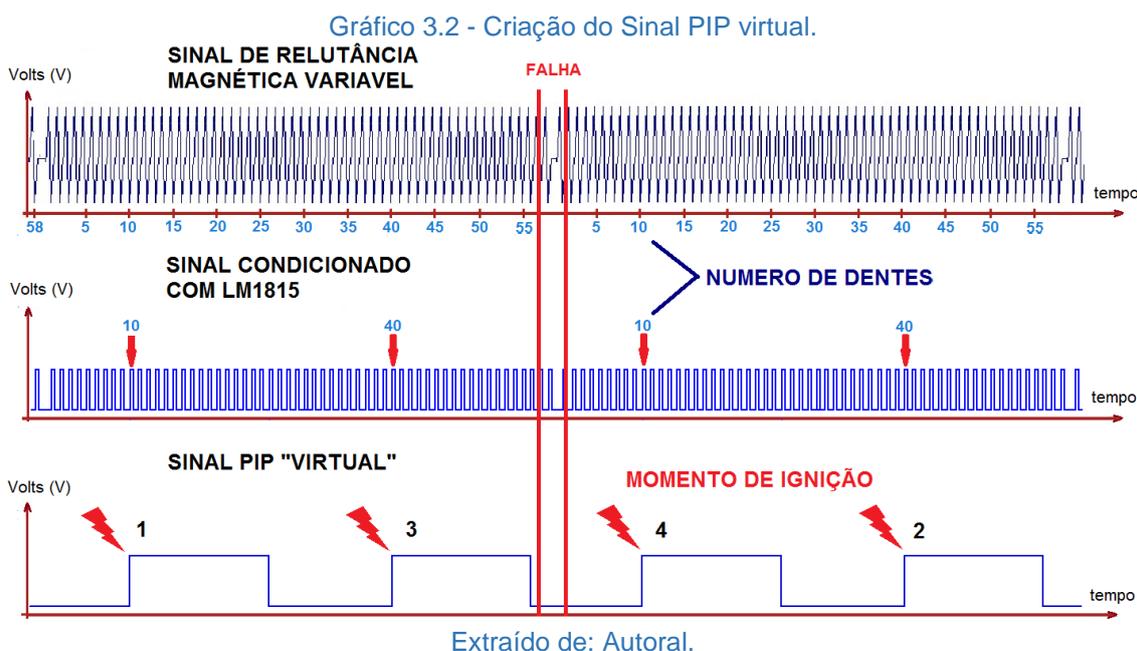
O microcontrolador escolhido para que os testes fossem feitos é o MICROCHIP PIC18F4550, com uma montagem de *hardware* desenvolvida na Fatec Santo André.

A escolha desse microcontrolador é por conta do custo e por ter as ferramentas necessárias para a conclusão do projeto. Foram utilizados os quatro *Timers* e uma interrupção externa. Esse microcontrolador tem um limite de *hardware* na parte de configuração de *Timer*, na qual ele suporta apenas uma interrupção mínima de 10 μ s. Por conta disto foram utilizados tempos de até 100 μ s para não sobrecarregar o microcontrolador.

Neste projeto o microcontrolador está trabalhando com um *bootloader*, o que possibilita que o código seja gravado via USB, trabalhando com uma frequência de 48MHz. Nele será feito o processamento do sinal de rotação gerado pelo sensor de relutância lido na roda fônica e condicionado pelo LM1815, que está atrelada ao motor e sincronizada com o 1° cilindro em PMS ao dente 10.

Com o sinal condicionado no microcontrolador, será criado um sinal que corresponde ao sensor *hall* do distribuidor. Esse sinal será enviado para a unidade de injeção eletrônica ECU EEC IV para que ele continue criando o sinal SPOUT e atue no injetor de combustível.

Com o sinal SPOUT gerado foi criado um vetor no microcontrolador com os avanços. Foi analisado o avanço a cada 500 RPM com a utilização de um osciloscópio. A análise foi feita com o veículo em vazio, ou seja, sem carga em condição de velocidade 0 km/h. Com auxílio do vetor do SPOUT, o sinal de carregamento da bobina será avançado de acordo com a rotação compreendida pelo microcontrolador. Assim, a tarefa do microcontrolador no projeto será receber os sinais de rotação, controlar as bobinas e enviar um sinal semelhante ao PIP. A figura a seguir ilustra o sincronismo da ignição baseado no sinal da roda fônica.



Foram comparados os sinais de rotação do sensor da roda fônica e do sensor de rotação do distribuidor, para criar o sinal do PIP virtual, e foi observado que o sinal do PIP deveria ser sincronizado com os respectivos dentes 10 – 26 – 40 – 56, como pode-se observar no gráfico 3.2.

Conforme descrito anteriormente, esse sinal de PIP “virtual” será ‘injetado’ a ECU do veículo para com que seja substituído o sensor de rotação do distribuidor, ou seja, foi simulado o mesmo sinal de rotação que o distribuidor original produz. Como a ECU do veículo foi projetada para ler esse tipo de sinal, não era possível enviar os sinais de rotação gerados pelo LM1815 a partir da Roda Fônica.

3.3.1 Software do Projeto

Para a explicação do *software* é melhor dividi-lo nas seguintes partes: processamento do sinal de rotação, geração do sinal PIP, avanço com o sinal SPOUT e controle das bobinas.

1º Parte – Processamento do sinal de rotação: para que fosse feito o processamento do sinal de rotação foram utilizados o TIMER1 e a INTERRUPÇÃO_EXTERNA_0.

O TIMER1 foi configurado com um estouro de 20us para criar um contador de frações do dente da roda fônica denominado de *Cont_RPM*. A cada estouro do TIMER é incrementado um (+1) ao contador, e na Interrupção Externa é tratado este valor para verificar a falha. E também com esta variável será identificado a rotação do motor.

A INTERRUPÇÃO_EXTERNA_0 é acionada quando há uma borda de subida do sinal de rotação. Se for identificado uma borda de subida o valor da contagem anterior é multiplicado por dois (2x) e guardado em uma variável denominada de *Cont_Anterior*. A nova contagem é guardada na variável *Cont_Atual* e por fim é zerado o contador *Cont_RPM*. Para a identificação da falha, é feita uma comparação, se *Cont_Atual* é maior do que *Cont_Anterior*. Se sim, é reiniciado o contador de dentes (variável *Flag_Dente*) para 1, neste caso, se passou dois dentes e meio, e é por esse motivo que o valor contido no

Cont_Anterior foi multiplicado por dois. Agora se não for maior, é incrementado um (+1) ao contador de dentes (Flag_Dente).

Com essas variáveis, se tem a posição dos dentes para acionamento das bobinas e o valor do fracionamento do dente para saber a rotação do motor. Para obter o RPM do motor basta dividir por 50.000 pelo valor de Cont_RPM (O 50.000 é o valor da decomposição da Equação 3.1 que é a formula para encontrar o RPM pela contagem do TIMER1).

Equação 3.2

$$RPM = \left(\frac{1}{60 \times 20us / cont_TIMER1} \right) \times 60$$

2ª Parte – Geração do sinal PIP: para a geração do sinal virtual PIP (sinal recriado no microcontrolador) foi feito antes uma análise com auxílio de um osciloscópio para identificar as bordas de subida e descida do sinal PIP real (sinal do veículo). Como pode se verificar no gráfico 3.2, os pontos de borda de subida são: o 10º dente e o 40º dente; de descida são: 26º dente e 56º dente.

Com esses pontos foi criado um vetor (Pos_PIP) no código para fazer comparações de igualdade com a variável Flag_Dente. Inicia-se a comparação com o índice 0 (zero) do vetor (dente 10), se a igualdade for verdadeira é enviado uma borda de subida no pino RB5, e passa o vetor para o próximo índice, se a Flag_Dente estiver carregada com 26 é enviado uma borda de descida, e repete o processo até o último índice. Quando finaliza a comparação com o último índice, retorna a comparação para índice 0 (zero) do vetor Pos_PIP.

O processo de recriação do sinal PIP foi feito dentro do TIMER3 com a configuração de estouro de 100us. Utilizando o *timer* foi possível otimizar o processo.

3º Parte – Avanço com o sinal SPOUT: para o avanço também foi criado um vetor de acordo com o avanço de ignição do motor sem carga. Para a composição do vetor (Pos_SPOUT) foi analisado com um osciloscópio o avanço nas seguintes rotações: 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000; com um total de 12 pontos. Chegando nos seguintes avanços: 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 4, 4, 4, 4, 4. Esse conjunto de valores forão armazenados num

vetor e os valores deste vetor são os dentes em que a bobina será desligada. Esse vetor será utilizado na parte de controle das bobinas.

Na tabela 3.1 têm-se o momento de ignição de acordo com a rotação.

Para os cilindros 2 e 3 foram somados 30 dentes nos valores encontrados para o 1 cilindro.

Tabela 3.1 - Momento de ignição.

Rotação	Ignição no Dente (1 e 4 cil)	Ignição no Dente (2 e 3 cil)	Graus de Avanço
800	10	40	0
1000	9	39	6
1500	8	38	12
2000	7	37	18
2500	6	36	24
3000	5	35	30
3500	4	34	36
4000	4	34	36
4500	4	34	36
5000	4	34	36
5500	4	34	36
6000	4	34	36

Extraído de: Autoral.

4ª Parte – Controle das bobinas: esta parte contém o acionamento e o corte da bobina (desligamento). Para o acionamento é necessário saber como indexar os valores do vetor de avanço (Pos_SPOUT). Para acessar os índices do vetor Pos_SPOUT é necessário utilizar a equação 3.2.

Equação 3.3

$$Indice_{vetor} = \left(\frac{RPM}{500} \right) - 1$$

Como no caso deste projeto todas as ações estão sendo tomadas de acordo com a rotação, então é possível ter uma base de tempo para acionar as bobinas. Já que as bobinas do projeto precisam ser carregadas com pelo menos 1,7ms como foi descrito na seção 3.2, utilizamos 2 ms na aplicação do projeto. Assim como o vetor de avanço foi criado um vetor (Pos_ON) com os tempos de 2ms em dentes para as mesmas rotações, e com isso foi possível utilizar da mesma variável para indexar o vetor. Com a aplicação da equação 3.3 chegou-se no seguinte vetor: 2, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12.

Equação 3.4

$$Tempo_{2ms_{dente}} = 2ms / \frac{1}{\frac{RPM}{60}}$$

Os valores dos vetores Pos_SPOUT e Pos_ON foram aplicados na equação 3.4 para saber em qual dente será acionado as bobinas.

Equação 3.5

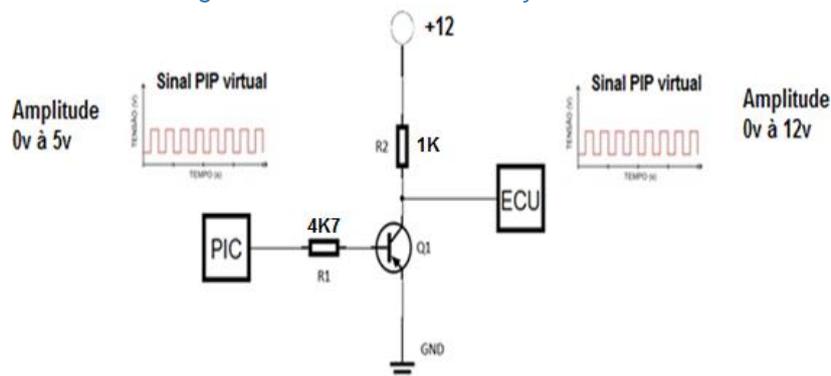
$$Dente_{ON} = Pos_{SPOUT}[Indice_{vetor}] - Pos_{ON}[Indice_{vetor}]$$

Para o acionamento e o corte das bobinas, os testes de comparações foram feitos dentro do TIMER0 com a configuração de estouro de 100 us. Utilizando o *timer* é possível trabalhar com determinismo, que é necessário no controle das bobinas. Então utilizando da variável Flag_Dente para saber em qual dente está o ciclo do motor, é verificado por igualdade se o dente atual é igual ao Dente_ON, senão, aguarda; se for, liga a bobina. Para o corte da bobina, é usado o indexador Indice_vetor para saber qual valor em dentes será usado do vetor Pos_SPOUT. Então por igualdade é verificado com o contador de dentes (Flag_Dente) o momento de desligamento. Se não for igual, aguarda; se for igual corta bobina gerando a centelha. Desta forma as bobinas conseguem carregar com 2 ms.

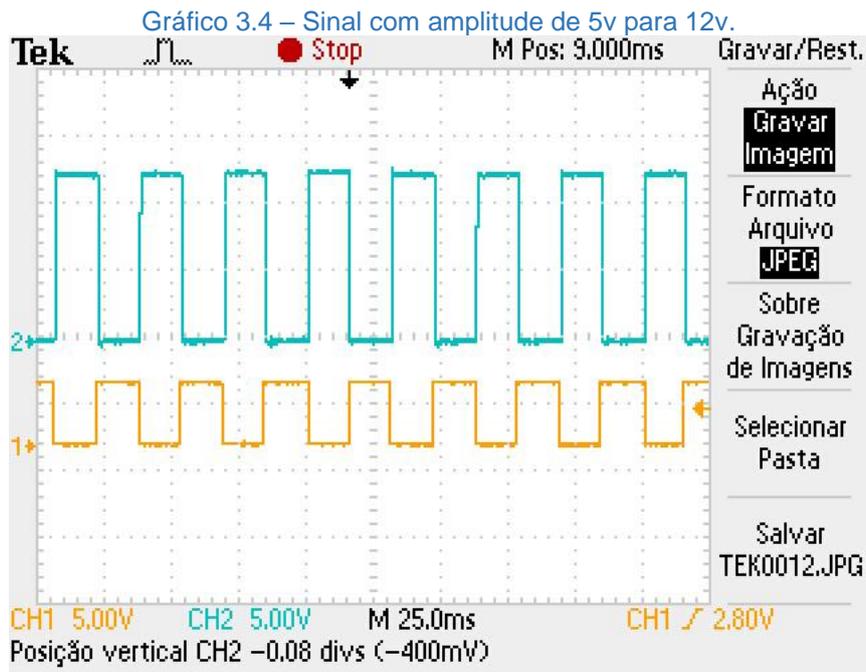
3.4 Circuito de Elevação de Tensão

No sistema original do veículo, o sensor *hall* do distribuidor gera um sinal (Sinal PIP) de 12 volts. Nesta aplicação será também criado um sinal PIP para a ECU continuar sincronizando com os demais componentes. É necessário jogar um sinal com amplitude de 12 volts o que o *hardware* do PIC não consegue, mas com o auxílio de um circuito transistorizado, isso é possível.

Figura 3.7 - Circuito de elevação de sinal.



Extraído de: Autoral.

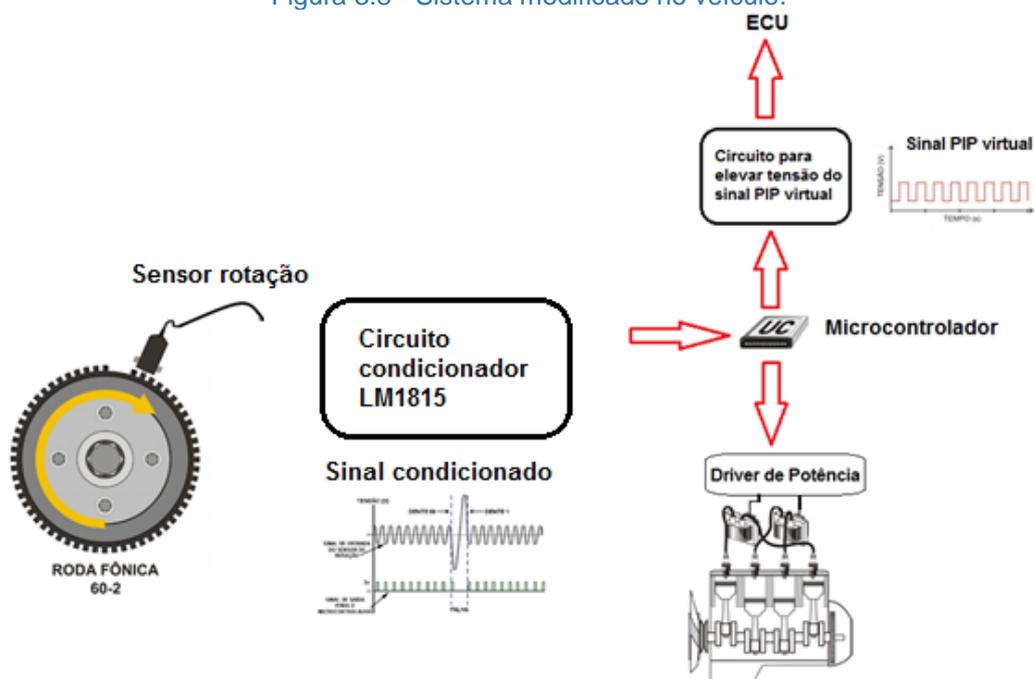


Extraído de: Autoral.

3.5 Configuração do Sistema Modificado

O sistema modificado de uma forma simplificada, é representada pela figura 3.8.

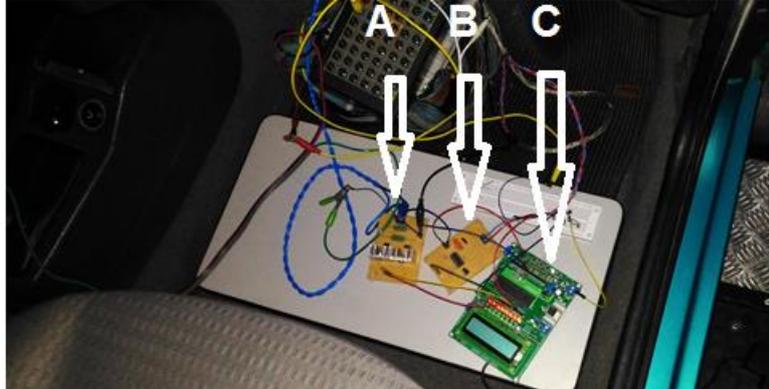
Figura 3.8 - Sistema modificado no veículo.



Extraído de: Autoral.

A figura 3.9 mostra o módulo de ignição desenvolvido, apresentando parcialmente o resultado final do sistema para controle das bobinas.

Figura 3.9 - Módulo de ignição desenvolvido



Extraído de: Foto Autoral.

Sobre as indicações na figura 3.9 segue:

- A: Placa circuito de potência.
- B: Placa condicionador de sinais com LM1815.
- C: Microcontrolador para o controle das bobinas.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos testes feitos no veículo com a adaptação proposta no projeto. Mas inicialmente será apresentado uma pequena introdução para entender o que se deve ser compreendido dos valores obtidos.

4.1 Torque e Potência nos Gráficos

Para se compreender o gráfico que será apresentado a seguir, é necessário considerar os conceitos de potência e torque no gráfico. Os valores de potência e torque geralmente aparecem sucedidos da rotação máxima na qual se atinge a potência máxima ou o torque máximo. As unidades de potência e torque são o kW (quilowatt) ou CV (cavalo-vapor); e N.m ou Kgfm.

Durante o funcionamento do motor, a cada combustão ocorrida nos cilindros uma força é transmitida aos pistões e então ao virabrequim. Essa força é chamada de torque e o seu binário é obtido através da multiplicação da força da combustão pelo raio da manivela do virabrequim. O torque máximo é obtido a um regime relativamente baixo de rotação do motor, e tende a diminuir com o aumento da rotação do motor.

O torque diminui conforme a rotação do veículo sobe, no entanto, quando o motor ganha velocidade, sua potência sobe e atinge seu ápice a um regime bastante elevado. Logo, em baixas rotações a potência é baixa, e o torque é quem age para deslocar o veículo, nas rotações intermediárias a potência sobe consideravelmente e o veículo ganha uma velocidade maior, e torque já não é tão influente.

Em altas rotações o torque diminui bastante, mas essa perda é compensada pelo aumento do regime do motor (alta rotação e alta potência), apesar disso, em rotações ainda mais altas a diminuição do torque é tamanha, que a o alto regime não consegue mais compensar, e então a potência do motor cai. É daí que os números de potência e torque aparecem acompanhados do número de RPM máximo (vide tabela 4.1 e 4.2).

No gráfico a curva em azul (4) representa o torque gerado pelo motor. E as curvas em vermelho, respectivamente representam:

- Potência no motor (1): é a potência gerada pelo motor.
- Potência na roda (2): é a potência transmitida nas rodas.
- Potência perdida (4): é a potência que se perde com atritos das partes mecânicas do motor e transmissão.

As letras acima do gráfico têm a indicação de coluna, ou seja, a letra A com uma seta logo abaixo indica coluna A e assim sucessivamente. Esta indicação é necessária para uma breve explicação para cada faixa de rotação.

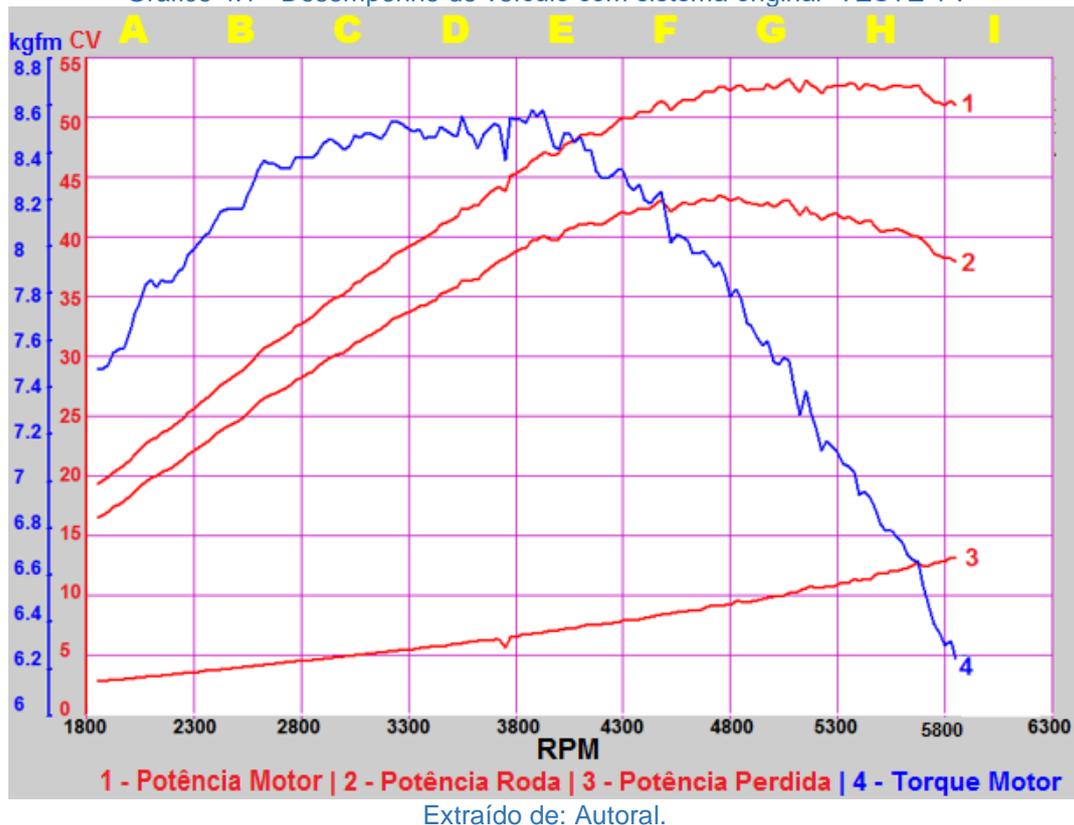
4.2 Resultado dos Testes

Para a obtenção dos resultados foi necessário a colaboração do Prof.º Marco Aurélio Fróes da FATEC Santo André, que com sua ajuda foi possível extrair os resultados via dinamômetro (Modelo: Dynotech 720i).

Os testes foram divididos em dois grupos contendo três testes em cada conjunto. O primeiro grupo de testes foi feito com o veículo original, ou seja, com os componentes originais, para extrair as curvas de potência e torque do veículo antes da substituição. O segundo grupo de testes foi feito com o veículo modificado com os componentes descritos na metodologia. Portanto, será possível comparar qual foi a influência da substituição dos componentes.

Os gráficos abaixo (4.1, 4.2, 4.3) mostram o desempenho do veículo com o sistema de ignição original.

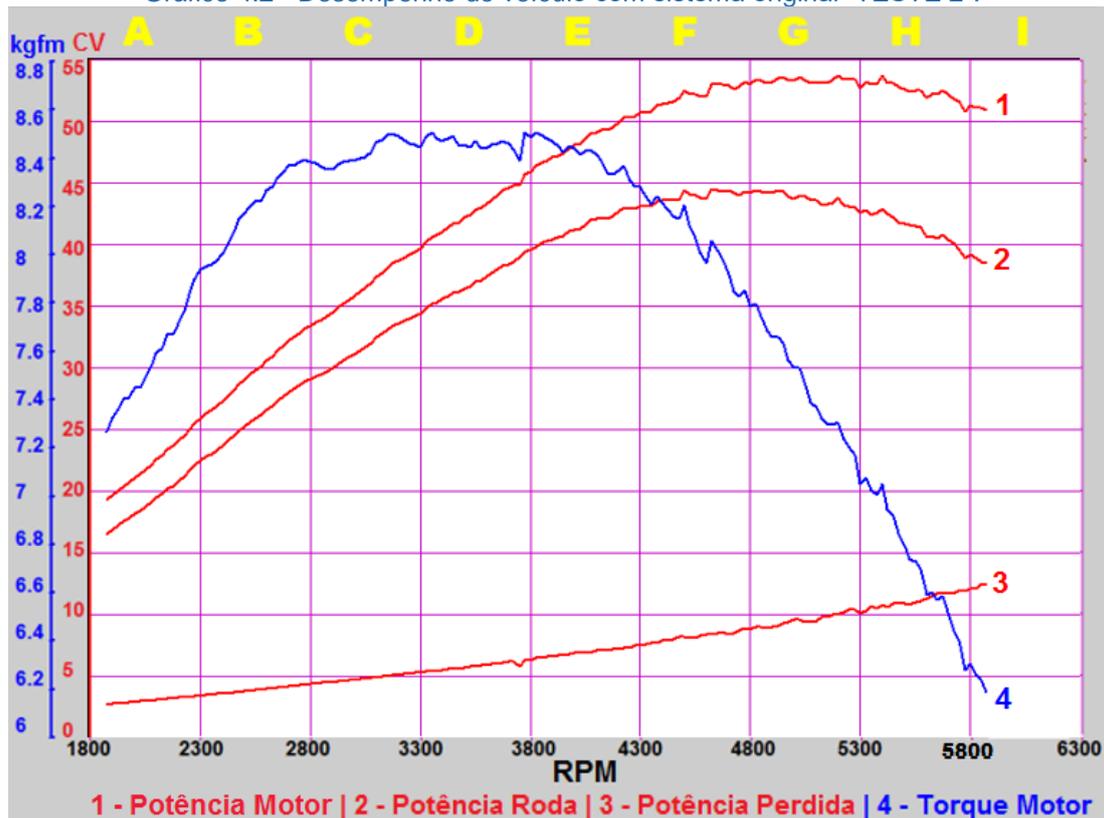
Gráfico 4.1 - Desempenho do veículo com sistema original "TESTE 1".



- Coluna A (1800 - 2300RPM) – Momento em que o motor começa a ganhar torque e potência. Nesta condição o torque será maior em relação a potência, pois nesse momento sendo necessário tirar o veículo da inércia.
- Coluna B (2300 – 2800 RPM) – Faixa em que o veículo está em crescimento de potência e torque.
- Coluna C, D e E (2800 – 4300 RPM) – Momento que o motor alcança o torque máximo e a potência se mantém crescente.
- Coluna F e G (4300 – 5300 RPM) – Como foi explicando na seção 4.1 é o momento que o motor compensa a perda de torque com o alto regime, região de máxima potência.
- Coluna H e I (5300 – 6300 RPM) – Início da perda de potência, quando o motor não consegue mais compensar com o alto regime por conta dos baixos níveis de torque.

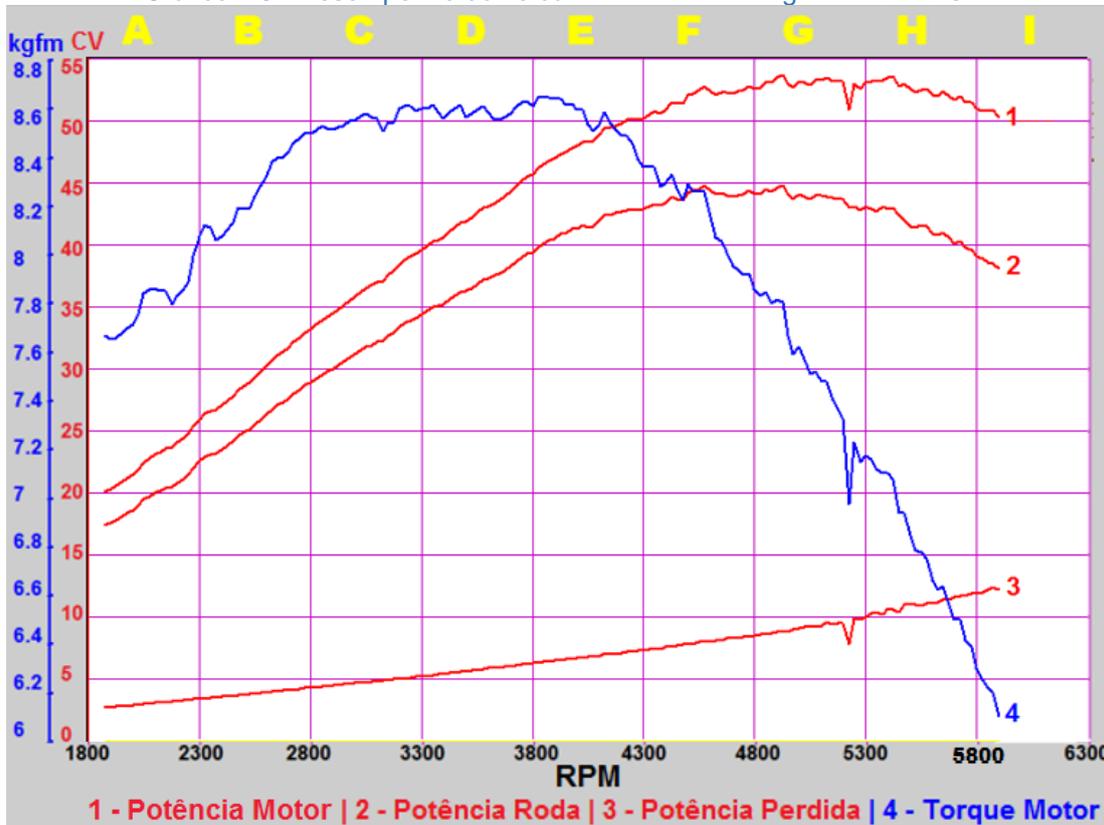
Obs.: Para os "TESTE 2" e "TESTE 3 " considerar a explicação do "TESTE 1" (sistema original).

Gráfico 4.2 - Desempenho do veículo com sistema original "TESTE 2".



Extraído de: Autoral.

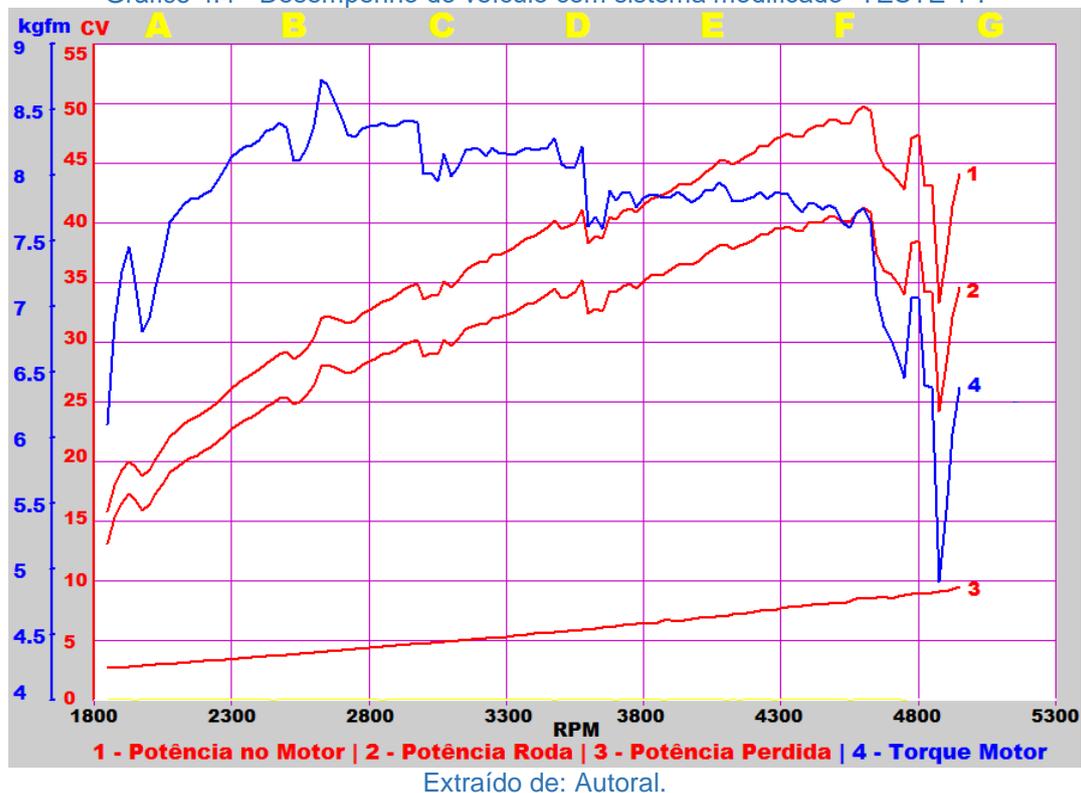
Gráfico 4.3 - Desempenho do veículo com sistema original "TESTE 3".



Extraído de: Autoral.

Os gráficos a seguir (4.4, 4.5, 4.6) mostram o desempenho do veículo com o sistema de ignição modificado. Vale ressaltar que a princípio o trabalho era fazer com que o veículo funcionasse sem a necessidade do distribuidor em conjunto com o módulo de ignição original.

Gráfico 4.4 - Desempenho do veículo com sistema modificado "TESTE 1".



Fazendo uma comparação do comportamento do motor com base nos gráficos 4.1 (o gráfico com melhor desempenho do veículo original) com 4.4 (gráfico com melhor desempenho do veículo modificado), é possível observar uma diferença no crescimento do torque (curva azul – 4) onde o modificado inicialmente (entre as colunas A e C) apresenta um nível de torque maior do que no veículo original. Esse tipo de situação é boa pois o veículo sai da inercia mais rápido, porém esta situação sacrifica o controle de poluentes, o motor é mantido mais tempo na fase de enriquecimento (entra-se mais combustível na câmara de combustão) gerando mais poluentes. Mas como a intenção do projeto era a substituição do sistema buscando possíveis aumentos de torque e potência, os poluentes não entravam em questão no momento. Apesar do aumento de torque em baixa rotação, não foi possível ter uma estabilidade desse torque ao longo de toda faixa de rotação porque, como foi explicado no capítulo 3.3, o

levantamento do mapa de ignição foi feito com o veículo parado (0 km/h) e sem carga. E por esse motivo que a houve alteração acentuada entre os testes com o sistema original do veículo e o adaptado. De forma mais clara, o avanço estava apenas de acordo com a rotação, não levando em consideração outras variáveis para a correção no mapa, tornando o avanço de ignição de modo linear. (Vide seção 3.3.1, 3º parte - Avanço com o sinal SPOUT).

Em potência o veículo modificado apresenta um crescimento, porém com algumas variações. Variações por necessidade de acompanhamento de outros eventos do motor (temperatura, pressão no coletor de admissão, etc.), entrando novamente na questão da falta de controle do sistema mediante a carga. No torque também aparece essas variações pela mesma questão.

No final dos testes (gráfico original nas colunas G, H, I e modificado nas colunas F, G), pode-se notar uma perda significativa de torque e potência no sistema modificado em comparação com o sistema original, pois o motor exigia mais avanço de ignição para alcançar rotações elevadas, lembrando que o sistema alcançou níveis de avanço de até 36º e o veículo original alcança níveis de avanço na faixa de 40º a 45º. Assim, houve um limite de 4800 RPM para este sistema modificado.

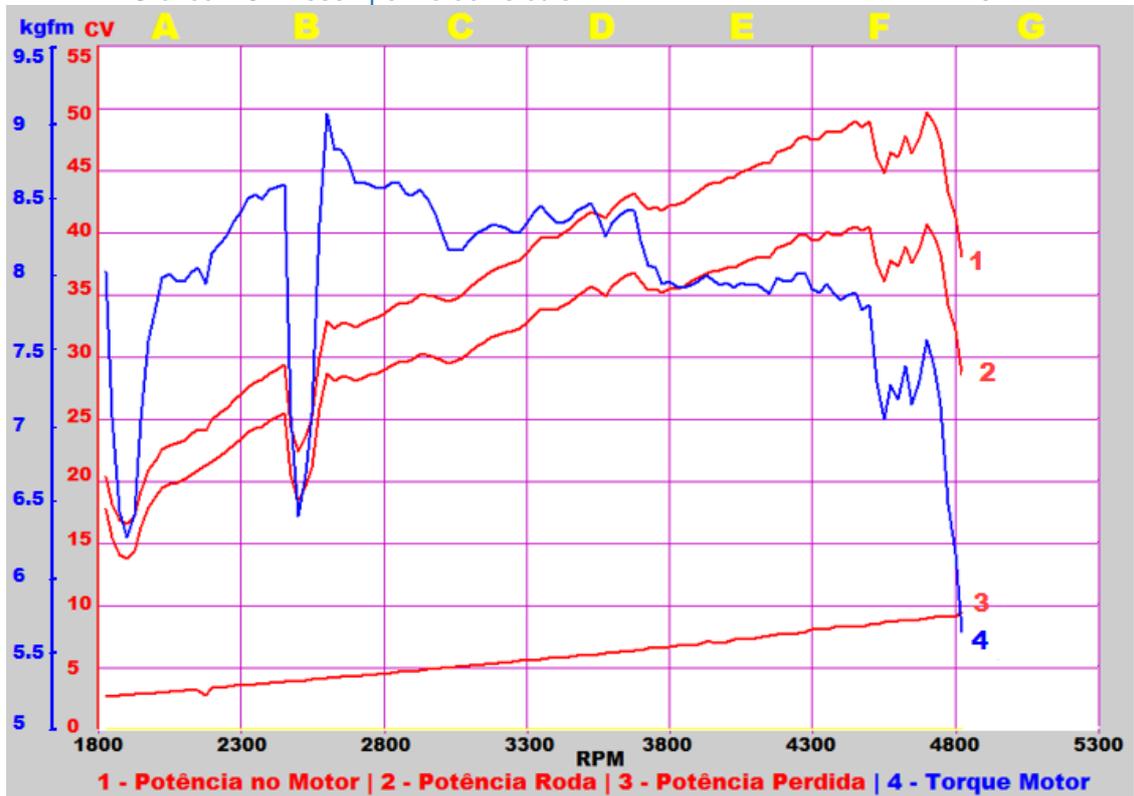
Ainda no final do teste modificado é possível ver uns picos nos gráficos que é resultado de um conjunto, sendo: a falta de controle do sistema de ignição e a instabilidade das partes mecânicas do sistema modificado. Que exatamente foi na instalação do sensor de rotação. Verificando a imagem 3.2 pode se notar uma chapa metálica que fixa o sensor. Em altas rotações está chapa com o sensor vibrava fora de sincronia com motor fazendo com que o sinal enviado pelo sensor fosse irregular implicado na perda de sincronia do microcontrolador com o motor.

Gráfico 4.5 - Desempenho do veículo com sistema modificado "TESTE 2".



Extraído de: Autoral.

Gráfico 4.6 - Desempenho do veículo com sistema modificado "TESTE 3".



Extraído de: Autoral.

As tabelas a seguir são de complemento para a comparação entre os dois sistemas.

A tabela 4.1 apresenta as condições de teste em que o veículo sem modificações foi submetido, e com ela também é possível verificar os valores que o veículo entregou de potência, torque e aceleração, tudo isso nessas condições.

Tabela 4.1 - Condições de teste e resultados obtidos (sistema original).

	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3
Temperatura Ambiente (°C)	26.7 °C	27 °C	27.1 °C
Umidade do ar (%)	38.5 %	37 %	36 %
Pressão Atmosférica (mmHg)	729.4 mmHg	729 mmHg	729 mmHg
Fator de Correção	1.051986	1.0527	1.0529
Ventilador (%)	10 %	10 %	10 %
Temperatura do Motor (°C)	85.5 °C	86 °C	85 °C
Temperatura do Pneu (°C)	50 °C	50 °C	50 °C
Pressão do Pneu (Psi)	32 Psi	32 Psi	32 Psi
Aceleração (m) *	645.5 m	639.6 m	644.7 m
Potência do Motor (cv)	53.21 cv @ 5075 rpm	53.73 cv @ 5400 rpm	53.67 cv @ 4925 rpm
Torque do Motor (Kgfm)	8.64 Kgfm @ 3850 rpm	8.64 Kgfm @ 3850 rpm	8.64 Kgfm @ 3850 rpm

* Distância percorrida durante o teste.

Extraído de: Autoral.

A tabela 4.2 apresenta os dados que o veículo com os componentes substituídos foi submetido e também apresenta os valores de potência, torque e aceleração.

Tabela 4.2 - Condições de teste e resultados obtidos (sistema modificado).

	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3
Temperatura Ambiente (°C)	26.8 °C	26.8 °C	26.8 °C
Umidade do ar (%)	39 %	42 %	43 %
Pressão Atmosférica (mmHg)	729 mmHg	729 mmHg	729 mmHg
Fator de Correção	1.0523	1.0538	1.0538
Ventilador (%)	10 %	10 %	10 %
Temperatura do Motor (°C)	84 °C	86 °C	85 °C
Temperatura do Pneu (°C)	50 °C	50 °C	50 °C
Pressão do Pneu (Psi)	32 Psi	32 Psi	32 Psi
Aceleração (m) *	445.3 m	426.7 m	447 m
Potência do Motor (cv)	49.78 cv @ 4600 rpm	50.11 cv @ 4550 rpm	53.39 cv @ 4525 rpm
Torque do Motor (Kgfm)	8.73 Kgfm @ 2625 rpm	8.59 Kgfm @ 2675 rpm	8.55 Kgfm @ 2850 rpm

* Distância percorrida durante o teste.

Extraído de: Autoral.

5 CONCLUSÃO

A conclusão deste trabalho se dividi em duas partes. A primeira parte do trabalho apresentou resultados positivos. O funcionamento do veículo em marcha lenta com as mesmas características do veículo original, sem qualquer alteração acentuada sobre a rotação do motor em relação ao original. Já para as rotações mais elevadas atingiu um alcance máximo de rotação em torno de 5000 rpm. Outro fator a se levar em consideração é o tempo em que o veículo entra em funcionamento sendo próximo ao original, referente ao momento de partida.

A segunda parte exigiu precisão na execução, pois o mapeamento é o ponto que influencia diretamente no veículo em adiantar ou atrasar a ignição. E nesse ponto não foi possível otimizar o desempenho do veículo, isso porque para a criação do novo mapa no microcontrolador foi utilizado como base os avanços do veículo sem carga (veículo sem marcha e aceleração em vazio), o que resultou em modo linear. Lembrando que o levantamento do mapa foi obtido com o sistema original. Para o levantamento de desempenho do veículo no dinamômetro (veículo com carga), com o novo mapa de ignição apresentou perda de desempenho, limitando toda a faixa de operação do veículo, alcançando avanços de até 36° e o motor exigia mais avanço. Com isso o motor não pôde evoluir em potência e torque. Como demonstrado nos resultados obtidos, com o sistema adaptado pode-se observar que alcançou um torque máximo em uma rotação menor, ou seja, atingindo em menor tempo o melhor desempenho do veículo, e com potência próximo ao original.

Outro ponto negativo foi com a interferência eletromagnética, provocando certos distúrbios ao microcontrolador. Ao acionar alguns componentes, como o eletroventilador do veículo e o ventilador do dinamômetro.

Contudo, o trabalho alcançou bons resultados, pois o veículo original tem uma precisão a cada 180° com o distribuidor e neste trabalho foi alcançado uma precisão de 6° com a roda fônica. Com esse benefício é possível trabalhar em cima de um novo mapa de ignição para que o veículo alcance as curvas características de potência e torque próximo ao original ou possivelmente obter um acréscimo de desempenho.

6 PROPOSTAS FUTURAS

Para as propostas futuras, a fim de obter um alto nível de desempenho maior sobre o veículo, foi constatado a necessidade de melhoramento de alguns fatores. Em partes físicas, o suporte que fixa o sensor de rotação tem que ser retrabalhado, pois em altas rotações o mesmo sofre com altas vibrações, limitando a leitura do sinal de rotação. Há também a possibilidade de retrabalho na centralização da roda fônica, pois o mesmo apresentou variações no sinal de amplitude do sinal de rotação.

Para as interferências eletromagnéticas, é preciso desenvolver um sistema que possa atenuar certas interferências. Protegendo não só o microcontrolador, mas todo o sistema.

Com a possibilidade de melhorar o desempenho do veículo, para o mapa de ignição pode-se obter de dois modos. O primeiro é a captura do sinal SPOUT direto da ECU, ou seja, com o acompanhamento via microcontrolador do sinal, a cada sinal lido do SPOUT o microcontrolador atuando no momento de ignição. E o segundo modo é a criação de um novo mapa de ignição, com a necessidade de leitura de alguns sensores como, sensor MAP, sensor de temperatura da água, sensor de temperatura do ar e sensor de posicionamento de borboleta (TPS), para assim, comandar com precisão o momento de ignição. Caso o microcontrolador não suporte tais implementações, é aconselhável a sua substituição por outro de potência de processamento e recursos maiores.

Com esse novo mapa integrado e funcionando, abre-se a possibilidade de reprogramar o mapa de ignição via microcontrolador para que seja utilizado este projeto nas aulas para a aprendizagem dos alunos.

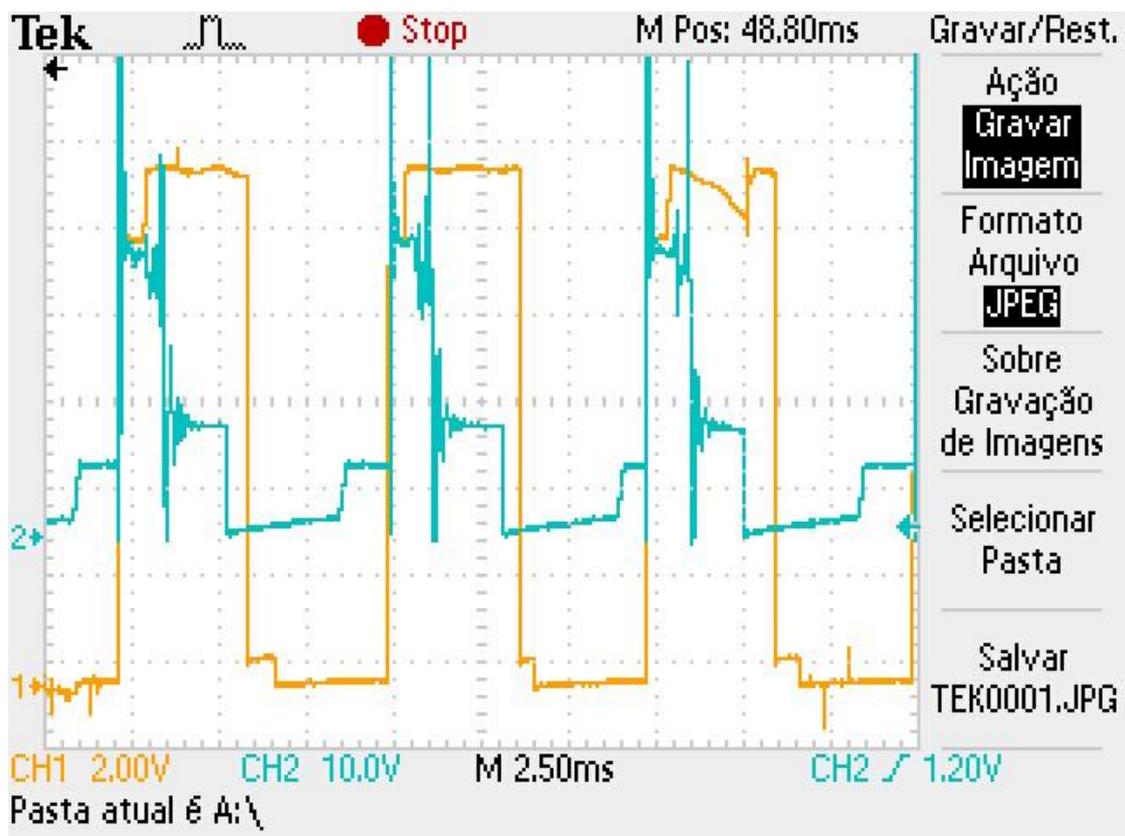
REFERÊNCIAS

- BERU Federal Moghul. (2013). *Informações Técnicas nº07*.
- Bosch Professional Automotive Information. (2015). *Gasoline Engine Management: Systems and Components*. (K. REIF, Ed.) Friedrichshafen, Alemanha.
- BOYLESTAD, R. L. (2004). *Introdução a Análise de Circuitos* (Vol. 10). Pearson Education do Brasil.
- DIAS, A. (12 de Julho de 2012). *Injeção Eletrônica: Sensor de Rotação, vital para o Motor*. Fonte: Carros Infoco: <http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2012/07/injecao-eletronica-sensor-de-rotacao-vital-para-o-motor/>
- FERRO, A. (12 de Setembro de 2012). *Injeção Eletrônica - Sistema Monoponto e Intermitente ou Simultâneo*. Fonte: Ferro Motor: <http://www.ferromotor.com.br/2012/09/injecao-eletronica-sistema-monoponto.html>
- FREESCALE. (2006). DataSheet MC33094.
- HATCH, S. (2012). *Computerized Engine Controls Ninth Edition*.
- LAGANA, A. (2012). *Material Didático de Sensores e Atuadores*. Santo André.
- MAHLE Manual Técnico. (2016). Curso Mahle Metal Leve. *Motores de Combustão Interna*.
- MANAVELLA, H. J. (2003). *Controle Integrado do Motor*. São Paulo: HM Autotrônica Publicações.
- Merizo, E. (12 de 11 de 2017). *Fatec*. Fonte: TCC: thrhrhnr
- SENAI RJ. (2001). *Eletromecânica Automotiva - Ignição convencional e eletrônica*. Rio de Janeiro.
- SILL, D. (2001). *TFI Ford Ignition System*.
- Texas Instruments. (2000). *LM1815*.
- TILLMANN, C. A. (2013). *Motores de Combustão Interna e seus Sistemas*. e - Tec, 166.
- VARELLA, C. A. (2010). *Estimativa da potência dos motores de combustão interna*.

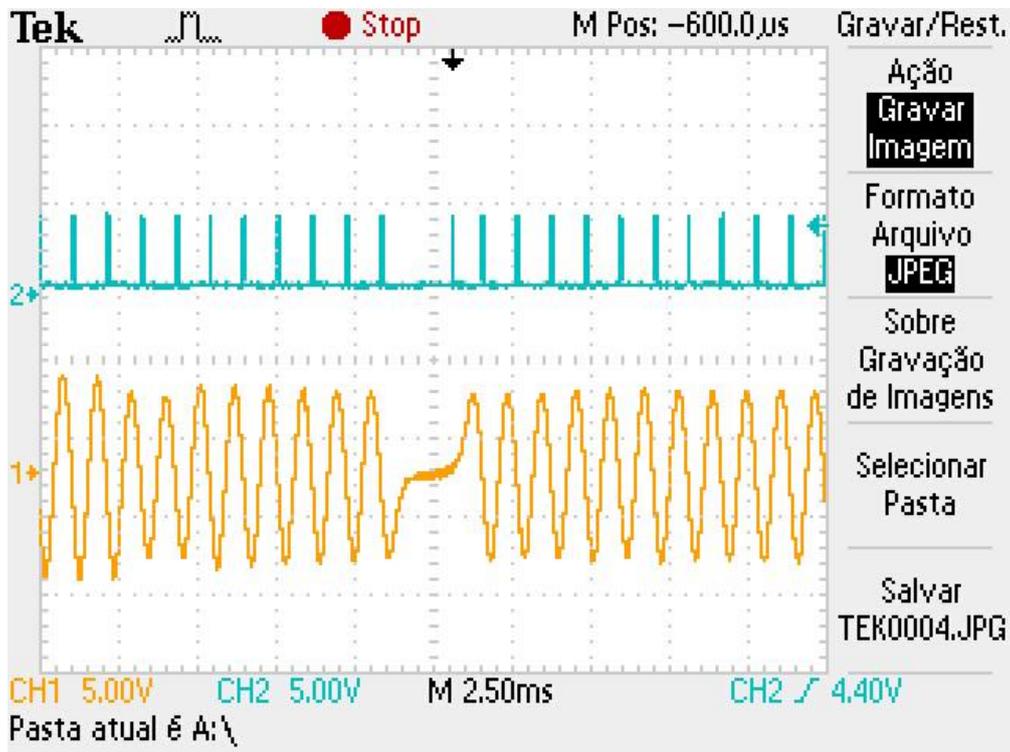
APÊNDICE A – TFI Modelo Motorcraft



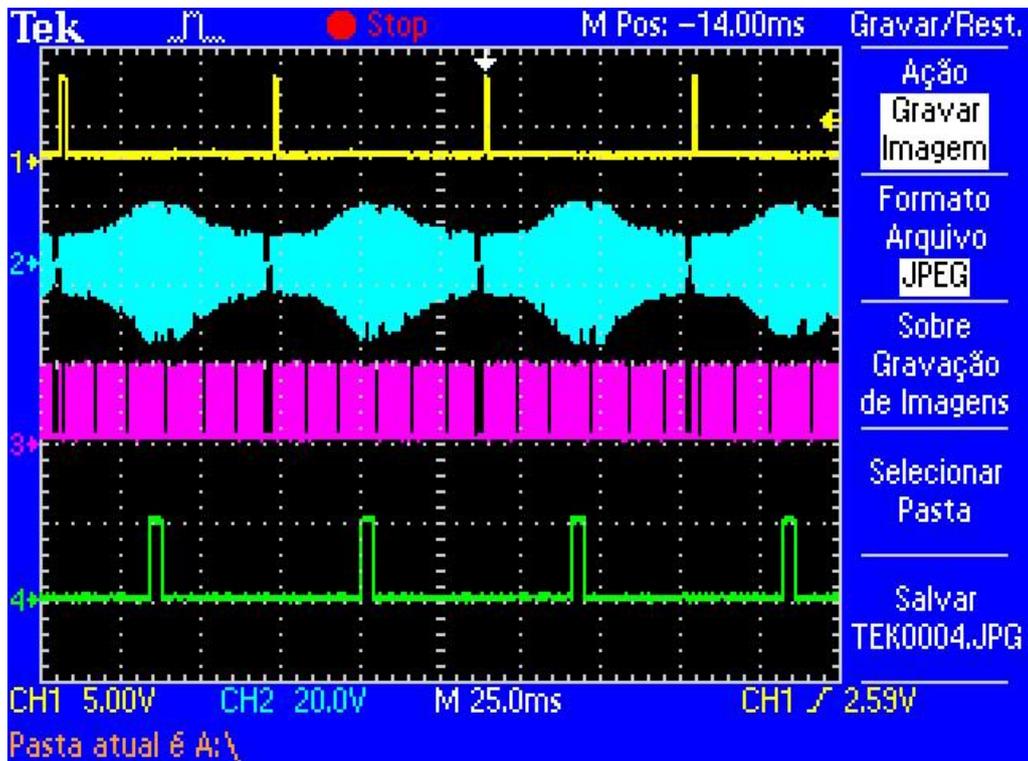
APÊNDICE B – Momento de Ignição



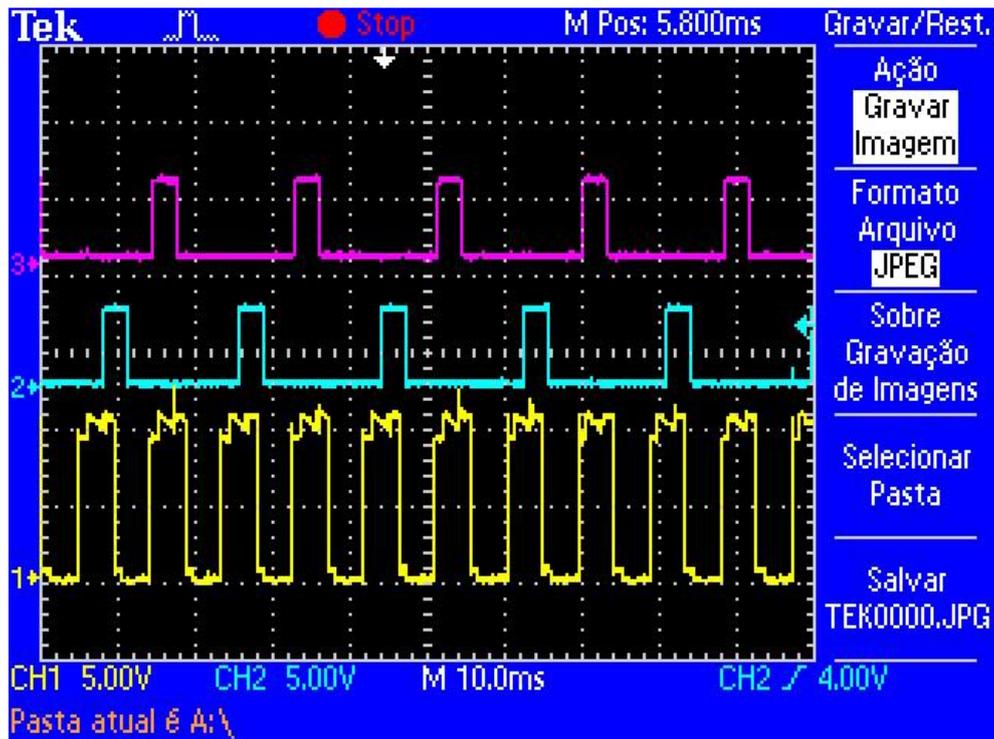
APÊNDICE C – Sinal de Rotação



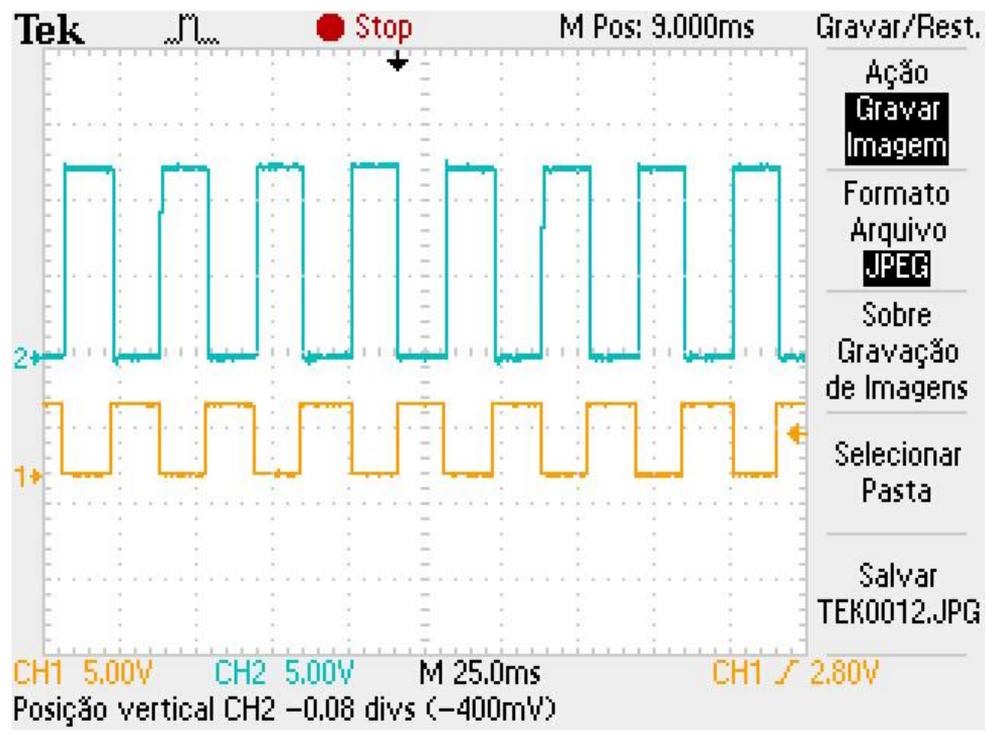
APÊNDICE D – Sinal de Rotação com Identificação da Falha



APÊNDICE E – Sinal de Carregamento da Bobina



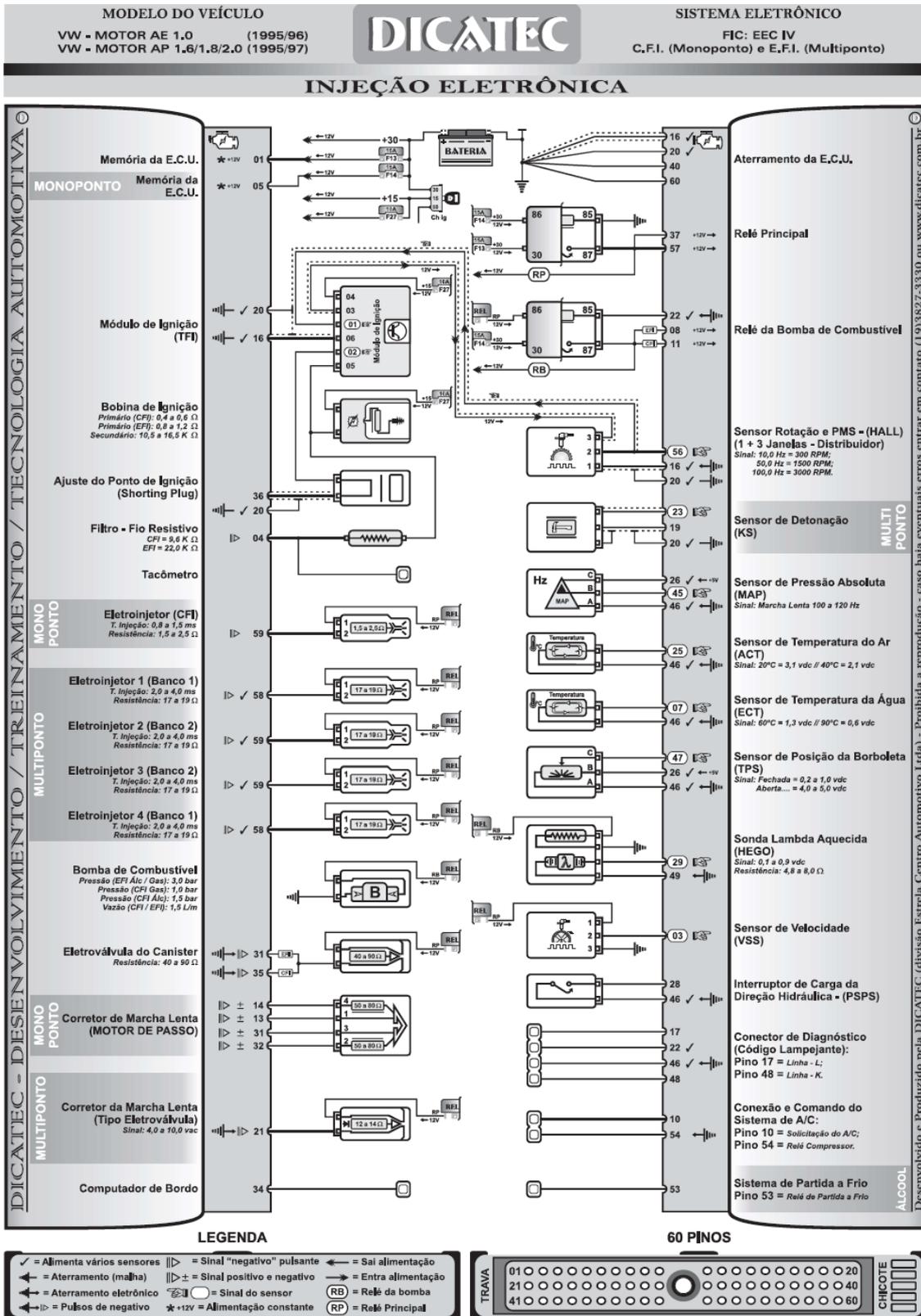
APÊNDICE F – Sinal PIP Criado Sendo Elevado



APÊNDICE G – Placa com Microcontrolador PIC18F4550



ANEXO A – Esquema Elétrico do Veículo GOL 1.0I AE 1996



ANEXO B – Software (Código) do Projeto

Bibliotecas:

- Config.h

```
#ifndef CONFIG_H
#define CONFIG_H
#include <xc.h> // include processor files - each processor file is guarded.
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "displayLCD.h"
#include "Rotacao.h"
#define _XTAL_FREQ          48000000 // Frequencia do bootloader
void Inic_Hardware (void);
unsigned char Flag_Dente = 1, Flag_Rotacao = 0, Atualiza_LCD = 0;
unsigned char Pos_PIP[4] = {10, 25, 40, 55};
unsigned char Pos_SPOUT[24] = {10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 4, 4, 4, 4, 4,
                               40, 39, 38, 37, 36, 35, 34, 34, 34, 34, 34, 34};
unsigned char Pos_ON[12] = { 2, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12};
unsigned char Liga_BOB1 = 0, Liga_BOB2 = 0, Avanco = 0;
unsigned char Flag_PIP = 0, Flag_RPM_1 = 0, Flag_RPM_2 = 0;
unsigned char Pos_Bateria = 0, VBatt = 0;
unsigned int Flag_Display = 0;
unsigned int Inc_RPM = 0, Cont_RPM = 0, RPM = 0;
unsigned int Cont_Atual = 0, Cont_Anterior = 0;
unsigned char Frase[2][17] = {"RPM   ", {"AV   "}};
#endif /* CONFIG_H */
```

- Rotação.h

```
unsigned int Calcula_RPM (unsigned int x);
signed char DT_Bobina (unsigned char Dente_PMS, signed char Dente_DT);
```

- displayLCD.h

```
#include "Config.h"
#define D4      PORTDbits.RD4
#define D5      PORTDbits.RD5
#define D6      PORTDbits.RD6
#define D7      PORTDbits.RD7
#define RS_PIN  PORTDbits.RD1
#define E_PIN   PORTDbits.RD0
#define RW_PIN  PORTDbits.RD2
#define TRIS_D4      TRISDbits.RD4
#define TRIS_D5      TRISDbits.RD5
#define TRIS_D6      TRISDbits.RD6
#define TRIS_D7      TRISDbits.RD7
#define TRIS_RS      TRISDbits.RD1
#define TRIS_E      TRISDbits.RD0
```

```

#define TRIS_RW          TRISDbits.RD2
#define DELAY_SINC() Delay1KTCYx(5)
#define DELAY_5ms()     Delay10KTCYx(3)
#define LimpaDisplay()  EscreveComandoLCD(0b00000001)
#define CursorHome()   EscreveComandoLCD(0b00000010)
#define LigaDisplay()   EscreveComandoLCD(0b00001100)
#define DesligaDisplay() EscreveComandoLCD(0b00001000)
#define LigaCursor()    EscreveComandoLCD(0b00001110)
#define DesligaCursor() EscreveComandoLCD(0b00001100)
#define PiscaCursor()   EscreveComandoLCD(0b00001111)
#define DeslocaCursorDir() EscreveComandoLCD(0b00010100)
#define DeslocaCursorEsq() EscreveComandoLCD(0b00010000)
#define DeslocaDisplayDir() EscreveComandoLCD(0b00011100)
#define DeslocaDisplayEsq() EscreveComandoLCD(0b00011000)
extern void ConfiguraLCD(void);
extern void EscreveComandoLCD(unsigned char cmd);
extern void EnderecoCursor(unsigned char endereco);
extern void PosicaoCursorLCD(unsigned char linha, unsigned char coluna);
extern void EscreveCaractereLCD(char data);
void EscreveInteiroLCD(signed long int valor, unsigned char character);
extern void EscreveFloatLCD(float valor, char formatacao);
extern void EscreveFraseRamLCD(char *buffer);
extern void EscreveFraseLCD(const char *buffer);

```

- **Rotacao.c**

```

#include "Config.h"
unsigned int Calcula_RPM (unsigned int x)
{
    RPM = 40000 / x;
    return (RPM);
}
signed char DT_Bobina (unsigned char Dente_PMS, signed char Dente_DT)
{
    Dente_DT = Dente_PMS - Dente_DT;
    if(Dente_DT <= 0)
    {
        Dente_DT = 60 + Dente_DT;
        if(Dente_DT > 58) Dente_DT = 58;
    }
    return(Dente_DT);
}

```

- **displayLCD.c**

```

#include "Config.h"
void Delay(void)
{
    unsigned char Cnt1, Cnt2;
    for(Cnt1 = 0; Cnt1<100; Cnt1++)
    {
        #asm
        NOP;
        #endasm
        for(Cnt2 = 0; Cnt2<50; Cnt2++)
        {

```

```

        #asm
        NOP;
        #endasm
    }
}
void ConfiguraLCD(void)
{
    TRIS_RW = 0;
    TRIS_RS = 0;
    TRIS_E = 0;
    TRIS_D4=0;
    TRIS_D5=0;
    TRIS_D6=0;
    TRIS_D7=0;
    RW_PIN = 0;
    RS_PIN = 0;
    E_PIN = 0;
    D7=0;
    D6=0;
    D5=1;
    D4=1;
    __delay_ms(15);
    E_PIN = 1;
    Delay();
    E_PIN = 0;
    Delay();
    __delay_ms(5);
    E_PIN = 1;
    Delay();
    E_PIN = 0;
    Delay();
    __delay_ms(5);
    E_PIN = 1;
    Delay();
    E_PIN = 0;
    Delay();
    D7=0;
    D6=0;
    D5=1;
    D4=0;
    E_PIN = 1;
    Delay();
    E_PIN = 0;
    Delay();
    EscreveComandoLCD(0b00101000);
    EscreveComandoLCD(0b00000110);
    EscreveComandoLCD(0b00001110);
    EscreveComandoLCD(0b00000001);
}
void EscreveComandoLCD(unsigned char cmd)
{
    RW_PIN = 0;
    RS_PIN = 0;
    E_PIN = 0;
    if(cmd&0b00010000){D4=1;}
    else {D4=0;}
    if(cmd&0b00100000){D5=1;}
    else {D5=0;}
    if(cmd&0b01000000){D6=1;}

```

```

else {D6=0;}
if(cmd&0b10000000){D7=1;}
else {D7=0;}
E_PIN = 1;
Delay();
E_PIN = 0;
Delay();
if(cmd&0b00000001){D4=1;}
else {D4=0;}
if(cmd&0b00000010){D5=1;}
else {D5=0;}
if(cmd&0b00000100){D6=1;}
else {D6=0;}
if(cmd&0b00001000){D7=1;}
else {D7=0;}
E_PIN = 1;
Delay();
E_PIN = 0;
Delay();
if (cmd==0x01 || cmd==0x02 || cmd==0x03)
{ Delay(); }
}
void EnderecoCursor(unsigned char endereco)
{
    RW_PIN = 0;
    RS_PIN = 0;
    E_PIN = 0;
    D7 = 1;
    if(endereco&0b00010000){D4=1;}
    else {D4=0;}
    if(endereco&0b00100000){D5=1;}
    else {D5=0;}
    if(endereco&0b01000000){D6=1;}
    else {D6=0;}
    E_PIN = 1;
    Delay();
    E_PIN = 0;
    Delay();
    if(endereco&0b00000001){D4=1;}
    else {D4=0;}
    if(endereco&0b00000010){D5=1;}
    else {D5=0;}
    if(endereco&0b00000100){D6=1;}
    else {D6=0;}
    if(endereco&0b00001000){D7=1;}
    else {D7=0;}
    E_PIN = 1;
    Delay();
    E_PIN = 0;
    Delay();
}
void PosicaoCursorLCD(unsigned char linha, unsigned char coluna)
{
    #define linha1 0x00
    #define linha2 0x40
    #define linha3 0x14
    #define linha4 0x54
    unsigned char EnderecoLCD = 0x00;
    if(coluna <= 16)
    {

```

```

        switch (linha)
        {
            case 1:
                EnderecoLCD = linha1 + coluna;
                EnderecoCursor(EnderecoLCD);
                break;
            case 2:
                EnderecoLCD = linha2 + coluna;
                EnderecoCursor(EnderecoLCD);
                break;
            case 3:
                EnderecoLCD = linha3 + coluna;
                EnderecoCursor(EnderecoLCD);
                break;
            case 4:
                EnderecoLCD = linha4 + coluna;
                EnderecoCursor(EnderecoLCD);
                break;
            default:
                EnderecoLCD = linha1;
                break;
        }
        coluna++;
    }
    else
    {
        EnderecoLCD = linha1;
    }
}
void EscreveCaractereLCD(char data)
{
    RW_PIN = 0;
    RS_PIN = 1;
    E_PIN = 0;
    if(data&0b00010000){D4=1;}
    else {D4=0;}
    if(data&0b00100000){D5=1;}
    else {D5=0;}
    if(data&0b01000000){D6=1;}
    else {D6=0;}
    if(data&0b10000000){D7=1;}
    else {D7=0;}
    E_PIN = 1;
    Delay();
    E_PIN = 0;
    Delay();
    if(data&0b00000001){D4=1;}
    else {D4=0;}
    if(data&0b00000010){D5=1;}
    else {D5=0;}
    if(data&0b00000100){D6=1;}
    else {D6=0;}
    if(data&0b00001000){D7=1;}
    else {D7=0;}
    E_PIN = 1;
    Delay();
    E_PIN = 0;
    Delay();
}
void EscreveInteiroLCD(signed long int valor, unsigned char caractere)

```

```

{
    unsigned char pos = character;
    unsigned char j = 10 - pos;
    unsigned char i = 9;
    unsigned int Valor[10];
    while(valor >= 10)
    {
        Valor[i] = valor%10;
        valor = valor/10;
        Valor[i] = Valor[i] + 0x30;
        i--;
    }
    Valor[i] = valor + 0x30;
    pos = 10 - pos;
    while(pos != i)
    {
        Valor[pos] = 0x20;
        pos++;
    }
    while(j != 10)
    {
        EscreveCaractereLCD(Valor[j]);
        j++;
    }
}

void EscreveFloatLCD(float valor, char formatacao)
{
    int numInt = 0;
    float numFloat = 0;
    char n;
    numInt = (int)valor;
    EscreveInteiroLCD(numInt);
    if( formatacao > 0 )
    {
        EscreveCaractereLCD('.');
        numFloat = (valor - numInt);
        numFloat = (int) abs(numFloat);
        if(formatacao>4)
            {formatacao=4;}
        for (n = 0; n<formatacao; n++)
        {
            numFloat *= 10;
            if(numFloat<1)
            {
                EscreveCaractereLCD('0');
            }
        }
        EscreveInteiroLCD((int)numFloat);
    }
}

void EscreveFraseRamLCD(char *buffer)
{
    while(*buffer)
    {
        EscreveCaractereLCD(*buffer);
        buffer++;
    }
}

void EscreveFraseLCD(const char *buffer)
{

```

```

while(*buffer)
{
    EscreveCaractereLCD(*buffer);
    buffer++;
}
}
void CriaCaractereLCD(unsigned char endereco, const char *buffer)
{
    unsigned char cmd;
    unsigned char n = 0;
    endereco = endereco & 0b00000111;
    switch (endereco)
    {
        case 0: cmd = 0b01000000;    break;
        case 1: cmd = 0b01001000;    break;
        case 2: cmd = 0b01010000;    break;
        case 3: cmd = 0b01011000;    break;
        case 4: cmd = 0b01100000;    break;
        case 5: cmd = 0b01101000;    break;
        case 6: cmd = 0b01110000;    break;
        case 7: cmd = 0b01111000;    break;
        default:cmd = 0b01000000;    break;
    }
    EscreveComandoLCD(cmd);
    for(n=0; n<8; n++)
    {
        EscreveCaractereLCD(*buffer);
        buffer++;
    }
    EnderecoCursor(0x00);
}

```

- main.c

```

#include <pic18f4550.h>
#include "Config.h"
void Inic_Hardware (void)
{
    INTCON = 0b11110000;
    INTCON2 = 0b11000000;
    PIE1 = 0b00000011;
    PIE2 = 0b00000001;
    T0CON = 0b11000011;
    T1CON = 0b10100001;
    T2CON = 0b00000111;
    T3CON = 0b10100001;
    ADCON0 = 0b00000001;
    ADCON1 = 0b00001110;
    ADCON2 = 0b10111111;
    TMR0L = 0b10110101;
    TMR1H = 0b11111111;
    TMR1L = 0b11010101;
    TMR2 = 0b01000100;
    PR2 = 0b11111111;
    TMR3H = 0b11111110;
    TMR3L = 0b11010100;
    TRISB = 0b00000011;
    TRISBbits.RC6 = 0;
    TRISBbits.RC7 = 0;
}

```

```

    LATBbits.LB5 = 1;
}
void interrupt Interrupcao (void)
{
    if(PIE1bits.TMR2IE && PIR1bits.TMR2IF)
    {
        PIR1bits.TMR2IF = 0;
        Flag_Display++;
        Flag_Rotacao++;
        TMR2 = 0x44;
    }
    if(PIE1bits.TMR1IE && PIR1bits.TMR1IF)
    {
        PIR1bits.TMR1IF = 0;
        LATCbits.LC6 = !LATCbits.LC6;
        Cont_RPM++;
        TMR1 = 0xFFD5;
    }
    if(INTCONbits.INT0IE && INTCONbits.INT0IF)
    {
        LATCbits.LC7 = !LATCbits.LC7;
        INTCONbits.INT0IF = 0;
        Inc_RPM = Cont_RPM;
        Cont_Anterior = Cont_Atual << 1;
        Cont_Atual = Inc_RPM;
        if (Cont_Atual > Cont_Anterior)
        {
            LATBbits.LB4 = 1;
            Flag_Dente = 1;
        }
        else
        {
            LATBbits.LB4 = 0;
            Flag_Dente++;
        }
        Cont_RPM = 0;
    }
    if(INTCONbits.TMR0IE && INTCONbits.TMR0IF)
    {
        INTCONbits.TMR0IF = 0;
        if((Flag_Dente == Liga_BOB1) && (LATBbits.LB2 == 0)) LATBbits.LB2 = 1;
        else if((Flag_Dente==Pos_SPOUT[Flag_RPM_1])&&(LATBbits.LB2==1))LATBbits.LB2=0;
        if((Flag_Dente == Liga_BOB2) && (LATBbits.LB3 == 0)) LATBbits.LB3 = 1;
        else if((Flag_Dente==Pos_SPOUT[Flag_RPM_2])&&(LATBbits.LB3==1))LATBbits.LB3=0;
        TMR0L = 0xB5;
    }
    if(PIE2bits.TMR3IE && PIR2bits.TMR3IF)
    {
        PIR2bits.TMR3IF = 0;
        if(RPM < 20) LATBbits.LB5 = 1;
        else
        {
            if(Flag_Dente == 5)
            {
                Flag_PIP = 0;
                LATBbits.LB5 = 1;
            }
            if(Pos_PIP[Flag_PIP] == Flag_Dente)
            {
                LATBbits.LB5 = !LATBbits.LB5;
            }
        }
    }
}

```

```

        Flag_PIP++;
    }
}
TMR3 = 0xFED4;
}
}
void main (void)
{
    Inic_Hardware();
    ConfiguraLCD();
    LimpaDisplay();
    PosicaoCursorLCD(1, 0);
    EscreveFraseRamLCD(Frase[0]);
    PosicaoCursorLCD(2, 0);
    EscreveFraseRamLCD(Frase[1]);
    while(1)
    {
        Liga_BOB1 = DT_Bobina(Pos_SPOUT[Flag_RPM_1], Pos_ON[Flag_RPM_1]);
        Liga_BOB2 = DT_Bobina(Pos_SPOUT[Flag_RPM_2], Pos_ON[Flag_RPM_1]);
        Avanco = Pos_SPOUT[Flag_RPM_1] - Liga_BOB1;
        if(Flag_Rotacao >= 100)
        {
            RPM = Calcula_RPM(Inc_RPM);
            if(RPM > 900)
            {
                Flag_RPM_1 = (RPM / 500) - 1;
                Flag_RPM_2 = Flag_RPM_1 + 12;
                Atualiza_LCD = 1;
                Flag_Rotacao = 0;
            }
            else
            {
                Flag_RPM_1 = 0;
                Flag_RPM_2 = 12;
                Flag_Rotacao = 0;
            }
        }
        if(Flag_Display >= 2000)
        {
            PosicaoCursorLCD(1, 4);
            EscreveInteiroLCD(RPM, 5);
            PosicaoCursorLCD(1, 10);
            EscreveInteiroLCD(Pos_SPOUT[Flag_RPM_1], 2);
            PosicaoCursorLCD(1, 13);
            EscreveInteiroLCD(Liga_BOB1, 2);
            PosicaoCursorLCD(2, 2);
            EscreveInteiroLCD(Avanco, 2);
            PosicaoCursorLCD(2, 10);
            EscreveInteiroLCD(Pos_SPOUT[Flag_RPM_2], 2);
            PosicaoCursorLCD(2, 13);
            EscreveInteiroLCD(Liga_BOB2, 2);
            Flag_Display = 0;
        }
    }
}

```

ANEXO C – Data Sheet LM1815 da FREESCALE



LM1815

www.ti.com

SNOSBUBF – SEPTEMBER 2000 – REVISED MARCH 2013

LM1815 Adaptive Variable Reluctance Sensor Amplifier

Check for Samples: [LM1815](#)

FEATURES

- Adaptive Hysteresis
- Single Supply Operation
- Ground Referenced Input
- True Zero Crossing Timing Reference
- Operates from 2V to 12V Supply Voltage
- Handles Inputs from 100 mV_{P-P} to over 120V_{P-P} with External Resistor
- CMOS Compatible Logic

APPLICATIONS

- Position Sensing with Notched Wheels
- Zero Crossing Switch
- Motor Speed Control
- Tachometer
- Engine Testing

DESCRIPTION

The LM1815 is an adaptive sense amplifier and default gating circuit for motor control applications. The sense amplifier provides a one-shot pulse output whose leading edge coincides with the negative-going zero crossing of a ground referenced input signal such as from a variable reluctance magnetic pick-up coil.

In normal operation, this timing reference signal is processed (delayed) externally and returned to the LM1815. A Logic input is then able to select either the timing reference or the processed signal for transmission to the output driver stage.

The adaptive sense amplifier operates with a positive-going threshold which is derived by peak detecting the incoming signal and dividing this down. Thus the input hysteresis varies with input signal amplitude. This enables the circuit to sense in situations where the high speed noise is greater than the low speed signal amplitude. Minimum input signal is 150mV_{P-P}.

Connection Diagram

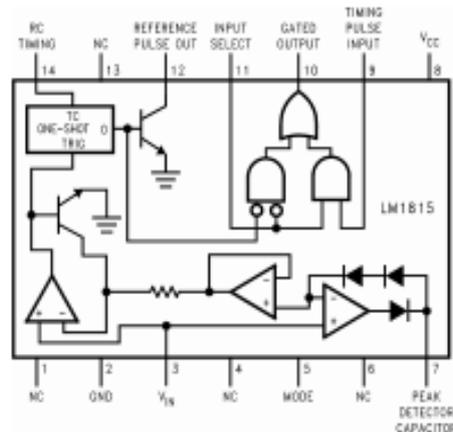


Figure 1. Top View
14-Lead SOIC or PDIP
See D or NFF0014A Package



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet. All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2000–2013, Texas Instruments Incorporated

Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾⁽²⁾

Supply Voltage	12V
Power Dissipation ⁽³⁾	1250 mW
Operating Temperature Range	-40°C ≤ T _A ≤ +125°C
Storage Temperature Range	-65°C ≤ T _J ≤ +150°C
Junction Temperature	+150°C
Input Current	±30 mA
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	260°C

- (1) "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be ensured. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" specifies conditions of device operation.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (3) For operation at elevated temperatures, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 80°C/W (DIP), 120°C/W (SO-14) junction to ambient.

Electrical Characteristics

(T_A = 25°C, V_{CC} = 10V, unless otherwise specified, see Figure 17)

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Operating Supply Voltage		2.5	10	12	V
Supply Current	Pin 3 = -0.1V, Pin 9 = 2V, Pin 11 = 0.8V		3.6	6	mA
Reference Pulse Width	f _{IN} = 1Hz to 2kHz, R = 150kΩ, C = 0.001μF	70	100	130	μs
Logic Input Bias Current	V _{IN} = 2V, (Pin 9 and Pin 11)			5	μA
Signal Input Bias Current	V _{IN} = 0V dc, (Pin 3)		-200		nA
Logic Threshold	(Pin 9 and Pin 11)	0.8	1.1	2.0	V
V _{OUT} High	R _L = 1kΩ, (Pin 10)	7.5	8.6		V
V _{OUT} Low	I _{SINK} = 0.1mA, (Pin 10)		0.3	0.4	V
Output Leakage Pin 12	V _{I2} = 11V		0.01	10	μA
Saturation Voltage P12	I _{I2} = 2mA		0.2	0.4	V
Input Zero Crossing Threshold	All Modes, V _{SIGNAL} = 1V pk-pk	-25	0	25	mV ⁽¹⁾
Minimum Input Arming Threshold	Mode 1, Pin 5 = Open	30	45	60	mV ⁽¹⁾
	Mode 2, Pin 5 = V _{CC}	200	300	450	mV ⁽¹⁾
	Mode 3, Pin 5 = Gnd	-25	0	25	mV ⁽¹⁾
Adaptive Input Arming Threshold	Mode 1, Pin 5 = Open V _{SIGNAL} ≥ 230mV pk-pk ⁽²⁾	40	80	90	% ⁽¹⁾
	Mode 2, Pin 5 = V _{CC} V _{SIGNAL} ≥ 1.0V pk-pk ⁽²⁾		80		% ⁽¹⁾
	Mode 3, Pin 5 = Gnd V _{SIGNAL} ≥ 150mV pk-pk ⁽²⁾		80		% ⁽¹⁾

- (1) The Min/Typ/Max limits are relative to the positive voltage peak seen at V_{IN} Pin 3.
- (2) Tested per Figure 17, V_{SIGNAL} is a Sine Wave; F_{SIGNAL} is 1000Hz.

Typical Performance Characteristics

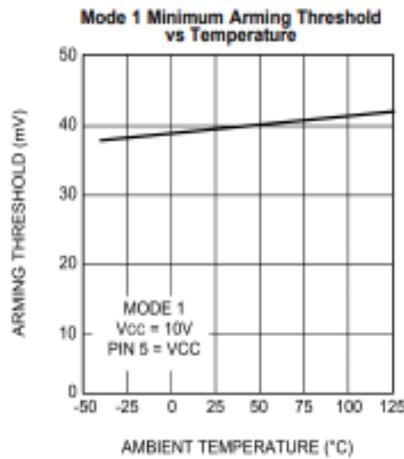


Figure 2.

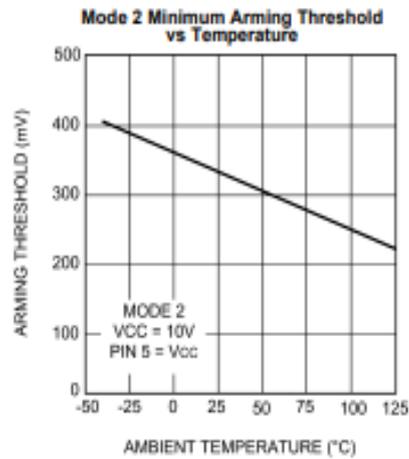


Figure 3.

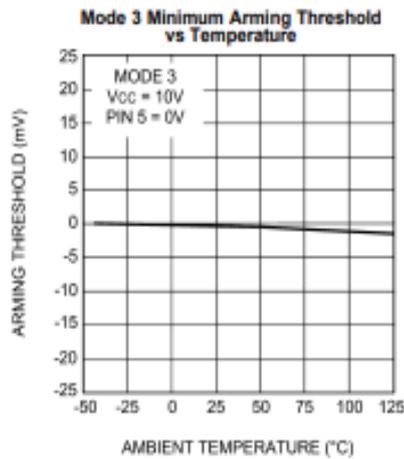


Figure 4.

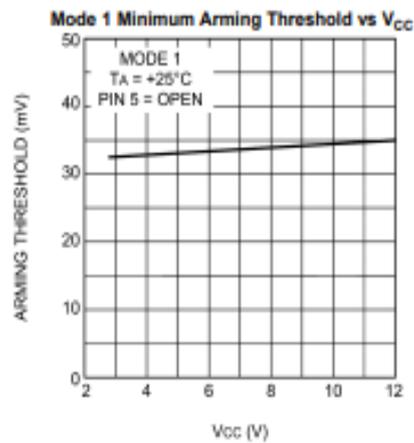


Figure 5.

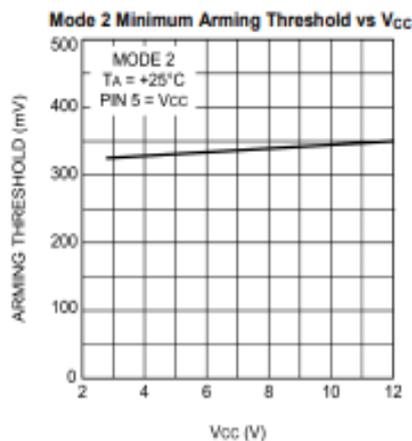


Figure 6.

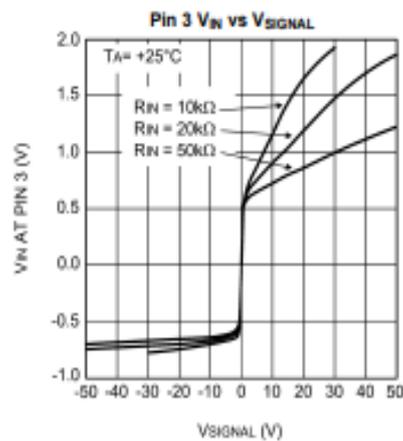


Figure 7.

Typical Performance Characteristics (continued)

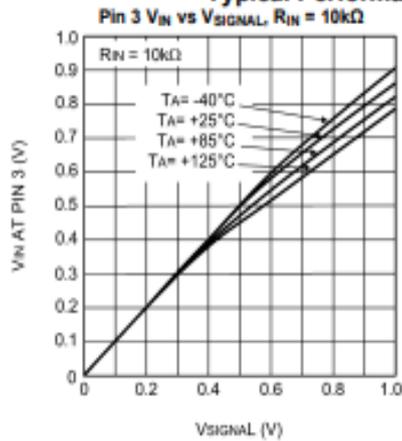


Figure 8.

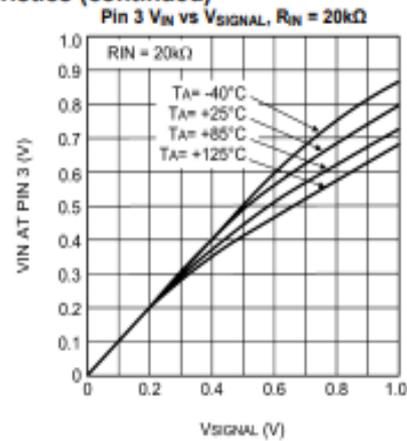


Figure 9.

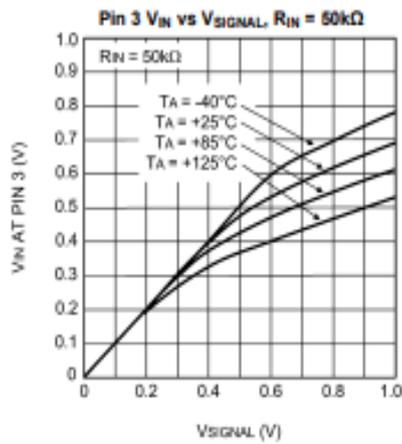


Figure 10.

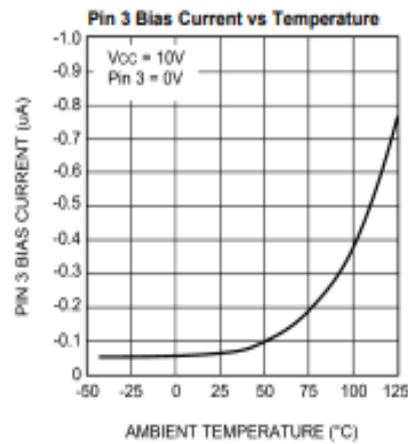


Figure 11.

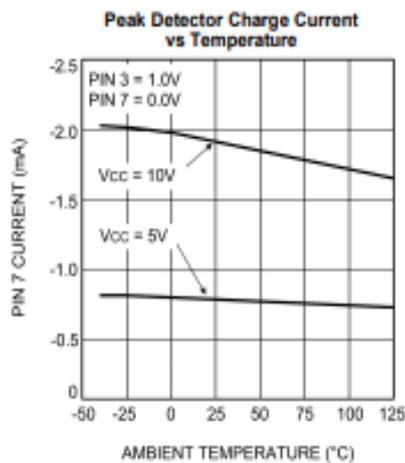


Figure 12.

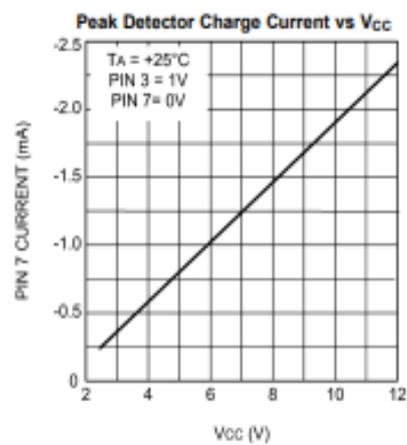


Figure 13.

Typical Performance Characteristics (continued)

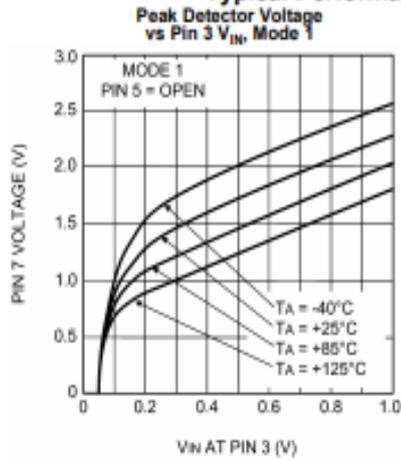


Figure 14.

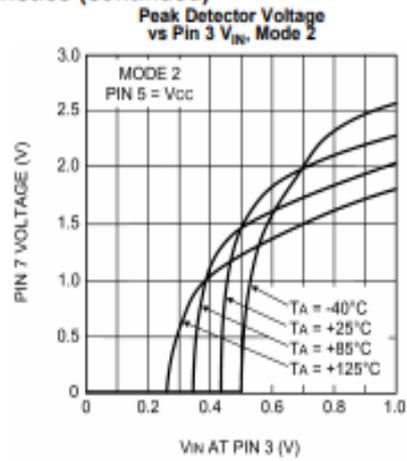


Figure 15.

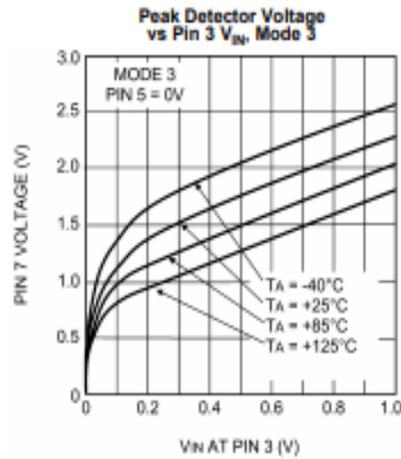


Figure 16.

TRUTH TABLE

Signal Input Pin 3	RC Timing Pin 14	Input Select Pin 11	Timing Input Pin 9	Gated Output Pin 10
± Pulses	RC	L	X	Pulses = RC
X	X	H	H	H
X	X	H	L	L
± Pulses	L	L	L	Zero Crossing

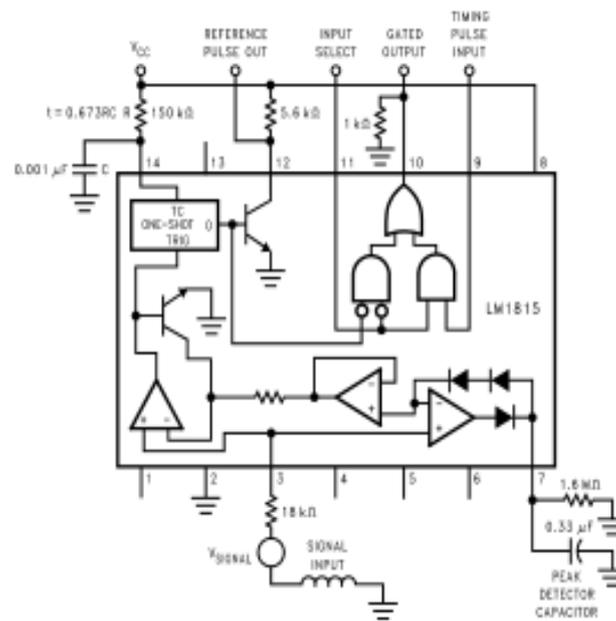
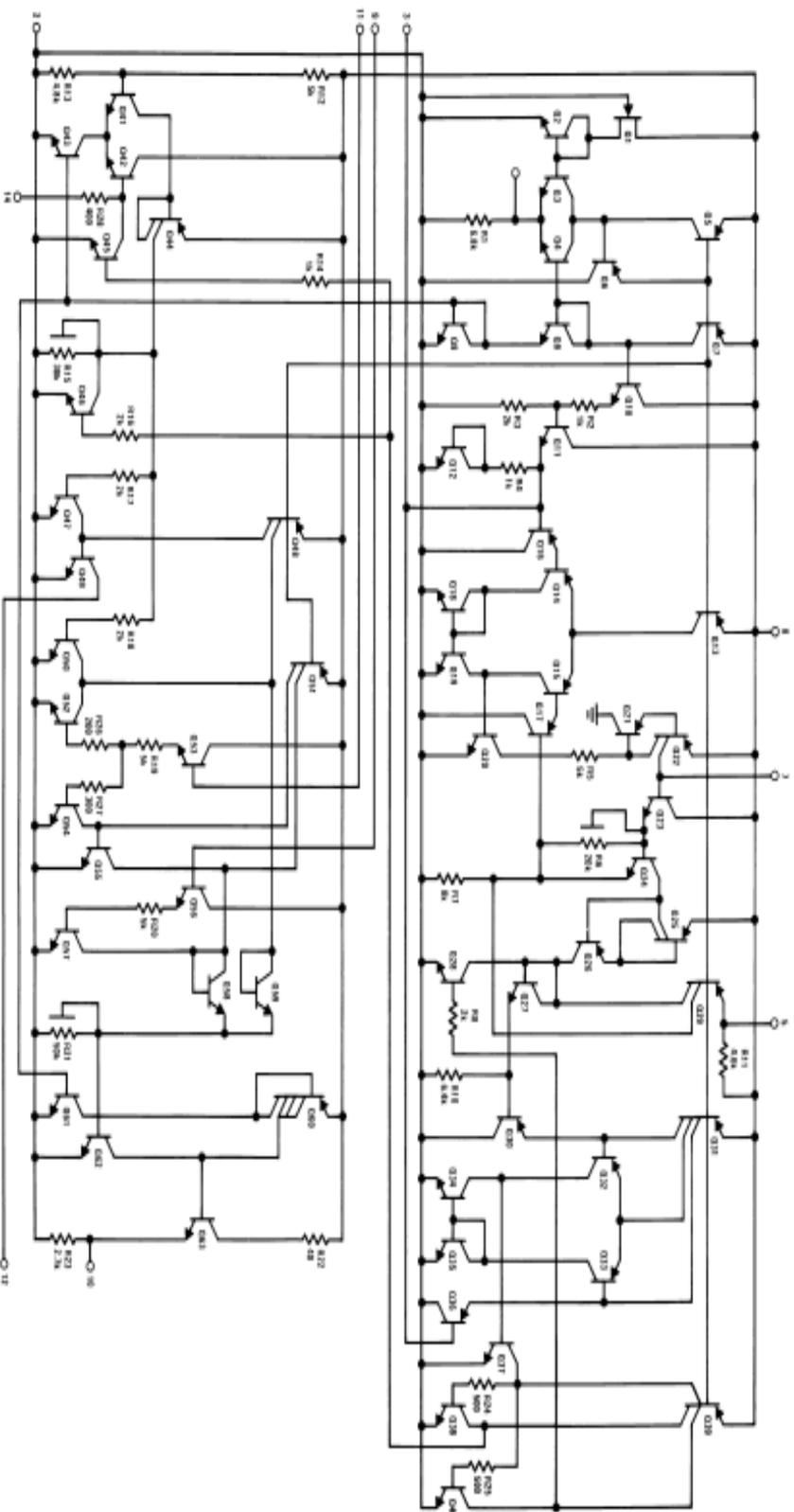


Figure 17. LM1815 Adaptive Sense Amplifier

Schematic Diagram



APPLICATION HINTS

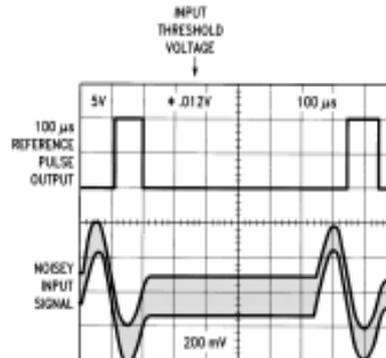


Figure 18. LM1815 Oscilloscopes

INPUT VOLTAGE CLAMP

The signal input voltage at pin 3 is internally clamped. Current limit for the Input pin is provided by an external resistor which should be selected to allow a peak current of ± 3 mA in normal operation. Positive inputs are clamped by a $1\text{k}\Omega$ resistor and series diode (see R4 and Q12 in the internal schematic diagram), while an active clamp limits pin 3 to typically 350mV below Ground for negative inputs (see R2, R3, Q10, and Q11 in the internal schematic diagram). Thus for input signal transitions that are more than 350mV below Ground, the input pin current (up to 3mA) will be pulled from the V+ supply. If the V+ pin is not adequately bypassed the resulting voltage ripple at the V+ pin will disrupt normal device operation. Likewise, for input signal transitions that are more than 500mV above Ground, the input pin current will be dumped to Ground through device pin 2. Slight shifts in the Ground potential at device pin 2, due to poor grounding techniques relative to the input signal ground, can cause unreliable operation. As always, adequate device grounding, and V+ bypassing, needs to be considered across the entire input voltage and frequency range for the intended application.

INPUT CURRENT LIMITING

As stated earlier, current limiting for the Input pin is provided by a user supplied external resistor. For purposes of selecting the appropriate resistor value the Input pin should be considered to be a zero ohm connection to ground. For applications where the input voltage signal is not symmetrical with relationship to Ground the worst case voltage peak should be used.

$$\text{Minimum } R_{\text{ext}} = [(V_{\text{in peak}})/3\text{mA}]$$

In the application example shown in Figure 17 ($R_{\text{ext}} = 18\text{k}\Omega$) the recommended maximum input signal voltage is $\pm 54\text{V}$ (i.e. 108Vp-p).

OPERATION OF ZERO CROSSING DETECTOR

The LM1815 is designed to operate as a zero crossing detector, triggering an internal one shot on the negative-going edge of the input signal. Unlike other zero crossing detectors, the LM1815 cannot be triggered until the input signal has crossed an "arming" threshold on the positive-going portion of the waveform. The arming circuit is reset when the chip is triggered, and subsequent zero crossings are ignored until the arming threshold is exceeded again. This threshold varies depending on the connection at pin 5. Three different modes of operation are possible:

MODE 1, PIN 5 OPEN

The adaptive mode is selected by leaving device pin 5 open circuit. For input signals of less than $\pm 135\text{mV}$ (i.e. 270 mVp-p) and greater than typically $\pm 75\text{mV}$ (i.e. 150mVp-p), the input arming threshold is typically at 45mV. Under these conditions the input signal must first cross the 45mV threshold in the positive direction to arm the zero crossing detector, and then cross zero in the negative direction to trigger it.

If the signal is less than 30mV peak (minimum rating in [Electrical Characteristics](#)), the one shot is ensured to not trigger.

Input signals of greater than $\pm 230\text{mV}$ (i.e. 460 mVp-p) will cause the arming threshold to track at 80% of the peak input voltage. A peak detector capacitor at device pin 7 stores a value relative to the positive input peaks to establish the arming threshold. Input signals must exceed this threshold in the positive direction to arm the zero crossing detector, which can then be triggered by a negative-going zero crossing.

The peak detector tracks rapidly as the input signal amplitude increases, and decays by virtue of the resistor connected externally at pin 7 track decreases in the input signal.

If the input signal amplitude falls faster than the voltage stored on the peak detector capacitor there may be a loss of output signal until the capacitor voltage has decayed to an appropriate level.

Note that since the input voltage is clamped, the waveform observed at pin 3 is not identical to the waveform observed at the variable reluctance sensor. Similarly, the voltage stored at pin 7 is not identical to the peak voltage appearing at pin 3.

MODE 2, PIN 5 CONNECTED TO V+

The input arming threshold is fixed at 200mV minimum when device pin 5 is connected to the positive supply. The chip has no output for signals of less than $\pm 200\text{mV}$ (i.e. 400mVp-p) and triggers on the next negative-going zero crossing when the arming threshold is has been exceeded.

MODE 3, PIN 5 GROUNDED

With pin 5 grounded, the input arming threshold is set to 0V, $\pm 25\text{mV}$ maximum. Positive-going zero crossings arm the chip, and the next negative-going zero crossing triggers it. This is the very basic form of zero-crossing detection.

ONE SHOT TIMING

The one shot timing is set by a resistor and capacitor connected to pin 14. The recommended maximum resistor value is 150kohms. The capacitor value can be changed as needed, as long as the capacitor type does not present any significant leakage that would adversely affect the RC time constant.

The output pulse width is:

$$\text{pulse width} = 0.673 \times R \times C \quad (1)$$

For a given One Shot pulse width, the recommended maximum input signal frequency is:

$$F_{in(max)} = 1/(1.346 \times R \times C) \quad (2)$$

In the application example shown in [Figure 17](#) ($R=150\text{kohms}$, $C=0.001\mu\text{F}$) the recommended maximum input frequency will typically be 5kHz. Operating with input frequencies above the recommended $F_{in(max)}$ value may result in unreliable performance of the One Shot circuitry. For those applications where the One Shot circuit is not required, device pin 14 can be tied directly to Ground.

LOGIC INPUTS

In some systems it is necessary to externally generate pulses, such as during stall conditions when the variable reluctance sensor has no output. External pulse inputs at pin 9 are gated through to pin 10 when Input Select (pin 11) is pulled high. Pin 12 is a direct output for the one shot and is unaffected by the status of pin 11.

Input/output pins 9, 11, 10, and 12 are all CMOS logic compatible. In addition, pins 9, 11, and 12 are TTL compatible. Pin 10 is not ensured to drive a TTL load.

Pins 1, 4, 6 and 13 have no internal connections and can be grounded.

ÍNDICE

- Abstract, **8**
- Agradecimentos, **5**
- Anexo, **80**
- Apêndice, **76**
- Bobina de Ignição, **33**
- Capa, **0**
- Ciclos do Motor Otto, **22**
- Circuito de Elevação de Tensão, **62**
- Conclusão, **73**
- Condicionador de Sinal LM1815, **49**
- Configuração do Sistema Modificado, **63**
- Construção das Bobinas de Ignição, **36**
- Construção do Sensor de Relutância Magnética, **46**
- Controle da Ignição MC33094, **43**
- Dedicatória, **4**
- Descrição da TFI, **38**
- Descrição Funcional, **43**
- Distribuidor com Sensor *Hall*, **32**
- Epígrafe, **6**
- Ficha Catalográfica, **2**
- Folha de Aprovação, **3**
- Folha de Rosto, **1**
- Funcionamento da Bobina de Ignição, **34**
- Funcionamento da TFI, **39**
- Ignição, **55**
- Ignição Eletrônica, **28**
- Ignição Eletrônica Mapeada, **29**
- Ignição Estática, **30**
- Ignição Estática de Faísca Perdida (Bobinas Duplas), **50**
- Ignição Transistorizada, **28**
- Ignições, **24**
- Índice, **99**
- Introdução, **19**
- Lista de Abreviaturas e Siglas, **14**
- Lista de Equações, **9**
- Lista de Figuras, **10**
- Lista de Gráficos, **12**
- Lista de Símbolos, **15**
- Lista de Tabelas, **13**
- Metodologia, **52**
- Microcontrolador
- Módulo de Ignição, **57**
- Modo de Funcionamento da Ignição por Bateria, **27**
- Módulo de Ignição, **36**
- Motivação, **19**
- Motor a Combustão Interna, **21**
- Motor de Combustão Interna, **22**
- Objetivo, **20**
- Primeiras Tentativas, **25**
- Princípio de Funcionamento do Sensor de Relutância Magnética, **47**
- Propostas Futuras, **74**
- Referências, **75**
- Resultado Obtidos, **65**
- Resultados dos Testes, **66**
- Resultados Esperados, **20**
- Resumo, **7**
- Revisão Bibliográfica, **21**
- Revolução das Ignições
- Ignição por Bateria, **26**
- Robert Bosch e o Desenvolvimento das Ignições Automotivas, **24**
- Roda Fônica 60 – 2 Dentes, **49**
- Sensor de Relutância Magnética, **46**
- Sincronismo com o Motor, **53**
- Sistema de Ignição
- Veículo Volkswagen GOL 1.3i AE 1996, **32**
- Software do Projeto, **59**
- Sumário, **16**
- Torque e Potência nos Gráficos, **65**