



SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL
FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA

DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DE INJEÇÃO
ELETRÔNICA DE VEÍCULOS AUTOMOTORES COM
USO DE OSCILOSCÓPIO DIGITAL

Salvador

2008

PAULO JAMES DE OLIVEIRA

DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DE INJEÇÃO
ELETRÔNICA DE VEÍCULOS AUTOMOTORES COM
USO DE OSCILOSCÓPIO DIGITAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade SENAI-CIMATEC para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial

Orientador: Júlio César Chaves Câmara

Salvador

2008

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec

Oliveira, Paulo James de.

Diagnóstico de sistemas de injeção eletrônica de
veículos automotores com uso de osciloscópio digital / Paulo
James de Oliveira. -Salvador, 2008.

81f.

1. Injeção eletrônica. I. título

CDD 629.8

*Dedico esse trabalho
a Seu Roque e Dona Maria,
meus pais,
com carinho ...*

Agradecimentos

Ao Prof. Júlio, meu orientador que, mesmo no abafa, conseguiu um tempinho para me dar uma força.

Ao Prof. Milton, meu co-orientador, por sua disposição.

Ao pessoal do Laboratório de Automotiva, em especial a Enoque, Davi e Ailton, pelo apoio e ajuda.

Ao pessoal do Laboratório de Microeletrônica, principalmente a Ian e Daniel que me quebraram um galhão.

Ao colega Carlos Airon pela solidariedade.

Ao corpo docente do curso que vem contribuindo de forma eficaz para o bom andamento dos trabalhos visando ratificar o conceito estabelecido para o curso, assim como assegurar o reconhecimento desta instituição.

Aos meus familiares e amigos.

Quando nada parece ajudar, eu olho o cortador de pedras martelando sua rocha, talvez cem vezes sem que nem uma só rachadura apareça. No entanto, na centésima primeira martelada, a pedra se abre em duas e eu sei que não foi aquela que conseguiu, mas todas as que vieram antes.

JACOB RIIS

Resumo

Com a evolução da eletrônica embarcada e sua incorporação ao gerenciamento dos sistemas automotivos, novas técnicas de análise e diagnósticos de falhas têm surgido e aos poucos vão sendo incorporadas ao domínio de atuação dos profissionais de reparação de veículos. A mais recente delas é a aplicação de osciloscópios digitais para leitura e interpretação de modos de falha através da visualização gráfica dos sinais capturados a partir dos dispositivos eletrônicos que compõem os diversos sistemas. Nesse trabalho são discutidos a análise e o diagnóstico de sistemas de gerenciamento eletrônico de motores de combustão interna ciclo Otto com a utilização de osciloscópio automotivo. É traçado um panorama geral da evolução dos sistemas eletrônicos embarcados para veículos automotores, destacando-se o contexto em que esse trabalho encontra-se inserido e qual a sua relevância. Descreve-se brevemente o osciloscópio digital ressaltando-se seus aspectos comparativos frente a aplicação de outras ferramentas existentes no mercado. Em seguida é feita uma explanação, também de forma sucinta, dos dispositivos e de seus princípios de funcionamento. Por último apresentam-se os resultados experimentais obtidos em laboratório.

Palavras-Chaves: sistemas de injeção, osciloscópio automotivo, sensores automotivos, atuadores automotivos .

Prolegômenos

Os sistemas eletrônicos nos automóveis tiveram um desenvolvimento relativamente lento, principalmente devido à relação entre custo e benefício. Historicamente, os primeiros dispositivos eletrônicos foram introduzidos comercialmente nos automóveis durante os anos 50 e início dos anos 60. Contudo, os benefícios oferecidos frente ao custo adicional dos veículos não foram bem recebidos pelos consumidores e isto implicou uma descontinuidade da introdução desses dispositivos por parte da indústria automobilística (RIBBENS, 1998).

Hoje, porém, exigências de ordem legal por redução de emissões tóxicas e de ruídos, a necessidade de redução do consumo de combustível, a busca incessante por maior eficiência na segurança ativa e passiva e o aumento de tens de conforto e conveniência implicam na sofisticação crescente dos sistemas eletrônicos de controle e acionamento instalados nos veículos automotores. Esse quadro acarreta, por sua vez, uma mudança considerável no perfil do profissional. Devido ao ritmo acelerado das inovações e à complexidade dos equipamentos instalados nos veículos automotores exige-se constante atualização e, mesmo, o domínio de novas áreas de conhecimento, como é o caso da eletrônica, para que se possa estar familiarizado com as novas técnicas de diagnósticos de falhas disponíveis no mercado.

Esse trabalho aborda uma dessas técnicas: a utilização de osciloscópio digital automotivo para a análise e diagnóstico de falhas. Como apenas interessa o controle do sistema de injeção eletrônica do motor de combustão interna ciclo Otto, apresenta-se preliminarmente uma descrição do comportamento desejado de um veículo automotivo equipado com esse tipo de motor quando submetido às diversas condições de operação. Segundo (RIBBENS, 1998), existem sete diferentes

categorias de operação do motor que afetam o controle do combustível: partida do motor, motor aquecendo, controle em malha aberta, controle em malha fechada, motor em alta aceleração, desaceleração e operação em ponto-morto ou a vazio.

Essas categorias correspondem a formas separadas e distintas de atuação do sistema de controle que, baseado na condição de operação do motor, determinada pelo conjunto de sensores, seleciona a relação ideal ar/combustível e determina a quantidade de combustível que deve ser injetada em cada cilindro, observando-se, além de um comportamento suave do motor, o controle de emissões poluentes e a economia de combustível .

Condições de Operação do Motor

Partida do Motor – Quando o motor é acionado, o sistema de controle deve fornecer uma relação ar/combustível que depende da temperatura do motor e é selecionada a partir de uma tabela armazenada na memória ROM do controlador. A estratégia de controle adotada atua no sentido de acionar o motor o mais rapidamente possível, fornecendo uma mistura rica. Em seguida o controlador passa para o modo de motor operando a frio.

Motor Operando a Frio ou Fase de Aquecimento – Durante a fase de aquecimento do motor o objetivo primário do sistema de controle é proporcionar um aquecimento rápido do motor, porém, isso deve ser feito de modo suave. O sistema de controle atua em malha aberta mas a relação ar/combustível é alterada em função do aumento da temperatura do motor.

Operação em Malha Aberta – Após a fase de aquecimento do motor, se por alguma razão o modo de controle em malha fechada não estiver disponível, o controlador irá operar em malha aberta. O objetivo principal é ter, o mais rápido possível, uma mistura estequiométrica para se minimizar as emissões evaporativas.

Operação em Malha Fechada – Nesse modo de operação, uma atuação

precisa do controle da relação ar/combustível depende da qualidade de um conjunto de medições de variáveis significativas. Mesmo levando-se em conta mudanças nas condições de operação e variação dos parâmetros do motor sob influência de diversos fatores, a exemplo do desgaste dos componentes e do equipamento em função das condições de uso e do envelhecimento inerente a todo sistema físico, o controlador deve manter as concentrações de hidretos de carbono, nitretos e monóxido de carbono dentro de limites satisfatórios. Isso é feito medindo-se a concentração de oxigênio no escapamento do motor e efetuando-se uma regulagem de modo a se obter uma mistura estequiométrica. Na prática, o controle ajusta a relação ar/combustível entre mistura pobre e mistura rica.

Aceleração Total – Em determinadas situações, a exemplo de manobras relacionadas à segurança (escapar a um perigo iminente) e ultrapassagens, há necessidade de se efetuar acelerações bruscas. Sob tais circunstâncias, o sistema de controle tem como principal objetivo fornecer uma mistura rica ao motor de modo a obter a condição de máximo torque possível a despeito da economia de combustível e dos níveis de emissões. Essa situação é detectada por meio da aceleração angular da válvula borboleta e o sistema responde com o aumento na duração do pulso do sinal do injetor de combustível, enriquecendo a mistura e permitindo ao motor atingir níveis de torque normalmente maiores que em situações onde as emissões e o consumo estão também sendo controlados.

Desaceleração – Em situações de rápida desaceleração, indicada pelo brusco fechamento da válvula borboleta, ou navegação em velocidade de cruzeiro, na qual o motor está submetido a uma baixa carga e elevada rotação, o sistema de controle atua no sentido de diminuir a duração do pulso do sinal do injetor de combustível. Em situações de rápida desaceleração e do freio motor, é possível até mesmo o corte no fornecimento de combustível (condição ou estado de *cut-off*).

Operação em Ponto-Morto ou a Vazio – Na operação a vazio o sistema de controle permite ao motor operar em condições suficientes para fornecer suprimento de potência aos dispositivos e equipamentos instalados no veículo. Isso ocorre quando a válvula borboleta está totalmente fechada. Nessa situação o sistema de controle coloca em operação um atuador de marcha lenta que irá fornecer uma quantidade mínima necessária de ar para que o motor e seus acessórios continuem em funcionamento.

Sumário

1	<i>Introdução</i>	17
2	<i>Objetivos</i>	20
2.1	Objetivo Geral	20
2.2	Objetivos Específicos	20
3	<i>Justificativas</i>	21
4	<i>Osciloscópio Automotivo MS – 1005</i>	25
4.1	Principais Características	28
5	<i>Arquiteturas dos Sistemas de Injeção Eletrônica</i>	31
5.1	Injeção monoponto ou injeção central	31
5.2	Injeção multiponto	32
5.2.1	Multiponto simultâneo ou intermitente	34
5.2.2	Multiponto semiseqüencial ou banco a banco	34
5.2.3	Multiponto seqüencial	37
6	<i>Sensores e atuadores automotivos comumente utilizados nos sistemas de injeção eletrônica</i>	40

6.1	Sensores	42
6.1.1	Sensor de posição da borboleta de aceleração	42
6.1.2	Sensor de temperatura do motor	43
6.1.3	Sensor de temperatura do ar	45
6.1.4	Sensor de pressão do coletor	45
6.1.5	Sensor de rotação e PMS	47
6.1.6	Sensor de Fase	48
6.1.7	Sonda Lâmbda ou Sensor de oxigênio	49
6.2	Atuadores	53
6.2.1	Válvulas Injetoras	54
6.2.2	Bobina de Ignição	55
6.2.3	Regulador de Marcha Lenta - Motor de passo	60
6.2.4	Regulador de Marcha Lenta - Motor rotativo	62
7	<i>Análise dos dispositivos com uso de osciloscópio</i>	64
7.1	Sensor de fase	65
7.1.1	Procedimento de teste	65
7.2	Válvula injetora	68
7.2.1	Procedimento de teste	70
7.3	Bobina de ignição	73
7.3.1	Procedimento de teste	74
8	<i>Conclusão</i>	78

<i>9 Referências</i>	79
----------------------------	----

Lista de Figuras

1	Visão geral das configurações e funções de testes automotivos do Osciloscópio Automotivo <i>MS – 1005 da Minipa</i>	27
2	Osciloscópio Automotivo <i>MS – 1005 da Minipa</i>	29
3	Sistema de gerenciamento monoponto <i>Mono Motronic</i> da <i>Bosch</i> . .	33
4	Diagrama esquemático de um sistema de gerenciamento monoponto.	34
5	Sistema de gerenciamento multiponto <i>LE – Jetronic</i> da <i>Bosch</i> . . .	35
6	Diagrama esquemático de um sistema de gerenciamento multiponto.	36
7	Seqüência de acionamento para o sistema multiponto simultâneo.	36
8	Seqüência de acionamento para o sistema multiponto semiseqüencial.	37
9	Seqüência de acionamento para o sistema multiponto seqüencial. .	38
10	Diagrama esquemático do sistema de gerenciamento multiponto <i>Motronic</i> da <i>Bosh</i>	39
11	(a) – Diagrama de ligação à central de comando e (b) – Válvula borboleta.	43
12	Corpo da borboleta e sensor borboleta, respectivamente.	43
13	(a) – Diagrama de ligação à central de comando e (b) – Sensor de temperatura do liquido de arrefecimento	44
14	Sensor de temperatura do liquido refrigerante do motor.	45

15	(a) – Diagrama de ligação à central de comando (b) – Sensor de temperatura e pressão do ar de admissão.	46
16	Sensor de temperatura.	46
17	Sensor de pressão do coletor.	47
18	(a) – Diagrama de ligação à central de comando (b) – Sensor de rotação e PMS	48
19	Sensor de rotação e PMS.	48
20	<i>Lay out</i> de instalação do sensor de fase.	50
21	Diagrama do sensor de fase.	50
22	(a) – Diagrama de ligação à central de comando (b) – Sonda lambda.	52
23	Vista interna de uma sonda lambda.	52
24	Diagrama de atuação da sonda lambda em malha fechada.	53
25	Válvula eletromagnética injetora de combustível.	54
26	Visão interna de uma válvula injetora.	55
27	<i>Lay out</i> de instalação das válvulas injetoras.	56
28	Diagrama de conexão das válvulas injetoras à central de comando.	57
29	Bobina plástica de ignição utilizada no <i>Marea Weekend 2.0i 20V</i>	58
30	Diagrama de ligação à central de comando das bobinas de ignição.	59
31	Esquema de ligação do sistema de ignição <i>Bosch Le-Jetronic</i>	60
32	Diagrama esquemático do sistema de regulagem de marcha lenta.	61
33	Motor de passo.	62
34	Operação do motor rotativo na regulagem da marcha lenta.	63
35	Motor rotativo utilizado no <i>Marea Weekend 2.0i 20V</i>	63

36	Teste do sensor de fase - Ponto morto.	66
37	Teste do sensor de fase - baixa rotação.	67
38	Teste do sensor de fase - rotação intermediária.	68
39	Teste do sensor de fase - alta rotação.	69
40	Teste da válvula injetora - rotação moderada.	71
41	Teste da válvula injetora - marcha lenta.	72
42	Teste da válvula injetora - alta rotação.	72
43	Padrão de tensão na bobina de ignição.	74
44	Sinal de tensão do teste da bobina de ignição.	75
45	Telas de captura dos testes da bobina de ignição.	76

1 *Introdução*

A utilização de sistemas de controle eletrônico nos automóveis tem experimentado, recentemente, um rápido desenvolvimento. Há cinquenta anos, muitos dos sistemas eram baseados em princípios eletromecânicos e hoje em dia muitos são controlados eletronicamente. Conseqüentemente, sem esses sistemas, os veículos tornam-se simplesmente inoperantes pois, é praticamente impossível atender os requisitos exigidos na fabricação dos automóveis modernos sem a utilização desses sofisticados sistemas de controle (MAREK et al, 1998).

As unidades de controle eletrônico são dotadas de sistemas com capacidade para gerar códigos de problemas que possam surgir nos sistemas eletrônicos, contudo por mais sofisticado que sejam, não cobrem todos os tipos de defeitos. Isso porque estes sistemas são projetados para operar em limites mais ou menos amplos de sua capacidade de utilização. Somente quando um componente excede, de modo consistente, um desses limites é que a unidade de controle gera um código de falha. Esse aspecto é apresentado de modo bem explícito em (TOYOTA, 1999):

***Fault Detection Principles** – The ECU fault detection system is programmed to accept sensor signal values within a certain range to be normal, and signals outside of that range to be abnormal. The normal signal range used to diagnose most sensor circuits covers the entire operating range of the sensor signal. As long as the signal value falls within this range, the ECU judges it to be normal. As a result, it is possible for the sensor to generate a signal which does not accurately represent the actual operating condition and not be detected as a problem by the ECU.*

Numa tradução livre o texto anterior afirma que o sistema de detecção de falhas da central eletrônica está programado para aceitar que os valores dos sinais dos sensores variem dentro de certos limites. Contudo o *range* utilizado, em geral, cobre toda a faixa de operação dos sensores. Portanto, se ocorre uma falha dentro desses limites a central não detecta o problema. Ou seja, é possível que um sensor gere um valor de sinal que não corresponda propriamente a uma condição normal de operação e isso não seja detectado como um problema pela central de comando. Essa tolerância pode causar sérios problemas ao sistema e, para determinação precisa do tipo de falha ou do dispositivo defeituoso, torna-se necessário, por parte dos técnicos de manutenção, o emprego de outros recursos tais como os osciloscópios digitais, os multímetros digitais ou *scanners* automotivos (MINIPA, 2005).

Todas essas ferramentas apresentam características próprias e o uso conjunto delas possibilita uma melhor identificação do problema que originou determinado defeito. Contudo, o osciloscópio digital automotivo, por apresentar uma maior gama de recursos, permite o diagnóstico de falhas em situações nas quais, tanto o multímetro quanto o *scanner* não fornecem quaisquer resultados. A título de ilustração, toma-se como exemplo um caso citado em (DOUTOR-IE, 2008). Uma falha no comutador de ignição produzia o desligamento do motor; o defeito somente foi corrigido após se constatar, com auxílio de um osciloscópio, um corte na tensão de alimentação por menos de 1ms. Para o multímetro, a leitura desse sinal de tensão fornece um valor constante e, como não havia registro na memória da central eletrônica responsável pelo controle da injeção, tão pouco o *scanner* poderia indicar qual teria sido o motivo da falha.

O presente trabalho focará sobre o diagnóstico de sistemas de injeção eletrônica com o uso de um osciloscópio digital, mais especificamente, será utilizado o OSCILOSCÓPIO AUTOMOTIVO MS – 1005 da Minipa. A título de aplicação, qualquer um dos sistemas automotivos poderia ser objeto de estudo, porém optou-se por abordar a injeção eletrônica por se tratar do mais complexo em número e características dos sensores e atuadores apresentando, conseqüentemente, maior

probabilidade de ocorrência de defeitos. É de corrente entendimento que a sistemática dos processos e a metodologia desenvolvidas poderão ser aplicadas aos demais sistemas de um modo natural, possibilitando a realização de outras iniciativas nesse mesmo sentido, qual seja, o desenvolvimento de diagnósticos de falhas. No Capítulo 2 descreve-se os objetivos desse trabalho, em seguida, no Capítulo 3 é apresentada, em modo mais abrangente a justificativa para a realização desse trabalho, no Capítulo 4 é feita uma apresentação sucinta do Osciloscópio Automotivo. Nos Capítulos 5 e 6 são apresentados uma breve revisão teórica sobre os elementos que constituem um sistema de injeção eletrônica: os diferentes tipos de sistemas, sensores e atuadores. No Capítulo 7 são apresentados os testes de laboratório realizados para alguns dispositivos do sistema de gerenciamento eletrônico do motor e apresentado os resultados experimentais. Finalmente, no Capítulo 8 é feita uma síntese das principais considerações acerca do uso do osciloscópio automotivo como ferramenta auxiliar no ambiente da reparação automotiva.

2 *Objetivos*

2.1 **Objetivo Geral**

Desenvolver uma metodologia de análise e diagnóstico de falhas em sistemas de injeção eletrônica de veículos automotores utilizando o Osciloscópio Automotivo MS-1005 da Minipa.

2.2 **Objetivos Específicos**

1. Caracterizar os sinais eletrônicos dos sensores e atuadores do sistema de injeção eletrônica automotivo;
2. Determinar fatores críticos de funcionamento dos sistemas de injeção eletrônica;
3. Avaliar o funcionamento dos componentes do sistema quando operando a vazio, em condições normais e em condições extremas;
4. Identificar, relacionar e caracterizar sinais indicativos de falhas dos sensores e atuadores;
5. Estabelecer um procedimento sistematizado de diagnóstico do sistema de injeção eletrônica com o uso do osciloscópio digital.

3 Justificativas

Desde o primeiro sistema de ignição elétrica instalado em um veículo em 1902 aos dias de hoje, tem-se verificado, além do surgimento de novas aplicações, uma crescente complexidade dos equipamentos veiculares (BOSH, 2003).

No início dos anos 60 o sistema eletrônico que equipava os veículos produzidos no Brasil resumia-se aos circuitos de iluminação e sinalização de manobras (pisca-pisca) e do gerador elétrico. Os sistemas de ignição do motor constituía-se basicamente de bronzina e platinado, enquanto o carburador “controlava” a injeção de combustíveis. Pode-se afirmar, com certa dose de ironia, que o circuito eletrônico mais complexo era o rádio que equipava alguns modelos; Nos anos 70 a ignição eletrônica passa a ser utilizada em substituição ao platinado e torna-se equipamento comum nos veículos. Surgiram também, no final dos anos 70 os sistemas de freios ABS, de injeção eletrônica, e computador de bordo (WASHINO, 2001) e somente em 1989, praticamente 10 anos depois, consequência de exigências legais por limites menores de emissão de gases veiculares (BRASIL, 1993), começaram a ser fabricados no Brasil os primeiros veículos equipados com injeção eletrônica.

Em nossos dias, cerca de 80% das inovações em automóveis têm base na eletrônica. Os sistemas mecânicos são praticamente os mesmos aos quais foram incorporados sistemas eletrônicos de controle e acionamento, aumentando sua confiabilidade, durabilidade e desempenho. Além disso, os sistemas eletrônicos instalados nos veículos automotores têm se tornado cada vez mais complexos e chegam

a representar uma parcela significativa do custo final de produção dos automóveis, algo em torno de 25%, para os veículos de padrão médio, chegando a 50% para os modelos de luxo (BERGER, 2002). Os sistemas injetores, de suspensão, freios, conforto, localização e demais comodidades que a tecnologia pode conceber, tais como: som MP3, sistema de navegação por satélite, alarme e rastreador por satélite, sensor de chuva e estacionamento, são monitorados a partir de unidades de controle computadorizadas, conectadas em rede e, por meio de *softwares* cada vez mais elaborados, possibilitam o funcionamento do veículo em condições operacionais cada vez mais otimizadas (VON DER BEECK, 2006).

O que se percebe, a partir dos veículos produzidos atualmente, é que a sofisticação dos sistemas eletrônicos impõem também novos desafios. O número elevado de componentes, conectores e cabos elétricos, a complexidade dos sistemas que se amplia ano após ano e o crescente número de sensores e atuadores instalados, especialmente aqueles que são responsáveis pela aceleração do motor, pelos freios ABS e outros sistemas críticos, como o *air-bag* por exemplo, devem ser imunes à falhas. Apenas como ilustração, um painel de um veículo moderno chega a possuir mais de 100 conectores e alguns modelos mais luxuosos possuem até 70 centrais eletrônicas de controle que realizam aproximadamente 900 funções automotivas e são conectadas por até 5 barramentos de comunicação (FRISCHKORN, 2004).

Uma óbvia constatação é que, com os sistemas eletrônicos dos veículos tornando-se cada vez mais complexos, garantir confiabilidade torna-se um desafio ainda maior. Com o advento da comunicação em rede, em substituição às conexões ponto-a-ponto, a possibilidade de falhas que afetem, não somente funções individuais, mas todo o veículo é uma realidade bem tangível. Imagine-se o efeito tão comum de potentes campos eletromagnéticos, irradiados das torres de transmissão de energia elétrica, sobre um veículo que se aproxima. A consequência pode ser uma pane em todo o sistema eletrônico embarcado, isso somente para enfatizar um dos aspectos críticos a serem considerados: a compatibilidade eletromagnética dos dispositivos utilizados nos diversos sistemas eletrônicos.

O desenvolvimento de *softwares* segue par em passo a sofisticação dos sistemas eletrônicos e, como é do conhecimento de qualquer usuário de computador, os softwares são muito mais suscetíveis a falhas que o *hardware*, com um agravante, no caso de um veículo em deslocamento, a opção pura e simples de *reset* para *reboot* é inconcebível.

Claro está que esses aspectos acarretam desdobramentos sobre a fabricação dos sistemas automotivos como um todo, começando no projeto dos dispositivos, com o uso de novos materiais adequados à atuarem em ambiente hostil, sujeitos a altas temperaturas, óleo, gases corrosivos, fuligem, vibração excessiva, etc, evoluem para soluções de projetos de instalações em espaços limitados, e exigem o desenvolvimento de sofisticadas soluções de *softwares* robustos e confiáveis, considerando restrições orçamentárias como elemento parametrizador em qualquer solução proposta. Influenciando, por fim, o elevado grau de especialização e capacitação necessário ao profissional que deverá atuar na manutenção desses sistemas.

Como não se tratam de sistemas auto reconfiguráveis, ou seja, sistemas dotados de certa dose de inteligência que possibilite aos mesmos diagnosticar e reparar, por conta própria, eventuais falhas, e dado ao grau de sofisticação e complexidade envolvidos, necessita-se, cada vez mais, de mão de obra altamente capacitada para oferecer os serviços de manutenção e ajuste dos sistemas eletromecânicos automotivos. Por outro lado, muitos dos dispositivos, quando apresentam defeitos, não podem ser reparados, devendo apenas serem substituídos, o que aparentemente pode significar uma simplicidade na manutenção dos veículos. A contrapartida é justamente a necessidade de dotar as oficinas com ferramentas modernas para análise e diagnóstico de falhas, como os osciloscópios automotivos, por exemplo.

O desenvolvimento de ferramentas sofisticadas significa que, para manuseá-las, os funcionários de oficinas mecânicas precisam ser atualizados no domínio dessa nova tecnologia. Por esse motivo, propõe-se a elaboração de uma metodologia de análise e diagnóstico de falhas utilizando-se o osciloscópio automotivo MS-1005 da Minipa. Trata-se de um instrumento dedicado à análise dos tipos de

sinais elétricos encontrados em veículos automotores. A princípio, o escopo será limitado ao sistema de injeção eletrônica, os procedimentos desenvolvidos poderão ser estendidos aos demais sistemas eletrônicos do veículo.

4 *Osciloscópio Automotivo* *MS – 1005*

Desde a implementação dos sistemas de gerenciamento eletrônico dos motores no Brasil, no início dos anos 90, a característica de reparação dos veículos automotores, principalmente nas ferramentas e equipamentos para a prestação dos serviços, têm sofrido significativa transformação. Um exemplo dessa realidade é apresentado em (SOUZA, 2006). Segundo (NOTÍCIAS DA OFICINA, 2008), as necessidades de ferramentas e equipamentos nas oficinas passaram rapidamente pela fase dos multímetros automotivos e, em seguida, pela dos *scanners*. A utilização desses recursos introduziu novos componentes e conhecimentos ao universo dos serviços de manutenção mecânica, e as inovações advindas com o desenvolvimento da eletrônica embarcada reforçam ainda mais a necessidade de atualização profissional, contribuindo definitivamente para uma mudança no perfil dos novos reparadores.

Na introdução do presente trabalho, ilustrou-se, com uma problema de aplicação prática, as diferenças de utilização entre os multímetros, os *scanners* e o osciloscópio automotivo. Foi mostrado que, tanto o multímetro quanto o *scanner* utilizados não conseguiram identificar a causa da falha, isso porque esses dispositivos são mais adequados à leitura estática dos sinais elétricos. Quando o sinal varia em função do tempo, muitas vezes o sistema de auto diagnóstico, que pode ser lido pelo *scanner*, não detecta o problema, nem o multímetro possui uma capacidade de varredura do sinal que possibilite identificar a variação do mesmo. Em geral

essa é a situação. A título de comparação, multímetros sofisticados conseguem processar informações em até mil vezes por segundo, enquanto os *scanners* alcançam até 100 vezes por segundo, já os osciloscópios, por exemplo, conseguem processar informações em velocidades de milhões de vezes por segundo (NOTÍCIAS DA OFICINA, 2008). É exatamente esse aspecto: a leitura em tempo real, ou leitura dinâmica, dos sinais dos sensores, atuadores, chicotes e sistemas eletrônicos, que justifica a aplicação dos osciloscópios automotivos.

Um osciloscópio é um aparelho que permite detectar e observar, por meio de uma representação gráfica, as variações ou oscilações de uma grandeza elétrica de tensão ou corrente, em função do tempo. Do ponto de vista de sua aplicação, os osciloscópios convencionais poderiam também ser utilizados para a análise de sinais em sistemas automotivos mas, devido às condições de operação apresentarem muitos fatores adversos, tais como vibrações excessivas, altas temperaturas, elevada quantidade de ruídos e, também, por exigirem do técnico de reparação automotiva um conjunto de conteúdos e competências muito distantes de sua formação profissional, faz-se necessário a utilização de um instrumento apropriado, projetado especialmente para o uso no mercado de serviço de manutenção automotiva. Um osciloscópio automotivo, por sua vez, possui uma constituição robusta, adequada ao serviço em uma oficina mecânica. Além disso apresenta um conjunto de funções pré programadas, específicas para aplicação automotiva, que “facilitam” consideravelmente o seu manuseio. Na Figura 1 é apresentada uma visão geral das configurações e funções de testes automotivos do osciloscópio Automotivo MS – 1005 da *Minipa*. Observe na coluna à direita da figura a quantidade de testes pré configurados de sensores e atuadores.

O Osciloscópio Automotivo MS – 1005, ilustrado na Figura 2, é um instrumento operado por bateria que possui dois canais e um avançado multímetro gráfico. Sua principal finalidade é a de servir como um elemento capaz de proporcionar avançadas habilidades de solução de problemas para os técnicos de reparo automotivo. Com o uso desse instrumento é possível detectar praticamente todos os sinais

de interesse encontrados nos veículos modernos: DC, AC, de frequência modulada, de largura de pulso modulada e de dados serial (ou multiplexado). Dentre as diversas características que esses sinais apresentam, cinco são consideradas críticas para os procedimentos de análise de falha dos dispositivos eletrônicos automotivos e são manipuladas pela central de gerenciamento eletrônico do veículo:

- Amplitude – Valor de tensão do sinal eletrônico em um determinado instante;
- Frequência – O número de eventos no tempo do sinal eletrônico, medido em ciclos por segundo (Hertz);
- Forma – O aspecto gráfico do sinal eletrônico;
- *Duty Cycle* – O tempo ativo, ou a largura de pulso relativo do sinal eletrônico;
- Padrão de comportamento - a repetibilidade de um sinal fornece à central algum tipo de informação específica, por exemplo, pulsos de sincronismo indicam que um determinado cilindro está no ponto morto superior;

4.1 Principais Características

As principais características são as seguintes:

- Taxa de amostragem de 25 milhões de amostras por segundo para uma rápida atualização de dados;
- Sinais padrão de referência no osciloscópio;
- Medidas e gráficos com o multímetro gráfico True RMS (GMM);
- Modo único de Captura de Picos Aleatórios, mostra e opcionalmente salva padrões de sinais anormais no modo TESTE DE COMPONENTES;

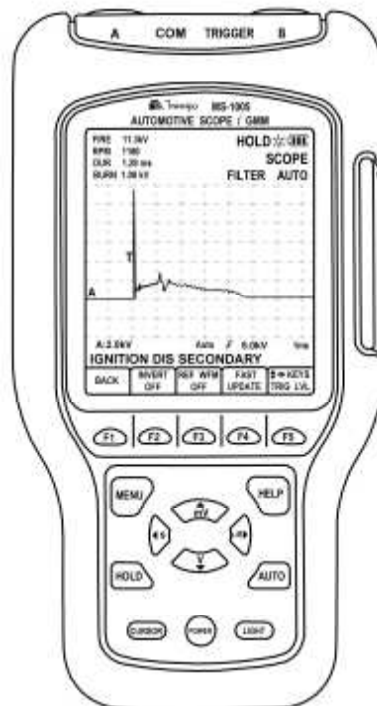


Figura 2: Osciloscópio Automotivo *MS – 1005* da *Minipa*.

- Testes pré-ajustados que permitem aos usuários verificar a maioria dos sensores, atuadores e sistemas automotivos;
- Informações completas de referência incorporadas para cada teste pré-ajustado, incluindo um procedimento de teste que mostra como se conectar ao circuito, um padrão de sinal normal para referência, teoria de operação e dicas de solução de problemas;
- Interface direcionada a *menus* que possui configurações automáticas para a maioria dos testes não pré-ajustados.
- Função Ignição Secundária Simples que mostra a forma de onda juntamente com a tensão de ignição, RPM, tempo de combustão e tensão de combustão;
- Interface USB para atualização de dados e códigos.

Como a descrição completa desse instrumento não é objeto do presente trabalho, recomenda-se, para um entendimento mais aprofundado, a leitura do manual do fabricante (MINIPA, 2005).

5 *Arquiteturas dos Sistemas de Injeção Eletrônica*

Segundo (CLUBE DO LOGUS POINTER, 2008), o primeiro sistema de injeção lançado no Brasil foi o *Le Jetronic* da *Bosch*. Importa aqui salientar que se trata de um sistema analógico e, por essa característica, não possui unidade de memória, conseqüentemente não permite a utilização de *scanners* automotivos para verificação de possíveis avarias ocorridas, pois o sistema não tem como armazenar tais informações. Logo em seguida vieram os sistemas digitais produzidos pela *AC Rochester*, *Magneti Marelli* e o *Motronic* da *Bosch*.

De modo geral, e independentemente do fabricante ou das famílias de produtos existentes no mercado, os sistemas de gerenciamento eletrônico dos motores podem ser classificados, quanto à forma como o combustível é injetado, em dois grupos: o sistema monoponto, o qual possui apenas uma válvula injetora para todos os cilindros, e o sistema multiponto, com uma válvula para cada cilindro.

5.1 **Injeção monoponto ou injeção central**

No sistema monoponto, mostrado na Figura 3 a válvula injetora de combustível está posicionada no centro do tubo de admissão de ar, antes da válvula borboleta, e vem alojada numa unidade denominada de corpo da borboleta. Nesse sistema o combustível sob pressão é pulverizado para todos os cilindros. Esse modo de atuação produz elevada perda de combustível por evaporação, repare na Figura

4 o caminho que deve ser percorrido pelo combustível até ser absorvido pelos cilindros. Por essa razão e em virtude de exigências mais rigorosas por redução de poluentes esse sistema de gerenciamento não mais equipa os veículos produzidos atualmente.

5.2 Injeção multiponto

No sistema multiponto, a injeção do combustível ocorre próximo às válvulas de admissão. Isso permite que o diâmetro do coletor seja aumentado, melhorando a admissão de ar e possibilitando aumento de potência do motor, e reduz a emissão de gases tóxicos, com a melhora na mistura ar/combustível. Um detalhe importante a ser observado é que, como a injeção de combustível está separada fisicamente da admissão de ar, é possível a utilização de coletor de admissão de plástico, diminuindo o custo de produção e contribuindo para diminuição do peso do veículo – dois fatores críticos bastante valorizados pela área de projeto automotivo.

A Figura 5 mostra o sistema de gerenciamento multiponto *LE - Jetronic* da *Bosch* com a localização de seus componentes e, na Figura 6, um diagrama esquemático destaca o posicionamento das válvulas injetoras nesse tipo de configuração. Comparando-se a Figura 4 e a Figura 6 percebe-se claramente a diferença básica entre os dois sistemas.

O sistema de gerenciamento eletrônico multiponto subdivide-se, em função do tipo de acionamento das válvulas injetoras, em três categorias distintas:

- Multiponto simultâneo ou intermitente;
- Multiponto semiseqüencial ou banco a banco;
- Multiponto seqüencial.

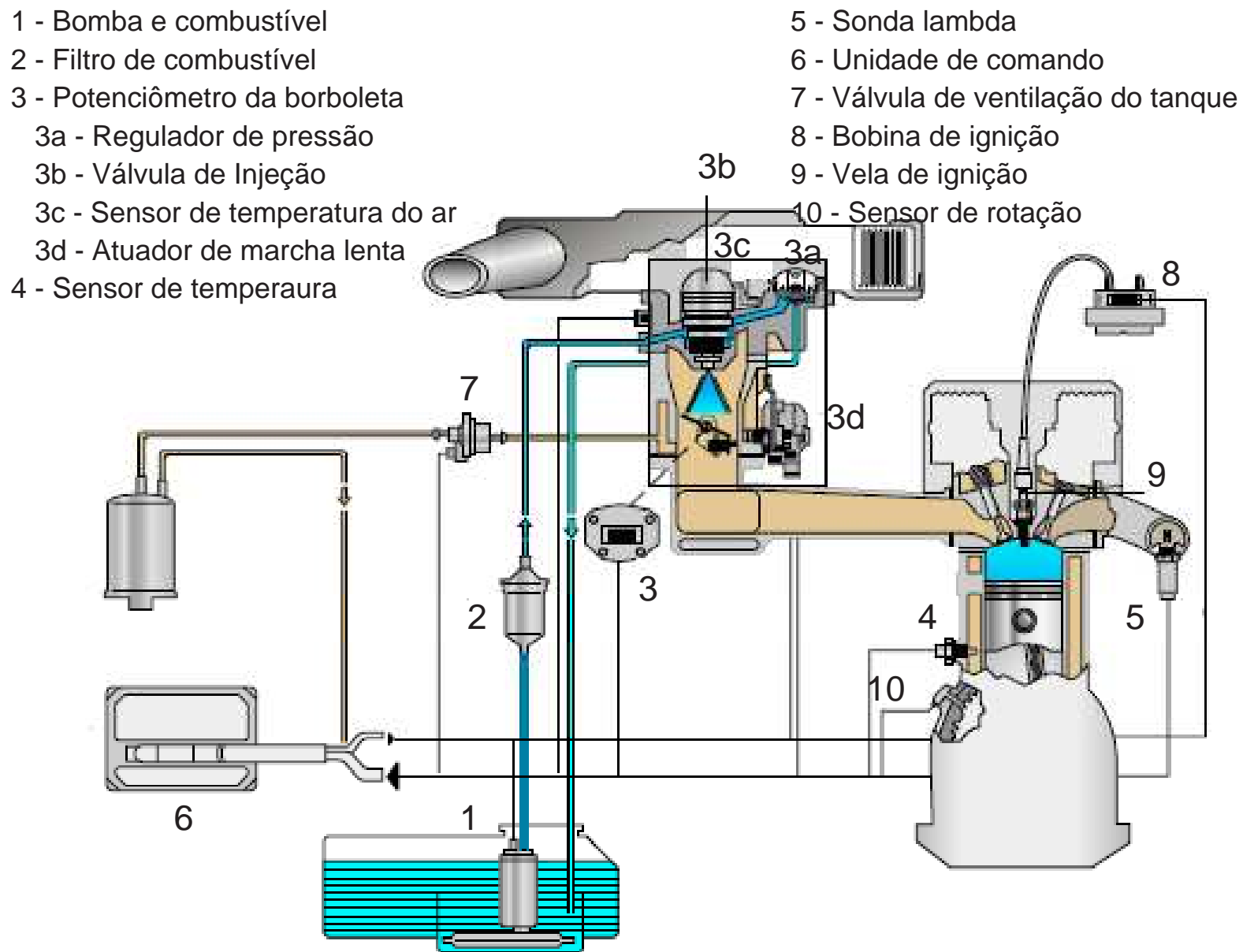


Figura 3: Sistema de gerenciamento monoponto *Mono Motronic* da *Bosch*.

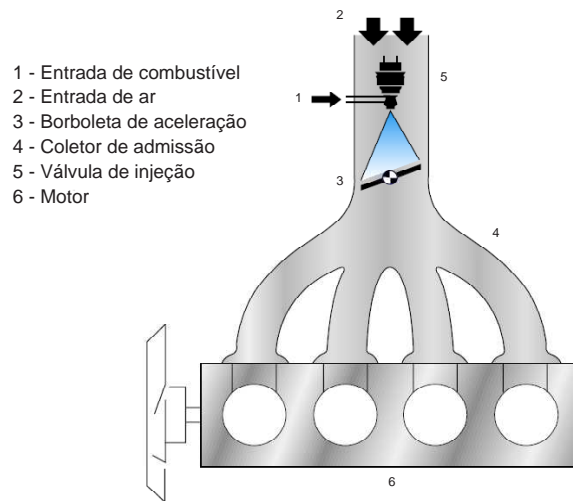


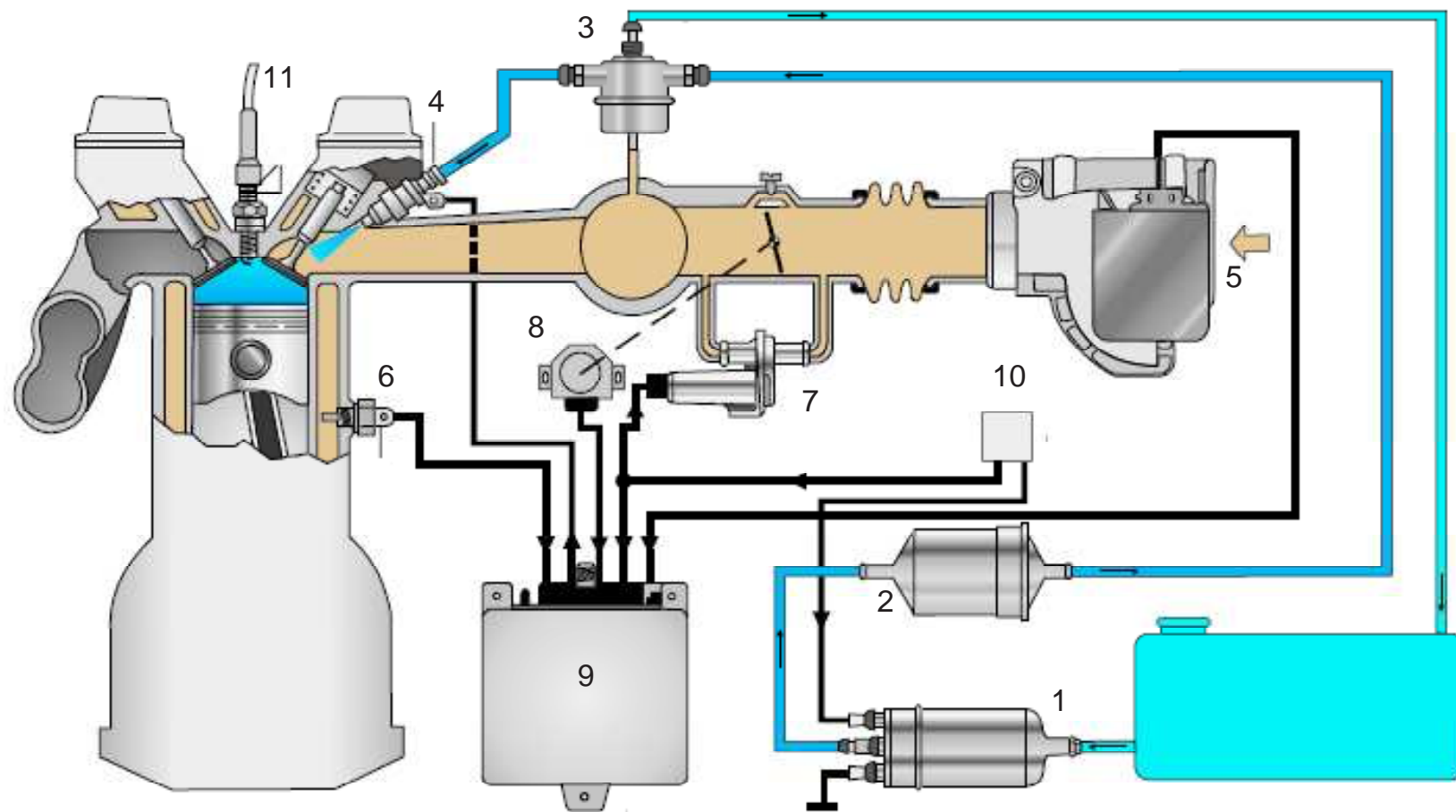
Figura 4: Diagrama esquemático de um sistema de gerenciamento monoponto.

5.2.1 Multiponto simultâneo ou intermitente

Nesse sistema todas as válvulas injetoras são acionadas no mesmo instante duas vezes a cada giro da árvore de manivelas do motor. Essa forma de atuação e gerenciamento é idêntica à do sistema monoponto, diferenciando-se apenas quanto ao número de injetores e à localização dos mesmos. Como a admissão ocorre apenas para um cilindro por vez, existe a inconveniência de se injetar combustível em cilindros fora do ponto de operação, indicado pelo sensor de posição da árvore de manivelas. A Figura 7 ilustra o funcionamento desse sistema. Observe na figura que a injeção ocorre uma vez a cada giro da árvore de manivelas, imediatamente antes do cilindro # 1 atingir o ponto morto superior (PMS). Assim, o injetor fornece a metade do combustível calculado, duas vezes, a cada ciclo motor.

5.2.2 Multiponto semiseqüencial ou banco a banco

Nesse sistema de acionamento as válvulas injetoras são reunidas em dois grupos e cada grupo irá atuar uma vez por ciclo, ou giro da árvore de manivelas. Ou seja duas válvulas injetoras são abertas simultaneamente enquanto as outras duas



- 1 Bomba de combustível
- 2 Filtro de combustível
- 3 Regulador de pressão
- 4 Válvula de injeção
- 5 Medidor de fl uxo de ar
- 6 Sensor de temperatura

- 7 Adicionador de ar
- 8 Potenciômetro da borboleta
- 9 Unidade de comando
- 10 Relé de comando
- 11 Vela de ignição

Figura 5: Sistema de gerenciamento multiponto *LE – Jetronic* da *Bosch*.

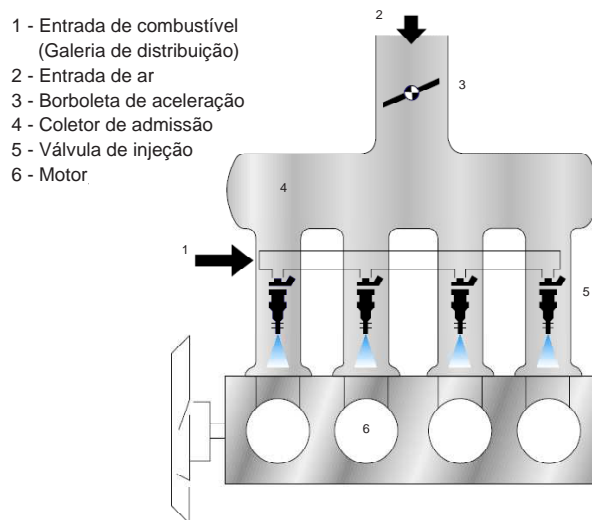


Figura 6: Diagrama esquemático de um sistema de gerenciamento multiponto.

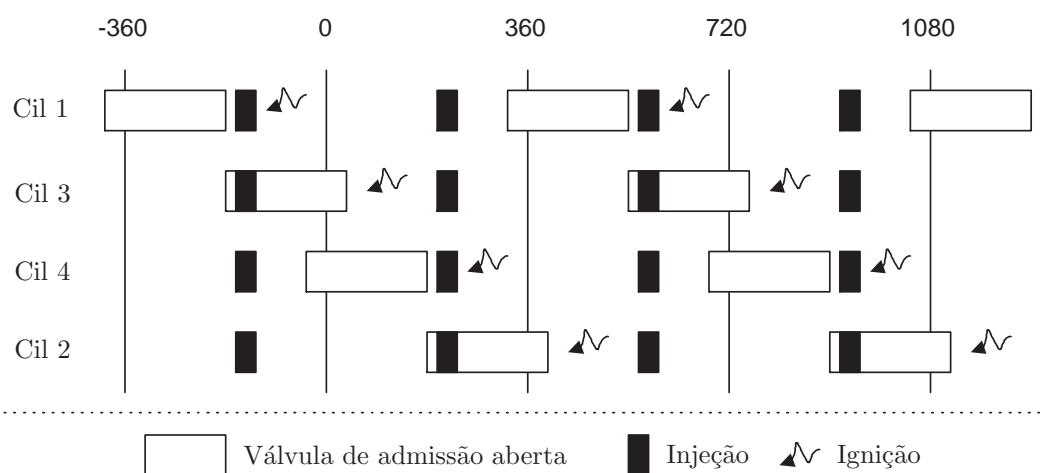


Figura 7: Seqüência de acionamento para o sistema multiponto simultâneo.

permanecem fora de atuação. Esse sistema possui uma vantagem em relação ao acionamento simultâneo pois ele possibilita escolher pontos distintos de operação para cada grupo, minimizando o inconveniente mencionado na seção anterior. O funcionamento do sistema multiponto semiseqüencial está ilustrado na Figura 7. Segundo (CLUBE DO LOGUS POINTER, 2008), esse é o sistema mais utilizado atualmente devido a sua eficiência satisfatória, que é superior ao intermitente, e ao

baixo custo frente ao método seqüencial que será apresentado a seguir. Na figura observa-se que a injeção fornece o combustível imediatamente antes do cilindro líder no grupo iniciar a admissão. Todo o grupo é ativado uma vez por ciclo motor e entrega a carga total calculada de combustível.

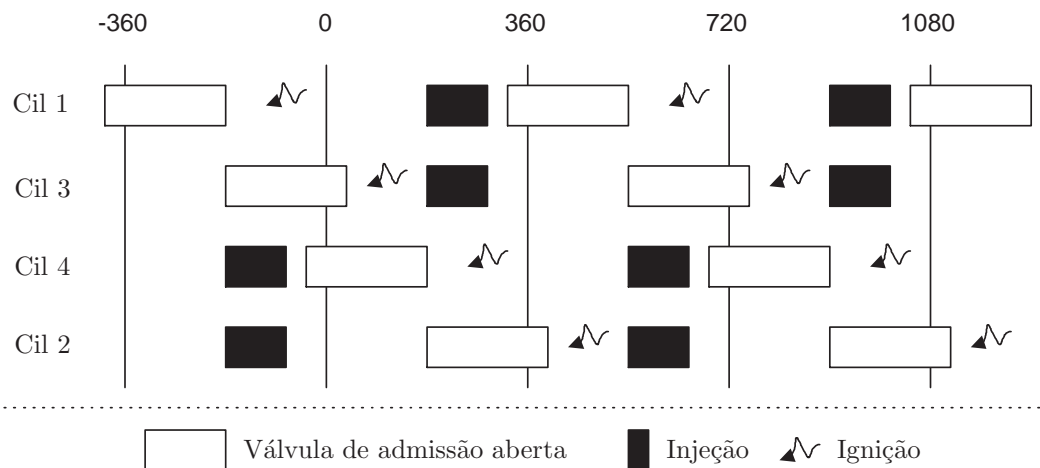


Figura 8: Seqüência de acionamento para o sistema multiponto semiseqüencial.

5.2.3 Multiponto seqüencial

No sistema de gerenciamento multiponto seqüencial, cada válvula injetora atua independentemente, permitindo um maior grau de liberdade para que a programação da seqüência de atuação possa servir aos mais diversos critérios de otimização requeridos. Contudo, para que se possa tirar vantagem do grau de liberdade que o acionamento individual das válvulas injetoras propicia, esse sistema possui, além do sensor de posição da árvore de manivela, um sensor de fase que irá identificar para a central eletrônica qual cilindro está em fase de explosão. Além disso a central eletrônica deverá conter quatro saídas de controle: uma para cada válvula. Trata-se, portanto, de um sistema mais sofisticado e, conseqüentemente, mais caro. O funcionamento do sistema multiponto seqüencial está ilustrado na Figura 8. Observa-se que a injeção fornece o combustível imediatamente antes da abertura da válvula de admissão de cada cilindro, fornecendo toda a carga de

combustível calculada.

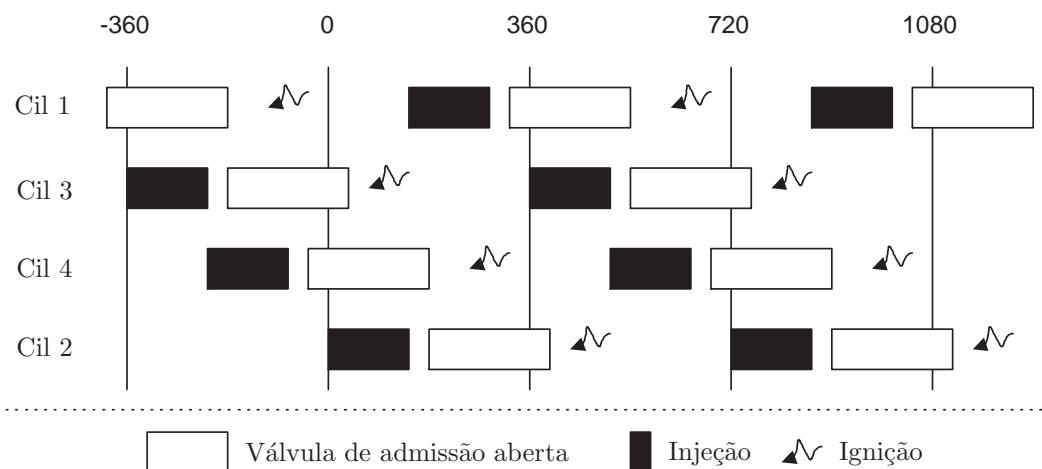
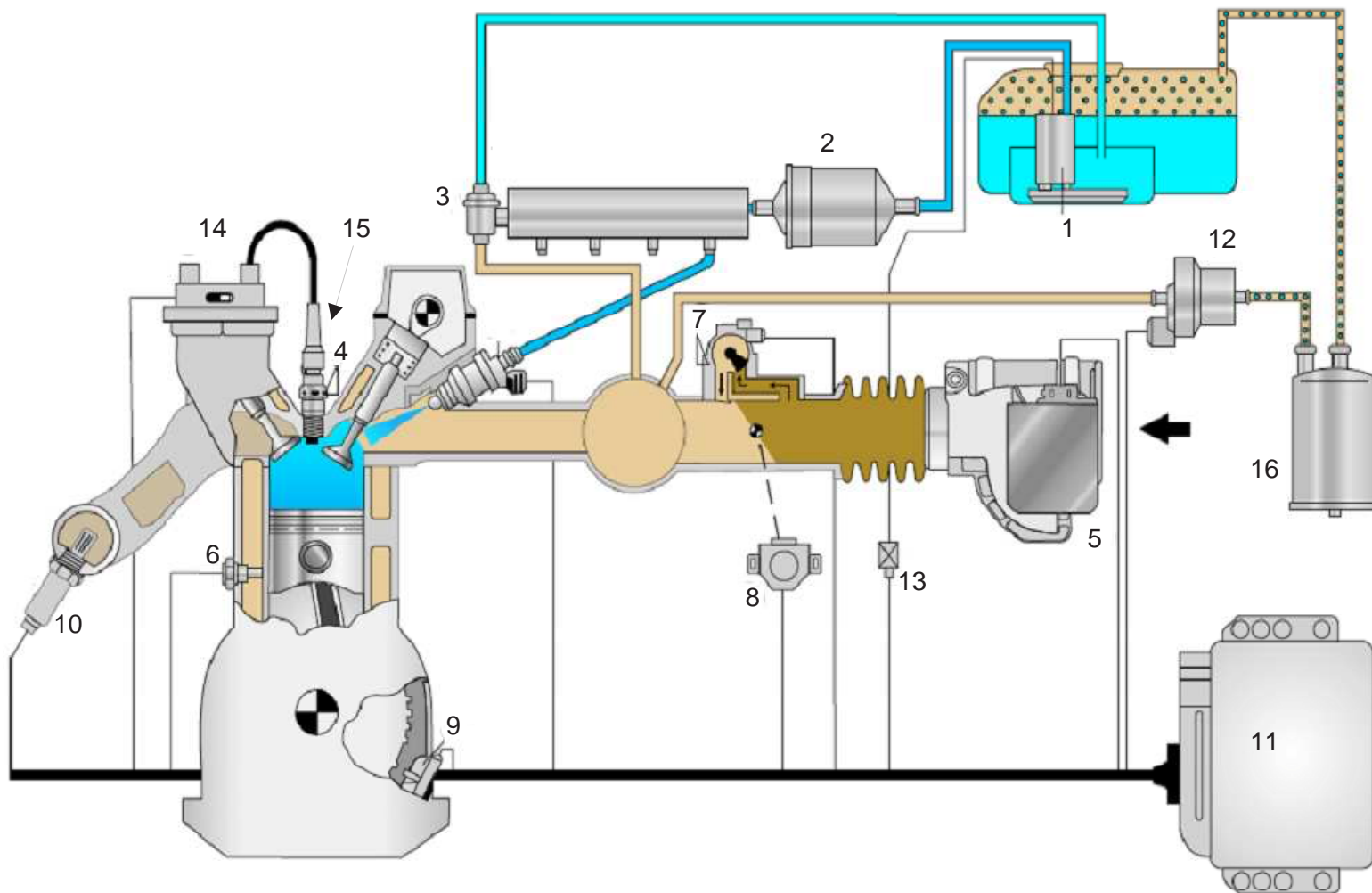


Figura 9: Seqüência de acionamento para o sistema multiponto seqüencial.

O veículo utilizado para a realização dos testes possui o sistema multiponto *Motronic* da *Bosch*, ilustrado na Figura 10. Diferencia-se do *LE-Jetronic*, Figura 5, por possuir, incorporado na unidade de comando, o sistema de injeção e o sistema de ignição – a cada unidade injetora está acoplada uma bobina de ignição. Apresenta também a sonda lambda, instalada no tubo de escapamento do motor, agregada ao sistema de injeção.

O sistema *Motronic* é digital. Possui memória de adaptação e lâmpada de anomalia. Em alguns veículos, por não possuírem distribuidor, o controle do momento de ignição (faísca) é comandado pelo sensor de rotação, instalado no volante do motor.

Também no sistema *Motronic*, a válvula de ventilação do tanque (conhecida como válvula do canister) permite o reaproveitamento dos vapores de combustível, que são altamente tóxicos, contribuindo assim para a redução da poluição, que vem a ser a principal vantagem da injeção eletrônica.



- | | |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1 - Bomba de combustível | 9 - Sensor de rotação (pertence ao sistema de ignição) |
| 2 - Filtro de combustível | 10 - Sonda lambda |
| 3 - Regulador de pressão | 11 - Unidade de comando (injeção + ignição) |
| 4 - Válvula de injeção | 12 - Válvula de ventilação do tanque |
| 5 - Medidor de fluxo de ar | 13 - Relé de comando |
| 6 - Sensor de temperatura | 14 - Bobina de ignição |
| 7 - Atuador de marcha lenta | 15 - Vela de ignição |
| 8 - Potenciômetro da borboleta | 16 - Canister |

Figura 10: Diagrama esquemático do sistema de gerenciamento multiponto *Motronic* da Bosh.

6 Sensores e atuadores automotivos comumente utilizados nos sistemas de injeção eletrônica

Os sistemas de gerenciamento eletrônico utilizados nos automóveis tornam-se mais sofisticados a cada dia. Não somente o gerenciamento do motor mas toda uma gama de requisitos funcionais e não-funcionais, como restrições legais, conforto, conveniência, dirigibilidade, eficiência de consumo de combustível e segurança, são acessíveis a partir das tecnologias existentes e dos avanços que essa nova era da informação tem propiciado (HEINECKE, 2005), (AUZINS; WILHELM, 1994) e (WILHELM; AUZINS, 1994). Na revista *IEEE Spectrum* de janeiro de 2001, Elizabeth A. Bretz, fez uma intrigante pergunta: “*Why not think of everything as just an Internet node? So a car is just a Web browser with tires.*” (BRETZ, 2001). Hoje em dia essa parece ser uma direção óbvia a seguir: a integração de todos os sistemas automotivos por meio de redes de comunicação. Essa nova realidade é possível graças uma série de fatores, como o desenvolvimento de novos materiais por exemplo, mas é devido sobretudo ao avanço da eletrônica embarcada e ao conjunto de dispositivos de monitoramento dos sistemas: os sensores e atuadores (CARMO et al, 2004). São eles que agem na base dos sistemas microprocessados que equipam os automóveis produzidos na atualidade.

Isso é particularmente verdadeiro para os sistemas de gerenciamento eletrônico

dos motores. Desde sua invenção, os motores de combustão interna continuam funcionando segundo os mesmos princípios, com ciclo mecânico a quatro tempos e têm sido modificados e melhorados ao longo dos anos, de acordo com as necessidades da indústria automobilística, tornando-se mais leves, econômicos e potentes, com a aplicação de novos materiais, melhorias em seus mecanismos, e outras alterações (como geometria e material do coletor de admissão) que resultaram em melhoria na eficiência volumétrica, bem como melhorias relacionadas à eficiência da combustão (geometria da câmara de combustão e novos métodos para formação da mistura ar-combustível) (MILHOR, 2002).

Mas, se do ponto de vista mecânico, não houve alterações significativas nos motores quanto à sua essência, o mesmo não se pode dizer do sistema de injeção, hoje completamente microprocessado e que, muito embora tenha a mesma função de um sistema carburado, qual seja: fornecer a mistura ar/combustível, permite um nível de controle muito mais avançado, aproximando a queima do combustível a um nível ideal: o da queima estequiométrica. Para que esse objetivo seja atingido faz-se necessário a leitura, o processamento e atuação sobre o conjunto das variáveis envolvidas no processo. Resumidamente, a leitura das variáveis é feita pelos sensores que convertem temperatura, pressão, velocidade posição e outros dados em sinais elétricos e digitais. Esses sinais são microprocessados numa central eletrônica de comando ou controle que, por meio dos atuadores, reconfigura ou reposiciona o motor às condições ótimas de operação.

Os sensores automotivos, em função do tipo de sinal enviado à unidade de controle, podem ser classificados em:

- Resistivos;
- Capacitivos;
- Geradores de sinal.

Além desses, os interruptores, que sinalizam com os níveis lógicos “0” ou “1”, po-

dem ser incluídos. Os sensores em geral, através da variação de suas propriedades elétricas, fornecem à unidade de controle um valor de tensão variável entre 0 e 5 Volts. Os atuadores, por sua vez, transformam sinais elétricos recebidos diretamente da unidade de comando em trabalho mecânico. Dentre os principais atuadores estão as diversas válvulas, o módulo de potência do sistema de ignição, as bobinas de ignição, o atuador de marcha lenta e os relés.

Como afirmado anteriormente, existe uma quantidade muito grande de sensores e de atuadores, construídos a partir das mais diversas tecnologias e para os mais diversos fins. Interessa-nos, neste capítulo, analisar a finalidade e o modo de operação dos sensores automotivos comumente utilizados para o gerenciamento eletrônico dos sistemas de injeção e ignição dos motores.

6.1 Sensores

Nessa seção são apresentados os principais dispositivos sensores do sistema de gerenciamento dos motores.

6.1.1 Sensor de posição da borboleta de aceleração

Informa à central sobre a necessidade de aumentar ou diminuir a potência do motor em função do aumento ou diminuição da entrada de ar regulada pela válvula borboleta. Trata-se de um potenciômetro fixado ao eixo da válvula para medir sua rotação angular. Essa rotação corresponde a um aumento ou redução da carga no motor conforme exigência do piloto. Ao acionar o pedal de aceleração provoca-se uma abertura ou fechamento correspondente da válvula que é identificada pelo sensor e transformada em um sinal de tensão. A unidade de comando utiliza esse sinal para identificar qual estratégia de controle deve ser adotada., conforme descrito no preâmbulo do presente trabalho. Quando o sistema não possui o sensor de pressão absoluta do coletor de admissão, a unidade de comando pode utilizar o sinal angular da válvula borboleta para determinar o avanço da ignição. Por ser

um dispositivo analógico, sua aplicação em sistemas automotivos possui a inconveniência de requerer a utilização de um conversor analógico-digital. Na Figura 11 vê-se o sensor da válvula borboleta fixado à sua base e, ao lado, tem-se um diagrama com um exemplo de conexão desse sensor à unidade de controle. Na Figura 12 é mostrado o corpo da borboleta, onde se localiza a válvula borboleta e seu respectivo sensor que equipam o Marea 2.0 20V.

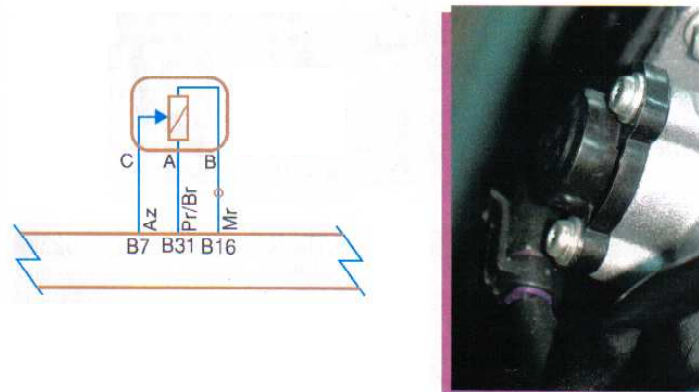


Figura 11: (a) – Diagrama de ligação à central de comando e (b) – Válvula borboleta.



Figura 12: Corpo da borboleta e sensor borboleta, respectivamente.

6.1.2 Sensor de temperatura do motor

Esse sensor informa, à unidade de comando, a temperatura do líquido de refrigeração, ou de arrefecimento, do motor. É constituído por uma termoresistência

do tipo NTC do inglês “*Negative Coefficient Temperature*”, ou seja, trata-se de um resistor cuja resistência varia inversamente com sua temperatura: quando a temperatura aumenta, sua resistência diminui. O sensor fornece um sinal de tensão variável à unidade central de comando que, utilizando essa informação, determina o tempo de atuação das válvula injetoras, possibilitando maior ou menor injeção de combustível. Por exemplo, quando o motor opera a uma temperatura inferior à de seu regime normal de funcionamento, a central promove uma abertura das válvula injetoras por um período maior, enriquecendo a mistura o necessário para que o motor possa funcionar em tais condições. O sinal gerado por esse sensor é também utilizado para comandar o acionamento do eletro-ventilador do sistema de arrefecimento.

O sensor de temperatura é formado por um corpo de latão que protege o elemento resistivo. Está fixado à parte mais aquecida do motor e seu componente sensível fica em contato com o líquido de arrefecimento. Na Figura 13 vê-se o sensor de temperatura do motor fixado à sua base e, ao lado, tem-se um diagrama com um exemplo de conexão desse sensor à unidade de controle. Na Figura 14 o sensor que equipa o Marea 2.0 20V é apresentado.

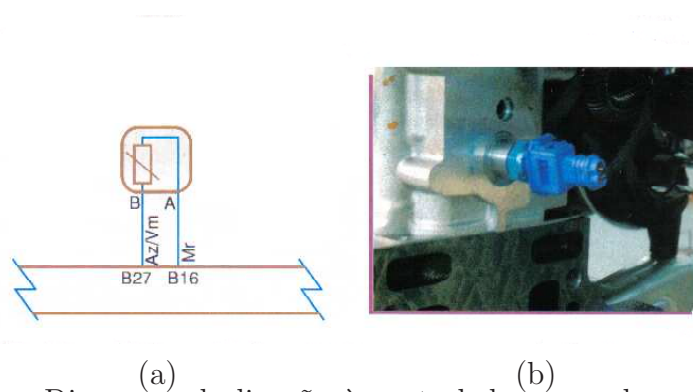


Figura 13: (a) – Diagrama de ligação à central de comando e (b) – Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento



Figura 14: Sensor de temperatura do líquido refrigerante do motor.

6.1.3 Sensor de temperatura do ar

O sensor de temperatura do ar trabalha praticamente da mesma forma que o sensor de temperatura do líquido de refrigeração do motor. A diferença é que este sensor está em contato com o ar admitido e não com o líquido de arrefecimento. É também um sensor resistivo do tipo NTC que envia um sinal de tensão variável. Como existe uma relação entre temperatura e densidade do ar, a unidade de comando utiliza esse sinal para determinar a temperatura do ar e, desse modo poder corrigir a leitura de massa de ar em função de sua densidade.

Em alguns sistemas de injeção o sensor de temperatura do ar vem combinado em uma única peça ao sensor de pressão absoluta do coletor, e esses dois sensores fornecem os dados necessários ao cálculo da massa do ar admitido. Nos sistemas de medição volumétrico, a temperatura do ar também é utilizado para corrigir a leitura da massa de ar em função da sua densidade, uma vez que o volume admitido é calculado diretamente pelo sensor de fluxo. Nos sistemas de medição mássica, a unidade de comando obtém a quantidade de ar aspirado diretamente através do medidor de massa do ar (debímetro) e determina, através do tempo de injeção, o volume de combustível necessário para as diferentes condições de funcionamento do motor.

6.1.4 Sensor de pressão do coletor

O sensor de pressão absoluta do coletor de admissão informa a unidade de comando sobre as diversas variáveis da pressão do coletor de admissão. No sistema de injeção este sensor é responsável pela indicação da carga do motor. Com isso, a

unidade de comando pode determinar o avanço ideal da centelha. Juntamente com o sensor de temperatura do ar fornece os dados necessários para a unidade de comando calcular a massa de ar admitido. O sensor de pressão absoluta é constituído por uma membrana piezo-resistiva denominada de *strain-gage*, um extensômetro elétrico cuja resistência varia de acordo com o grau de deformação sofrido. Essa deformação, exercida sobre a membrana do sensor, é convertida em um sinal de tensão. Assim, a unidade irá identificar a pressão atmosférica para melhor ajuste do sistema de gerenciamento do motor.

Na Figura 15 vê-se o sensor de temperatura do ar de admissão e o Sensor de pressão do coletor fixados à sua base e, ao lado, tem-se um diagrama com um exemplo de conexão desses sensores à unidade de controle. Nas Figuras 16 e 17 são apresentados, respectivamente, os sensores de temperatura e de pressão que equipam o Marea 2.0 20V.

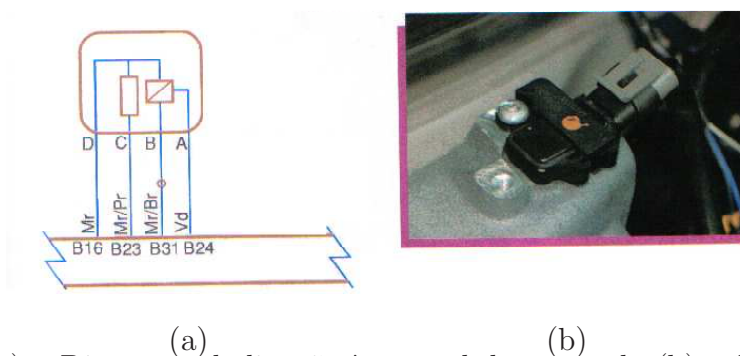


Figura 15: (a) – Diagrama de ligação à central de comando (b) – Sensor de temperatura e pressão do ar de admissão.



Figura 16: Sensor de temperatura.



Figura 17: Sensor de pressão do coletor.

6.1.5 Sensor de rotação e PMS

O sensor de rotação e PMS (ponto morto superior) tem por finalidade gerar um sinal de rotação do motor e a posição da árvore de manivelas. Essas informações permitem à central determinar o momento exato em que os injetores serão acionados e o momento que as centelhas serão geradas para que se possa calcular ou corrigir o tempo de injeção, a frequência de abertura das válvulas injetoras, o avanço da ignição e o sincronismo entre o sistema de injeção e o sistema de ignição. Em alguns sistemas sofisticados utiliza-se o sensor de fase, para que se efetue a fasagem da injeção de acordo com a admissão de cada cilindro. Esse sistema é utilizado nos motores que possuem injeção multiponto seqüencial e/ou possuem bobinas de ignição individuais, como o do veículo utilizado para testes (Marea 2.0 20V).

O sinal gerado pelo sensor de rotação é do tipo AC (corrente alternada), cuja frequência e amplitude são alteradas dependendo da rotação do motor. Esse sinal pode ser gerado por efeito indutivo ou efeito *Hall*. O Sensor de rotação indutivo é constituído por uma bobina e está fixado próximo ao volante do motor ou na polia da árvore de manivelas. É composto por dois elementos: o sensor propriamente dito e um disco segmentado semelhante a uma roda dentada, denominado roda fônica. A roda fônica é montada no eixo de manivelas ou em sua polia. O sensor, por sua vez, está fixado na sua proximidade de forma a poder captar por indução os segmentos da roda. Os dentes, ao passarem em frente à bobina do sensor, induzem uma alteração de voltagem (sinal analógico) que é convertido em sinal digital na

central de controle, quanto maior o valor da tensão maior é a velocidade da árvore de manivelas. No caso do sensor por efeito *Hall*, o sinal de tensão é gerado sob a forma de uma onda quadrada e os testes são feitos medindo-se a frequência desse sinal.

Na Figura 18 vê-se o sensor de rotação e PMS fixados à sua base e, ao lado, tem-se um diagrama com um exemplo de conexão desses sensores à unidade de controle. Na Figura 19 é apresentado um típico sensor de rotação do tipo indutivo.

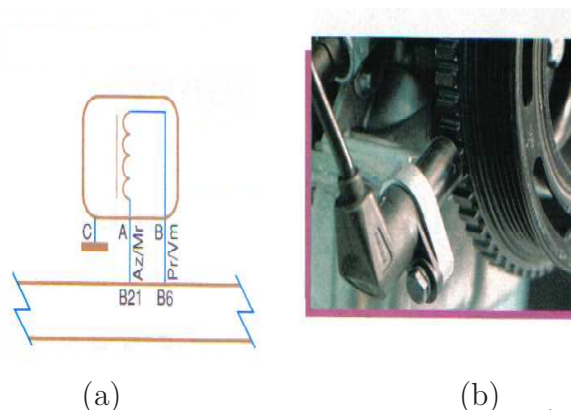


Figura 18: (a) – Diagrama de ligação à central de comando (b) – Sensor de rotação e PMS .



Figura 19: Sensor de rotação e PMS.

6.1.6 Sensor de Fase

Como foi dito anteriormente, os motores que possuem injeção multiponto seqüencial, e/ou possuem bobinas de ignição individuais, utilizam o sensor de fase para que se efetue a fasagem da injeção de acordo com a admissão de cada cilindro. Esse sensor fica localizado em um ponto próximo ao eixo do comando de válvulas,

ver Figura 20, e determina qual cilindro está se dirigindo para o PMS. A cada ciclo motor, um cilindro atinge duas vezes o PMS, a primeira antes da fase de admissão e, a segunda, antes da fase de expansão. Com o controle individual das válvulas injetoras, é preciso identificar em que fase se encontra cada um dos cilindros para que o combustível seja fornecido no instante imediatamente anterior à abertura da válvula de admissão. A cada duas rotações do motor, o sensor de fase enviará um sinal à central, indicando o ponto em que deve ser injetado o combustível e, para motores que possuem bobinas de ignição individuais, qual bobina deve ser acionada.

O princípio de funcionamento desse sensor é o mesmo discutido anteriormente para o sensor de rotação. Na Figura 21 é apresentado um diagrama esquemático de um sensor de fase que utiliza o efeito *Hall*. O campo magnético do sensor é atravessado por um defletor que possui um espaço ou abertura, quando essa abertura passa pelo sensor, o campo magnético é desbloqueado e o sensor gera um sinal de tensão. No caso do veículo de teste (sistema *Bosch Motronic 2.10.4*) isso ocorre uma vez para cada duas rotações do motor, mais precisamente, quando o cilindro #1 está a 78° antes do PMS.

O sinais emitidos pelos sensores de rotação e PMS e de fase permitem à central determinar o ponto de injeção para cada cilindro. Quando a central, por algum motivo, deixa de receber o sinal do sensor de fase, o *software* permite a adoção de outra estratégia, por exemplo, o modo seqüencial pode ser substituído pelo modo banco a banco ou semiseqüencial.

6.1.7 Sonda Lâmbda ou Sensor de oxigênio

A combinação ar/combustível que resulta em uma combustão perfeita, onde todo o hidrogênio e carbono do combustível são convertidos, em gás carbônico e água recebe o nome de mistura estequiométrica. No Brasil, cuja gasolina contém cerca de 20% de álcool em sua composição, essa relação estequiométrica é de

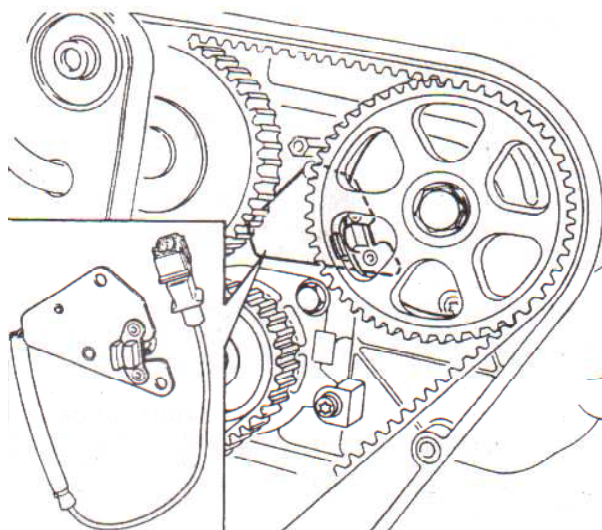


Figura 20: *Lay out* de instalação do sensor de fase.

1 - Defletor (anel polia) 2 - Material magnético

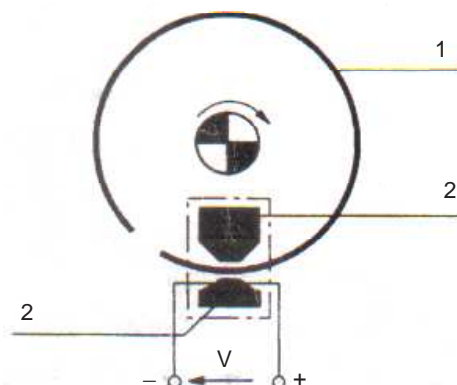


Figura 21: Diagrama do sensor de fase.

13.8Kg de ar para 1kg de combustível¹. Variações a partir desse valor implicam em diversos tipos de emissões evaporativas. Por exemplo, excesso de combustível (mistura rica) provoca a formação de hidrocarbonetos (HC) e monóxido de carbono (CO). Por outro lado, excesso de ar (mistura pobre) pode causar o surgimento

¹Para um maior aprofundamento sobre o processo de combustão em motores de combustão interna ciclo Otto, e detalhamento dos cálculos para se encontrar a relação ideal ar combustível, recomenda-se (JULIO, 2006)

de óxidos de nitrogênio (NOx). O sensor de oxigênio pode identificar qualquer variação a partir dessa taxa ideal, que está calibrada em torno de 500mV, e enviar um sinal de tensão, entre 0V e 1V, para que o sistema de gerenciamento do motor possa ajustar o processo de injeção e ignição.

A sonda lambda é um sensor que mede a quantidade de oxigênio presente nos gases do escapamento. Sua construção consiste em um corpo cerâmico de óxido de zircônio, cuja superfície é provida de eletrodos de platina permeáveis a gás. A cerâmica torna-se condutora em temperaturas elevadas, Se houver diferença na quantidade de oxigênio, entre o lado em contato com o gás do escapamento e o que fica em contato com o ar ambiente, é gerado uma tensão elétrica entre os eletrodos. Esse sinal é captado pela unidade de comando para que, em função do valor medido, possa variar a quantidade de combustível injetado (corrigindo o tempo de injeção), garantindo uma mistura ar/combustível ideal, reduzindo o nível de emissão de gases poluentes. O material cerâmico do sensor possui formato de um dedo e por isso também é conhecido pela terminologia em inglês *Finger Sonde*. Para proteger esse elemento dos resíduos de combustão, existe no setor um tubo de proteção que fica voltado para dentro do tubo de escapamento.

Na Figura 22 vê-se a sonda lambda e, ao lado, tem-se um diagrama com um exemplo de conexão desse sensor à unidade de controle. Na Figura 23 é mostrado um corte interno da sonda lambda com a indicação de suas partes constituintes.

Quando o motor estiver operando em malha fechada, conforme ilustrado na Figura 24, a central estará recebendo o sinal de voltagem da sonda lambda e avaliando se esse sinal encontra-se acima ou abaixo de 500mV. Com base nessa avaliação a central de controle aumenta ou diminui o tempo de abertura da válvula injetora, fornecendo maior ou menor quantidade de combustível para o motor.

Uma observação importante sobre esse sensor é que leituras confiáveis são obtidas para temperaturas acima de 300°C. Desse modo, a central relaciona a leitura do sensor de temperatura do motor à da sonda lambda e, enquanto a temperatura do motor for inferior a 80°C (temperatura de funcionamento normal

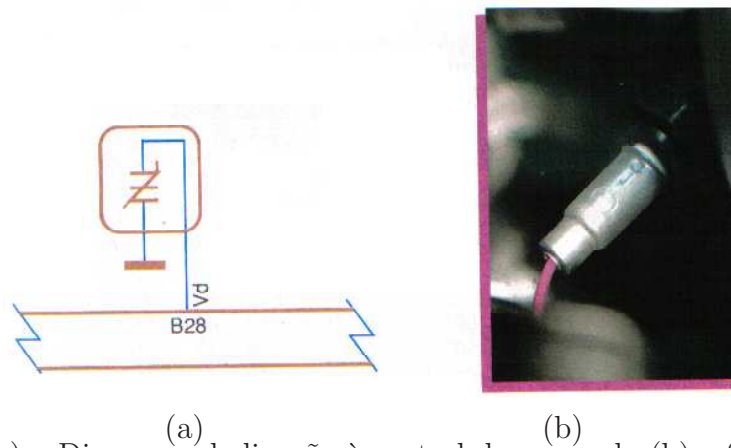


Figura 22: (a) – Diagrama de ligação à central de comando (b) – Sonda lambda.

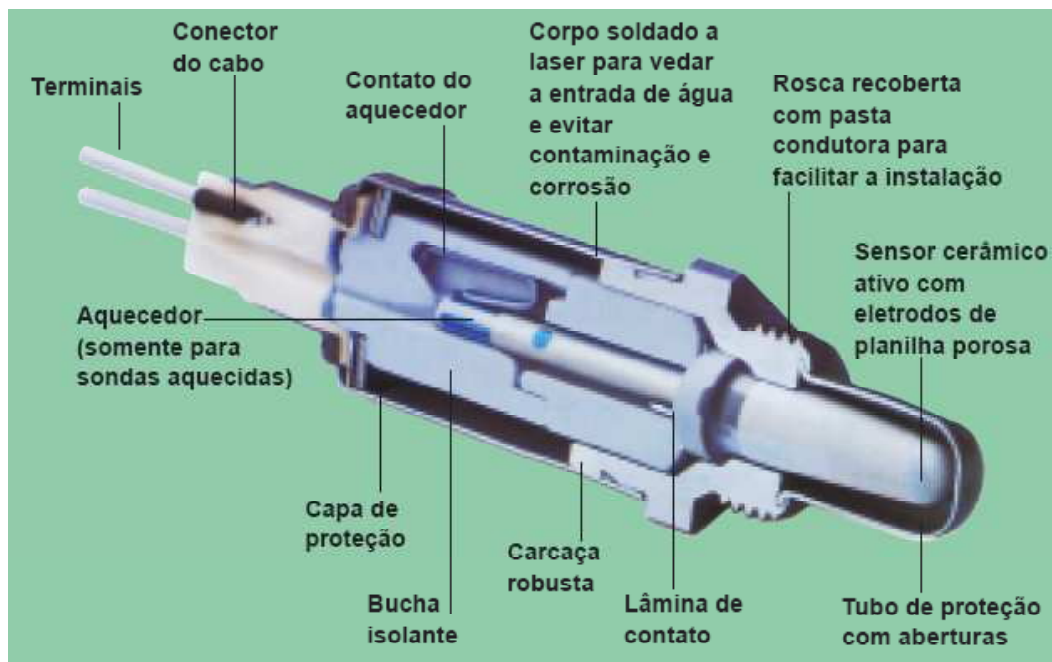


Figura 23: Vista interna de uma sonda lambda.

do motor), ela irá operar em malha aberta, ignorando o sinal enviado pela sonda. Outras condições de operação do motor fazem também com que com que a central atue em malha aberta é o caso, por exemplo, da fase de aquecimento, de aceleração rápida e plena carga, nas quais há um enriquecimento proposital da mistura e, na

- | | |
|---------------------|------------------------------------|
| 1 - Debímetro | 5 - Injetores |
| 2 - Motor | 6 - Unidade de controle |
| 3a - Sonda lambda A | Vv - Tensão de controle da válvula |
| 3b - Sonda Lambda B | Vs - Tensão do sensor da válvula |
| 4 - Catalisador | Qi - Quantidade de injeção |

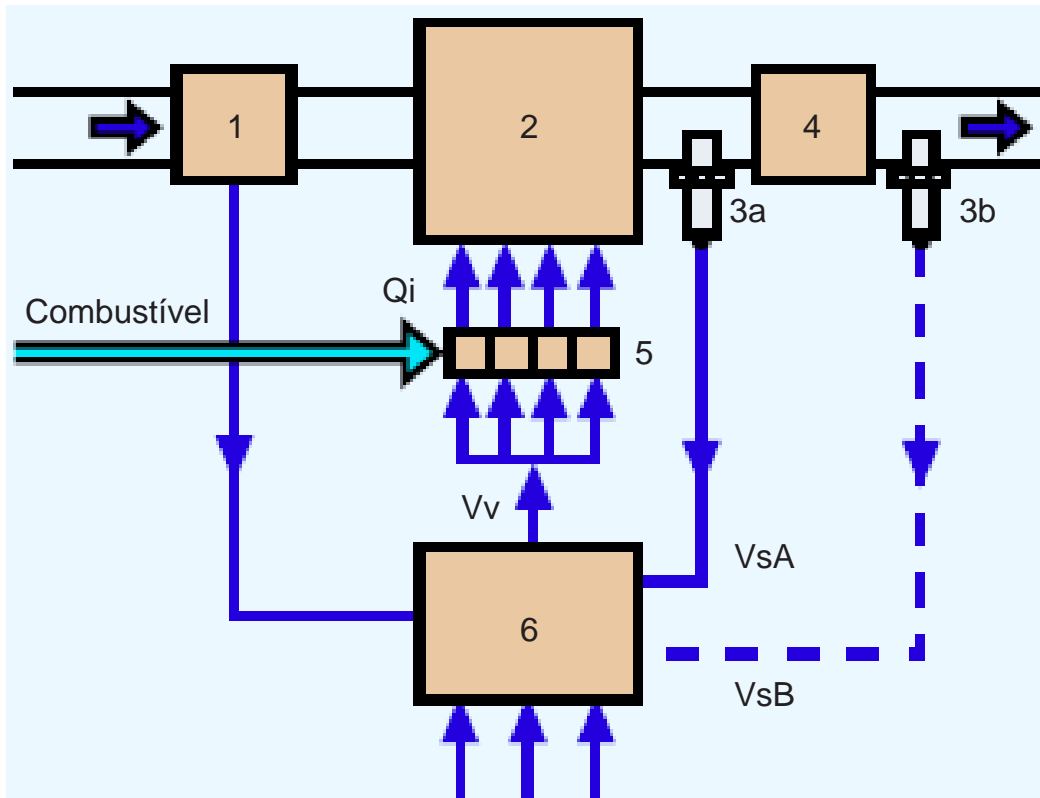


Figura 24: Diagrama de atuação da sonda lambda em malha fechada.

fase de desaceleração, quando acontece o corte da injeção.

6.2 Atuadores

Nessa seção são apresentados os principais dispositivos atuadores do sistema de gerenciamento dos motores.

6.2.1 Válvulas Injetoras

Responsáveis pela injeção de combustível no motor, um injetor de combustível, Figura 25 é uma válvula eletromagnética controlada eletronicamente. É abastecida com combustível pressurizado e é capaz de abrir e fechar muitas vezes por segundo.



Figura 25: Válvula eletromagnética injetora de combustível.

Quando o injetor é energizado, um eletroímã move um êmbolo que abre a válvula, permitindo que o combustível pressurizado esguiche através de um minúsculo bocal, conforme ilustrado na Figura 26. O bocal é projetado para atomizar o combustível produzindo uma “névoa”, a mais fina possível, para que possa misturá-lo de forma “homogênea” com o ar admitido e queimar-se mais facilmente. Essa operação normalmente ocorre de forma indireta, isto é, antes das válvulas de admissão. Durante o estado de repouso, a mola pressiona o conjunto válvula-armadura contra a sede da agulha, não permitindo a passagem do combustível pois, como não há passagem de corrente pela bobina, não há portanto campo eletromagnético para impulsionar a mola.

No caso dos sistemas seqüenciais ou banco a banco, os injetores são fixados

- | | | |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 - Filtro de combustível | 4 - Regulagem da mola | 7 - Sede da agulha |
| 2 - Solenoide | 5 - Anel de vedação | 8 - Mola helicoidal |
| 3 - Núcleo magnético | 6 - Agulha | 9 - Conector elétrico |

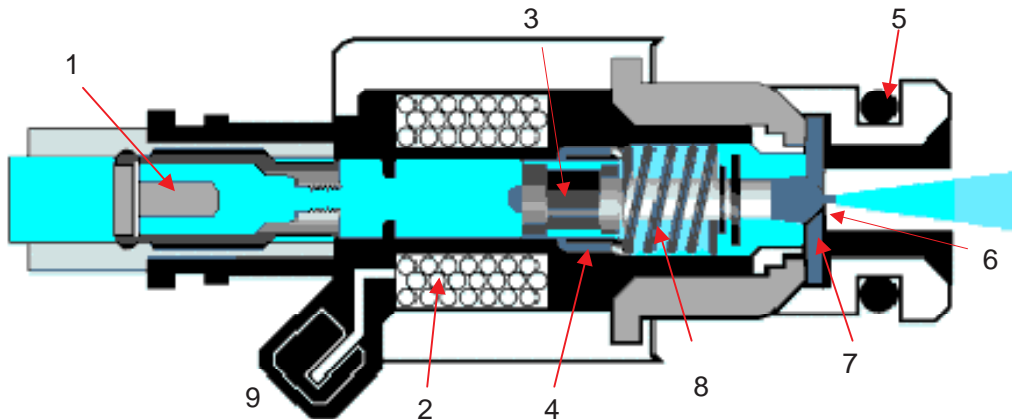


Figura 26: Visão interna de uma válvula injetora.

a um conjunto conforme está ilustrado na Figura 27. Observe nessa figura, que existem 6 (seis) válvulas fixadas ao tubo distribuidor de combustível, que pressiona os mesmos nas respectivas sedes do coletor de admissão. Na Figura 28 é mostrado o exemplo de um diagrama de ligação de um conjunto com 4 (quatro) válvulas à central. Observe, nessa configuração, que o terminal comum está em série com o relé da bomba de combustível, significando que somente haverá injeção se o combustível estiver sendo pressurizado, isto é, se a bomba de combustível estiver energizada.

6.2.2 Bobina de Ignição

A bobina de ignição é o componente atuador do sistema de ignição. Muito embora, esse sistema tenha sofrido as maiores modificações ao longo dos anos, basicamente a sua finalidade continua inalterada, ou seja, fornecer ao motor uma centelha elétrica capaz de inflamar a mistura ar-combustível. Essa é exatamente a função da bobina, trata-se de um transformador com dois enrolamentos de cobre acoplados magneticamente (enrolamento primário e secundário), cujo circuito do

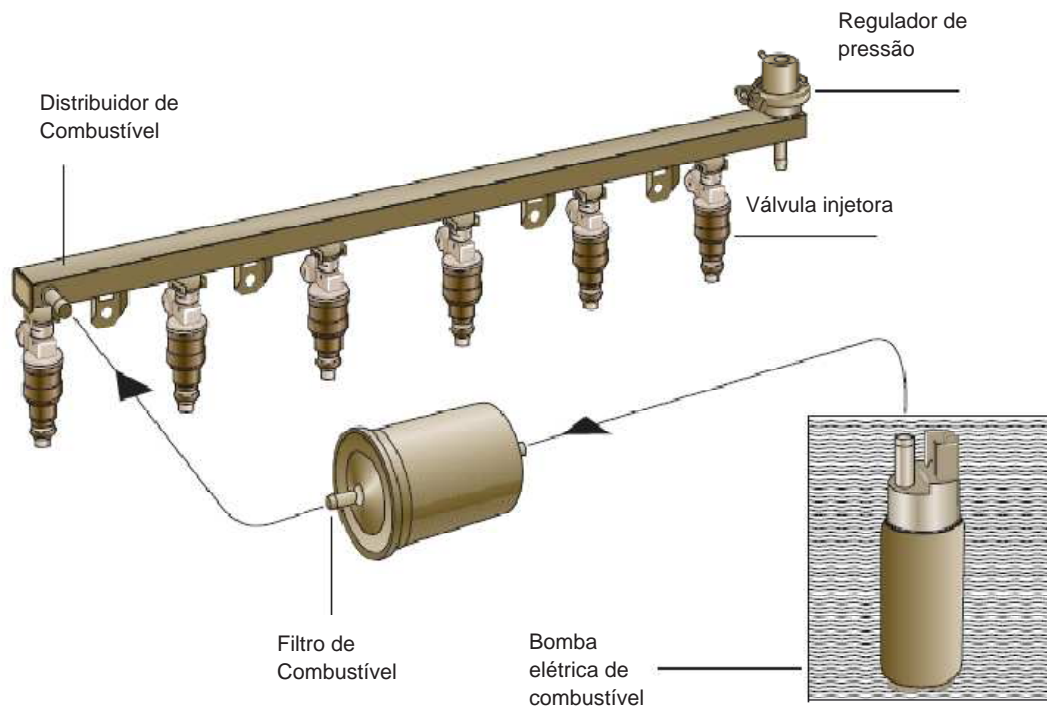


Figura 27: *Lay out* de instalação das válvulas injetoras.

enrolamento secundário está em aberto, conectado em série com a vela de ignição. Na Figura 29 é apresentado um modelo de bobina e na Figura 30 tem-se um esquema das ligações elétricas.

Como a relação de transformação, ou seja, a razão entre o número de espiras do enrolamento primário para o secundário é muito grande, o sinal de baixa tensão (12V) é transformado, quando do rompimento brusco da corrente no enrolamento primário, em um sinal de alta tensão na saída do secundário. O período em que o primário é energizado (denominado de ângulo de permanência, ou tempo de carga da bobina de ignição) é controlado, juntamente com o avanço, pelo sistema de controle da ignição, ver Figura 44. Geralmente a tensão fornecida pelo secundário é da ordem de 30 kV, o que garante a formação da centelha da vela de ignição e, por consequência, uma combustão eficiente.

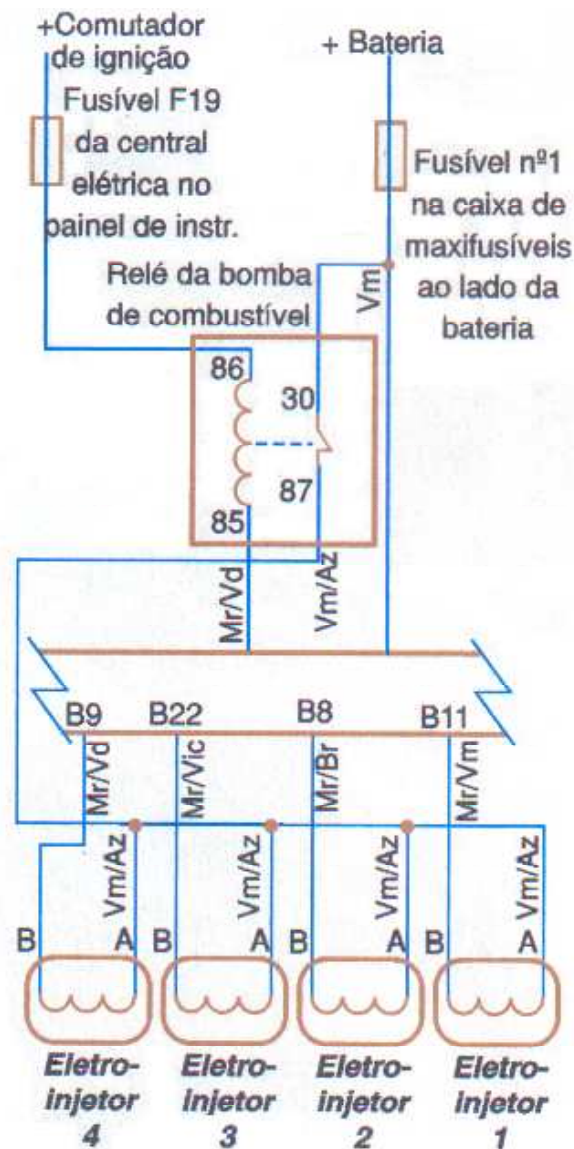


Figura 28: Diagrama de conexão das válvulas injetoras à central de comando.

O momento do centelhamento, ou avanço da ignição, é efetuado com base em um conjunto de informações que envolvem a temperatura do motor, pressão do coletor de admissão (carga), rotação e fase. A temperatura do motor é fornecida pelo sensor de temperatura do líquido de arrefecimento, a carga do motor pelo sensor de pressão absoluta, a rotação e a fase, pelos sensores de rotação e PMS e de

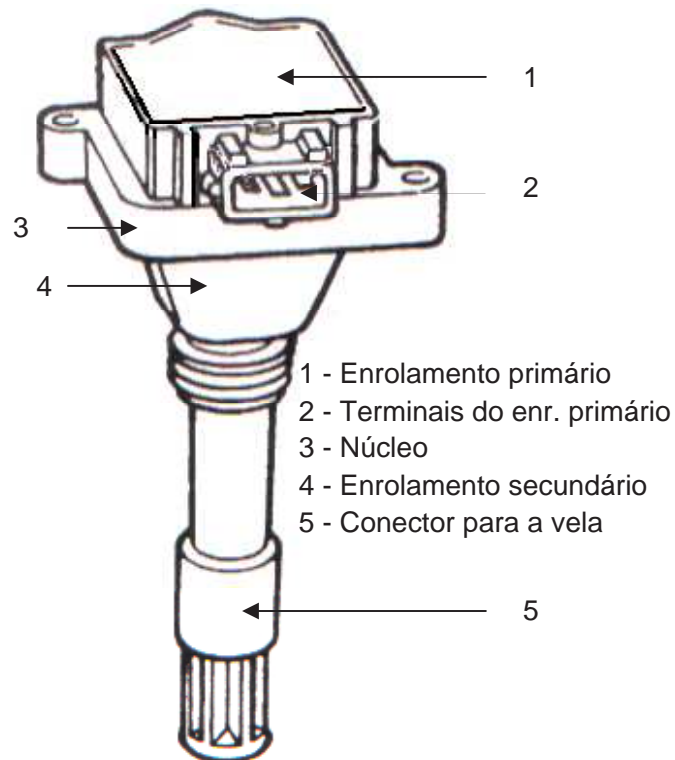


Figura 29: Bobina plástica de ignição utilizada no *Marea Weekend 2.0i 20V*.

fase, respectivamente. A forma de transmissão do sinal do secundário às velas e o número de bobinas disponíveis, tais como, bobina simples com distribuidor de tensão (distribuição rotativa), bobina de ignição com uma saída de tensão para cada cilindro (distribuição estática – sem distribuidor rotativo) entre outras, dependem também das diferentes configurações aplicadas.

Pela sua complexidade, até pouco tempo, praticamente todos os sistemas de gerenciamento eletrônico dos motores possuíam uma unidade independente para gerenciar o instante em que devia se iniciar a centelha. O sistema de injeção *Bosch Le-Jetrônic* com unidade de ignição *EZ-K*, por exemplo, possui três unidades de comando, uma para a injeção (UCE), outro para o disparo da centelha e controle do ângulo de permanência (TSZ-I) e outra para o mapeamento da ignição ou avanço das centelhas (EZ-K), ver Figura 5 e 31. No caso particular do sistema

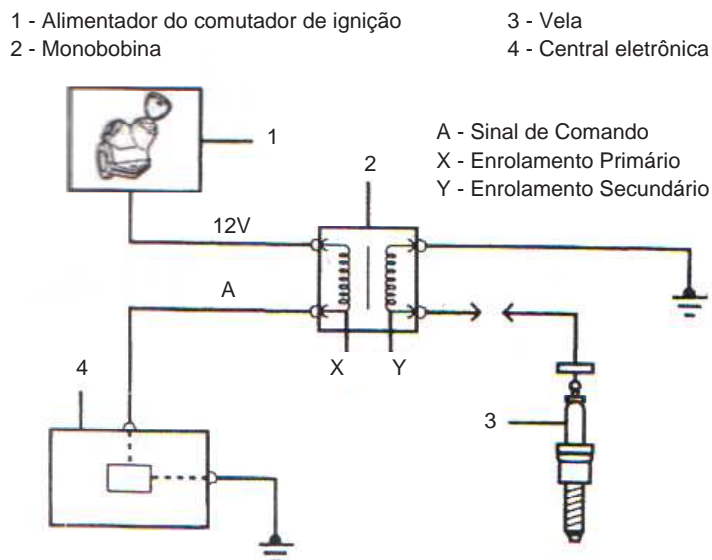


Figura 30: Diagrama de ligação à central de comando das bobinas de ignição.

Bosch Motronic, ver Figura 10, testado nesse trabalho, há somente uma central de comando que engloba o controle dos processos de injeção e ignição, com bobinas independentes para cada cilindro. Conhecido como sistema de ignição eletrônica estática, pois elimina a necessidade do distribuidor (componente mecânico rotativo responsável pela “distribuição” das centelhas) incorpora em seu interior a unidade de potência para acionamento das bobinas eliminando, também, o circuito externo de alta tensão, aumentando a confiabilidade, a segurança e diminuindo o risco de interferência devido aos cabos e às ligações de alta tensão (WILLIAM; GUILHERME; CORSINO, 1997).

Como pode ser constatado, existem diversos tipos de sistemas de ignição e, tendo em vista não ser esse tópico o objeto de interesse do presente trabalho, para maior aprofundamento sobre o tema, recomenda-se (CLUBE DO LOGUS POINTER, 2008) ou a leitura dos manuais dos diversos fabricantes.

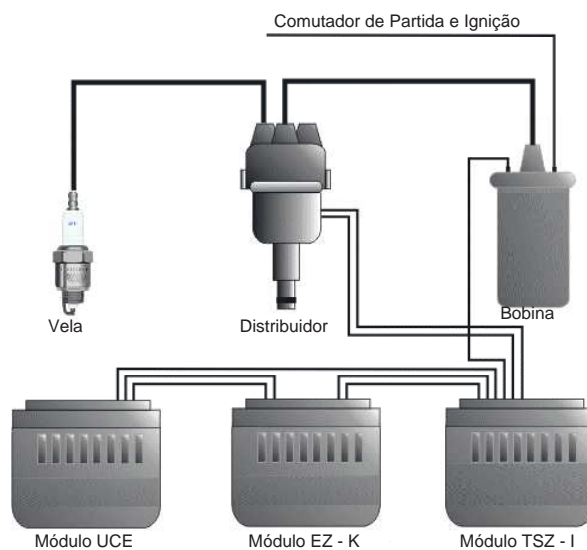


Figura 31: Esquema de ligação do sistema de ignição *Bosch Le-Jetronic*.

6.2.3 Regulador de Marcha Lenta - Motor de passo

Quando em situação de marcha lenta, o motor possui uma baixa rotação, suficiente apenas para manter-se em funcionamento e para suprir energia aos seus acessórios, como, nessa condição, o pedal do acelerador não está sendo acionado, ocorre o fechamento da válvula borboleta. Nesse momento entra em ação um mecanismo de regulagem do motor que fornece o ar necessário à mistura por meio de um caminho alternativo, ou *by pass*, ver Figura 32. Esse mecanismo atua também durante a fase de aquecimento do motor e na compensação da rotação quando cargas extras, como o ar condicionado e a direção hidráulica, são acionadas. Isso significa que deve ser possível a variação da rotação do motor sem que haja necessidade da abertura da borboleta.

Por exemplo, quando é dada partida com o motor frio, a central atua sobre o regulador de marcha lenta abrindo totalmente a passagem do ar, desse modo, o motor tende a “pegar” em uma rotação mais alta e, à medida em que o motor fique aquecido, a unidade de comando fará com que o atuador diminua o fluxo de ar admitido, fazendo com que a rotação diminua gradativamente. Essa operação de

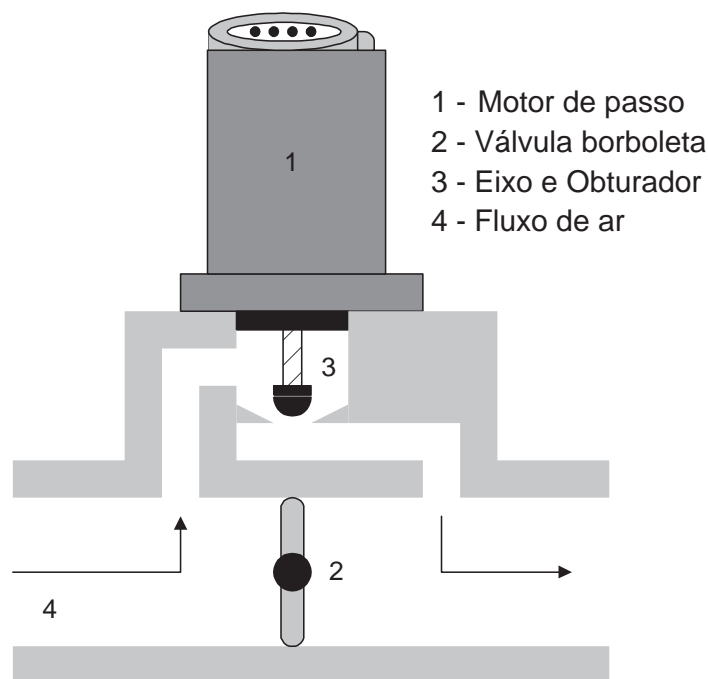


Figura 32: Diagrama esquemático do sistema de regulagem de marcha lenta.

controle é realizada em malha fechada: a leitura do sinal do sensor de temperatura do motor é o sinal de realimentação para que a central regule a entrada de ar e a quantidade de combustível adequadas.

Existem diversos mecanismos para realizar tal função, contudo o motor de passo é o mais utilizado. Dentre suas vantagens destacam-se robustez, simplicidade e facilidade de operação. Trata-se de um motor elétrico dotado de duas bobinas e que pode girar o seu rotor em dois sentidos e com movimentos controlados. É composto por um conector com quatro terminais, (dois para cada bobina). Quando o rotor gira empurra ou retrai o obturador que por sua vez abre ou fecha a passagem de ar no corpo de borboleta. Internamente ao rotor há um furo roscado onde é encaixado o eixo do obturador (também roscado) que se desloca axialmente quando o rotor é energizado. O termo motor de passo é consequência de seu movimento escalonado, ou seja, do ângulo pré definido de rotação, conforme se permuta o campo magnético no rotor. O número total de passos do atuador depende do

número total de passos necessários para o deslocamento do obturador entre os pontos extremos (totalmente aberto e totalmente fechado) e varia de fabricante e do modelo a ser empregado. Por exemplo, no sistema 1AVB da Magneti Marelli o número máximo de passos é de 214 enquanto que no sistema Multec Delphi IEFI-6 é de 160 passos (CLUBE DO LOGUS POINTER, 2008). Na Figura 33 é apresentado um exemplo de motor de passo utilizado como atuador de marcha lenta.



Figura 33: Motor de passo.

6.2.4 Regulador de Marcha Lenta - Motor rotativo

O motor rotativo é outro tipo de atuador de marcha lenta muito empregado nos sistemas *Motronic* da *Bosch*. Ao contrário do motor de passo, esse atuador gira apenas num determinado sentido. O movimento de retorno do obturador é realizado por uma mola e ocorre quando há o corte de tensão nos terminais do motor. Esse comportamento é ilustrado nas figuras a seguir.

Na Figura 35 é mostrado um motor rotativo utilizado no *Marea Weekend 2.0i* 20V. Como esse dispositivo é conectado ao coletor de admissão por meio de duas mangueiras, possui o inconveniente de permitir entrada de ar em razão de eventuais furos nas mesmas, provocando a perda de operacionalidade do sistema.

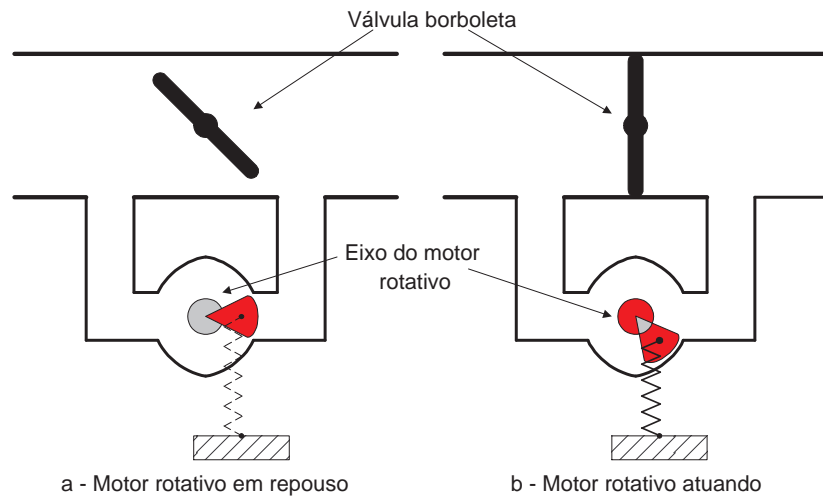


Figura 34: Operação do motor rotativo na regulagem da marcha lenta.



Figura 35: Motor rotativo utilizado no *Marea Weekend 2.0i 20V*.

7 *Análise dos dispositivos com uso de osciloscópio*

Tendo sido apresentados os diversos dispositivos sensores e atuadores mais comumente empregados nos sistemas de gerenciamento eletrônico dos motores de combustão interna pretende-se, nessa seção, analisar o comportamento de alguns desses dispositivos através do uso do osciloscópio digital automotivo ¹. Para tal finalidade, foram analisados os sinais do sensor de fase, da válvula de injeção de combustível e da bobina de ignição. A cada um desses componentes analisados estão relacionados diversos modos de falha. Como esses modos de falha são comuns a um grande número de causas, convém que, antes de se aplicar o osciloscópio, seja feita uma análise criteriosa das possíveis causas, eliminando-se principalmente as causas mecânicas e aquelas provenientes de operações inadequadas. Esse procedimento é importante porque, com a implantação dos sistemas computadorizados de diagnóstico, muitas vezes o reparador vê-se tentado a substituir os componentes cuja leitura, por meio de *scanners*, aparecem nos códigos de defeito armazenados na central. Agindo desse modo pode-se estar mascarando um problema que fatalmente terá seu comprometimento agravado.

¹Em virtude da quebra do equipamento, parte das medições teve que ser efetuada com um instrumento *Tektronix TDS 1001 B* da *Texas Instrument* adotando-se, contudo, os procedimentos e as curvas de referência recomendados para a realização dos testes de componentes com o uso do osciloscópio automotivo *MS 1005* da *Minipa*

7.1 Sensor de fase

Os modos de falha normalmente associados a defeitos nesse sensor são:

- Dificuldade de partida;
- Consumo excessivo de combustível;
- Problema de emissão de poluentes.

7.1.1 Procedimento de teste

- 1 Conectar a ponta de prova do canal A do osciloscópio ao ponto HI do sensor de fase e o terra da ponta de prova ao chassis, respectivamente;
- 2 Acionar o motor e acelerar para verificar a variação do sinal;
- 3 Deixar ativado o modo de captura de picos aleatórios para medir sinais não conformes com o padrão.

Na Figura 36 é apresentada a tela do osciloscópio efetuando a captura do sinal do sensor de fase para o motor em ponto morto. O sensor está localizado de modo a fornecer um pulso a cada giro do eixo do comando de válvulas, o que corresponde a dois giros do eixo de manivelas. Como pode ser visto, o sinal possui uma frequência de 6.165Hz (rotação de aproximadamente 740RPM). O modo de captura aleatória está ativado e o sinal apresenta valores máximos e mínimos com duração da ordem de 1ms decorrentes de ruídos próprios ao processo de medição. Observe que, na média, o sinal permuta entre 12V e 0V. A figura também mostra uma curva de referência fornecida pelo modo de teste de componentes do osciloscópio.

Na Figura 37 o sinal possui uma frequência de 11,46Hz (rotação de aproximadamente 1375RPM). O modo de captura aleatória está ativado e o sinal apresenta valores máximos e mínimos com duração da ordem de 1ms decorrentes de ruídos

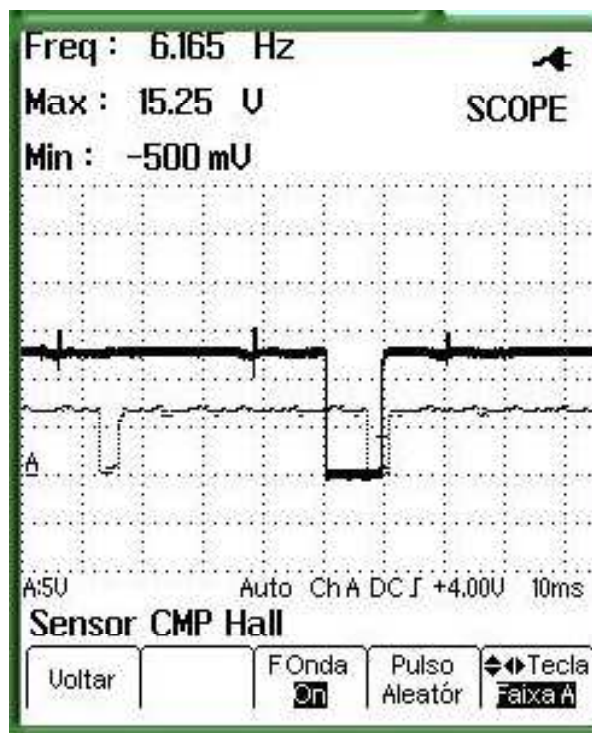


Figura 36: Teste do sensor de fase - Ponto morto.

próprios ao processo de medição. Observe que, na média, o sinal permuta entre 12V e 0V. A figura também mostra uma curva de referência fornecida pelo modo de teste de componentes do osciloscópio. O *duty cycle* é um pouco menor, o que está de acordo com o aumento de rotação.

Na Figura 38 o sinal possui uma frequência de 16,65Hz (rotação de aproximadamente 2000RPM). O modo de captura aleatória está ativado e o sinal apresenta valores máximos e mínimos com duração da ordem de 1ms decorrentes de ruídos próprios ao processo de medição. Observe que, na média, o sinal permuta entre 12V e 0V. A figura também mostra uma curva de referência fornecida pelo modo de teste de componentes do osciloscópio. O *duty cycle* é ainda menor, seguindo o aumento de rotação.

Na Figura 39 o sinal possui uma frequência de 27,54Hz (rotação de aproximadamente 3300RPM). O modo de captura aleatória está ativado e o sinal apresenta

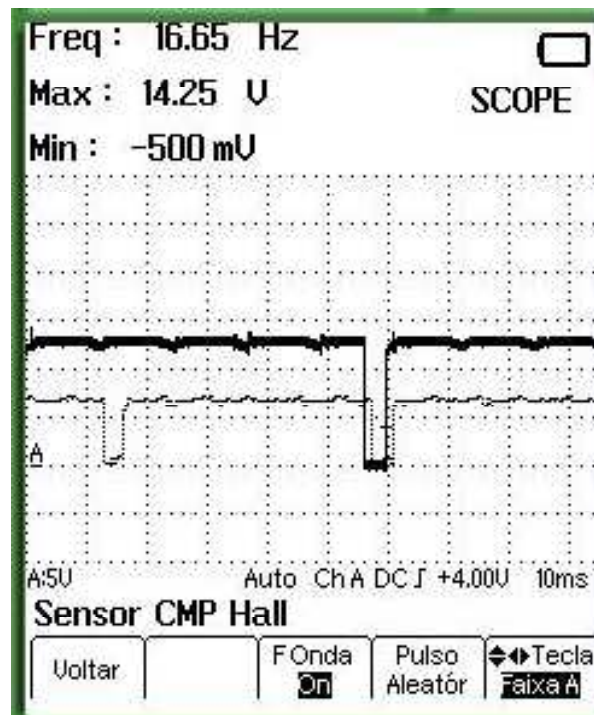


Figura 37: Teste do sensor de fase - baixa rotação.

valores máximos e mínimos com duração da ordem de 1ms decorrentes de ruídos próprios ao processo de medição. Observe que, na média, o sinal permuta entre 12V e 0V. A figura também mostra uma curva de referência fornecida pelo modo de teste de componentes do osciloscópio. O *duty cycle* é o menor de todos, conforme esperado.

Da análise dessas figuras pode ser constatado que, comparado ao sinal de referência:

- O sinal apresentou pulsos de largura fixa e a frequência aumentou com a rotação do motor;
- Para um mesmo valor de frequência, o *duty cycle* da forma de onda não se alterou;
- Os cantos superiores e inferiores da forma de onda são pontiagudos;

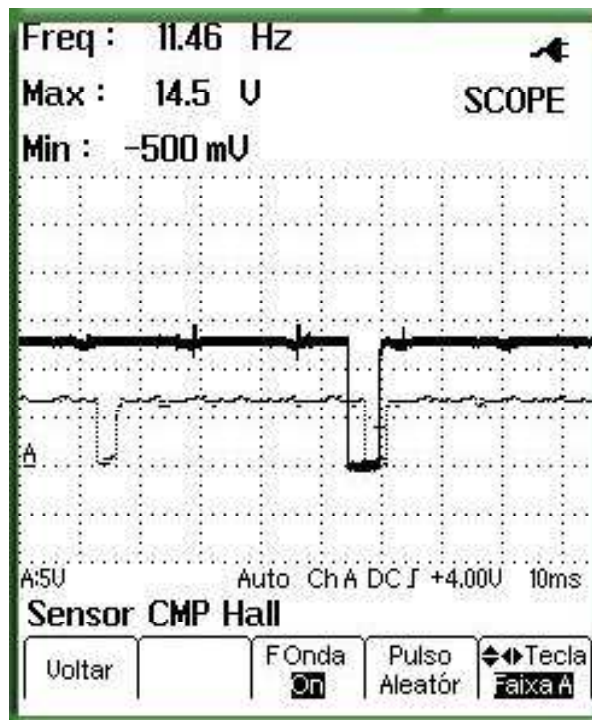


Figura 38: Teste do sensor de fase - rotação intermediária.

- As transições de tensão possuem bordas retas e inclinadas;
- O curso da forma de onda está sobre o nível de terra;

Caso algumas das observações mencionadas não estivessem em conformidade com o padrão fornecido o componente estaria danificado e deveria ser substituído.

7.2 Válvula injetora

O sinal de resposta à excitação das válvulas injetoras pela central de comando podem apresentar basicamente três formatos: Sinal convencional, corrente controlada e sinal modulado. A seguir tem-se alguns exemplos de válvulas injetoras associadas à esses pulsos de acionamento

- Sinal convencional: Chave saturada (Injetor PNP, Injetor NPN);

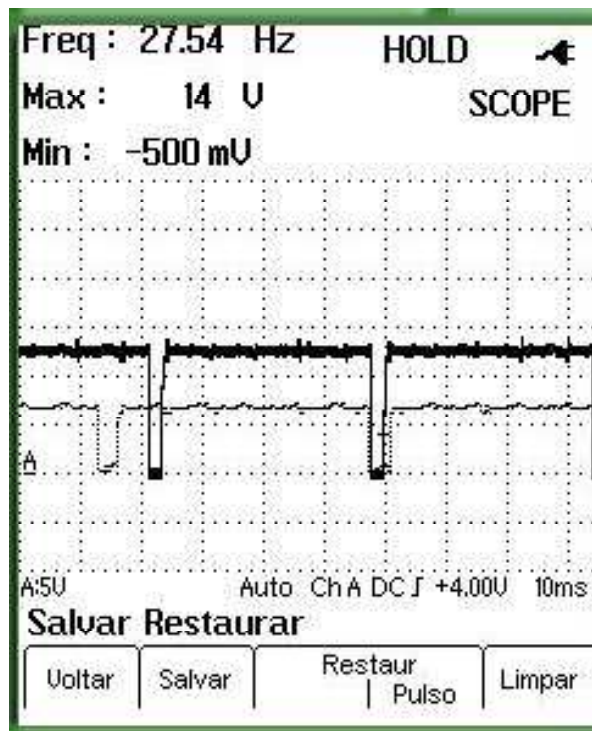


Figura 39: Teste do sensor de fase - alta rotação.

- Sinal de corrente controlada: Pico e retenção;
- Sinal modulado: Pico e retenção *Bosch*;

Como diferentes tipos de *drivers* criam essas diferentes formas de onda, é importante conhecê-las e saber interpretá-las, determinando as principais características presentes no sinal e, eventualmente, conhecendo o comportamento do sinal de componentes que apresentam algum defeito.

Os modos de falha normalmente associados a defeitos nesse atuador são:

- Motor engasgando;
- Marcha lenta com oscilação;
- Motor morre intermitentemente na marcha lenta;

- Alto consumo;
- Falha no teste de emissão;
- Baixa potência na aceleração;

7.2.1 Procedimento de teste

- 1 Conectar a ponta de prova do canal A do osciloscópio ao sinal de controle do injetor e o terra da ponta de prova ao terra do chasis, respectivamente;
- 2 Acionar o motor e acelerar até 2500RPM. Manter essa rotação até que o motor esteja aquecido e o sistema de gerenciamento eletrônico esteja operando em malha fechada;
- 3 Desligar o condicionador de ar e demais acessórios;
- 4 Acelerar suavemente o motor e observar se o tempo do injetor acionado (*duty cycle*) também aumenta;
- 5 Mantendo o motor a uma rotação constante, verifique a oscilação do *duty cycle*. Quando estabilizado, essa variação deve ser em torno de 0.25ms a 0.5ms;
- 6 Deixar ativado o modo de captura de picos aleatórios para verificar alterações repentinas no tempo de injeção.

Ainda com relação ao procedimento de teste, duas recomendações, por razões óbvias, não puderam ser seguidas:

- 7 Aumentar a quantidade de combustível na entrada para tornar a mistura rica. O *duty cycle* deve diminuir;
- 8 Criar um vazamento de vácuo para tornar a mistura pobre. O *duty cycle* deve aumentar;

Nos testes foram utilizados injetores de sinal convencional do tipo NPN, trata-se de um dispositivo muito comum nos sistemas de injeção multiponto ou seqüencial. Na Figura 40 é apresentado a resposta do injetor para o motor funcionando em ponto morto. Em destaque tem-se quatro traços característicos do funcionamento desse atuador:

- 1 Tensão da bateria (12V);
- 2 Início da abertura da válvula injetora;
- 3 Fechamento da válvula injetora;
- 4 Pico de tensão causado pela força contra eletromotriz.

Repare na Figura 40 que o tempo de injeção (TI) é de 3,2ms. Vários testes foram realizados, em diferentes rotações, para se constatar variações do tempo de acionamento.

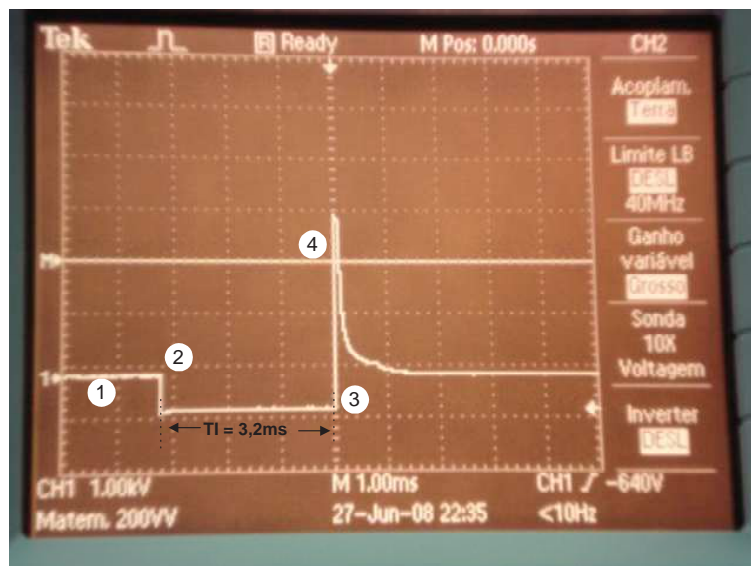


Figura 40: Teste da válvula injetora - rotação moderada.

Nas Figuras 41 e 42 pode ser notado que o padrão do sinal não sofreu alterações, os tempos de abertura oscilaram entre 2,9ms e 3,4ms e o pico de tensão apresentou-se inalterado.

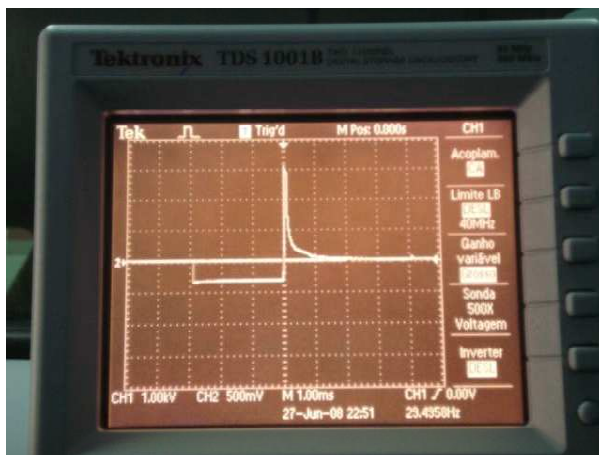


Figura 41: Teste da válvula injetora - marcha lenta.

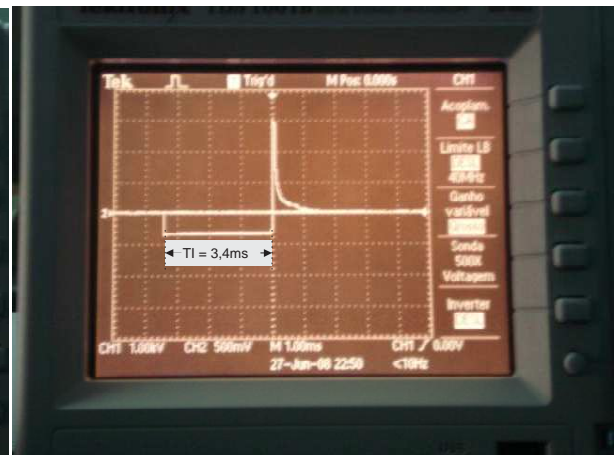


Figura 42: Teste da válvula injetora - alta rotação.

Da análise dessas figuras pode ser constatado que, comparado ao sinal de referência para um injetor convencional do tipo NPN:

- O sinal estabilizado apresentou pulsos de largura variando entre 2,9ms e 3,4ms.
- Para um mesmo valor de frequência, o *duty cycle* da forma de onda não se alterou.
- Os cantos superiores e inferiores da forma de onda são pontiagudos
- As transições de tensão possuem bordas retas e inclinadas.
- O pico de tensão apresentou comportamento inalterado nas diversas situações.
- O curso da forma de onda está sobre o nível de terra.

Caso algumas das observações mencionadas não estivessem em conformidade com o padrão fornecido o componente estaria danificado e deveria ser substituído. Em geral, picos ou quedas bruscas do sinal durante o tempo de acionamento indicam avaria no atuador.

7.3 Bobina de ignição

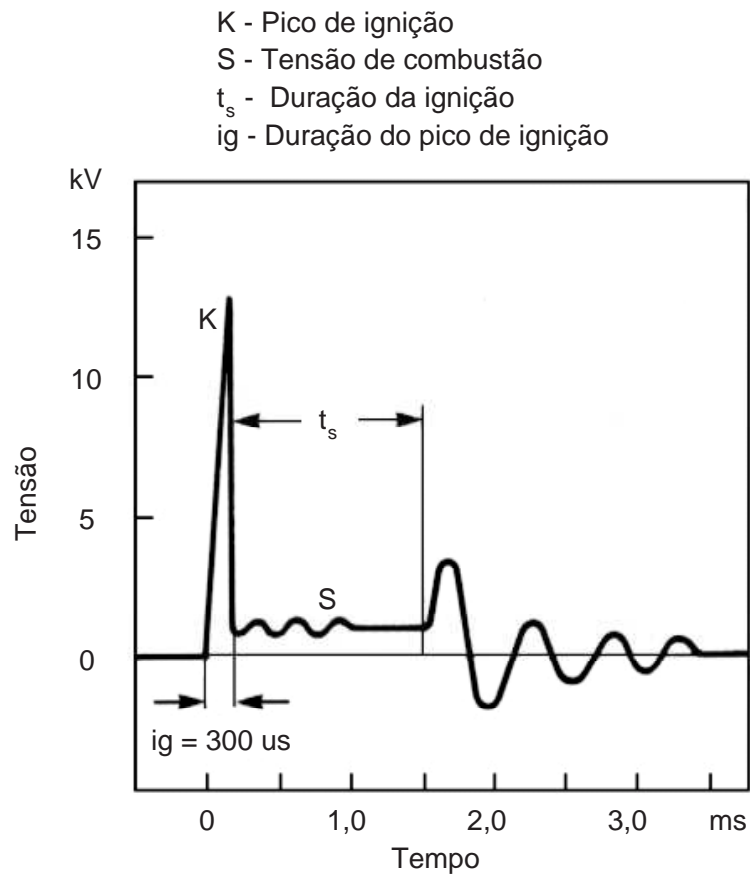
Para esse atuador, em virtude de aspectos construtivos, ver Figura 29, apenas o enrolamento primário é acessível à realização dos testes. Como se trata de um transformador de tensão, seu comportamento é basicamente o mesmo para as diversas marcas e fabricantes disponíveis no mercado. Na Figura 43 é apresentado um padrão típico de comportamento desse atuador e, na Figura 44, é apresentada a tela de captura desse sinal durante sua operação em teste de laboratório.

Na Figura 44 encontram-se destacados cinco traços característicos do funcionamento desse atuador:

- 1 Tensão da bateria (12V);
- 2 Início da carga de ignição na bobina ;
- 3 Pico de tensão causado pelo corte de alimentação do primário da bobina.
- 4 Tensão de combustão;
- 5 Oscilação da bobina

Os modos de falha normalmente associados a defeitos nesse atuador são:

- Dificuldade de partida ou sem partida;
- Estouro no motor;
- Falha de ignição;



- Motor engasgando;
- Consumo excessivo;

7.3.1 Procedimento de teste

- 1 Conectar a ponta de prova do canal A do osciloscópio ao sinal do primário da bobina de ignição e o terra da ponta de prova ao terra do chassis;
- 2 Acionar o motor, acelerar e desacelerar de modo a avaliar a variação do sinal da bobina de ignição;
- 3 Desligar o condicionador de ar e demais acessórios;

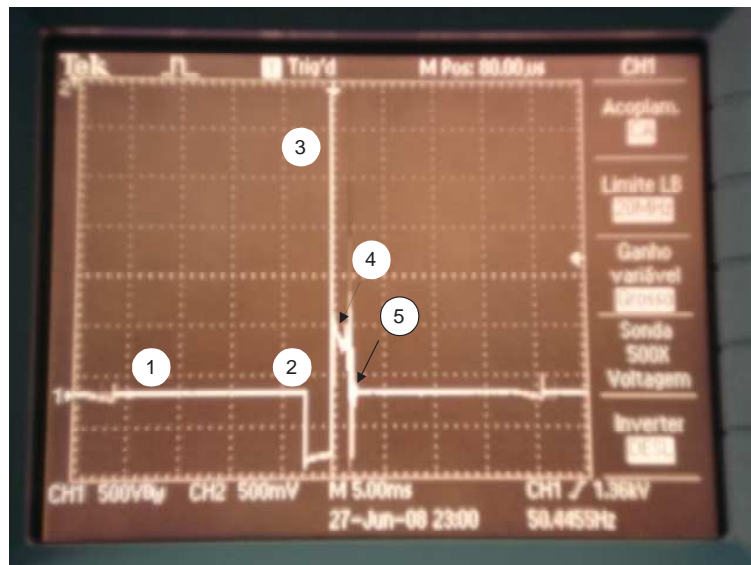


Figura 44: Sinal de tensão do teste da bobina de ignição.

- 4 Durante a partida configure o modo de *trigger* do osciloscópio para normal;
- 5 Deixar ativado o modo de captura de picos aleatórios para verificar alterações repentinas no padrão de resposta do sinal.

Ao se analisar a forma de onda desse atuador, deve-se observar: o tempo de carga da bobina, a linha do pico de ignição, e a linha da tensão de combustão. Assegurando-se de que a amplitude, frequência, formato e largura de pulso tenham aspecto consistente com o padrão de referência. Por exemplo, uma linha de pico muito alta significa resistência elevada no secundário decorrente de um cabo de vela danificado ou um espaçamento muito grande do eletrodo da vela.

É certo que uma simples inspeção visual dos cabos e conexões e do estado da vela dispensam o uso do osciloscópio. Como foi dito, a principal vantagem do osciloscópio é permitir, por meio do modo de captura de picos aleatórios, a constatação de defeitos de natureza intermitente e de curtíssima duração. Por exemplo um pulso de tensão durante a linha de carga da bobina pode representar um defeito intermitente no acionamento do dispositivo ou uma falha no terra do dispositivo.

Isso pode fazer com que o ciclo de ignição não se complete, caracterizando falha de ignição, motor engasgando, etc.

Na Figura 7.3.1 são apresentadas duas outras telas de captura do sinal da bobina de ignição.

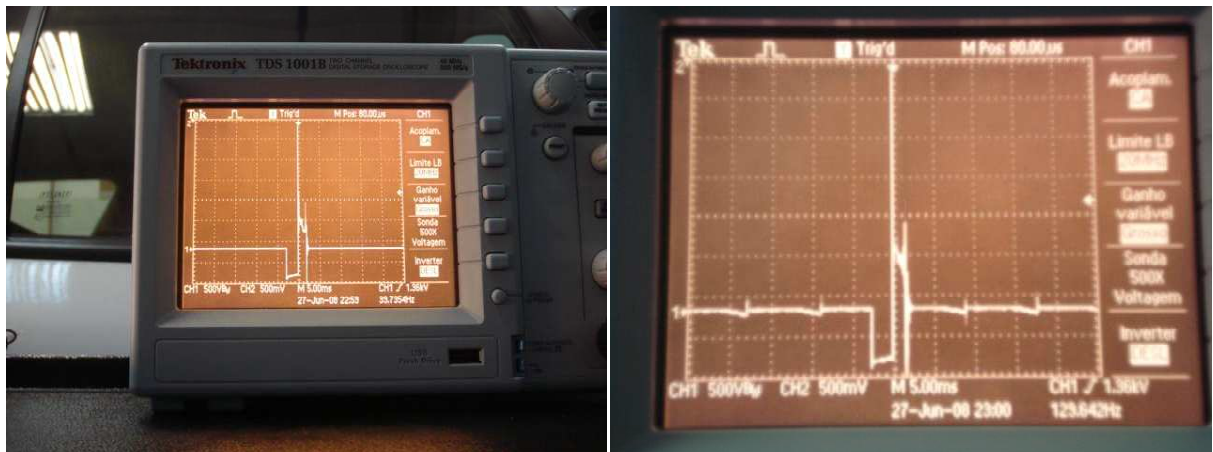


Figura 45: Telas de captura dos testes da bobina de ignição.

Da análise dessa figura pode ser constatado que, comparado ao sinal de referência, tem-se:

- O sinal estabilizado apresentou padrão consistente;
- Não houve variação significativa na largura de pulso do sinal para os diferentes níveis de rotação;
- A linha de ignição mostrou um padrão consistente;
- A tensão de combustão também apresentou um padrão de sinal consistente;
- A linha de combustão manteve-se dentro de um intervalo praticamente constante;

- O tempo de oscilação da bobina também permaneceu praticamente inalterado.

Como não houve alteração na largura de pulso, isso indica precisão da temporização do cilindro; o padrão consistente da linha de ignição assegura que cabos, conexões e velas apresentam perfeito estado de funcionamento;

O padrão de sinal consistente da tensão de combustão indica uma queima equilibrada. Valores altos de tensão de combustão indicam uma queima pobre e valores baixos indicam queima rica. Isso decorre da variação da “resistência” do meio físico onde ocorre a centelha (cilindro) em função da quantidade de “impurezas” (combustível) presente. Uma linha de tensão de combustão muito extensa (mais que 2ms) está associado a mistura rica anormal, por outro lado, se a linha for muito curta (menor que 0,75ms) tem-se uma mistura pobre fora de padrão. A definição da linha de combustão, isto é, a presença ou ausência de ruídos é também relevante. Um grande quantidade de ruído pode significar injetor danificado, ignição com avanço em excesso ou vela com problemas (MINIPA, 2005).

Cada um dos tens mencionados anteriormente indicam um determinado comportamento esperado para a ignição do combustível. Como foi mencionado, se algumas dessas observações não estivessem em conformidade com o padrão fornecido o componente poderia estar danificado e deveria ser substituído, ou estaria indicando um comportamento anômalo de funcionamento do sistema.

8 *Conclusão*

O presente trabalho focou sobre a análise e diagnóstico dos dispositivos sensores e atuadores presentes nos sistemas de gerenciamento eletrônico dos motores de combustão interna ciclo Otto. Nesse sentido, foi apresentado um panorama geral do estado da evolução dos veículos automotores e o contexto em que esse trabalho encontra-se inserido. Descreveu-se de forma sucinta os dispositivos e seus princípios de funcionamento para, em seguida, apresentar os resultados dos experimentos realizados em laboratório. Como já era esperado, o instrumento utilizado é de grande valia na análise e detecção de comportamentos anômalos que podem ocorrer durante o funcionamento do motor. Como ele oferece a possibilidade de realização das medidas sobre uma curva de referência, o reparador identifica imediatamente o componente defeituoso ou, tendo em vista sua experiência, a causa da não conformidade do sinal. Embora não seja exclusividade do osciloscópio automotivo, o modo de captura de picos aleatórios, é outra ferramenta de muita utilidade por permitir visualizar alterações repentinas (da ordem de milissegundos) no padrão de resposta do sinal.

Referências

AUZINS, J.; WILHELM, R. V. **Automotive electronics - getting in gear for the 90s and beyond - charting the frontiers of progress.** *IEEE Circuits & Devices*, 10(1):14–18, January 1994.

BERGER, I. **Can you trust your car?** *IEEE SPECTRUM*, p. 40–45, abril 2002.

BOSCH. **Vehicle Electrical Systems.** SAE International, 3 edition, 2003.

BRASIL. **Lei nº 8.723 de 28 de outubro de 1993.** Diário Oficial da União Brasília, DF. 29 out 1993. Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências.

BRETZ, E. A. **The car: Just a web browser with tires.** *IEEE SPECTRUM*, January 2001.

DOUTOR-IE Tecnologia Automotiva. **Dica 100: Problemas intrigantes - parte 1.** Disponível em: <[http://www.injetronic.com.br/dicas/dica.php?dica=156 &lm=&cd=2](http://www.injetronic.com.br/dicas/dica.php?dica=156&lm=&cd=2)>, Acessado em 31 de março de 2008.

CARMO, J. P. et al. **On-chip cmos wireless sensors interface for automotive applications.** In *Proceedings of the European Conference On Solid-State Transducers*, p. 387–388, Rome, 2004. EUROSENSORS. disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/1627>>. Acessado em 31 de março de 2008.

CÂMARA, J. C. C. **Monitoramento eletrônico da mistura ar/combustível em motores de combustão interna ciclo Otto.** Mestrado em Mecatrônica, Universidade Federal da Bahia - Instituto de Matemática - Escola Politécnica, Salvador, 2006.

CLUBE DO LOGUS POINTER. **Curso de injeção eletrônica.** Disponível em: <<http://www.clubedologuspointer.com.br>>, março 2008. Acessado em 31 de março de 2008.

FRASSON, M. V. S. **Classe ABNT: confecção de trabalhos acadêmicos em latex segundo as normas ABNT.** Disponível em: <<http://abntex.codigolivres.org.br>>, 2002. Acessado em 31 de março de 2008.

- FRISCHKORN, H.G. **Automotive software - the silent revolution.** Automotive Software Workshop, 2004.
- HEINECKE, H. **Automotive system design - challenges and potential.** In *DATE '05: Proceedings of the conference on Design, Automation and Test in Europe*, p. 656–657, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society. disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/DATE.2005.79>>. Acessado em 31 de março de 2008.
- MAREK, J. et al. **Sensors for Automotive Applications**, volume 4. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003.
- MILHOR, C. E. **Sistema de desenvolvimento para o controle dos motores de combustão interna ciclo Otto.** Mestrado em engenharia mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.
- MINIPA. **Osciloscópio Automotivo MS-1005**, agosto 2005. Manual de Instruções.
- NOTÍCIAS DA OFICINA. **Técnicas de oficina - diagnósticos com osciloscópio (primeira parte).** Disponível em: <<http://www.vwbr.com.br/noticiasdaoficina>>, Acessado em 31 de março de 2008.
- RIBBENS, W. B. **Understanding Automotive Electronics.** Butterworth-Heinemann, Butterworth-Heinemann 225, Wildwood Avenue Woburn, MA 01801-2041, 5 edition, 1998.
- SOUZA, A. C. **Gerenciamento eletrônico de motor - Celta VHC 1.0 e 1.4.** *Saber Eletrônica*, 42(399):23–27, Abril 2006.
- TOYOTA. **Electrical and Engine Control Systems Manual.** Toyota Motor Sale, U. S. A. Engine Controls Part # 4 - Diagnosis.
- VON DER BEECK, M. **Development of logical and technical architectures for automotive systems.** *Software System Model*, Springer-Verlag, 6:205–219, 2007.
- WASHINO, S. **Present and future trends in automotive electronics.** *Mitsubishi Electric Advance*, 78(1), 2001.
- WILHELM, R. V.; AUZINS, J. **Automotive electronics - steering toward the next frontiers.** *IEEE Potentials*, p. 32–36, October/November 1994.

WILLIAM, F.; GUILHERME, J.; CORSINO, C. ***APOSTILA Injeção e Ignição M 2.10.4.*** FIAT Automóveis S. A., Brasil, dezembro 1997. Publicação do setor de Treinamento Assistencial/Assistência Técnica.

Esse trabalho foi elaborado em LATEX, segundo as normas ABNT conforme (FRASSON, 2002)