

ADRIANA BONITO HADDAD

**A INFLUÊNCIA DO SENSOR DE OXIGÊNIO NO CONTROLE DOS POLUENTES
EMITIDOS PELOS GASES DE ESCAPAMENTO DE UM VEÍCULO AUTOMOTOR**

São Caetano do Sul

2012

ADRIANA BONITO HADDAD

**A INFLUÊNCIA DO SENSOR DE OXIGÊNIO NO CONTROLE DOS POLUENTES
EMITIDOS PELOS GASES DE ESCAPAMENTO DE UM VEÍCULO AUTOMOTOR**

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, da Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. MSc. Fernando Fusco Rovai

São Caetano do Sul

2012

Haddad , Adriana Bonito

Explicação sobre o funcionamento do sensor de oxigênio e suas características construtivas, demonstrando sua função perante o controle de gases poluentes emitidos por um veículo automotor. Aborda ainda a correta calibração seguindo as especificações técnicas solicitadas. / Adriana Bonito Haddad. São Paulo, 2012. 57p.

Monografia — Pós-graduação em Engenharia Automotiva. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2012. Orientador: Prof. MSc. Fernando Fusco Rovai

1. Sensor de oxigênio 2. Emissão de gases poluentes 3. Engenharia Automotiva I. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. II. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai que sempre me incentivou e fez com que tudo que tenho hoje torna-se realidade, à minha mãe que sempre me apoiou em todas as minhas escolhas, à minha irmã que em todos os momentos importantes esteve ao meu lado me ajudando e ao meu marido que sempre encorajou todas as minhas iniciativas. Amo todos vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Escola de Engenharia Mauá por toda infraestrutura concedida aos alunos e qualidade proporcionada tanto nas salas de aula, como nos laboratórios e em todo o campus, ao Professor Fernando Fusco Rovai pela compreensão, atenção e trabalho de coordenação feito para esta monografia, ao Professor Fernando Malvezzi pela direção e suporte durante o curso e à todos os professores deste curso que contribuíram para minha formação. Muito obrigada!

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo explicar o funcionamento do sensor de oxigênio dos gases de escapamento bem como a construção e as características do mesmo, demonstrando sua função perante emissões de gases poluentes em um veículo automotor. Pretende-se ao longo do trabalho verificar a relação existente entre o sensor de oxigênio e a queima de combustível, como é feito este controle e por que este controle é rigoroso. Também esclarecerá a importância da correta calibração seguindo as especificações técnicas solicitadas.

Palavras-chave: Sensor de oxigênio. Emissões de gases poluentes. Queima de combustível. Calibração. Especificações técnicas.

ABSTRACT

This paper aims to explain the operation of the narrow-band lambda sensor, its construction and characteristics, demonstrating the function of the oxygen sensor on the emissions control in a vehicle. It is intended throughout the work to verify the relationship between the oxygen sensor and combustion, how is this control and why this control is so rigorous. Also clarifying the importance of the correct calibration of the sensor following the required technical specifications.

Keywords: Lambda Sensor. Gas emissions. Fuel combustion. Calibration. Technical Specifications.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sensor de oxigênio.....	12
Figura 2 – Camadas do elemento planar	15
Figura 3 – Camada do elemento cônico.....	15
Figura 4 – Curva estequiométrica	18
Figura 5 – Eficiência de conversão	19
Figura 6 – Sensor envelhecido ou contaminado	21
Figura 7 – Evolução dos limites de CO, HC, NOx e CHO para veículos leves.....	23
Figura 8 – Construção do sensor de elemento cônico.	26
Figura 9 – Construção do sensor de elemento planar	26
Figura 10 – Tipo de elemento	27
Figura 11 – Elemento planar.....	27
Figura 12 – Estrutura do elemento planar	28
Figura 13 – Elemento cônico	28
Figura 14 – Sensor de zircônia.	29
Figura 15 – Funcionamento do sensor de zircônia.....	30
Figura 16 – Funcionamento do sensor de oxigênio	30
Figura 17 – Sensor de titânio.....	31
Figura 18 – Funcionamento do sensor de titânio.....	32
Figura 19– Sensor de zircônia linear	32
Figura 20 – Funcionamento do sensor de zircônia linear.....	34
Figura 21 – Funcionamento do sensor de zircônia linear.....	34
Figura 22 – Tubo de proteção	35
Figura 23 – Anti aderente	36
Figura 24 – Sensor de oxigênio sem luva protetora	37
Figura 25 – Sensor de oxigênio com luva protetora.....	37
Figura 26 – Selo de proteção.....	38

Figura 27 – Localização do sensor de oxigênio	39
Figura 28 – Configurações para instalação do sensor de oxigênio.....	40
Figura 29 – Ferramenta correta para a instalação do sensor de oxigênio	41
Figura 30 – Contaminação externa de óleo	43
Figura 31 – Contaminação de óleo interna.....	43
Figura 32 – Contaminação por combustível.....	44
Figura 33 – Contaminação por combustível.....	44
Figura 34 – Contaminação por água.....	45
Figura 35 – Contaminação por depósito de carbono.....	45
Figura 36 – Contaminação por aditivo	45
Figura 37 – Contaminação por aditivo	46
Figura 38 - Sensor dobrado.....	46
Figura 39 – Cabo ou conector derretido.....	47
Figura 40 – Conector enferrujado	47
Figura 41 – Cabos quebrados ou desgastados.....	48
Figura 42 – Selo do cabo solto	48
Figura 43 – Diagnóstico para a eficiência do conversor catalítico	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estratégia de implantação do PROCONVE para veículos leves (Fases”L”)	22
Tabela 2 - Nível de emissões de motor à gasolina para EURO	24
Tabela 3 - Nível de emissões de motor diesel para EURO	24
Tabela 4 - Nível de emissões para NLEV	25
Tabela 5 - Nível de emissões para NLEV	25
Tabela 6 - DTCs de sensor de oxigênio	51

SUMÁRIO

1 HISTÓRICO	12
2 FUNCIONAMENTO	14
2.1 AQUECIMENTO DO SENSOR, PROTEÇÃO CONTRA HUMIDADE E TEMPERATURA DE TRABALHO	15
2.2 A FUNÇÃO DO PRIMEIRO SENSOR	17
2.3 RELAÇÃO ESTEQUIOMÉTRICA	17
2.4 A IMPORTÂNCIA DO SEGUNDO SENSOR DE OXIGÊNIO PARA EFICIÊNCIA DO CONVERSOR CATALÍTICO.....	19
2.5 TEMPO DE RESPOSTA DO SENSOR	20
2.6 LEIS PARA EMISSÕES DE POLUENTES	21
3 CONSTRUÇÃO.....	26
3.1 TIPO DE ELEMENTO	26
3.1.1 Elemento planar	27
3.1.2 Elemento cônico.....	28
3.2 TIPO DE SENSOR	28
3.2.1 Sensor de zircônia.....	28
3.2.2 Sensor de titânio	30
3.2.3 Sensor de zircônia linear.....	32
3.3 TUBO DE PROTEÇÃO.....	34
3.4 ANTI ADERENTE (ANTISEIZE)	35
3.5 CONECTOR	36
4 LOCALIZAÇÃO	39
5 TIPO DE FALHAS.....	42
6 CALIBRAÇÃO, VALIDAÇÃO E DIAGNOSE	49
6.1 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO.....	49
6.2 DIAGNOSE	51
7 REFERÊNCIAS	55

1 HISTÓRICO



Figura 1 – Sensor de oxigênio. (Fonte: <http://www.ngkeurope.com/en/products-technologies/lambda-sensors/>)

O sensor de oxigênio é um componente que determina a concentração de oxigênio do gás de escape de um veículo em relação à concentração ambiente. Sua função é auxiliar no controle da emissão dos gases de escapamento de acordo com as leis regulamentadoras de cada país, funcionando como realimentação do sistema de gerenciamento eletrônico do motor.

O sensor de oxigênio também pode ser chamado de sonda lambda. Sonda lambda refere-se à letra grega que descreve a quantidade de ar na mistura ar-combustível.

Antigamente, os carros utilizavam somente carburadores para a injeção de combustível. Não era possível controlar a quantidade de combustível adicionada em malha fechada.

Com a introdução da injeção eletrônica, desenvolveu-se um sensor para medir a concentração de oxigênio resultante da combustão. Se a quantidade de oxigênio for menor que a esperada (concentração atmosférica), diminui-se a quantidade de combustível injetado para a próxima combustão, aumentando-se assim a concentração de oxigênio nos gases de escapamento e vice-versa, conseguindo-se assim a menor emissão de poluentes.

Este controle permitiu um melhor rendimento do motor, a redução do consumo de combustível e a consequente redução de poluentes emitidos.

O sensor de oxigênio foi inventado pela empresa alemã Robert Bosch GmbH em 1976. A Volvo passou a utilizar essa tecnologia no mesmo ano e exportou os carros Volvo 240 e 260 para os Estados Unidos, especificamente para a Califórnia, estado americano com normas para controle da emissão de CO.

Para a instalação do sensor no passado, era necessário somente um fio para o sinal de saída e o aterramento era feito pela carcaça do sensor. A ponta do elemento era aquecida pelo próprio gás de escape, sendo necessário aguardar vários minutos até que o sensor entrasse em funcionamento. Este período de tempo necessário para que os gases de escape aquecessem o elemento depende da temperatura do ar ambiente, da geometria do sistema de escape bem como dos gases de escape gerados pelo motor.

Quando o sensor é aquecido somente pelo gás de escape (não há o auto-aquecimento), a temperatura de trabalho aumenta lentamente, gerando um sinal incoerente que deve ser ignorado até que a diferença de temperatura entre quando o motor é ligado e o alcance do equilíbrio térmico dos componentes do sistema de escape seja a menor possível. A falta do auto-aquecimento também pode contribuir para o aumento dos elementos poluentes não respeitando os níveis de emissões imposto pela lei.

Para evitar este problema, adicionou-se uma resistência de aquecimento junto ao elemento e o sensor passou a utilizar três fios, um para o sinal de saída, um para o aquecimento e outro o fio terra comum tanto para o sinal de saída como para o aquecimento do sensor. Como o sinal de saída do sensor trabalha de 200mV à 800mV e o aquecimento do sensor trabalha com 12V, muitas vezes ocorria problemas de interferência de sinal devido às grandes diferenças de tensão entre o circuito de aquecimento e o circuito de medição.

Para minimizar o problema acima, os terras do sensor e do aquecedor foram isolados em circuitos distintos, e hoje normalmente os sensores trabalham com quatro fios, dois para o sinal de saída e dois para o aquecimento do sensor. O sensor é constituído de uma resistência de aquecimento situada junto ao elemento que permite aquecer a ponta do elemento em cerca de aproximadamente dez segundos.

2 FUNCIONAMENTO

O sensor é formado por um elemento constituído de várias camadas, sendo esta a parte mais importante do sensor e a mais frágil também. É no elemento que está sua funcionalidade. Este é protegido por uma cerâmica ao seu redor contra vibração. Cada camada do sensor tem um material diferente e uma função diferente.

Os tipos de camadas podem variar dependendo do tipo do sensor, do fornecedor e da construção do sensor. Os materiais das camadas principais podem ser diferentes de um sensor para o outro, mas basicamente com a mesma função.

No caso de um sensor de zircônia, devido às suas propriedades, a camada de zircônia proporciona rigidez para proteger contra choque térmico e mecânico, evitando trincas no elemento.

Já a camada de aquecimento do sensor possui os terminais elétricos do aquecedor. Outra camada é o filtro de partículas finas (previne a contaminação dos eletrodos aumentando a vida útil do sensor) e grossas (protege contra o gás de exaustão e contaminação química aumentando a performance do sensor).

Na camada externa do elemento é onde está impresso o eletrodo que fica em contato com o gás de escape e em uma camada mais interna está o eletrodo que fica em contato com o ar de referência (ambiente). Ambas camadas estão revestidas por uma fina camada protetora porosa (de alumina ou platina), que protege contra os efeitos corrosivos do gás de exaustão melhorando a performance e a vida útil do sensor.

Camadas do elemento planar (Figura 2): 1 - Camada protetora porosa; 2 - Eletrodo externo; 3 - Camada do sensor; 4 - Eletrodo interno; 5 - Camada do ar de referência; 6 - Camada de isolamento; 7 - Aquecedor do elemento; 8 - Camada do aquecedor; 9 - Conexões dos contatos

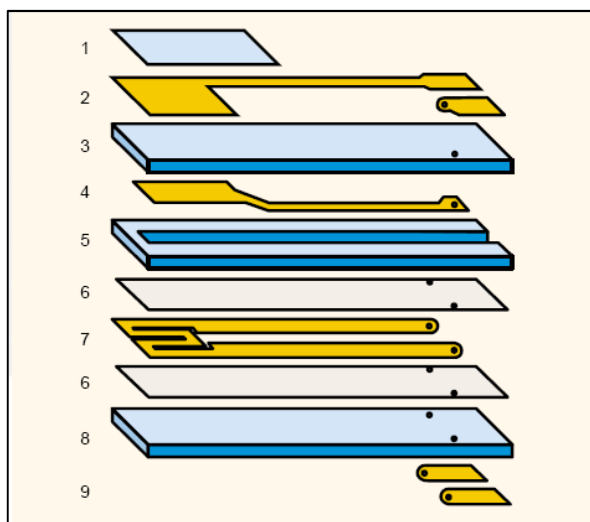


Figura 2 – Camadas do elemento planar. (Fonte: <http://wbo2.com/lsu/oxygen13-17.pdf>)

Camadas do elemento cônico (Figura 3): 1 - Camada de cerâmica; 2 – Eletrodos; 3 – Contatos; 4 - Terminais dos contatos; 5 - Tubo de exaustão; 6 - Proteção cerâmica porosa; 7 - Gás de exaustão; 8 - Ar ambiente

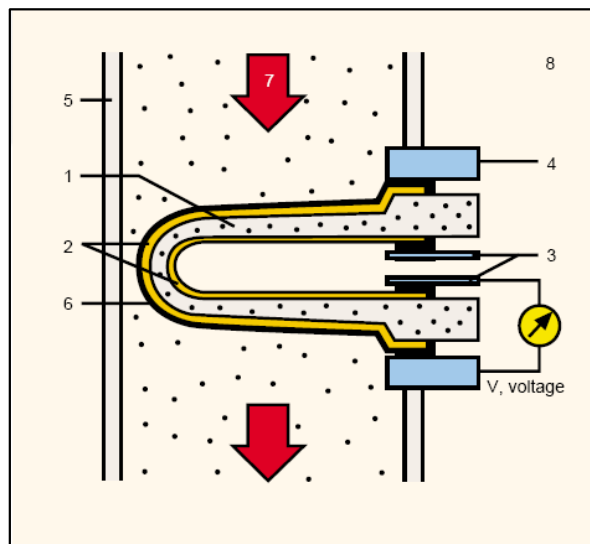


Figura 3 – Camada do elemento cônico. (Fonte: <http://wbo2.com/lsu/oxygen13-17.pdf>)

2.1 AQUECIMENTO DO SENSOR, PROTEÇÃO CONTRA HUMIDADE E TEMPERATURA DE TRABALHO

O sistema eletrônico de controle de injeção de combustível do motor trabalha em malha aberta (open loop) ou em malha fechada (close loop). Quando em malha aberta (o motor está trabalhando e os componentes do sistema de escape não atingiram a temperatura de trabalho), o sinal do sensor é ignorado pela ECM (Engine Control Module). A ECM opera com os valores genéricos de cálculo de combustível o que pode levar ao enriquecimento da mistura ar-combustível (adiciona mais combustível do que o necessário para combustão estequiométrica), ou empobrecimento da mesma. Sem o controle da mistura ar-combustível tem-se maior emissão de poluentes pelos gases de escape.

Portanto, em malha aberta, a temperatura dos gases de escape aquece lentamente o sensor. Isto é muito importante para evitar trinca no elemento devido ao possível choque térmico que ocorre se o elemento estiver em contato com água e for exposto à uma alta temperatura em um curto espaço de tempo.

A causa do elemento estar em contato com água pode ser resultado da solidificação da água em países com baixas temperaturas, intrusão de água (poças de água, lavagem do motor) ou devido ao excesso de combustível nos gases de escape.

Depois que a umidade do elemento evapora, a ECM ativa o aquecimento do sensor até chegar na temperatura de trabalho. Este período é chamado de “light-off time”. Quando o sensor atinge a temperatura de trabalho, a ECM passa a considerar o sinal do sensor e o motor passa a trabalhar em malha fechada.

Para a ECM ativar o aquecimento do sensor depois que a umidade do elemento evapora é necessário detectar uma certa temperatura no sensor que é definida pela calibração do sensor. Se essa temperatura estiver abaixo da temperatura ideal, o sensor pode estar úmido ainda e ocorrer a trinca do elemento e se a temperatura estiver acima da temperatura ideal, o tempo que a ECM fica sem ler a resposta do sensor é maior não havendo o controle de emissão de poluentes.

Para que isto não ocorra, deve-se calibrar corretamente o sensor para que o aquecimento seja feito de forma adequada e também deve-se proteger externamente o sensor como veremos ao longo deste trabalho.

Quando o elemento atinge a temperatura de trabalho de 350°C aproximadamente, torna-se eletricamente condutor de íons de oxigênio ocorrendo a difusão do oxigênio do ar devido à

diferença de pressão parcial de oxigênio. O oxigênio que está localizado onde há alta pressão tende a se deslocar para onde há baixa pressão. Isto é, em uma mistura rica, a pressão parcial de oxigênio é menor do que a do ar de referência. O oxigênio tende a partir do interior do sensor (ar de referência) para os gases de escape.

O ar de referência que será usado para comparar com o gás de escape pode localizar-se entre as camadas do elemento (pumping current) ou pode-se utilizar o próprio ar externo (breathable).

2.2 A FUNÇÃO DO PRIMEIRO SENSOR

Depois de atingir a temperatura de trabalho, a função do primeiro sensor é comparar a quantidade de oxigênio do gás de exaustão com o ar de referência e enviar um sinal à ECM (como tensão de saída ou alteração da resistência dependendo do tipo do sensor) em função da diferença dos dois. Ao receber o sinal do sensor, a ECM processa os dados e altera a mistura ajustando a quantidade de combustível afim de melhorar a eficiência do motor, trabalhando próximo à mistura estequiométrica. Para este cálculo, A ECM também checa além dos dados da quantidade de oxigênio nos gases de escape, o volume e a temperatura do ar que entra nos cilindros.

Quando a quantidade de oxigênio do gás de escape é menor que a referência, o sinal de saída obtido é normalmente de 700 a 900mV. Quando a quantidade de oxigênio do gás de escape é maior que a referência, o sinal de saída obtido é menor que 100mV. Com esta informação, é possível determinar se o motor está funcionando com muito combustível (mistura rica) ou pouco combustível (mistura pobre).

2.3 RELAÇÃO ESTEQUIOMÉTRICA

O controle de mistura rica ou mistura pobre acontece em loops sucessivos procurando manter-se a relação estequiométrica, ou seja, a proporção ideal de ar para combustível (14,7 partes de ar para 1 de gasolina ou 8,4 partes de ar para 1 de etanol hidratado). Esta relação pode ser

alterada de acordo com as diferentes condições ambientais (temperatura, pressão, humidade) ou com o funcionamento do veículo (rotação, temperatura do motor, variação de potência desejada).

Em uma combustão estequiométrica, teoricamente, os únicos produtos resultantes são vapor de água e dióxido de carbono ($\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$). A quantidade de oxigênio (O_2) que entra no cilindro é suficiente para oxidar totalmente o monóxido de carbono (CO), produzido na combustão, em dióxido de carbono (CO_2).

A razão ar-combustível é representada pela letra lambda ($\lambda = A/F = \text{Razão ar-combustível}$). Para a proporção ideal ou relação estequiométrica ($\lambda = A/F \text{ Normalizada} = (A/F)_{\text{atual}} / (A/F)_{\text{ideal}}$), o valor do lambda deve ser igual a 1 (um). Se o valor de lambda for menor que 1, a mistura é considerada rica (muito combustível e pouco ar) e se o valor de lambda for maior que 1, a mistura é considerada pobre (muito ar e pouco combustível).

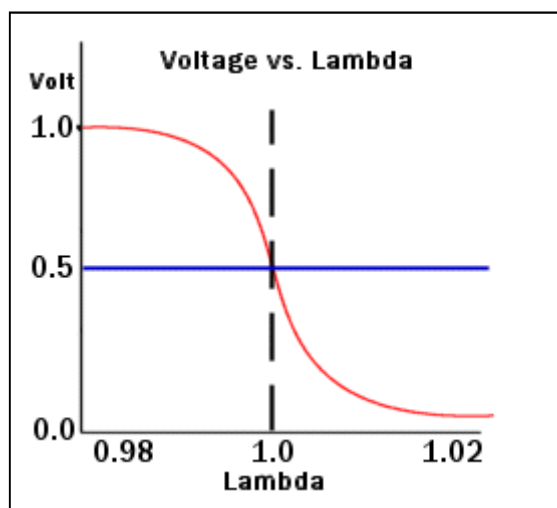


Figura 4 – Curva estequiométrica. (Fonte: <http://www.scottjsousa.com/tsn/articles/oxygenSensors.htm>)

Como pode ser observado na figura 4 acima, o sensor é mais sensível perto do ponto estequiométrico e menos sensível quando ou muito pobre ou muito rico.

Se o motor estiver funcionando com uma mistura ligeiramente pobre, haverá maior economia de combustível, mas haverá também aumento das emissões de NO_x devido à temperatura elevada do gás de escape associada ao excesso de ar na mistura. Neste caso, pode ocorrer falha na ignição (misfire) causando potenciais danos ao motor. E o aumento do NO_x é nocivo

também ao meio ambiente por ser um dos principais motivos da chuva ácida, além de causar irritação nas mucosas.

Se o motor estiver funcionando com uma mistura rica, haverá aumento da potência do motor, mas também aumento do consumo de combustível e dos hidrocarbonetos não queimados emitidos no escapamento, provocando, além da maior emissão de poluentes, o provável superaquecimento do catalisador, dependendo quão rica for a mistura.

Quanto mais próxima da relação estequiométrica for o controle da ECM, menos óxido de nitrogênio (NO_x), gás carbônico (CO) e hidrocarbonetos (HC) serão dispersados no ar atendendo às normas de emissões. Isto é, se a relação ar-combustível está próxima da relação estequiométrica, a eficiência de conversão é alta (entre 80% e 100%) como mostra a figura 5.

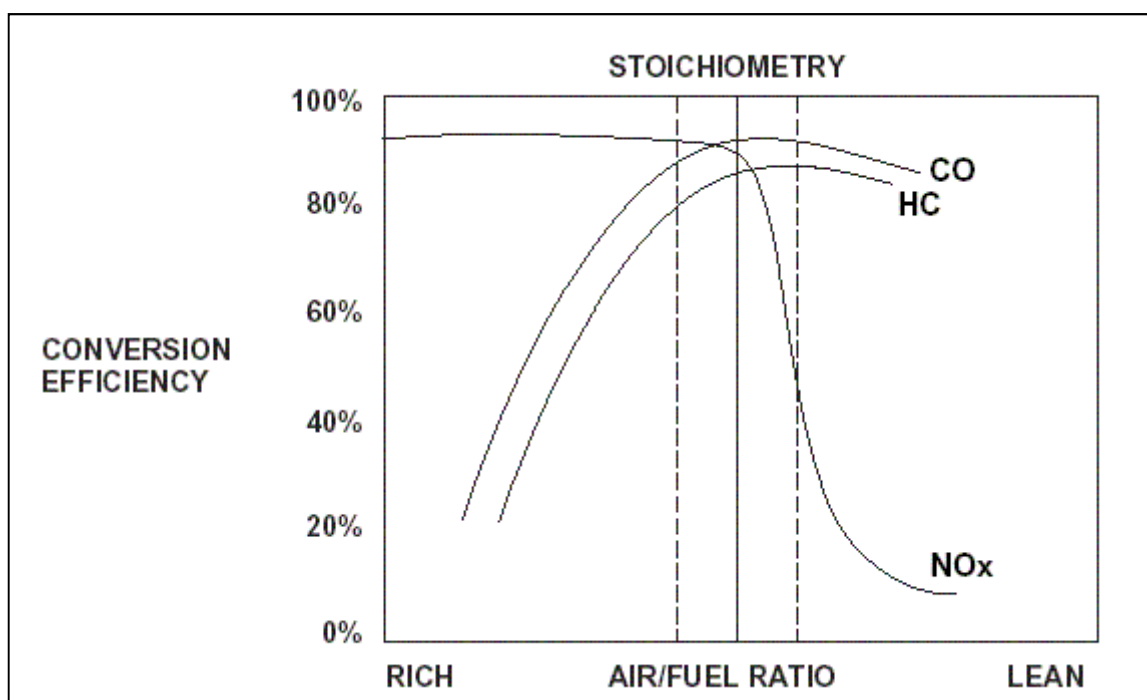


Figura 5 – Eficiência de conversão. (Fonte: <http://www.fordscorpio.co.uk/catmonitor.htm>)

2.4 A IMPORTÂNCIA DO SEGUNDO SENSOR DE OXIGÊNIO PARA EFICIÊNCIA DO CONVERSOR CATALÍTICO

O sensor de oxigênio, além da análise dos gases da combustão, pode ser utilizado para verificar a eficiência do conversor catalítico adicionando um segundo sensor após o conversor catalítico. Assim, a ECM compara os dois sinais e identifica possíveis problemas no

catalisador. Se o gás de escape após o catalisador (sinal do segundo sensor) estiver com a mesma quantidade de elementos poluentes que o encontrado antes do catalisador (sinal do primeiro sensor), o mesmo não está desempenhando sua função corretamente não tratando corretamente os elementos poluentes. Já se o catalisador estiver desempenhando corretamente seu papel, contribuirá para a emissão de gases poluentes.

2.5 TEMPO DE RESPOSTA DO SENSOR

Outro fator importante que pode prejudicar a emissão dos gases de escape é o tempo de resposta do sensor. Cada sensor trabalha com um tempo de resposta diferente, característica do tipo de construção do elemento. A ECM depende do tempo de resposta do sensor para controlar a relação combustível-ar.

Se o sensor está envelhecido ou contaminado (formação de uma camada espessa de sujeira dificultando a passagem do oxigênio através das camadas do elemento), o tempo de resposta fica mais lento e a ECM não recebe o sinal adequadamente. Pode ocorrer também da amplitude do sinal do sensor ficar menor e a ECM não conseguir identificar o sinal, diminuindo o desempenho do sistema.

A seguir (Figura 6) é possível observar o sinal do sensor quando o mesmo está envelhecido ou contaminado. A curva em vermelho é de um sensor degradado e a curva azul é do sensor em bom estado.

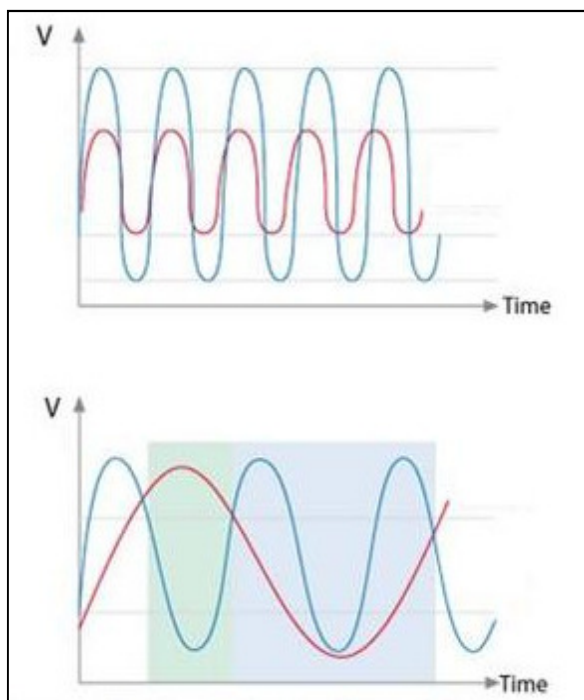


Figura 6 – Sensor envelhecido ou contaminado.
(Fonte: <http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/diagnosis/effects-of-a-defective-lambda-sensor/>)

Da mesma forma que um sensor envelhecido tem atraso no tempo de resposta, um sensor novo também tem, mas o tempo de atraso é menor do que no sensor envelhecido. Isto se deve ao fato do elemento, quando novo, possuir uma superfície externa rugosa devido ao processo de banho para criação da camada protetora na ponta do elemento. Isto é chamado de Efeito Verde (Green Effect). Depois de aproximadamente 1000km de uso do veículo, o ar vai desgastando a rugosidade da superfície fazendo com que o oxigênio transite entre as camadas do elemento com mais facilidade.

2.6 LEIS PARA EMISSÕES DE POLUENTES

Cada país tem sua leis para emissões do gás de escape. Isto é, as montadoras são obrigadas a obedecer as leis dos países onde seus veículos serão vendidos. Para o Brasil, as especificações legislativas que definem o limite máximo aceitável de emissões que um veículo novo deve cumprir quando colocado no mercado é o PROCONVE. O EURO é o padrão que vigora para

veículos que são vendidos em países membros da União Européia e na Argentina (se baseiam no EURO para as leis argentinas). O NLEV, SLEV, BIN3, BIN4 e CARB são padrões utilizados pelos Estados Unidos, por exemplo.

O Proconve (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores) foi criado em 1986 pelo Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) como uma forma de controle da qualidade do ar nos centros urbanos. É uma adaptação das metodologias internacionais, especialmente a Euro, às necessidades brasileiras. O Proconve P7 é a versão brasileira similar à Euro V, que já está em vigor na Europa e representa a quinta etapa de diminuição progressiva de emissão de gases por lá.

No Brasil, a diminuição dos níveis de emissão permitidos vem sendo implantada gradativamente através do Proconve desde a sua primeira versão. Ele garante que todos os lançamentos de novos veículos e motores nacionais e importados funcionem dentro dos limites de emissões permitidos. Todas as emissões de escapamento são testadas, quantificadas e comparadas rigidamente aos limites.

Tabela 1 - Estratégia de implantação do PROCONVE para veículos leves (Fases "L")

Fase	Implantação	Característica / inovação
Fase L-1	1988-1991	Caracterizada pela eliminação dos modelos mais poluentes e aprimoramento dos projetos dos modelos já em produção. Iniciou-se também nesta fase o controle das emissões evaporativas. As principais inovações tecnológicas que ocorreram nesta fase foram: reciclagem dos gases de escapamento para controle das emissões de NOx; injeção secundária do ar no coletor de exaustão para o controle de CO e HC; implantação de amortecedor da borboleta do carburador para controle do HC e a otimização do avanço da ignição.
Fase L-2	1992-1996	A partir dos limites verificados na Resolução CONAMA 18 de 1986, nessa fase investiu-se na adequação de catalisadores e sistemas de injeção eletrônica para uso com mistura de etanol, em proporção única no mundo. As principais inovações nos veículos foram a injeção eletrônica, os carburadores assistidos eletronicamente e os conversores catalíticos. Em 1994 iniciou-se o controle de ruído dos veículos.
Fase L-3	1997-2004	Em face da exigência de atender aos limites estabelecidos a partir de 1º de janeiro de 1997 (Resolução CONAMA 15 de 1995), ocorreram reduções bastante significativas em relação aos limites anteriores, e o fabricante/importador empregou, conjuntamente, as melhores tecnologias disponíveis para a formação de mistura e controle eletrônico do motor como, por exemplo, o sensor de oxigênio (denominado "sonda lambda").
Fase L-4	2005-2008	Tendo como referência a Resolução CONAMA Nº 315 de 2002, a prioridade nesta fase que teve início no ano de 2005 é a redução das emissões de HC e NOx, (substâncias precursores de Ozônio). Para o atendimento desta fase, se deu o desenvolvimento de motores com

<p>Fase L-5 2009-2013</p>	<p>novas tecnologias como a otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos de injeção, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica.</p> <p>Com os limites de emissão da Resolução CONAMA N° 315 de 2002, da mesma forma que na fase L-4, a prioridade na fase L-5 é a redução das emissões de HC e NO. De maneira análoga à fase L-4, as inovações tecnológicas se deram na otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica. Nesta fase deu-se a redução de 31% das emissões de hidrocarbonetos não-metano para os veículos leves do ciclo Otto e de 48% e 42% para as emissões de NO_x para os veículos leves do ciclo Otto e Diesel, respectivamente. Além disso, as emissões de aldeídos foram reduzidas em, aproximadamente, 67% para os veículos do ciclo Otto.</p>
---	--

(Fonte: http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/proconve_163.pdf)

Para cada fase do PROCONVE, os limites de CO, HC, NO_x e CHO ficaram mais rígidos reduzindo a emissão de poluentes.

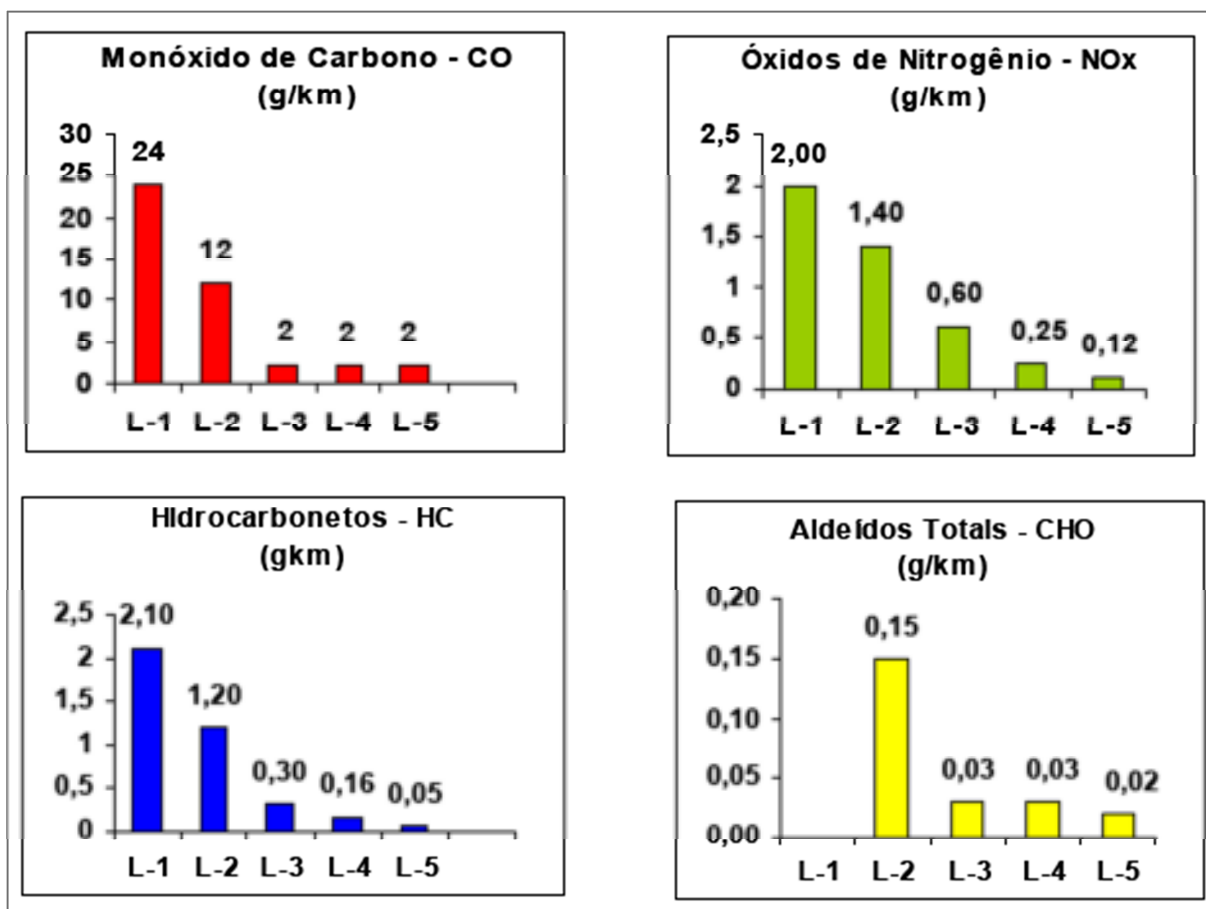


Figura 7 – Evolução dos limites de CO, HC, NO_x e CHO para veículos leves (Fases PROCONVE –L). (Fonte: http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/proconve_163.pdf)

Na União Européia, a EURO I passou a vigorar em 1992 e foi ficando cada vez mais restrita quanto aos seus limites. Depois em 2009, entrou o EURO V. O EURO VI passará a vigorar em 2014. Foi com a entrada do EURO que foi introduzido o conversor catalítico devido à necessidade de diminuição da quantidade dos gases de emissões poluentes ao meio ambiente.

Tabela 2 - Nível de emissões de motor à gasolina para EURO

Motor à gasolina						
	Valid from	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC + NOx (g/km)	PM
EURO I	12/92	2,72	-	-	0,97	-
EURO II	01/97	2,20	-	-	0,50	-
EURO III	01/00	2,30	0,20	0,15	-	-
EURO IV	01/05	1,00	0,10	0,08	-	-
EURO V	09/09	1,00	0,10	0,06	-	0,005*
EURO VI	09/14	1,00	0,10	0,06	-	0,005*

* with direct injection

(Fonte: <http://www.ngk-elearning.de/>)

Tabela 3 - Nível de emissões de motor diesel para EURO

Motor Diesel						
	Valid from	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC + NOx (g/km)	PM
EURO I	01/92	3,16	-	-	1,13	0,14
EURO II	01/96	1,00	0,15	0,55	0,70	0,08
EURO III	01/00	0,64	0,06	0,50	0,56	0,05
EURO IV	01/05	0,50	0,05	0,25	0,30	0,025
EURO V	09/09	0,50	0,05	0,18	0,23	0,005
EURO VI	09/14	0,50	0,09	0,08	0,17	0,005

(Fonte: <http://www.ngk-elearning.de/>)

Nos Estados Unidos, a implementação do controle de emissões foi feito em duas fases. Fase 1 de 1994 a 1999. Após este período, foi implementado uma norma transitória de 1999 a 2003. A fase 2, na qual pode-se chamar de NLEV (National Low Emission Vehicle) foi implementada de 2004 a 2009. A diferença desses padrões foi a divisão em diversas categorias de carro, cada vez mais restritiva às emissões de poluentes. No ano de 2010, o presidente dos EUA iniciou um novo programa de controle de emissões, no qual tornou as normas mais restritivas da Califórnia como nacionais. Esta foi a terceira fase com previsão de duração de 2010 a 2016.

Tabela 4 - Nível de emissões para NLEV

US FEDERAL					
LDV ≤ 12 PASSENGERS (LIMITS IN GRAMS/MILE)					
TEST	EMISSIONS	DURABILITY (mile)	MY 91 → (Tier 0) (US 87)	MY 94 → (Tier I) (US 94)	MY 01 → NLEV
US FTP	HC NMHC	50000	0,41	0,41	0,41
		50000		0,25	0,075 ³
		100000		0,31	0,090 ³
	CO	50000	3,40	3,40	3,40
		100000		4,20	4,20
	CO (-7 °C)	50000		10,00	10,00
	NOx ^{1 2}	50000	1,00	0,40	0,20
		100000		0,60	0,30
	PM	50000	0,20	0,08	0,08
		100000		0,10	0,08

1) Diesel vehicles allowed 1,0/1,25 g/mi NOx until MY 2003

2) NOx (Highway) – standard: 1,33 X NOx (City) – standard as listed above

3) NMOG measurement instead of NMHC

(Fonte: <http://www.dsavvidis.gr/Educational%20material/LDV.pdf>)

Tabela 5 - Nível de emissões para NLEV

US FEDERAL					
LDV ≤ 12 PASSENGERS (LIMITS IN GRAMS/KILOMETER)					
TEST	EMISSIONS	DURABILITY (km)	MY 91 → (Tier 0) (US 87)	MY 94 → (Tier I) (US 94)	MY 01 → NLEV
US FTP	HC NMHC	80000	0,250	0,25	0,25
		80000		0,16	0,047 ³
		160000		0,19	0,056 ³
	CO	80000	2,100	2,10	2,10
		160000		2,60	2,60
	CO (-7 °C)	80000		6,20	6,20
	NOx ^{1 2}	80000	0,620	0,25	0,124
		160000		0,37	0,186
	PM	80000	0,124	0,05	0,05
		160000		0,06	0,05 ²

4) Diesel vehicles allowed 1,0/1,25 g/mi NOx until MY 2003

5) NOx (Highway) – standard: 1,33 X NOx (City) – standard as listed above

6) NMOG measurement instead of NMHC

(Fonte: <http://www.dsavvidis.gr/Educational%20material/LDV.pdf>)

3 CONSTRUÇÃO

Basicamente os sensores de oxigênio são constituídos do elemento, aquecedor do elemento, cabos, tubo de proteção do elemento e a carcaça do sensor. As figuras abaixo descrevem melhor todo o conjunto do sensor.

1 – Carcaça dos sensor; 2 – Suporte de cerâmica do tubo; 3 – Cabo de conexão; 4 – Tubo de proteção; 5 – Camada de cerâmica do sensor; 6 – Contatos; 7 – Capa protetora; 8 – Aquecedor do elemento; 9 – Conexão para o aquecedor do elemento; 10 – Vedação

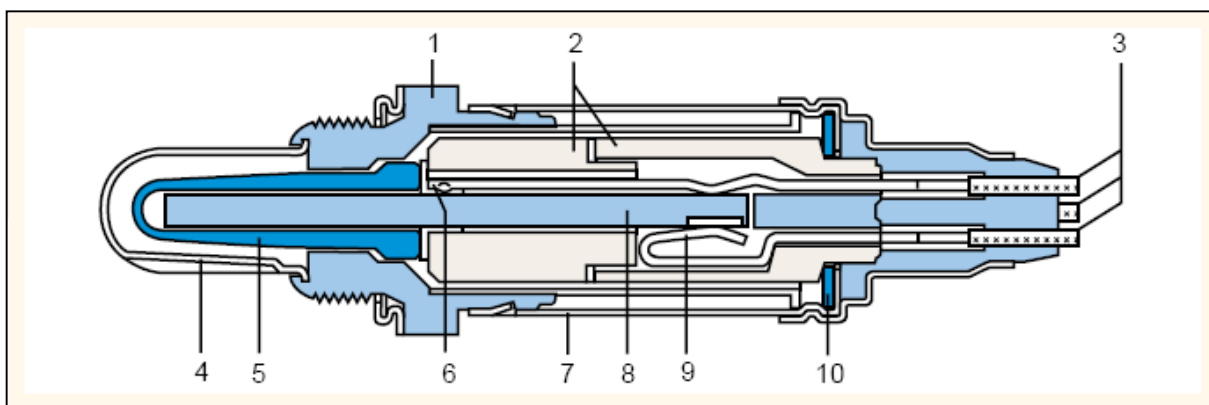


Figura 8 – Construção do sensor de elemento côncavo. (Fonte: <http://wbo2.com/lsu/oxygen13-17.pdf>)

1 – Tubo de proteção; 2 – Conjunto de vedação cerâmica; 3 – Carcaça do sensor; 4 – Suporte de cerâmica do tubo; 5 – Elemento planar; 6 – Capa de proteção; 7 – Cabo de conexão

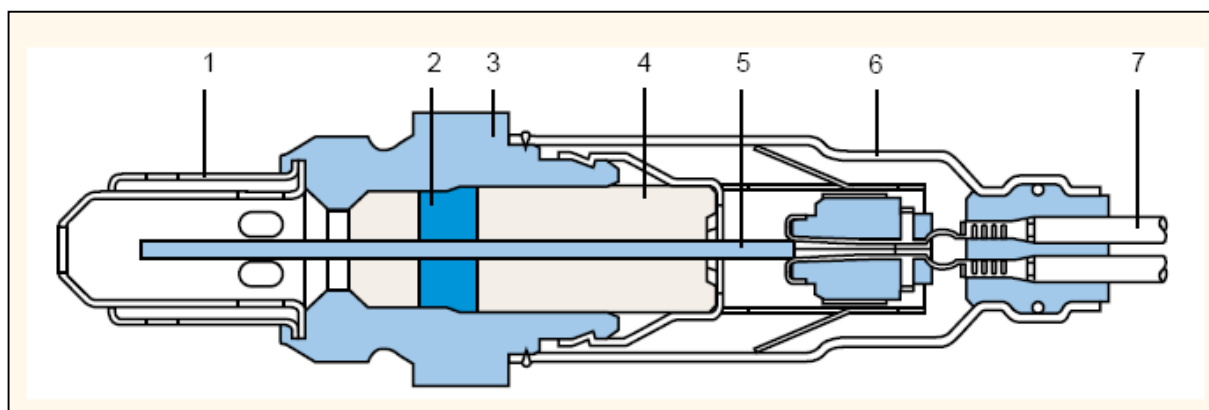


Figura 9 – Construção do sensor de elemento planar. (Fonte: <http://wbo2.com/lsu/oxygen13-17.pdf>)

3.1 TIPO DE ELEMENTO



Figura 10 – Tipo de elemento. (Fonte: <http://www.boschautoparts.com/oxygensensors/pages/oxygensensordesign.aspx>)

O sensor pode ser construído com elemento planar ou cônico. O tipo de elemento vai depender da estratégia de cada fabricante. Os dois formatos de elemento tem a mesma função. A única diferença é a quantidade de energia necessária para que o sensor atinja a temperatura de trabalho.

3.1.1 Elemento planar

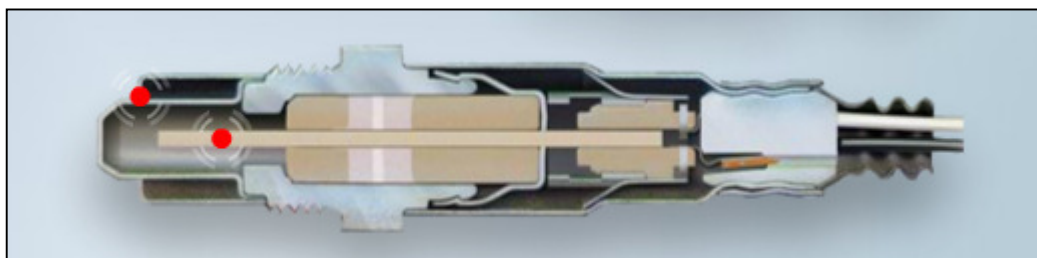


Figura 11 – Elemento planar. (Fonte: <http://www.boschautoparts.com/oxygensensors/pages/oxygensensordesign.aspx>)

O elemento planar é formado por várias camadas que são unidas por pressão em alta temperatura. A energia necessária para o aquecimento do sensor é menor comparada ao elemento cônico, o que se traduz em menor tempo de “light-off”.

Para exemplificar, segue a estrutura do elemento planar:

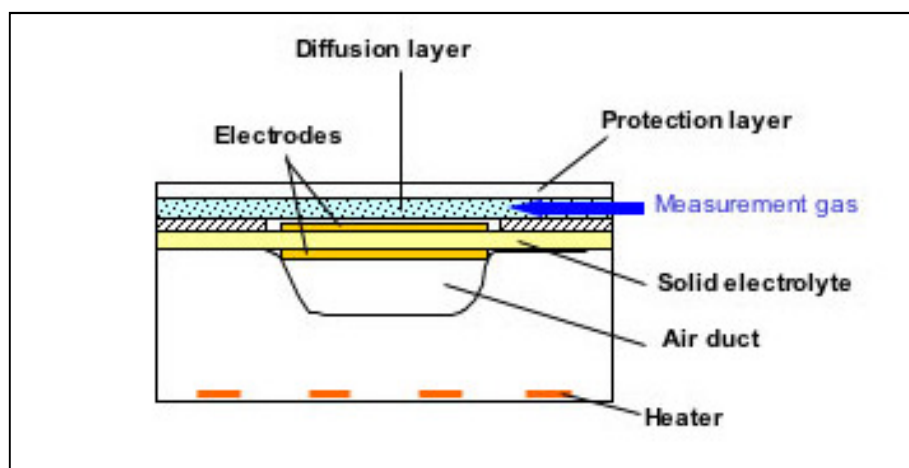


Figura 12 – Estrutura do elemento planar. (Fonte: <http://www.boschautoparts.com/oxygensensors/pages/oxygensensordesign.aspx>)

3.1.2 Elemento cônico

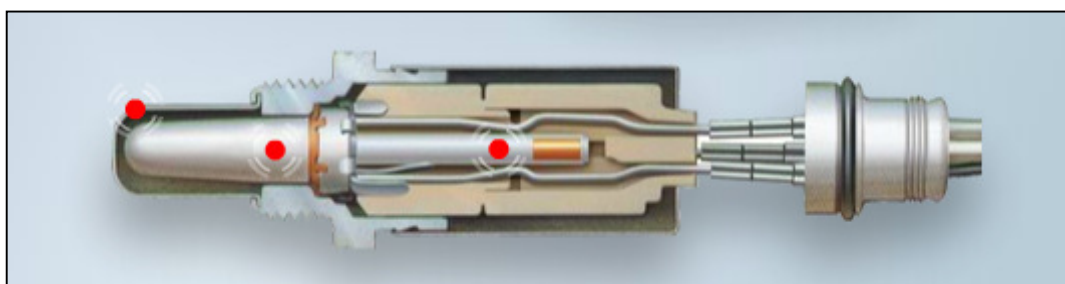


Figura 13 – Elemento cônico. (Fonte: <http://www.boschautoparts.com/oxygensensors/pages/oxygensensordesign.aspx>)

O elemento cônico tem a mesma configuração que o elemento planar, mas as camadas estão em circunferência ao contrário do elemento planar que são camadas retas. Por isso, a área do elemento cônico é maior e requer mais energia para aquecer o elemento.

3.2 TIPO DE SENSOR

3.2.1 Sensor de zircônia



Figura 14 – Sensor de zircônia.
(Fonte: <http://www.ngk-elearning.de/>)

Este tipo de sensor é o mais utilizado. As características deste tipo de sensor estão descritas no item 2 FUNCIONAMENTO desta monografia.

O ponto de ajuste ideal é de aproximadamente 450mV. Se o sinal de tensão estiver abaixo deste valor, a mistura está pobre. Acima deste valor, a mistura está rica. Este sensor apresenta comportamento não linear, isto é, não indica quanto a mistura está rica ou pobre, simplesmente se ela está rica ou pobre. O sensor fica chaveando entre rico e pobre (em inglês é chamado de “switch”). Por haver uma estreita faixa da razão ar-combustível, também é chamado de banda estreita (“narrow-band”).

As duas figuras abaixo ilustram melhor o funcionamento de um sensor de zircônia.

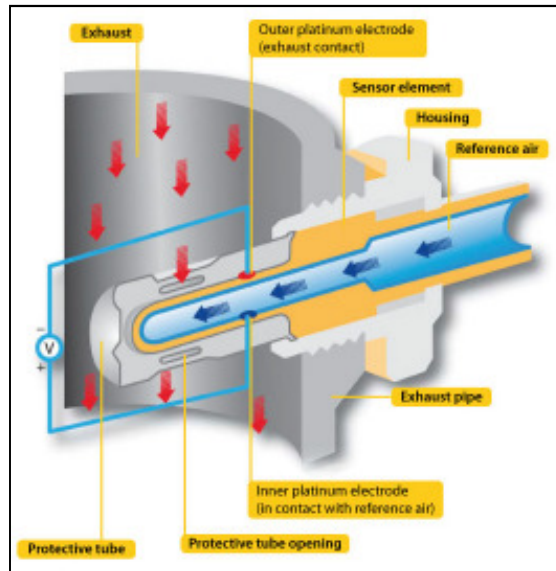


Figura 15 – Funcionamento do sensor de zircônia.
(Fonte: http://www.ngkeurope.com/uploads/tx_templavoila/ntk_arbeitsprinzip_zirkonia_1_en.jpg)

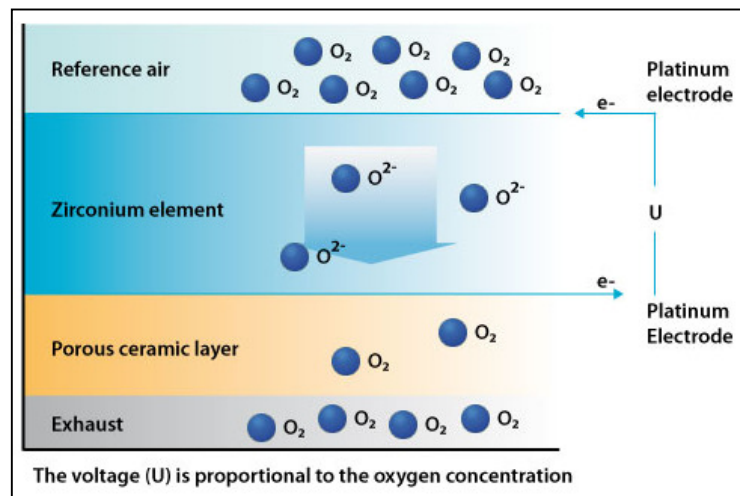


Figura 16 – Funcionamento do sensor de oxigênio. (Fonte: http://www.ngkeurope.com/uploads/tx_templavoila/ntk_arbeitsprinzip_zirkonia_2_en.jpg)

3.2.2 Sensor de titânio



Figura 17 – Sensor de titânio. (Fonte: <http://www.ngk-elearning.de/>)

Este sensor é pouco utilizado em relação ao sensor de zircônia. Neste caso, o elemento cerâmico é feito de dióxido de titânio (titânia). Por ser um semicondutor à base de óxido de titânio, este não gera sua própria tensão, mas muda sua resistência elétrica em resposta à concentração de oxigênio. Quando a mistura é pobre, a resistência é de cerca de 20kOhm e quando a mistura é rica, a resistência é de aproximadamente 1kOhm.

Também é um sensor de banda estreita e possui comportamento não linear (oscilando entre rico e pobre). Mas o tempo de resposta é mais rápido. Por isso, são sensores mais caros. O sensor trabalha com tensão de 5V. A ECM alimenta o sensor com uma corrente elétrica pequena e mede a tensão resultante através do sensor.

Este tipo de sensor não necessita da referência atmosférica como no caso do sensor com óxido de zircônio, tornando-o mais eficaz contra a contaminação da água. Além de que o chicote do sensor e o conector são selados. O ar que vai para o chicote do sensor geralmente vem da ECM que está alojada em um espaço fechado (interior do veículo). É um sensor mais compacto do que o sensor de zircônia.

A resistência de titânio é uma função da pressão parcial de oxigênio. Quando a mistura está rica, a resistência tem valor baixo tornando-se pouco condutiva e quando a mistura está pobre, a resistência tem valor alto tornando-se bastante condutiva. Portanto, quando aplicado tensão no elemento, a tensão de saída varia de acordo com a concentração de oxigênio do ar de

escape. Este sensor trabalha com temperatura de até 700°C, pois acima deste valor o sensor pode ser danificado.

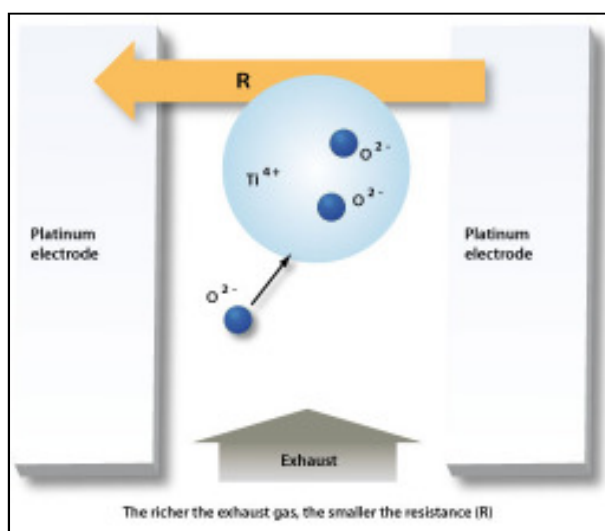


Figura 18 – Funcionamento do sensor de titânio. (Fonte: http://www.ngkeurope.com/uploads/tx_templavoila/ntk_arbeitsprinzip_titania_sonde_en.jpg)

3.2.3 Sensor de zircônia linear



Figura 19– Sensor de zircônia linear. (Fonte: <http://www.ngk-elearning.de/>)

Este tipo de sensor tem sido cada vez mais usado para atender às normas regulamentadoras melhorando a economia de combustível e o desempenho do motor.

Este sensor é do tipo banda larga (“wide-band”). É baseado em um elemento planar de zircônia, mas também incorpora uma bomba de gás eletroquímica. Um circuito eletrônico com realimentação controla a bomba de gás para manter a saída da célula eletroquímica constante, de modo que a corrente da bomba indique diretamente o teor de oxigênio dos gases de escape.

Este sensor não utiliza ciclo pobre e rico como nos sensores de banda estreita. Neste caso, permite que a ECM ajuste o fornecimento de combustível ao motor de maneira muito mais precisa. A resposta que a ECM recebe deste sensor não é somente se a mistura está rica ou pobre e sim o quanto a mistura está rica ou pobre.

Na indústria automobilística este sensor também é chamado de UEGO sensor (sensor de oxigênio universal dos gases de escape). O sensor é usado em sistemas de injeção estratificada de combustível e também pode ser usado em motores diesel para atender o EURO e os limites de emissão ULEV.

O esquema de ligações para o sensor de banda larga normalmente tem seis fios: dois fios para o aquecimento resistivo, um fio para o sinal de saída, um fio para a bomba de gás eletroquímica e dois para a calibração do resistor.

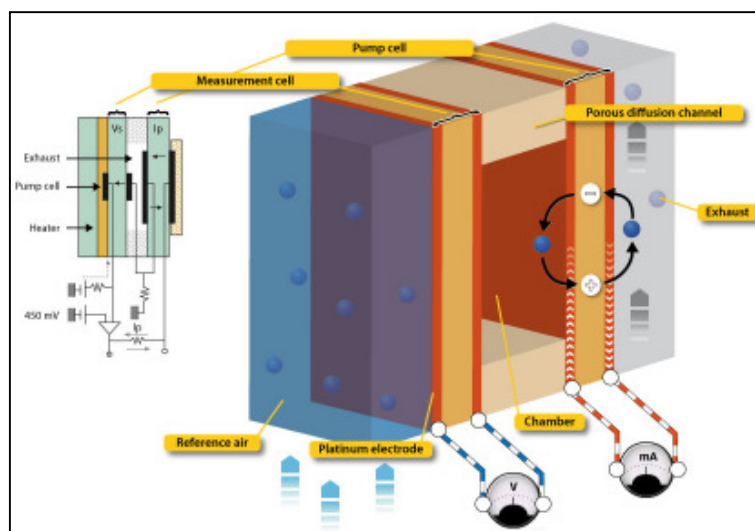


Figura 20 – Funcionamento do sensor de zircônia linear. (Fonte: http://www.ngkeurope.com/uploads/tx_templavoila/ntk_breitbandlambdasonde_raeumliche_darstellung_en.jpg)

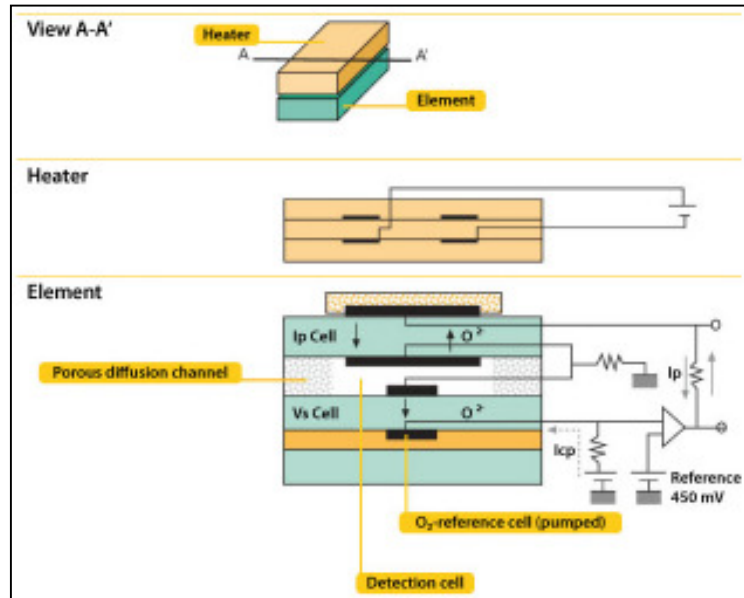


Figura 21 – Funcionamento do sensor de zircônia linear. (Fonte: http://www.ngkeurope.com/uploads/tx_templavoila/ntk_breitband-lambdasonde_querschnitt_planares_element_en.jpg)

3.3 TUBO DE PROTEÇÃO

Para proteger o sensor de intrusão de água ou outras substâncias, é necessário adicionar um tubo de proteção ao redor do elemento do sensor. Esta proteção deve ter orifícios suficientemente pequenos para não deixar entrar nenhum líquido ou partículas, mas grande o suficiente para o ar entrar e levar o oxigênio até as camadas dos elementos. Para veículos à gasolina, normalmente o tubo de proteção do sensor é duplo e para o diesel, o tubo de proteção é triplo. Seguem alguns exemplos de tubo de proteção:

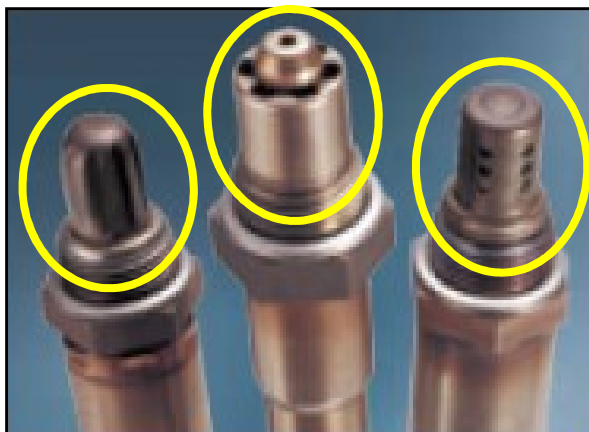


Figura 22 – Tubo de proteção. (Fonte: http://www.boschautoparts.com/oxygensensors/documents/221241_O2ConBro08.pdf)

3.4 ANTI ADERENTE (ANTISEIZE)

O sensor de oxigênio fica localizado no coletor de escape ou no tubo de escape. Nestes locais a temperatura é muito alta devido aos gases de escape da combustão. À alta temperatura, o sensor instalado no coletor ou tubo de escape pode se fundir ao coletor ou ao tubo de escape dificultando a remoção do sensor.

Para não ocorrer este problema, é necessário adicionar um anti aderente na rosca no sensor. Este anti aderente é constituído de materiais que toleram alta temperatura e o tipo de material vai depender de cada fabricante.

Sempre que for necessário fazer manutenção do sensor, é recomendável aplicar outra camada de anti aderente antes da instalação do mesmo.



Figura 23 – Anti aderente. (Fonte: <http://www.napaechlin.com/Miscellaneous-02%20Sensor%20Tips/Content.aspx>)

3.5 CONECTOR

3.5.1 Cabo do sensor

O cabo do sensor é um cabo especial para altas temperaturas. Mas só esta proteção não é suficiente contra alta temperatura e choque mecânico. É necessário revestir os cabos com uma luva de proteção térmica e mecânica. A proteção térmica protege o cabo contra alta temperatura pois a rota do cabo é feita ao redor do motor. A proteção mecânica protege o cabo das superfícies ásperas e cortantes que possam entrar em contato com os cabos e danificá-los.

Sensor de oxigênio sem a luva protetora nos fios:



Figura 24 – Sensor de oxigênio sem luva protetora. (Fonte: <http://networkcable-tester.com/2011/01/17/cat-5-wiring-2/>)

Sensor de oxigênio com a luva protetora nos fios:



Figura 25 – Sensor de oxigênio com luva protetora. (Fonte: <http://www.dicasmecanicas.com/2010/05/sonda-lambda-sensor-oxigenio/>)

3.5.2 Selo de proteção

Para proteger o sensor da intrusão de água ou qualquer outro tipo de substâncias (poeira, óleo, fluido de arrefecimento, fluido hidráulico ou de freio), o conector do sensor possui selo de

proteção não só no conector, mas também nos cabos como pode ser observado na figura abaixo:

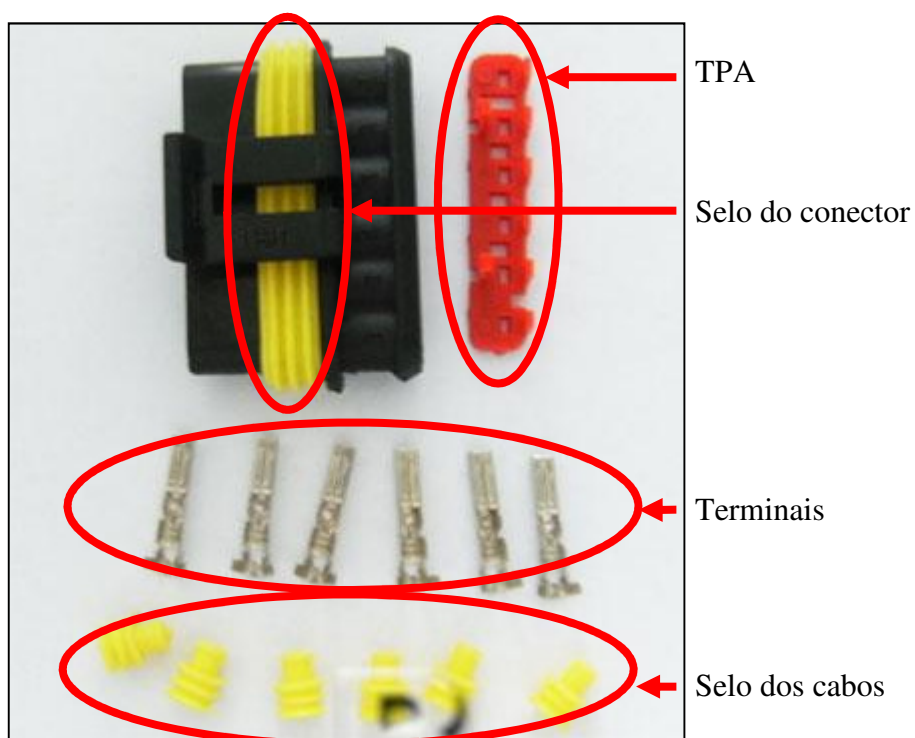


Figura 26 – Selo de proteção. (Fonte: <http://www.electrical-picture.com/weatherproof-automotive-connectors/>)

Os terminais do cabo podem ter diferentes tipos de material. Os mais usados são os terminais de ouro, prata ou estanho. O terminal de ouro tem maior condutividade que os demais, por exemplo, para pequenas variações de tensão do sinal de saída do sensor de oxigênio, o terminal de ouro evitará que o sinal seja prejudicado por interferência. Mas este tipo de terminal é mais caro que os demais.

Os terminais de prata e estanho tem acabamento superficial para evitar mal contato devido à corrosão. No caso de corrosão presente nos terminais, o sinal de saída do sensor sofre distorção enviando um sinal errôneo para a ECM.

TPA (Terminal Position Assurance) é um protetor que é inserido depois dos terminais para prevenir que os terminais se desloquem (terminais retraídos).

4 LOCALIZAÇÃO

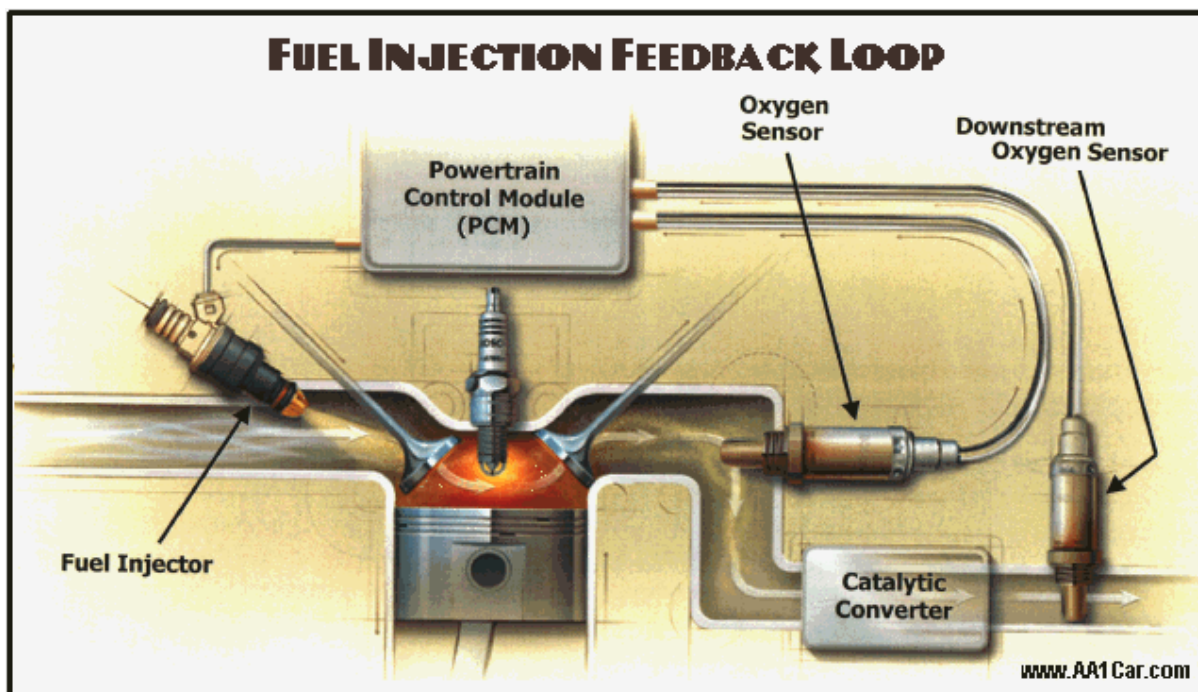


Figura 27 – Localização do sensor de oxigênio. (Fonte: <http://www.aa1car.com/library/o2sensor.htm>)

Os sensores localizam-se antes e depois do conversor catalítico, sendo que geralmente o primeiro sensor fica no coletor de escape próximo à saída dos gases de motor para que seu aquecimento seja mais rápido, e o segundo fica no tubo de escape, após o conversor catalítico.

Isto porque o veículo pode ter somente um seguimento de cilindros (chamado banco 1) ou 2 seguimentos de cilindros (chamado banco 2), e dois ou três sensores de oxigênio por banco. Algumas configurações encontradas nos veículos podem ser observadas abaixo:

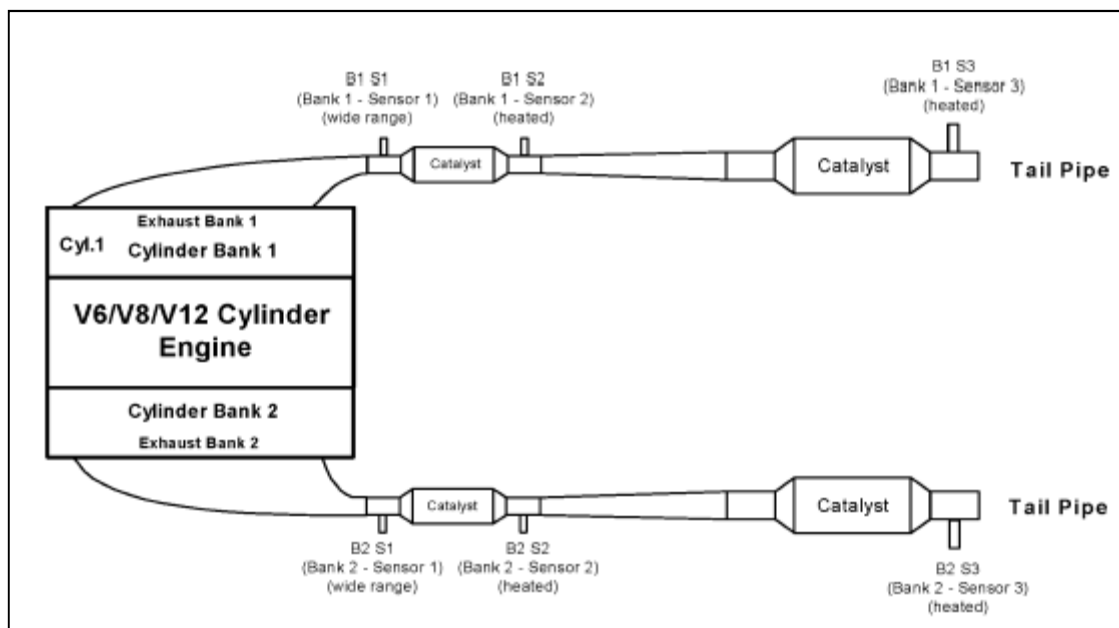


Figura 28 – Configurações para instalação do sensor de oxigênio. (Fonte: <http://www.audi-sport.net/vb/a3-s3-forum-8l-chassis/107915-lambda-sensor-intermittent-fault-code.html>)

Para o sensor funcionar corretamente, a instalação deve ser realizada tomando alguns cuidados e seguindo as recomendações feitas pelos fornecedores.

O sensor não deve ser instalado perto de locais onde possa acumular água pois os respingos provenientes deste acúmulo de água podem entrar em contato com o elemento e danificá-lo. Isso inclui projetar as bossas onde o sensor será instalado sem barreiras para não acumular água em seu interior.

O sensor não pode ficar apontado para o fluxo do gás de escape pois as partículas do gás ficam com fácil acesso ao elemento do sensor podendo contaminá-lo. A instalação deve ser feita em locais onde o fluxo que irá encontrar o sensor esteja perpendicular ao sensor. Isto é, não deve ser instalado em locais curvos. Outro detalhe é que o sensor deve estar posicionado bem no meio do fluxo, assim o sinal enviado à ECM será coerente.

O torque de aperto necessário deve ser de aproximadamente 40N e deve seguir os parâmetros do fornecedor, pois depende da quantidade de anti aderente usado, tipo de rosca, etc. Isto deve ser seguido porque se o torque aplicado estiver abaixo do solicitado, o ar do gás de escape pode entrar no sensor contaminando-o, e, se o torque estiver acima do solicitado, poderá danificar a rosca ou o sextavado.

Ao instalar o sensor, evitar choques mecânicos para não danificar o elemento e não remover o anti aderente da rosca.

O sensor deve ser fixado com a ferramenta correta para não torcionar o chicote. E deve ser preso com clips ao longo de seu comprimento evitando que fique solto ou esticado. Isto também evita alta vibração no chicote. O chicote não deve ser perfurado ou reparado para evitar infiltração de água.



Figura 29 – Ferramenta correta para a instalação do sensor de oxigênio. (Fonte: <http://www.motorcycle-superstore.com/3/14/568/25564/DPITEM/Cr uiser-Motorcycle-Engine-Tools-Jims-Oxygen-Sensor-Socket-Tool.aspx>)

Não é necessário a troca do sensor de oxigênio, somente quando a ECM indicar falha através da lâmpada de mal funcionamento. Neste caso, o recomendado é a troca de todo o sensor (sensor + cabo + conector) e não somente partes do sensor e deve ser feito por pessoas especializadas.

A troca deve ser por um sensor da mesma marca e mesmo modelo, pois cada fornecedor tem suas características e a calibração do sensor é diferente de um modelo para outro.

5 TIPO DE FALHAS

O sensor é submetido a alta temperatura, produtos químicos agressivos e vibração devido ao posicionamento de instalação do sensor. Isso gera desgaste, envelhecimento e consequentemente falha do sensor.

Há vários tipos de falha que podem ocorrer em um sensor de oxigênio podendo localizar-se no elemento ou no sensor.

Um tipo de falha no elemento é o acúmulo de fuligem que prolonga seu tempo de resposta por formar uma camada não porosa no elemento impedindo o oxigênio de transitar entre as camadas do elemento.

Quando é adicionado um aditivo para a gasolina chamado metilenopentadienil manganês tricarbonil (MMT), o manganês deposita-se na ponta do elemento formando uma barreira para o oxigênio não permitindo a troca de íons tanto para fora como para dentro do elemento. Normalmente estes sensores tem as pontas avermelhadas. Este aditivo pode prejudicar também o catalisador e o bico de injeção.

Outra causa comum de falha é a contaminação do combustível com silicones (usado em algumas vedações e graxas) ou silicatos (usados como inibidores de corrosão em alguns anticongelantes). Neste caso, os depósitos no sensor são coloridos entre cinza claro brilhante e granulado.

Vazamentos de óleo no motor podem cobrir a ponta do sensor com um depósito de óleo preto podendo causar danos ao sinal de saída do sensor.

Contaminação externa de óleo:



Figura 30 – Contaminação externa de óleo.

(Fonte:

<http://www.boschautoparts.com/Technical%20Resources/Oxygen%20/O2SensorFaces.pdf>)

Contaminação de óleo interna:



Figura 31 – Contaminação de óleo interna.

(Fonte:

<http://www.boschautoparts.com/Technical%20Resources/Oxygen%20/O2SensorFaces.pdf>)

Contaminação de combustível:



Figura 32 – Contaminação por combustível.
(Fonte:
<http://www.boschautoparts.com/Technical%20Resources/Oxygen%20/O2SensorFaces.pdf>)



Figura 33 – Contaminação por combustível.
(Fonte:
<http://www.boschautoparts.com/Technical%20Resources/Oxygen%20/O2SensorFaces.pdf>)

Contaminação por água (água + etileno glicol):



Figura 34 – Contaminação por água. (Fonte: <http://www.boschautoparts.com/Technical%20Resources/Oxygen%20/O2SensorFaces.pdf>)

Elemento com depósito de carbono devido à mistura muito rica, desgaste do motor e válvulas ou vazamento no sistema de escape pois o carbono bloqueia as aberturas do tubo de proteção impedindo seu funcionamento:



Figura 35 – Contaminação por depósito de carbono. (Fonte: <http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/diagnosis/defects/>)

Depósitos branco ou cinza indicam que aditivos de combustível foram utilizados ou o óleo foi queimado:

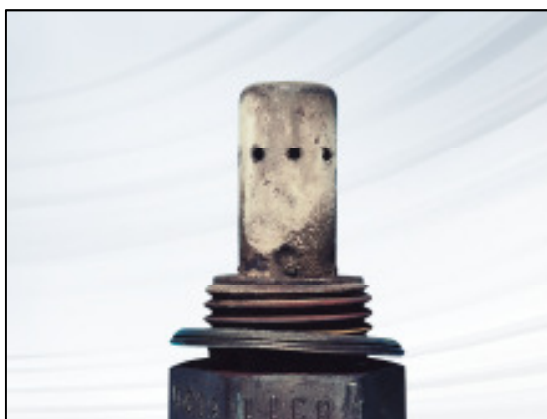


Figura 36 – Contaminação por aditivo. (Fonte: <http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/diagnosis/defects/>)



Figura 37 – Contaminação por aditivo. (Fonte: <http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/diagnosis/defects/>)

Há também as falhas devido à incorreta instalação do sensor, seja mal posicionado ou mal instalado, como sensor dobrado:

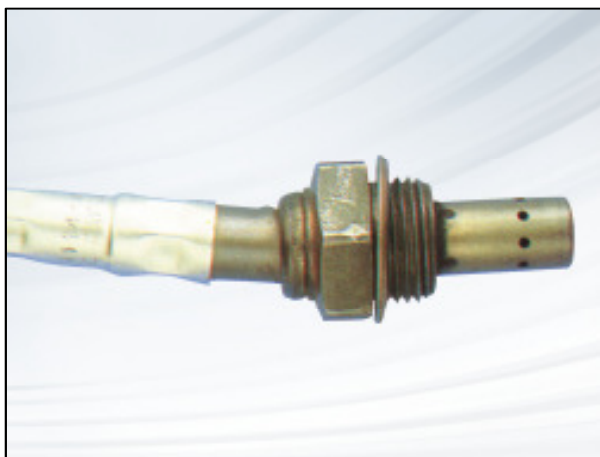


Figura 38 - Sensor dobrado. (Fonte: <http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/diagnosis/defects/>)

Cabo ou conector derretido por entrar em contato com o sistema de exaustão:



Figura 39 – Cabo ou conector derretido. (Fonte: <http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/diagnosis/defects/>)

Quando há intrusão de água no conector, pode provocar corrosão nos contatos:

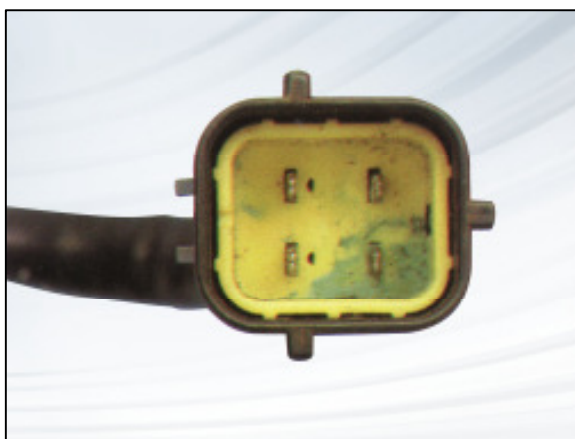


Figura 40 – Conector enferrujado. (Fonte: <http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/diagnosis/defects/>)

Cabos quebrados ou desgastados porque na hora de retirar o sensor, ou não foi utilizada a ferramenta correta ou o sensor foi retirado puxando indevidamente o cabo:

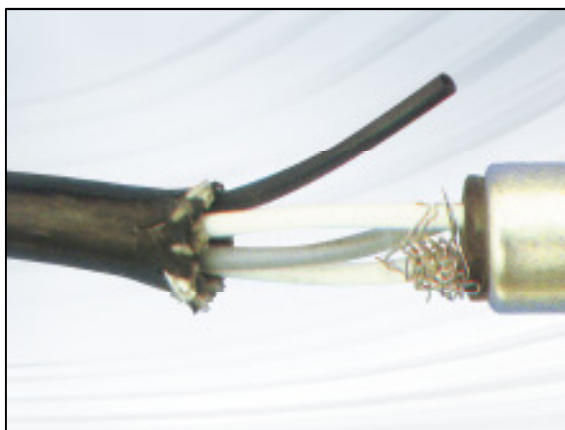


Figura 41 – Cabos quebrados ou desgastados.
(Fonte: <http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/diagnosis/defects/>)

Se instalado com muita força, o selo do cabo pode se soltar deixando fácil acesso para a água penetrar:

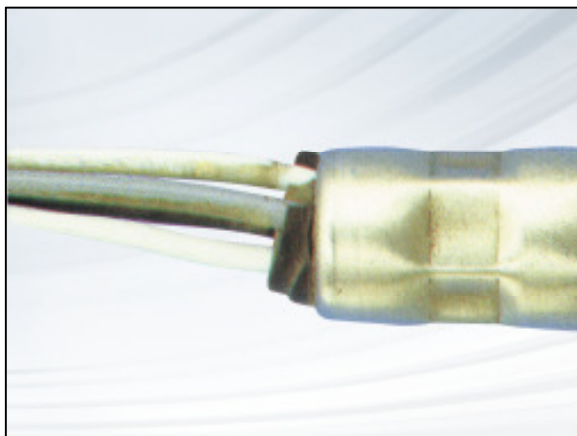


Figura 42 – Selo do cabo solto. (Fonte: <http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/diagnosis/defects/>)

6 CALIBRAÇÃO, VALIDAÇÃO E DIAGNOSE

6.1 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

Os sensores de oxigênio tem características diferentes uns dos outros, como tempo de resposta, tempo e potência de aquecimento, e assim por diante. Para o resto do veículo não é diferente. Cada componente do veículo tem seus requisitos a serem cumpridos e quando juntamos todos eles, temos que garantir a comunicação entre eles, com suas diferentes funcionalidades e com parâmetros corretos.

Por este motivo, é necessário a calibração de todos os componentes que integram um veículo. A calibração deve obedecer às especificações técnicas do fornecedor para cada um. Depois de calibrado cada componente, estes são submetidos a diversos testes e validações tanto no componente como no veículo. Os testes realizados são testes de vibração, térmicos, mecânicos, de durabilidade, corrosão, condutividade, etc. Cada componente tem testes específicos para sua função e os testes também são diferentes para cada fase do desenvolvimento. Isto é, teste para calibração de emissões, diagnose e validação.

Se todos os testes forem aprovados e validados, o veículo recebe a certificação de que o veículo está autorizado a ser vendido pois obedece a todas as leis relacionadas à emissão de gases poluentes, segurança veicular, e outras leis próprias de cada país.

No caso do sensor de oxigênio, os testes que devem ser realizados são o teste de estanqueidade sob pressão (utilizado para checar se há vazamento no sensor), teste de contaminação de silicone, jato de água com sal (contra corrosão) e sem sal (contra inserção de água), imersão em água, light-off, heater turn-on time, performance do aquecedor do elemento, teste de continuidade (em circuito aberto), teste de durabilidade em veículo.

O teste de EMC (ElectroMagnetic Compatibility) checa se existe interferência eletromagnética que possa interromper ou alterar o sinal do sensor, já que o sensor tem sinal relativamente baixo.

Outros testes como vibração, térmico, mecânico checam se o sensor está robusto o suficiente para enviar o sinal com performance. O teste de choque térmico é muito importante para o sensor de oxigênio devido à intrusão de água no elemento aquecido que podendo trincá-lo.

O teste de AFIM (Air Fuel Imbalance Monitoring) é uma simulação que monitora a mistura ar-combustível de uma combustão de um motor e seus cilindros. Este método utiliza o modelo do sensor de oxigênio e faz leituras dos cilindros a uma frequência maior que a frequência de queima do cilindros. Com as informações de qual cilindro está sendo disparado e o valor medido no sensor de oxigênio, é possível estabelecer com precisão qual cilindro está apresentando problema de desequilíbrio na queima.

Este teste será utilizado mais tarde para o software da ECM fazer o controle da mistura ar-combustível em cada cilindro pois sabendo o comprimento dos coletores de escape e a mistura resultado da combustão de cada cilindro, é possível balancear o combustível de cada bico injetor para obter melhor controle na emissão dos gases de escape. Este controle é chamado ICFC (Individual Cylinder Fuel Control).

6.2 DIAGNOSE

A função da diagnose é garantir o correto funcionamento dos componentes, alertando o usuário do problema e prevenindo maiores danos ao motor ou ao meio-ambiente (causado pelo aumento do nível de emissões). Para isso, o software da ECM tem um complexo cálculo para garantir que todos os componentes do motor estejam trabalhando corretamente. A taxa de aquisição irá depender da estratégia de software utilizada bem como do tempo de resposta de cada sensor.

Dentro da rotina do software da ECM, existem loops onde vários parâmetros são checados, por exemplo, se o motor está ligado, qual é a temperatura da água do motor, qual é a temperatura e pressão do ar de admissão, etc.

Quando algum componente não está dentro dos parâmetros pré-estabelecidos, a ECM registra um código de falha chamado DTC (Diagnostic Trouble Code, ou código de falha) que pode acender a lâmpada indicadora de mal funcionamento no painel do veículo se for diagnosticado um problema relacionado às emissões dos gases de escape. Esta lâmpada também é chamada de LIM.

Alguns exemplos de diagnose elétrica são curto para a bateria, curto para o terra e circuito aberto. Há também a diagnose de plausibilidade onde são diagnosticados problemas de insuficiência de transição rico-pobre / pobre-rico, tempo de resposta, inatividade do sensor, sensor travado, etc., tanto do circuito do sensor como do aquecedor.

Geralmente, a norma ISO 15031 é utilizada como referência para a definição do número destes códigos de falha, como nos exemplos abaixo:

Tabela 6 - DTCs de sensor de oxigênio

DTC number	DTC naming	Location
0151	O2 Sensor Circuit Low Voltage	Bank 2 Sensor 1
P0152	O2 Sensor Circuit High Voltage	Bank 2 Sensor 1
P0153	O2 Sensor Circuit Slow Response	Bank 2 Sensor 1
P0154	O2 Sensor Circuit No Activity Detected	Bank 2 Sensor 1
P0155	O2 Sensor Heater Circuit	Bank 2 Sensor 1
P0156	O2 Sensor Circuit	Bank 2 Sensor 2
P0157	O2 Sensor Circuit Low Voltage	Bank 2 Sensor 2

P0158	O2 Sensor Circuit High Voltage	Bank 2 Sensor 2
P0159	O2 Sensor Circuit Slow Response	Bank 2 Sensor 2
P0160	O2 Sensor Circuit No Activity Detected	Bank 2 Sensor 2
P0161	O2 Sensor Heater Circuit	Bank 2 Sensor 2
P0162	O2 Sensor Circuit	Bank 2 Sensor 3
P0163	O2 Sensor Circuit Low Voltage	Bank 2 Sensor 3
P0164	O2 Sensor Circuit High Voltage	Bank 2 Sensor 3
P0165	O2 Sensor Circuit Slow Response	Bank 2 Sensor 3
P0166	O2 Sensor Circuit No Activity Detected	Bank 2 Sensor 3
P0167	O2 Sensor Heater Circuit	Bank 2 Sensor 3

P0420	Catalyst System Efficiency Below Bank 1 Threshold
--------------	--

(Fonte: TABELA ISO15031-6)

Os DTCs baseiam-se na norma OBD (On Board Diagnostics) que regula o que deve ser monitorado para atender os níveis de emissões do gás escape.

O sistema de diagnóstico foi iniciado pelo OBD-I em 1982, monitorando apenas o sensor de oxigênio, ECM, sistema de exaustão e sistema de injeção. Não havia padrão para os requisitos de diferentes marcas e modelos de veículos. Também não havia padrão para a ferramenta de aquisição dos dados da ECM, para protocolos eletrônicos e terminologias e nem para os DTCs.

Não era possível detectar problemas com o conversor catalítico, problemas de falha na ignição e emissão dos gases de exaustão. A lâmpada de indicação de mal funcionamento era acessa quando a falha já tinha ocorrido e não havia como monitorar a deterioração dos componentes de emissões.

O OBD-II iniciou-se em 1989 na Califórnia quando o Conselho do meio ambiente da Califórnia (CARB - California Air Resources Board) passou a desenvolver regulamentações que exigiam que todos os carros vendidos a partir de 1989 deveriam ter o sistema de diagnóstico para detectar falhas de emissões. As novas padronizações passaram a vigorar em 1994 exigindo que até 1996 todas as montadoras obedecessem as novas regulações na Califórnia e em 49 estados dos Estados Unidos.

Para níveis de emissões mais elaborados como OBD-II, foi necessário instalar o sensor de forma que a identificação do gás de cada cilindro fosse verificada independentemente.

Também foi necessário aumentar o número de sensores de oxigênio, que passou de um para dois sensores de oxigênio, no mínimo, para que o segundo sensor monitore a eficiência do conversor catalítico, como pode ser observado na figura 42, abaixo:

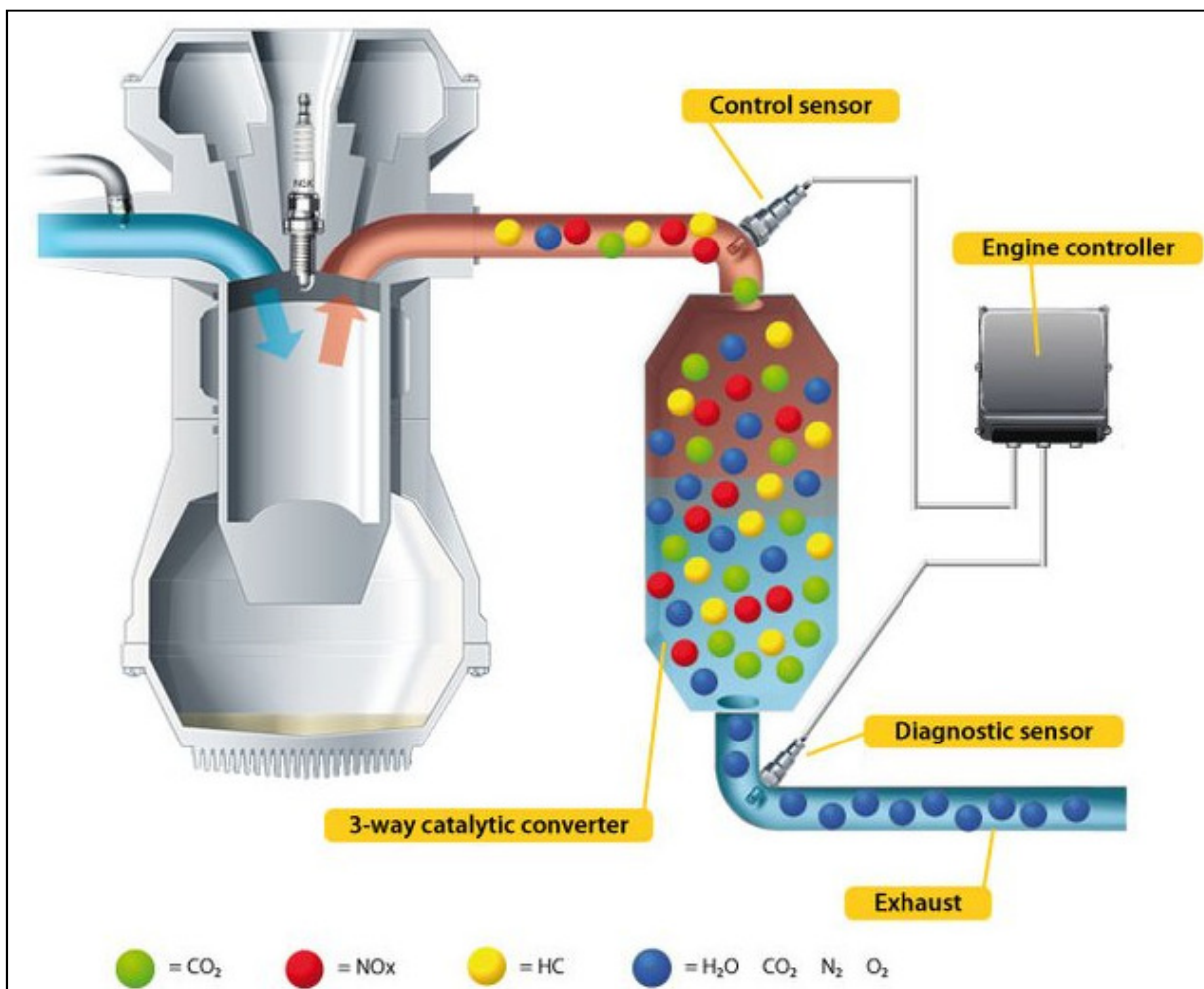


Figura 43 – Diagnóstico para a eficiência do conversor catalítico. (Fonte: <http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/basic-exhaust-principles/the-lambda-control-circuit/>)

Para a realização das atividades de diagnose, são solicitados alguns sensores especiais que servem para analisar o comportamento do sensor em condições extremas de uso garantindo seu bom funcionamento.

Um exemplo desses sensores é o sensor de oxigênio envelhecido. Este sensor tem a mesma função de um sensor normal. A diferença, como o próprio nome diz, é que o mesmo é submetido a um contínuo funcionamento em um aparelho chamado dinamômetro durante um

grande período de tempo. Este período vai depender de quantos quilômetros o teste solicita de acordo com o OBD.

Há testes que necessitam de sensores envelhecidos equivalentes a 80000km rodados em veículo, outros com 160000km, etc. Quando um sensor está envelhecido, o tempo de resposta fica mais lento ou com amplitude menor podendo não ser lido pela ECM. Quando isto acontece, a ECM registra um código de falha em sua memória e ativa uma estratégia de proteção, geralmente assumindo mistura rica para garantir o funcionamento do motor. Consequentemente o consumo de combustível aumenta e a emissão de poluentes também. Por isso a importância da calibração de diagnóstico dos sensores de oxigênio.

Outros tipos de sensores especiais são o sensor de oxigênio com resistência nominal, mínima ou máxima, sensores com termopares instalados e com tempo de resposta limite, tanto na transição rico-pobre como na transição pobre-rico.

7 REFERÊNCIAS

Bosch – Oxygen Sensor Presentation

GM – Oxygen Sensor Overview for Airflow and Combustion Analysis Group

GM – Oxygen sensor Element Presentation

Patente US7802563. **Air/Fuel Imbalance Monitor Using an Oxygen Sensor.**

Wikipedia. **Oxygen Sensor.** Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen_sensor>. Acesso em: 26 de dezembro de 2011.

AutohausAZ. **Oxygen Sensors Are a Critical Key to Passing Emissions.** Disponível em: <http://www.autohausaz.com/html/emissions-oxygen_sensors.html>. Acesso em: 26 de dezembro de 2011.

AA1Car. **Understanding Onboard Diagnostics OBDII: Past, Present & Future.** Disponível em: <<http://www.aa1car.com/library/us796obd.htm>>. Acesso em: 26 de dezembro de 2011.

AA1Car. Oxygen Sensor: How to Diagnose and Replace. Disponível em: <<http://www.aa1car.com/library/o2sensor.htm>>. Acesso em: 25 de janeiro de 2012.

Delphi. Worldwide Emissions Standards. Disponível em: <<http://www.dsavvidis.gr/Educational%20material/LDV.pdf>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2012.

SAE. **Individual Cylinder Fuel Control with a Switching Oxygen Sensor.** Disponível em: <http://96.0.50.31/files/Individual_Cylinder_Fuel_Control.pdf>. Acesso em: 28 de dezembro de 2011.

NGK. **Lambda Sensors.** Disponível em: <<http://www.ngkeurope.com/en/products-technologies/lambda-sensors/>>. Acesso em: 7 de janeiro de 2012.

Bosch. **Oxygen Sensors.** Disponível em: <<http://wbo2.com/lsu/oxygen13-17.pdf>>. Acesso em: 28 de janeiro de 2012.

Turbo Saturn. **Oxygen Sensors.** Disponível em: <<http://www.scottjsousa.com/tsn/articles/oxygenSensors.htm>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2012.

Ford Scorpio. **Catalyst Monitor.** Disponível em: <<http://www.fordscorpio.co.uk/catmonitor.htm>>. Acesso em: 28 de dezembro de 2011.

Bosch. **Oxygen Sensor Design.** Disponível em: <<http://www.boschautoparts.com/oxygensensors/pages/oxygensensordesign.aspx>>. Acesso em: 28 de dezembro de 2011.

NGK. **Effects of a defective lambda sensor.** Disponível em: <<http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/diagnosis/effects-of-a-defective-lambda-sensor/>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2012.

NGK. **E-larning.** Disponível em: <<http://www.ngk-elearning.de/>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2012.

NGK. **Zirconium dioxide lambda sensor.** Disponível em: <<http://www.ngkeurope.com/en/products-technologies/lambda-sensors/lambda-sensor-technologies/zirconium-dioxide-lambda-sensor/>>. Acesso em: 29 de janeiro de 2012.

NGK. **Titanium dioxide lambda sensor.** Disponível em: <<http://www.ngkeurope.com/en/products-technologies/lambda-sensors/lambda-sensor-technologies/titanium-dioxide-lambda-sensor/>>. Acesso em: 29 de janeiro de 2012.

NGK. **Broadband lambda sensor.** Disponível em: <<http://www.ngkeurope.com/en/products-technologies/lambda-sensors/lambda-sensor-technologies/broadband-lambda-sensor/>>. Acesso em: 29 de janeiro de 2012.

IVECO. **O que é o Proconve P7?** Disponível em: <<http://www.blogiveco.com.br/2011/10/o-que-e-o-proconve-p7/>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2012.

NAPA ECHLIN. **O2 Sensor Tips.** Disponível em: <<http://www.napaechlin.com/Miscellaneous-02%20Sensor%20Tips/Content.aspx>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2012.

Network Cable Tester. **Bosch O2 Oxugen Sensor**. Disponível em: <<http://networkcable-tester.com/2011/01/17/cat-5-wiring-2/>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2012.

Dicas Mecânicas. **Sonda lambda ou Sensor de Oxigênio, Saiba mais**. Disponível em: <<http://www.dicasmecanicas.com/2010/05/sonda-lambda-sensor-oxigenio/>>. Acesso em: 29 de janeiro de 2012.

Electrical. **Automotive connectors**. Disponível em: <<http://www.electrical-picture.com/weatherproof-automotive-connectors/>>. Acesso em: 28 de janeiro de 2012.

Audi-sport. **Lambda sensor intermittent falut code**. Disponível em: <<http://www.audi-sport.net/vb/a3-s3-forum-8l-chassis/107915-lambda-sensor-intermittent-fault-code.html>>. Acesso em: 29 de janeiro de 2012.

Motorcycle Superstore. **Oxygen Sensor Socket Tool**. Disponível em: <<http://www.motorcycle-superstore.com/3/14/568/25564/DPITEM/Cruiser-Motorcycle-Engine-Tools-Jims-Oxygen-Sensor-Socket-Tool.aspx>>. Acesso em: 29 de janeiro de 2012.

NGK. **Damage patterns on lambda sensors**. Disponível em: <<http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/diagnosis/defects/>>. Acesso em: 27 de janeiro de 2012.

Bosch. **Detecting oxygen sensor faults and dealing with them**. Disponível em: <http://www.boschautoparts.com/Technical%20Resources/Oxygen%20Sensors/BoschTips_faultyO2.pdf>. Acesso em: 27 de janeiro de 2012.

NGK. **The lambda control circuit**. Disponível em: <<http://www.ngkeurope.com/en/technology-in-detail/lambda-sensors/basic-exhaust-principles/the-lambda-control-circuit/>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2012.