

N. CLASS.	M629.2 538
CUTTER	C.268b
ANO/EDIÇÃO	2015

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**LUIZ ALBERTO DUTRA CARDOSO**

**FUNCIONAMENTO DE UM CATALISADOR AUTOMOTIVO: e sua importância na  
redução de poluentes, resultantes da queima dos combustíveis Gasolina e Etanol.**

**Varginha**

**2015**

**LUIZ ALBERTO DUTRA CARDOSO**

**FUNCIONAMENTO DE UM CATALISADOR AUTOMOTIVO: e sua importância na redução de poluentes, resultantes da queima dos combustíveis Gasolina e Etanol.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Esp. Thiago Luiz Nogueira Silva.

**Varginha**

**2015**

**LUIZ ALBERTO DUTRA CARDOSO**

**FUNCIONAMENTO DE UM CATALISADOR AUTOMOTIVO: e sua importância na redução de poluentes, resultantes da queima dos combustíveis Gasolina e Etanol.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

---

Prof. Ms Alexandre Oliveira Lopes

---

Prof. Esp. Adilene Maria Soares Tirelli

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me dar saúde e força para cumprir essa trajetória. A minha família, pelo apoio e paciência durante esta caminhada. Aos meus colegas de sala, e professores pela sabedoria em transmitir o conhecimento necessário para realização deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela realização de um sonho, não posso esquecer da minha esposa que sempre me apoio mesmo nas horas em que pensei em parar, ao Pastor Marcos por sempre esta orando por mim.

"Procure ser um homem de valor, em vez de ser um homem de sucesso." Albert Einstein

**Grupo Educacional UNIS**

## RESUMO

A utilização de combustíveis fósseis como gasolina diesel dentre outros, liberam energia térmica resultante de uma reação química de combustão, e tem como produtos alguns gases advindos da queima dos combustíveis. Como as combustões são incompletas, há a emissão de hidrocarbonetos; monóxido de carbono; além de enxofre e nitrogênio. A formação desses produtos tem um impacto muito grande na saúde humana, e no meio ambiente afetando a qualidade do ar que respiramos. A utilização de catalisadores nos automóveis é de extrema importância para redução da emissão de tais poluentes, garantindo a qualidade do ar nas grandes e pequenas cidades, bem como no equilíbrio socioambiental.

**Palavras-chave:** Catalisador. Meio ambiente.

## **ABSTRACT**

*The use of fossil fuels such as diesel fuel, among others, release thermal energy result of a chemical reaction of combustion, that has as products some gases from combustion of fuels. In the incomplete combustion, there is emission of hydrocarbons; carbon monoxide; sulfur and nitrogen. The formation of these products have a great impact on human health and the environment, affecting the quality of the air we breathe. The use of catalytic converters on cars is extremely important to reducing the emission of such pollutants, ensuring air quality in large and small towns, and the environmental balance.*

**Keywords:** *Catalyst. Environment.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Primeiro motor no sistema Otto de combustão .....	13
Figura 02 – Ciclo de funcionamento de um motor quatro tempos .....	13
Figura 03 – Central eletrônica de injeção de combustível.....	14
Figura 04 – Medidor de fluxo de ar.....	15
Figura 05 – Válvula injetora de combustível.....	17
Figura 06 – Sistema de alimentação de combustível – PFI e GDI Cilo otto.....	18
Figura 07 – Sistema Mono Point.....	18
Figura 08 – Sistema Mult point.....	18
Figura 09 – Variação da composição dos gases .....	18
Figura 10 – Janela de eficiência do catalisador .....	18
Figura 11 – Catalisador automotivo e seus componentes.....	18
Figura 12 – Localização e funcionamento da sonda lambda.....	18
Figura 13 – Gráfico de análise de mistura.....	18
Figura 14 – Sonda não aquecida.....	18
Figura 15 – Sonda lambda três fios .....	18
Figura 16 – Sonda lambda aquecida de quatro fios.....	18
Figura 17 – Sonda lambda planar .....	18
Figura 18 – Sonda planar de banda larga .....	18
Figura 19 – Sonda universal .....	18
Figura 20 – Estrutura Finger sonda lambda.....	18
Figura 21 – Estrutura planar da sonda lambda .....	18

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 MOTOR CICLO OTTO.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 HISTÓRIA DO MOTOR CICLO OTTO.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 CICLO DE TRABALHO MOTORES OTTO QUATRO TEMPOS.....</b>	<b>14</b>
2.2.1 Admissão.....	15
2.2.2 Compressão.....	15
2.2.3 Explosão.....	15
2.2.4 Escape.....	15
<b>2.3 HISTÓRIA DA INJEÇÃO ELETRÔNICA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO CICLO OTTO.....</b>	<b>17</b>
2.4.1 Sistema mono point.....	18
2.4.2 Sistema multi point.....	19
<b>2.5 EMISSÕES DE GASES PELO ESCAPE.....</b>	<b>19</b>
2.5.1 Monóxido de carbono (CO).....	20
2.5.2 Óxidos de nitrogênio (NOx).....	20
2.5.3 Hidrocarbonetos (HC).....	20
2.5.4 Aldeídos.....	20
<b>2.6 TIPOS DE MISTURA AR-COMBUSTIVEL.....</b>	<b>21</b>
2.6.1 Limite pobre.....	22
2.6.2 Mistura econômica.....	22
2.6.3 Mistura de máxima potência.....	22
2.6.4 Limite rico.....	23
<b>2.7 CONTROLE DAS EMISSÕES DE GASES.....</b>	<b>23</b>
<b>2.8 CATALISADOR AUTOMOTIVO.....</b>	<b>24</b>
2.8.1 Catalisador três vias (Three way).....	25
2.8.2. Catalisador duas vias (Two way).....	25
<b>2.9 SONDA LAMBDA.....</b>	<b>25</b>
2.9.1 Funcionamento da sonda lambda.....	26
2.9.2 Misturas reconhecidas pela sonda lambda.....	26
2.9.3 Sonda lambda não aquecida.....	27
2.9.4 Sonda lambda de três fios.....	27
2.9.5 Sonda lambda aquecida de quatro fios.....	28
2.9.6 Sonda lambda planar.....	28
2.9.7 Sonda planares de banda larga.....	29
2.9.8 Sondas lambdas universais.....	29

<b>3 ESTRUTURA DA SONDA LAMBDA.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Estrutura Finger.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Estrutura Planar.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 COMBUSTIVEIS UTILIZADOS NOS MOTORES OTTO.....</b>	<b>31</b>
3.1.1 Gasolina.....	31
3.1.2 Etanol.....	31
<b>3.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA ATRAVÉS DOS VEÍCULOS AUTOMOTORES.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3 EFEITOS DA POLUIÇÃO ATRAVÉS DOS VEÍCULOS AUTOMOTORES NA SAÚDE HUMANA.....</b>	<b>32</b>
3.3.1 Efeitos do monóxido de carbono.....	32
3.3.2 Efeitos dos hidrocarbonetos.....	33
3.3.3 Efeitos dos óxidos de nitrogênio.....	33
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os problemas com o aquecimento global vêm crescendo constantemente, e um dos grandes vilões desse aumento são os veículos automotores. A cada dia é maior a frota de veículos no país e com isso a variedade de gases nocivos que são emitidos por eles. Para tentar amenizar esse problema tem-se buscado alternativas para inibir essa emissão de poluentes na atmosfera como, por exemplo, a criação de leis que regulamentam e controlam as emissões dos gases e da qualidade do ar, resultantes da queima de combustíveis fósseis (gasolina diesel e etc.).

Foram criadas leis para regulamentar e estipular valores, para controle das emissões desses gases na atmosfera que são regulamentadas pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) que criou o PRONAR (Programa nacional de controle de qualidade do ar) com o objetivo de estabelecer padrões aceitáveis da qualidade do ar e padrões dessas emissões e o PROMOT (Programa de controle da poluição do ar por motocicletas e veículos similares) que submeteu os veículos automotores e similares a ter um licenciamento que eles se enquadrem dentro dos padrões estabelecidos. Isso fez com que as montadoras se adequassem ao novo sistema, visando assim à qualidade de seus produtos e buscando a competitividade com o mercado externo.

O PROCONVE (Programa de Controle de Emissões por Veículos Automotores) tem como objetivo definir limites dessas emissões e prazos para que as montadoras cumprissem esses limites. Com isso as montadoras criaram nos veículos alguns dispositivos que reduzem a emissão desses gases poluentes a limites aceitáveis pelos órgãos regulamentadores e um desses dispositivos é o catalisador.

O objetivo desse trabalho é demonstrar o seu funcionamento e sua importância na redução dos poluentes resultante da queima dos combustíveis gasolina e etanol. O catalisador é constituído de um corpo metálico que protege seu núcleo, composto por metais nobres que são responsáveis por diminuir a emissão desses gases na atmosfera. Através de reações químicas os gases resultantes da queima dos combustíveis passam pelo seu núcleo, oxidando alguns componentes, e fazendo assim “limpeza dos gases”.

Por se tratar de metais nobres isso faz com que o preço dessas peças tenha um custo elevado, em torno de R\$300,00 a R\$4.000,00. Cada veículo emite uma quantidade de 120 g/Km de Monóxido de carbono, para uma frota de mais ou menos 44 Milhões de veículos,

isso resulta em grandes consequências ao meio ambiente e a saúde humana. O objetivo desse trabalho é demonstrar os materiais nele contido e suas reações, demonstrando seus benefícios na eliminação desses gases nocivos. Benefícios esses que favorecem ao futuro do planeta e fazem com que esses componentes sejam indispensáveis, por causa do crescente aumento da frota no país.

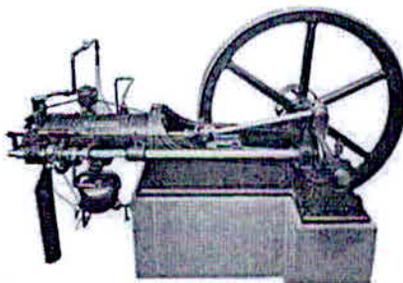
## 2 MOTOR CICLO OTTO

### 2.1 História do motor ciclo Otto

No ano de 1860 que surgiu a ideia de criar uma máquina que utilizasse o benzeno como combustível, anos mais tarde a ideia foi definida por Nikolaus August Otto, que na época teve próximo com outros inventores e cientistas que já trabalhavam em projetos do motor a vapor bem difundido. Nikolaus August Otto teve a ideia de construir um mecanismo baseado no conjunto mecânico de pedal e manivela muito utilizado nos serviços braçais, esse mecanismo foi projetado para trabalhar em um ciclo de quatro tempos foi daí que surgiu o nome que até hoje conhecido ciclo Otto. (INFOMOTOR, 2015)

O motor Otto teve algumas vantagens se comparando o motor a vapor: baixo peso pois não precisava de um reservatório de água, muito menos um combustível que fosse queimado e aquecer a água, e também pelo seu tamanho. (INFOMOTOR, 2015) conforme mostra figura 1 abaixo:

Figura 1: Primeiro motor no sistema Otto de combustão



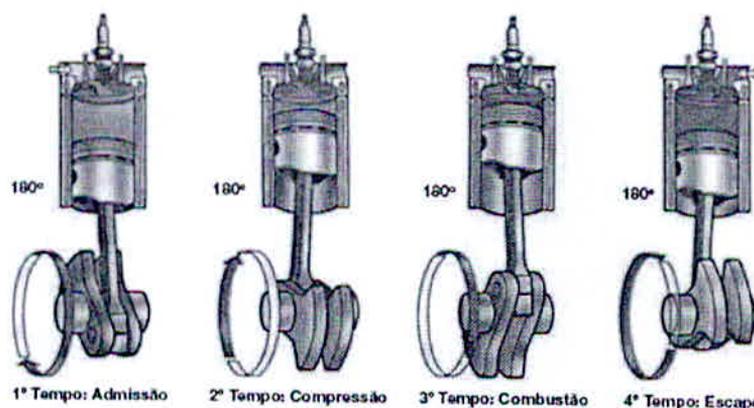
Fonte: INFOMOTOR, 2015.

## 2.2 Ciclos de trabalho Motores Otto quatro tempos

É importante uma breve discussão sobre o funcionamento do motor ciclo Otto e seu sistema de alimentação, para uma melhor compreensão de como o catalisador funciona. Motores de combustão interna são máquinas térmicas que transformam energia química em movimento, essa energia química é o resultado da queima da mistura ar/combustível dentro dos cilindros, por isso o nome combustão interna essa feita por uma centelha elétrica, provocada por uma vela de ignição. (PASSARINI, 1993 apud MILHOR 2002).

Nos motores ciclo Otto, essa queima do ar-combustível ocorre dentro cilindro segue uma sequência de funcionamento dos quatro tempos, um ciclo de trabalho corresponde a duas voltas do virabrequim os pistões se movem dentro dos cilindros, entre o ponto morto superior (PMS) e o ponto inferior (PMI) as bielas são responsáveis por transmitir o movimento do virabrequim para os pistões, com as duas voltas da arvore de manivelas os quatro tempos são executados por um cilindro, Como mostra a figura (PASSARINI, 1993 apud MILHOR 2002).

Figura 02: Ciclo de funcionamento de um motor quatro tempos



Fonte: MANUAL TÉCNICO CURSO DE MOTORES MAHLER, 2015.

Abaixo o funcionamento de cada um dos quatro tempos descritos na figura acima (MAHLER, 2015):

### 2.2.1 Admissão:

À medida que o pistão move-se do PMS para o PMI, a válvula de admissão se abre e a mistura ar-combustível vaporizada é aspirada para o interior do cilindro. O virabrequim efetua meia volta  $180^\circ$  (MAHLER, 2015).

### 2.2.2 Compressão

A seguir, a válvula de admissão fecha-se, à medida que o pistão desloca-se para o PMS, comprime a mistura ar-combustível, o virabrequim executa outra meia volta, completando a primeira volta completa  $360^\circ$  (MAHLER, 2015).

### 2.2.3 Combustão

Pouco antes de o pistão atingir o PMS, o sistema de ignição transmite corrente elétrica à vela liberando uma centelha entre os eletrodos da mesma, que inflama a mistura ar-combustível. Os gases em expansão resultantes da combustão forçam o pistão do PMS para o PMI, o virabrequim efetua outra meia volta  $540^\circ$  (MAHLER, 2015).

### 2.2.4 Escape

Depois da queima da mistura ar-combustível e expansão dos gases, a válvula de escape se abre liberando assim os gases resultantes da queima, que são forçados para do cilindro, quando o pistão se move do PMI para o PMS. O virabrequim completa outra meia volta, completando assim a segunda volta completa  $720^\circ$  (MAHLER, 2015).

Uma vez que o pistão realiza os quatro tempos-Admissão; Compressão; Combustão e Escape daí o nome técnico dessa sistema motor quatro tempos. Lembrando que somente no tempo de Combustão, se produz energia mecânica. (MAHLER, 2015).

## 2.3 História da injeção eletrônica

A injeção eletrônica foi desenvolvida em 1912 por Robert Bosch, porém só entrou em linha de produção no ano de 1957 pela marca Chevrolet no modelo Corvette, apesar de ser uma invenção que oferecesse alguns benefícios, foi abandonada pelos seus fabricantes por

problemas de economia e credibilidade. No Brasil ela só apareceu em 1989 no modelo Gol GTI, da marca Volkswagen, atualmente ela equipa todos os modelos fabricados no Brasil vindo a substituir o carburador, devido a rigorosos limites de controle de poluentes. (OFICINA E CIA, 2015)

Para que o motor funcione de maneira mais homogênia possível e sem falhas e com um bom rendimento, é necessário que se misture uma quantidade de combustível ao ar que entra no motor. Como essa quantidade é medida em massa, a central eletrônica calcula a massa de ar que é admitida para dentro do cilindro, e comanda a injeção de combustível. Levando em conta a rotação do motor e a densidade do ar que está sendo admitido pelo motor. (MAGNETTI MARELLI, 2011).

Levando-se em conta sua capacidade volumétrica, a central calcula o volume de ar admitido e, para o cálculo da densidade utiliza os valores da temperatura e pressão do ar, que são informados a central eletrônica através de sensores. Uma vez que a central já calculou a massa de ar admitida pelo motor, ela comandará uma válvula, chamada de eletroinjetor, e esta permitirá a passagem da quantidade exata de combustível para realizar a combustão. Nas figuras 2; 3 e 4 mostram respectivamente uma central eletrônica e seus sensores mencionados no texto acima. (MAGNETTI MARELLI, 2011).

Central eletrônica responsável por receber o sinal do medidor de fluxo de ar, e calcular a quantidade exata de combustível a ser misturado para abertura da válvula injetora.

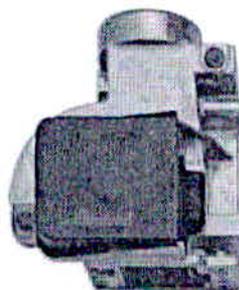
Figura 3: Central eletrônica de injeção de combustível



Fonte: BOSCH, 2001

Medidor de fluxo de ar responsável por medir e calcular a pressão e densidade do ar que está sendo admitido para dentro do motor.

Figura 4: Medidor de fluxo de ar



Fonte: BOSCH, 2001

Válvula injetora, responsável por receber o sinal da central eletrônica, da quantidade de combustível necessária para aquela quantidade de massa de ar que esta entrando no motor.

Figura 5: Válvula injetora de combustível

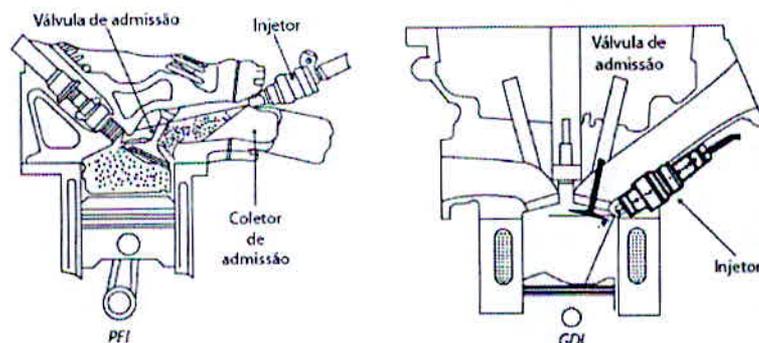


Fonte: BOSCH, 2001

#### 2.4 Sistema de alimentação ciclo Otto

Os motores ciclo Otto são movidos por combustíveis fósseis, esse combustível é injetado para dentro dos cilindros através de dois sistemas: carburador ou sistema de injeção de combustível. O primeiro sistema saiu de linha, atualmente os veículos só saem das fabricas com o sistema de injeção eletrônica de combustível, mas o carburador ainda é utilizado em sistemas que exigem pouca potência, onde as emissões de poluentes são menos restritas do que em aplicações automotivas. A injeção de combustível, ela possui um melhor resultado tanto no controle de injeção de combustível quanto nas emissões gerada pela queima do combustível, existem dois tipos de sistemas de injeção de combustíveis. A figura 3 abaixo mostra os dois sistemas de injeção. (BRUNETTI, 2012, v 1)

Figura 6: Sistema de alimentação de combustível – PFI e GDI Cilindro Otto.

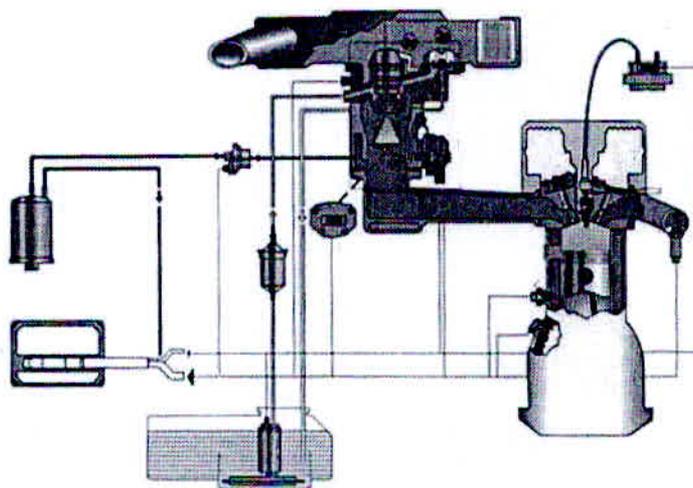


Fonte: BRUNETTI 2012 Vol 1

#### 2.4.1 Sistema mono point

O sistema mono point possui apenas uma válvula injetora não podendo aplicar os dois sistemas citados acima nele, que efetua a injeção de combustível no coletor de admissão, alimentando os quatro cilindros de uma só vez. A função do sistema é proporcionar para o motor uma mistura ar-combustível em qualquer regime de funcionamento do mesmo, a figura abaixo exemplifica esse sistema de injeção de combustível.(MAHLER, 2015).

Figura 7: Sistema Mono Point

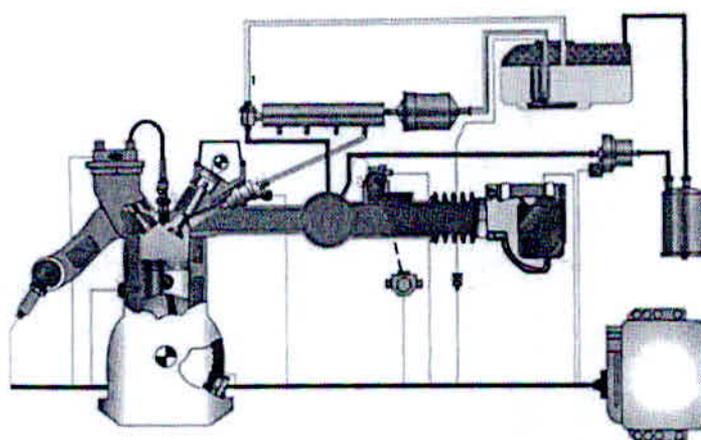


Fonte: MAHLER, 2015.

### 2.4.2 Sistema multi Point

O sistema multi point é o mais avançado, ele possui quatro valvulas, que alimenta individualmente cada cilindro, podendo ser simultaneo ou sequencial. Neste sistema o modulo comanda o sistema de injeção e o sistema de ignição esse ultimo responsável por levar a centelha elétrica até o cilindro. Com esse sistema obtem-se um melhor resultado pois cada cilindro recebe a quantidade de ar/combustivel exata e com cada tempo certo do motor reduzindo perdas de combustiveis e melhorando sua potência uma vez que cada valvula injetora trabalha para cada cilindro individualmente. (MAHLER, 2015).

Figura 8: Sistema Mult Point



Fonte: MAHLER, 2015.

### 2.5 Emissões de Gases pelo Escape

Para explicar o funcionamento do catalisador e importante o estudo das emissões dos gases resultantes da queima dos combustíveis, para saber como e de que forma o catalisador faz o seu trabalho na redução dos principais poluentes emitidos pelo escape são eles: CO; HC; e NOx. Transformando esses gases em H<sub>2</sub>O; CO<sub>2</sub>; e N<sub>2</sub>, não ofensivos à saúde humana e o meio ambiente. (BRUNETTI, 2012, v. 2).

A proporção desses gases depende do combustível, e do regime de trabalho do motor e da qualidade da mistura ar/combustível que esta sendo admitida pelos cilindros, motores desregulados misturas fora do estabelecido pelo fabricante alteram a qualidade e a proporção

desses gases. Em situações reais esses produtos representam cerca de 98% dos gases. (BRUNETTI, 2012, v. 2).

#### 2.5.1 Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono é um gás resultante de uma combustão incompleta de seus hidrocarbonetos, essa incompleta por falta de oxigênio suficiente, presente na mistura ar/combustível e do nível de igualdade da mistura, o monóxido é oxidado e transformado em CO<sub>2</sub>, no escapamento do veículo através do catalisador. (BRUNETTI, 2012, v. 2).

#### 2.5.2 Óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>)

Esse gás é a combinação de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), quando em contato com a atmosfera o monóxido se transforma em dióxido de nitrogênio a combinação desses dois gases em contato com o vapor de água contido nas nuvens, gera o ácido nítrico. (BRUNETTI, 2012, v. 2).

#### 2.5.3 Hidrocarbonetos (HC)

Representa todos hidrocarbonetos não oxidados durante a combustão, geralmente se formam nas paredes da câmara de combustão pelo fato de a temperatura neste local ser insuficiente para completar a reação. Alguns desses hidrocarbonetos são cancerígenos quando expostos a luz solar e óxidos de nitrogênio. (BRUNETTI, 2012, v. 2).

#### 2.5.4 Aldeídos

Em temperaturas baixas, formam-se aldeídos que liberam um mau cheiro aos gases desse motor. No Motor Otto com Etanol, principalmente durante o aquecimento do motor, que irritam os olhos e as mucosas. (BRUNETTI, 2012, v. 2).

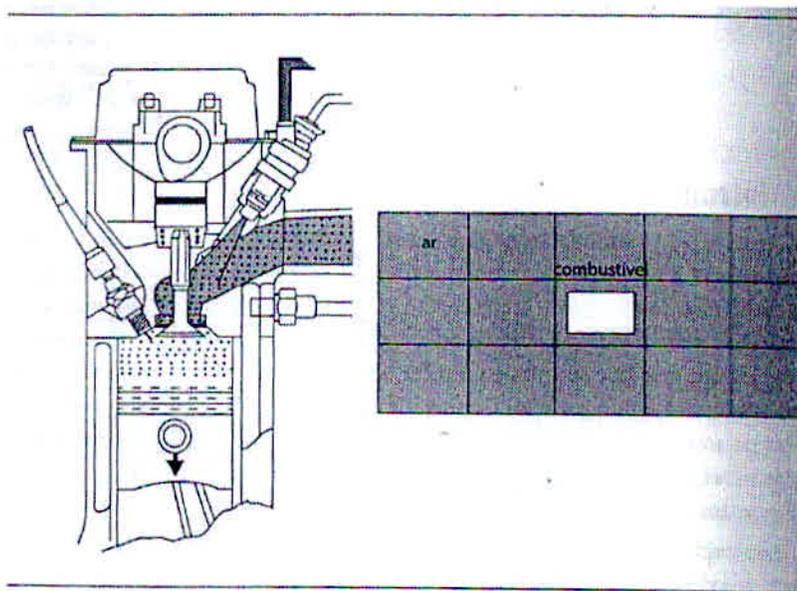
## 2.6 Tipos de misturas ar-combustível

Observando do lado da admissão da mistura, a relação ar-combustível é o quociente entre massa de combustível e ar, que são aspirados para dentro do motor. Essa relação pode ser descrita na equação abaixo. (BRUNETTI, 2012, v. 1).

$$F = \frac{m_c}{m_a}$$

A grande dificuldade dos motores é justamente colocar a quantidade de ar para dentro do cilindro, para se ter uma mistura completa, sendo que na prática esse valores são diferentes da relação descrita acima, como mostra a figura abaixo. (BRUNETTI, 2012, v. 1).

Figura 9: Relação combustível-ar a ser admitida pelo motor



Fonte: BRUNETTI, 2012, v. 1.

Em determinadas condições tem-se uma mistura com  $F_r > 1$ , ou fração relativa, demonstrando-se uma mistura pobre essa fração relativa e a relação combustível-ar e a relação estequiométrica de um combustível descrito na equação abaixo. (BRUNETTI, 2012, v. 1).

$$F_r = \frac{F}{F_e}$$

Quando  $Fr < 1$  tem-se mistura chamada pobre.

Quando  $Fr > 1$  tem-se mistura chamada rica.

Quando  $Fr = 1$  tem-se mistura chamada estequiométrica.

Existem alguns tipos de misturas que estão relacionadas com o funcionamento do motor, elas são classificadas da seguinte forma: (BRUNETTI, 2012, v. 1).

### 2.6.1 Limite Pobre

É um tipo de mistura muito pobre em questão de combustível, porém ainda consegue manter o motor funcionando de forma estável, ela deixa a chama lenta e se mantém durante grande parte do curso do pistão, provavelmente até o fim do escape, início de admissão. (BRUNETTI, 2012, v. 1).

Esse tipo de mistura causa um fenômeno chamado de (back fire), ou seja é quando o superaquecimento da câmara e ignição da mistura causando o retorno da chama. (BRUNETTI, 2012, v. 1).

### 2.6.2 Mistura econômica

Trata-se de uma mistura levemente pobre de combustível, com isso o excesso de ar causa uma combustão completa, e a mistura que para o motor produz o mínimo consumo específico, reduzindo também as emissões de monóxido de carbono (CO) (BRUNETTI, 2012, v. 1).

### 2.6.3 Mistura de máxima potência

Trata-se de uma mistura levemente rica, nesse caso o excesso de combustível provoca a combustão completa, é a mistura que dependendo da posição da borboleta do acelerador e rotação, produz uma máxima potência, nesse caso aumentando a emissão de monóxido de carbono (CO). (BRUNETTI, 2012, v. 1).

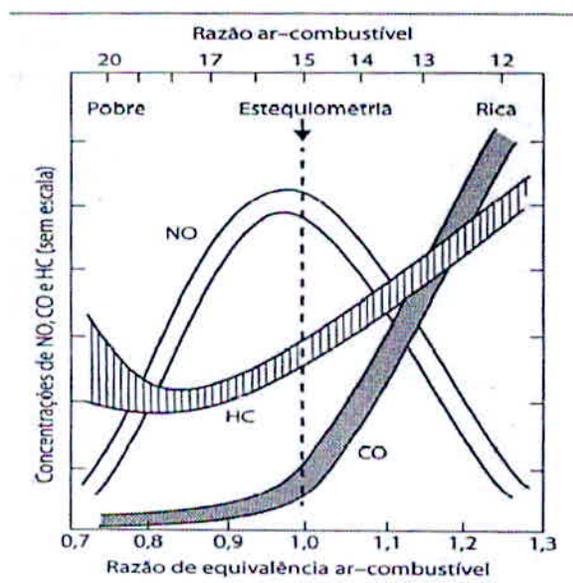
### 2.6.4 Limite rico

É uma condição de mistura na qual o excesso de combustível dificulta a propagação da chama na câmara, a falta de ar na mistura provoca diminuição da temperatura na câmara consequentemente extinção da chama, o resultado é instabilidade na rotação do motor mesmo sem mexer no acelerador, ultrapassando esse limite o motor acaba (afogando). (BRUNETTI, 2012, v. 1).

### 2.7 Controle das emissões dos gases

Nos motores Otto a emissão dos gases deve ser controlada, atendendo a normas que regulamentam as emissões em quantidades por veículos de CO; NOx; e HC além de aldeídos para que esse controle tenha resultado satisfatório, e imprescindível que a qualidade da mistura ar/combustível seja bem definida, misturas pobres ou ricas cada uma dessas tem um papel importante na formação dos gases, que irão passar pelo escapamento o gráfico abaixo mostra essa variação de misturas figura 6. (BRUNETTI, 2012, v. 2).

Figura 9: Variação da composição dos gases em relação à mistura



Fonte: BRUNETTI, 2012.

As concentrações de CO e HC se formam quando a mistura esta rica ou seja, muito combustível e pouco ar, dificultando a propagação da chama dentro do cilindro. Em misturas

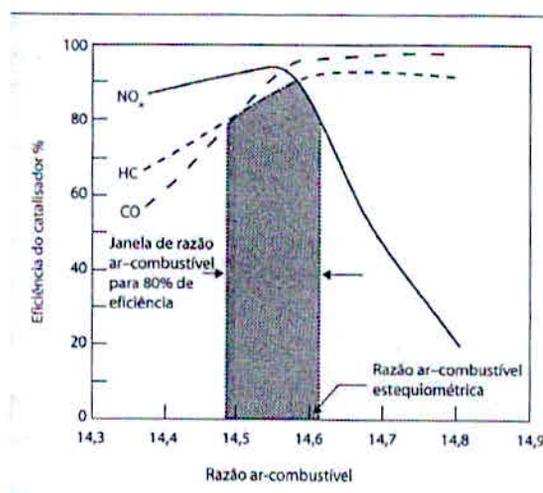
pobres ou seja pouco combustível e muito ar. A formação de NOx se da em uma condição pobre por volta de  $\lambda = 1,05$  ( $Fr = 0,95$ ), e sua estabilidade é atingida com  $\lambda = 0,8$  ( $Fr = 1,25$ ), que representa uma menor concentração de HC, Empobrecendo a mistura a concentração de CO diminui. Uma opção para diminuir as emissões de NOx, é o uso da recirculação dos gases, pelo fato dos gases serem formados principalmente por CO2, que é o resultado final da combustão é utilizado de forma aproveitar o calor para aquecer a mistura, não interferindo nas reações. (BRUNETTI, 2012, v. 2).

## 2.8 Catalisador automotivo

O catalisador consegue converter os gases nocivos a saúde e o meio ambiente que são: CO; HC e NOx, em gases não prejudiciais como CO2; H2O e N2, simultaneamente reação esse provocada pelos catalisadores paládio e ródio, nos motores a gasolina e paládio e molibdênio nos motores a álcool. (BRUNETTI, 2012, v. 2).

Devido ao balanço das reações o catalisador tem sua eficiência em uma faixa muito estreita de emissões de gases, resultado de uma mistura estequiométrica que se localiza entre  $(0,99 < \lambda < 1,00)$ , que se da o nome de janela a essa faixa de eficiência do catalisador, como mostra a figura abaixo. (BRUNETTI, 2012, v. 2).

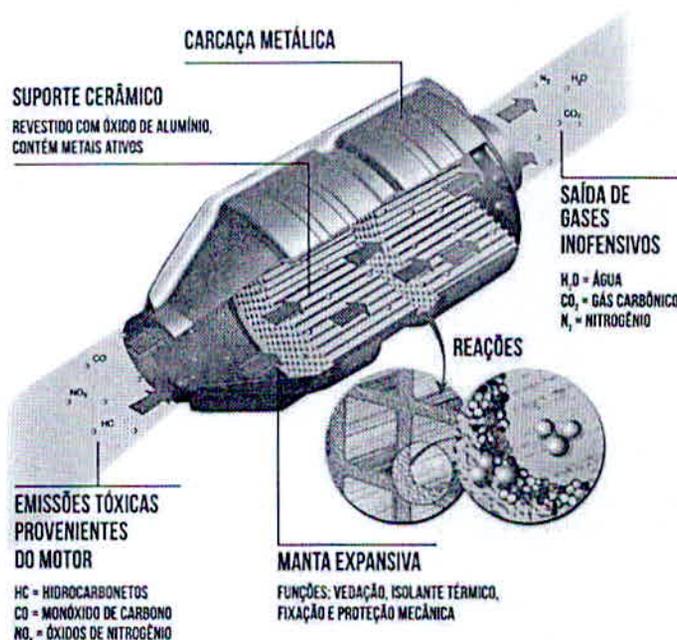
Figura 10: Janela de eficiência do catalisador



Fonte: BRUNETTI, 2012.

A figura abaixo exemplifica as reações e seus componentes são eles: Carcaça metálica; Manta expansiva; Suporte cerâmico.

Figura 11: Catalisador automotivo e seus componentes



Fonte: Umicore, 2015

### 2.8.1 Catalisador Três vias (Three way)

Utilizado em veículos atuais, executa a oxidação e a redução com tripla finalidade: reduz o óxido de nitrogênio, oxida o monóxido de carbono em dióxido de carbono e oxida os hidrocarbonetos. (OZONIC, 2015)

### 2.8.2 Catalisador de duas vias (Two way)

Foi utilizado em automóveis antigos, ocorre a oxidação simultânea do hidrocarboneto e monóxido de carbono, transformando-os em dióxido de carbono e água, não sendo mais utilizados nos veículos atuais e sim o de três vias. (OZONIC, 2015)

## 2.9 Sonda Lambda

O sensor lambda e dos sensores mais importantes no controle de emissões de poluentes, pois ele mede a quantidade de oxigênio que passa pelo gases resultantes da queima, sua função é analisar a quantidade de oxigênio que está passando no escape e comparar com a quantidade de oxigênio no ambiente, através de pulsos elétricos, informa a ECU se a

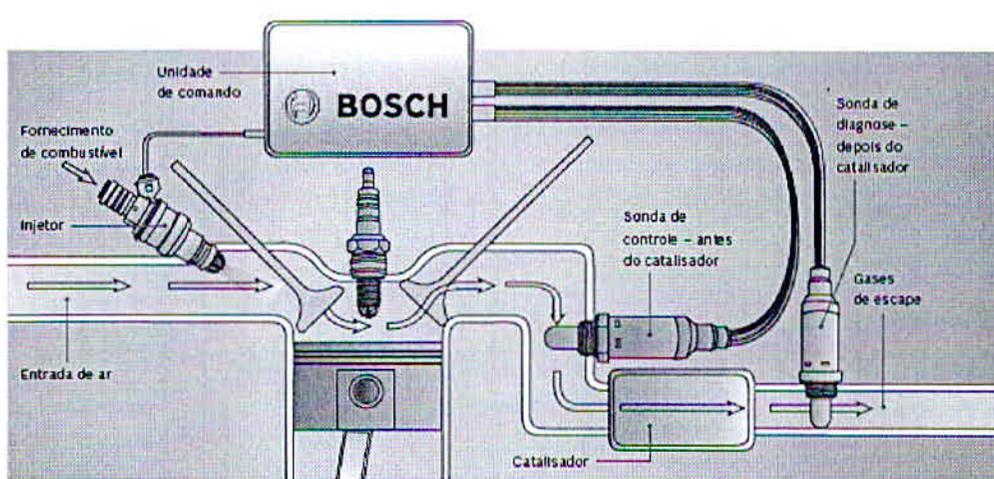
quantidade de oxigênio esta muito alta ou baixa, e interpreta se a mistura esta rica ou pobre, ou seja pouco ou muito ar na mistura, fazendo assim a correção da mesma. (JUNIOR, 2012)

### 2.9.1 Funcionamento da sonda lambda

A sonda lambda envia um sinal até unidade de comando, indicando a mesma que a quantidade de oxigênio esta fora, para fazer a correção desse valor a unidade de comando, manda um sinal para alguns atuadores que irão corrigir a quantidade de combustível e oxigênio, esse processo era feito antes manualmente no sistema de carburador. (BOSCH, 2013).

Em misturas muito rica ( $\lambda < 1$ ) deve-se reduzir a quantidade de combustível e, no caso de mistura muito pobre ( $\lambda > 1$ ), deve-se aumentar a quantidade de combustível. (BOSCH, 2013).

Figura 12: Localização e funcionamento da sonda lambda



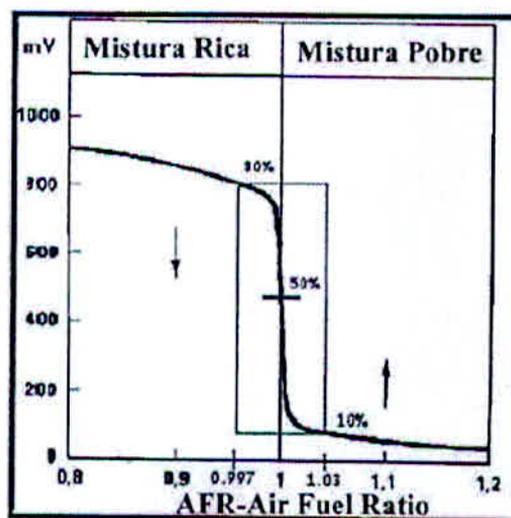
Fonte: BOSCH, 2013

### 2.9.2 Misturas reconhecidas pela sonda lambda

A mistura ar-combustível possui três fases são elas: estequiométrica ( $\lambda = 1$ ); mistura rica, falta de ar ( $\lambda < 1,0$ ) e mistura pobre, excesso de ar ( $\lambda > 1,0$ ), para se ter combustão completa, a relação é de 14,7:1, para gasolina e de 9:1 para o etanol, para se detectar a quantidade de mistura ar-combustível que desvia do valor estequiométrico define-se o

coeficiente de ar lambda ( $\lambda$ ). O gráfico abaixo mostra as diferenças de mistura. (JUNIOR, 2012)

Figura 13: Gráfico de análise de mistura

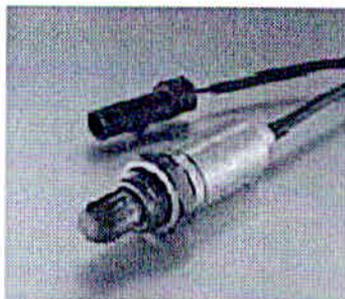


Fonte: PLANATC, 2015

### 2.9.3 Sonda lambda não aquecida

São sondas que exigem uma temperatura mínima de 350 °C, por isso devem ser instaladas ao lado do motor. (BOSCH, 2013).

Figura 14: Sonda não aquecida



Fonte: BOSCH 2013

#### 2.9.4 Sonda lambda de três fios

Com o objetivo de instalar as sondas longe do motor, foi desenvolvida a sonda de três fios, que possui um aquecedor garantindo a sua temperatura de trabalho que ultrapassa os 350°C. (BOSCH, 2013).

Figura 15: Sonda lambda três fios

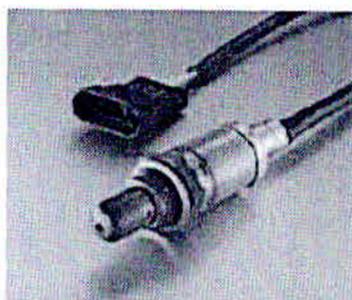


Fonte: BOSCH 2013

#### 2.9.5 Sonda lambdas aquecidas de quatro fios

Nesse tipo de sonda o sinal passa através da carcaça da sonda e por meio de um quarto condutor adicional é possível detectar uma ruptura de cabo, que poderia impedir o bom funcionamento da sonda. (BOSCH, 2013).

Figura 16: Sonda lambda aquecida de quatro fios



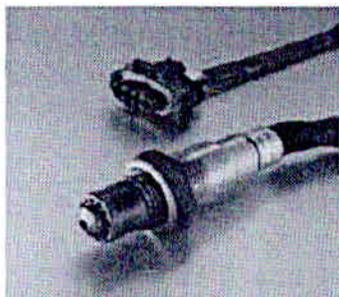
Fonte: BOSCH 2013

#### 2.9.6 Sonda lambda planares

Sondas planares possuem varias laminas cerâmicas com aquecedor integrado, isso possibilita que ela alcance sua temperatura de serviço duas vezes mais rápido que as outras

sondas, com isso ela reduz pela metade as emissões na fase crítica de partida a frio. (BOSCH, 2013).

Figura 17: Sonda lambda planar

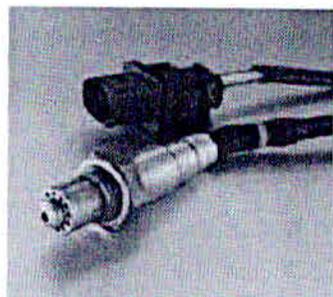


Fonte: BOSCH 2013

#### 2.9.7 Sondas planares de banda larga

O diferencial dessa sonda em relação as outras, e que ela realiza medições com mais precisão devido a suas duas células e cinco fios, pode controlar motores movidos a gás e diesel. (BOSCH, 2013).

Figura 18: Sonda planar de banda larga

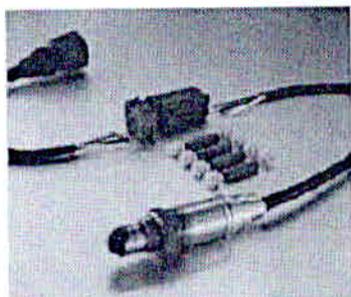


Fonte: BOSCH 2013

#### 2.9.8 Sondas lambdas universais

Por possuir conectores universais, ela consegue substituir uma grande variedade de sondas originais. (BOSCH, 2013).

Figura 19: Sonda universal



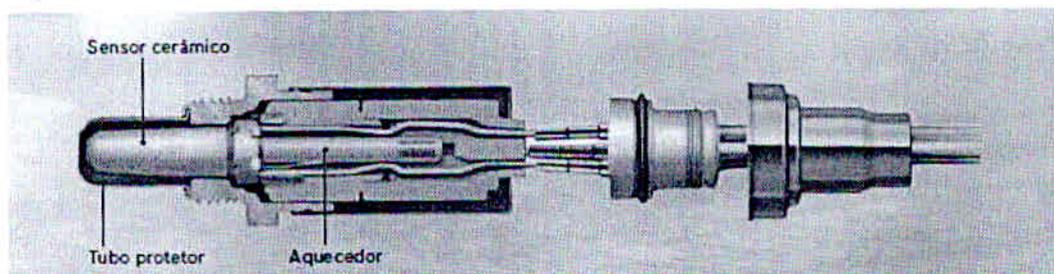
Fonte: BOSCH 2013

### 3 Estruturas da sonda lambda

#### 3.1 Estrutura Finger

Sua peça principal um sensor cerâmico no formato de ponta de dedo, é aquecido por aquecedor separado pois seu controle só é possível depois de uma temperatura de 350°C. (BOSCH, 2013).

Figura 20: Estrutura Finger sonda lambda

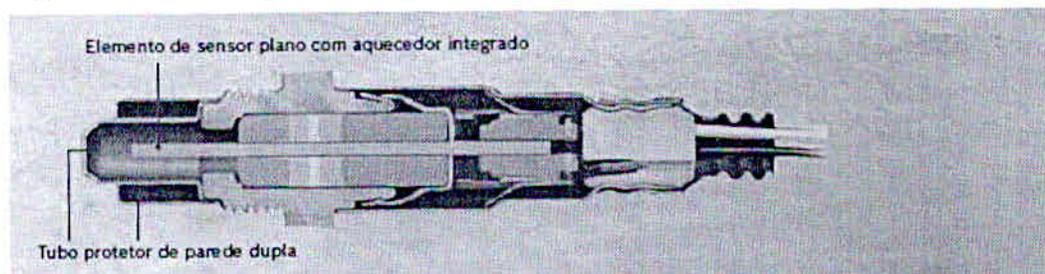


Fonte: Catalogo sonda lambda Bosch 2013

#### 3.2 Estrutura planar

É o aperfeiçoamento da sonda convencional, no elemento sensor em forma de placa alongada, esta integrada um elemento de medição e um aquecedor dessa forma obtém-se informação sobre o funcionamento mais rápido. (BOSCH, 2013).

Figura 21: Estrutura planar da sonda lambda



Fonte: BOSCH, 2013

### 3.1 Combustíveis utilizados nos motores otto

#### 3.1.1 Gasolina

E o processamento do petróleo, as propriedades dessas misturas devem ser controladas de forma a dar desempenho em diversas condições de trabalho dos motores que a utilizam, as especificações de qualidade da gasolina devem satisfazer as necessidades de desempenho e ambientais, a obtenção da gasolina se torna mais difícil e cara quando as especificações da gasolina se tornam mais rígidas as gasolinas se diferenciam nos veículos quanto a sua octanagem e volatilidade a gasolina e representada pela fórmula  $C_8H_{18}$ . (BRUNETTI, 2012, vol 1).

#### 3.1.2 Etanol

O etanol é de fácil obtenção além de ser de fonte renovável, ele tem uma facilidade muito grande de entrar em combustão. Sua desvantagem em relação a gasolina é o poder calorífico que é menor, por isso o fato dele render menos quilometragem por litros, em relação a gasolina O etanol tem em sua representação a fórmula  $C_2H_6O$ . (NOVACANA, 2015)

### **3.2 Poluição atmosférica através dos veículos automotores**

O veículo automotor é o grande vilão dos efeitos da poluição, resultado do número de veículos e dos diferentes tipos de poluentes por ele gerados, uma significativa parcela dessa responsabilidade que os automóveis têm, é devido à falta de conhecimento, e mau uso dos veículos pelos seus usuários. (PETROBRAS, 1994. apud BARRETO et al 2012).

Outro sério problema com relação aos efeitos da poluição, causadas pelos veículos é o efeito estufa, que é um fenômeno natural de aquecimento térmico da terra, essencial para manter o seu equilíbrio, sem o efeito estufa o planeta seria muito frio, com grandes dificuldade de desenvolvimento dos seres vivos. (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2015).

A redução da camada de ozônio, permite um aumento dos raios ultravioletas na terra, aumentando o efeito estufa, criando um aquecimento fora do normal, um dos principais destruidores da camada de ozônio são os veículos automotores com liberação de gases pelos escape, resultado da queima de combustíveis fósseis. (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2015).

### **3.3 Efeitos da poluição através dos veículos automotores na saúde humana**

A queima de combustíveis fósseis libera grande quantidade de gases tóxicos na atmosfera causando uma serie de danos a saúde humana e o meio ambiente, no meio ambiente causa o efeito estufa, chuva ácida. Na saúde humana causa sérios problemas respiratório irritação nos olhos dores de cabeça, podendo levar até a morte. (PETROBRAS, 1994. apud BARRETO et al 2012).

Os combustíveis fósseis são um dos principais causadores de poluição atmosférica muitos desses compostos químicos retornam para terra na forma de chuva ácida, causando sérios danos principalmente no campo, destruindo vegetação e plantações. E com o crescimento da frota de veículos no Brasil, esta cada vez mais difícil controlar as emissões de poluentes. (PETROBRAS, 1994. apud BARRETO et al 2012).

#### **3.3.1 Efeitos do monóxido de carbono (CO)**

O monóxido de carbono é um gás mais leve do que o ar, e sem cheiro, por isso sua difícil percepção no ar, sua fonte é a exaustão de motores de combustão interna, as principais intoxicações por esse gás são em lugares fechados e com má ventilação, sua ação no

organismo é quando em contato com o sangue e a hemoglobina dificulta o transporte de oxigênio, e os sintomas podem ser diminuição de atenção; dores de cabeça; náuseas; convulsões e até a morte. (PETROBRAS, 1994. apud BARRETO et al 2012).

### 3.3.2 Efeitos dos hidrocarbonetos (HC)

Diferente do monóxido de carbono, os hidrocarbonetos possuem odor desagradável causando irritação nos olhos e nariz, sua fonte é a queima incompleta de combustíveis e outros produtos voláteis participam ainda na formação dos oxidantes fotoquímicos na atmosfera juntamente com óxidos de nitrogênio. (PETROBRAS, 1994. apud BARRETO et al 2012).

### 3.3.3 Efeitos do óxido de Nitrogênio (NOx)

Os óxidos são resultantes da oxidação do nitrogênio com elevadas temperaturas trata-se de um gás com cheiro forte, grandes concentrações desse gás podem causar fraqueza; dispnéia; tosse e cianose, depois de três semanas de repetidas exposições, com concentrações superiores a 300 ppm causam edema pulmonar ou broncopneumonia a manifestação desses sintomas se dá após algumas horas de exposição. (PETROBRAS, 1994. apud BARRETO et al 2012).

O monóxido de carbono é um dos gases mais prejudiciais à saúde humana como mostra os dados na figura abaixo.

Quadro 1: Efeitos do monóxido de carbono na saúde humana.

Quantidade de CO (ppm) necessária para desativar a hemoglobina *	Porcentagem de hemoglobina desativada	Efeitos na saúde
55 - 80	3	diminuição da atividade cardíaca, alteração no fluxo sanguíneo
110 - 170	6	problemas de visão; diminuição da capacidade de trabalho
280 - 575	10 - 20	pequenas dores de cabeça; problemas psicomotores
575 - 860	20 - 30	dores de cabeça intensas; náuseas
860 - 1155	30 - 40	náuseas; vômitos; diminuição da visão; dor de cabeça intensa
1430 - 1710	50 - 60	convulsão; coma
1710 - 2000	60 - 70	coma; diminuição das atividades cardíacas e respiratórias; às vezes fatal
2000 - 2280	70 - 80	morte

Fonte: (Del pino, Kruger, Ferreira, 1996)

#### 4 CONCLUSÕES

Com base nos dados pesquisados conclui-se que é extremamente importante o uso dos catalisadores nos veículos devido a sua grande importância na limpeza do gases, pois, através deles a redução das emissões dos gases poluentes provenientes da queima dos combustíveis é muito significativa, levando em consideração os aspectos negativos causados pelos gases emitidos pelos automóveis no meio ambiente e na saúde humana. Os veículos mais antigos não possuíam essa tecnologia em contra partida o número da frota do país era bem menor em relação aos dias atuais, onde esse número vem crescendo cada vez mais e conseqüentemente a quantidade de gases emitidos na atmosfera que auxilia o aumento do efeito estufa e o aquecimento global. Porém a fiscalização diante dessa situação precisa ser cada vez mais rigorosa relativo aos índices permitidos pelos órgãos competentes que regulamentam as emissões dos veículos, tornando assim, o resultado desse controle mais satisfatório.

## REFERÊNCIAS

- BARRETO, Paulo Leitão et al. **Efeitos da Poluição do Ar Causada por Veículos Automotores na Saúde Humana e Meio Ambiente**, Santa Maria, pág. 19 2012.
- BOSCH - **Catalogo Sonda Lambda**, 2013.
- BOSCH - **Apostila injeção eletrônica**, 2001.
- BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão interna**. São Paulo: Blucher, 2012. V. 1.
- BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão interna**. São Paulo: Blucher, 2012. V. 2
- INFOMOTOR. **Historia do motor de combustão interna ciclo otto**, 2015. Disponível em <<http://www.infomotor.com.br/site/2009/01/historia-do-motor-a-combustao-interna-ciclo-otto/>> Acesso em: 18 Set 2015.
- FAZIO JUNIOR, Pedro Luiz. **Simulador de Sinais de Fases e Rotação para Motores Otto**, Itatiba, 2012.
- MAGNETI MARELLI - **injeção eletrônica**, 2011.
- MAHLER - **curso técnico de motores**, 2015.
- MILHOR, Eduardo. Carlos. **Sistemas de desenvolvimento para controle dos motores de combustão interna ciclo Otto**. São Carlos, 2002
- NOVA CANA - **Propriedades físicas químicas do etanol** Disponível em <<http://www.novacana.com/etanol/propriedades-fisico-quimicas/>> Acesso em 16 ago. 2015.
- OFICINA E CIA - **Bíblia do carro** Disponível em <<http://www.oficinaecia.com.br/bibliadocarro>> Acesso em 05 Out. 2015.
- OZONIC - **Catalisadores veiculares** Disponível em <[http://www.ozonic.com.br/page\\_2.html](http://www.ozonic.com.br/page_2.html)> Acesso em 17 ago. 2015.
- PORTAL SÃO FRANCISCO – **Meio ambiente camada de ozônio** Disponível em <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-camada-de-ozonio/camada-de-ozonio.php>> Acesso em 12 out 2015.
- PLANATC – **Manual monogas** Disponível em <<http://www.planatc.com.br/manuais/manual20Monogas20revG70100751540.pdf>> Acesso em 11 Out 2015.
- RANGEL, Maria do Carmo et al. **Impacto dos Catalisadores Automotivos no Controle da Qualidade do Ar**, Salvador, pág. 272 2002.