

Emissões em motores de combustão interna

Principais emissões

- Óxidos de nitrogênio – NO_x;
- Monóxido de carbono – CO;
- Hidrocarbonetos;
- Aldeídos;
- Compostos de enxofre – SO₂ e H₂S;
- Particulado;
- Dióxido de carbono.

Hidrocarbonetos

Apresentação

Parafinas - C_nH_{2n+2} ex: metano e octano,

Olefinas - C_nH_{2n}

Naftalenos - C_nH_{2n}

Aromáticos - C_nH_{2n+2} ex: benzeno e tolueno,

Efeitos nocivos sobre o seres humanos e a natureza

Na atmosfera: $NO_x + HC + Luz\ UV$ 

Alguns hidrocarbonetos são cancerígenos.

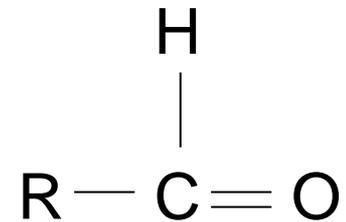
Formação

Formado por combustível parcialmente decomposto durante a combustão.
Responsável pela formação da fumaça branca ou azul em motores Diesel.

Aldeídos

Apresentação

composto orgânico caracterizado pela presença, em sua estrutura, do grupamento H-C=O (formila) ligado a um radical alifático ou aromático.



Efeitos nocivos sobre o seres humanos e a natureza

Irritam os olhos e as mucosas.

Alguns apresentam odor desagradável.

Formação

Formado em motores Diesel quando as temperaturas de combustão são baixas e durante o aquecimento de motores Otto a álcool.

Monóxido de carbono

Apresentação

CO

Efeitos nocivos sobre o seres humanos e natureza

Compete com o oxigênio pela hemoglobina  Sua inalação pode levar à morte

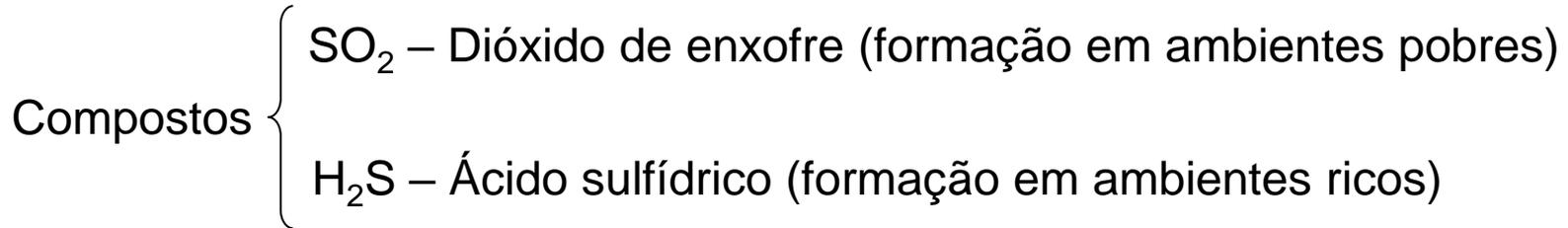
Em níveis mais baixos, a poluição por monóxido de carbono pode causar dores de cabeça, náuseas e tonturas, alterar a percepção visual e a habilidade para realizar tarefas.

Formação

Combustão incompleta e dissociação do dióxido de oxigênio.

Compostos de enxofre

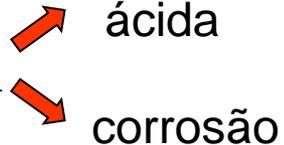
Apresentação



Efeitos nocivos sobre o seres humanos e a natureza*

A inalação de SO_2 pode interferir na eliminação de bactérias e partículas inertes dos pulmões. Aumenta a produção de catarro e causa maior resistência das vias aéreas.

Na atmosfera: Formação de ácido sulfúrico $2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4$



chuva ácida
corrosão

Formação

Oxidação do enxofre presente no combustível, principalmente no óleo Diesel.

* Fonte: Ribeiro, H; Assunção, J.V. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos avançados**, v.16 n.44, 2002.

Material particulado

Apresentação

Formado basicamente por carbono e responsável pela fumaça negra em motores Diesel.

Efeitos nocivos sobre o seres humanos e a natureza*

Partículas com diâmetro entre 5 e 30 μm depositam-se no nariz, boca, faringe e traquéia;

Partículas entre 1 e 5 μm depositam-se na traquéia, brônquios e bronquíolos;

Partículas menores que 1 μm depositam-se nos bronquíolos e alvéolos.

Meia-vida biológica destas partículas é de alguns dias a alguns anos.

• aumento de doenças respiratórias em crianças e mortalidade em pacientes com doenças cardiovasculares e/ou pulmonares, aumento dos ataques de asma em asmáticos, aumento de casos de câncer devido a efeitos de partículas cuja composição química contém componentes carcinogênicos

Formação

Combustão incompleta no motor.

* Fonte: Ribeiro, H; Assunção, J.V. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos avançados**, v.16 n.44, 2002.

Gás carbônico

Apresentação

CO₂ – dióxido de carbono

Efeitos nocivos sobre o seres humanos e a natureza

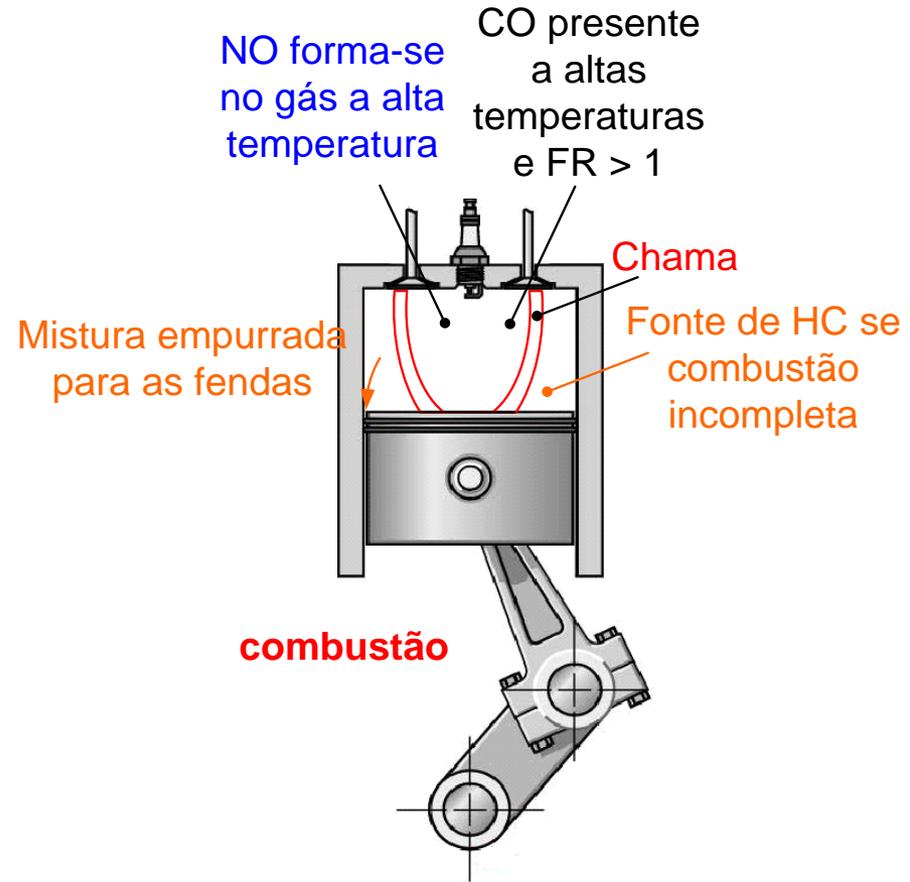
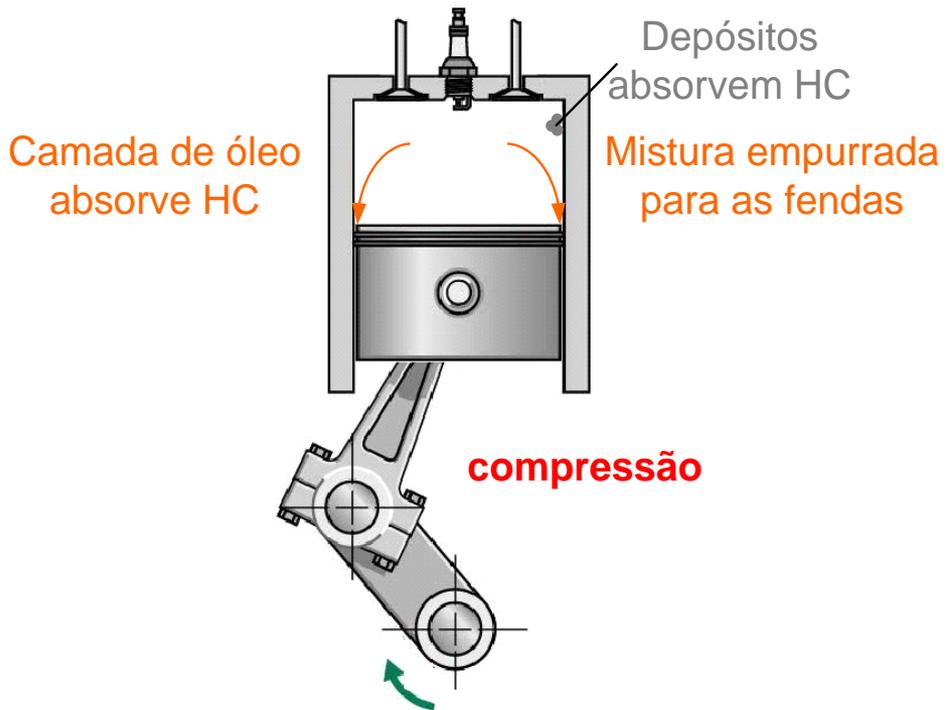
Compete com o oxigênio pela hemoglobina → Sua inalação pode levar à morte

Gás que contribui para o efeito estufa

Formação

Resultado da combustão de hidrocarbonetos.

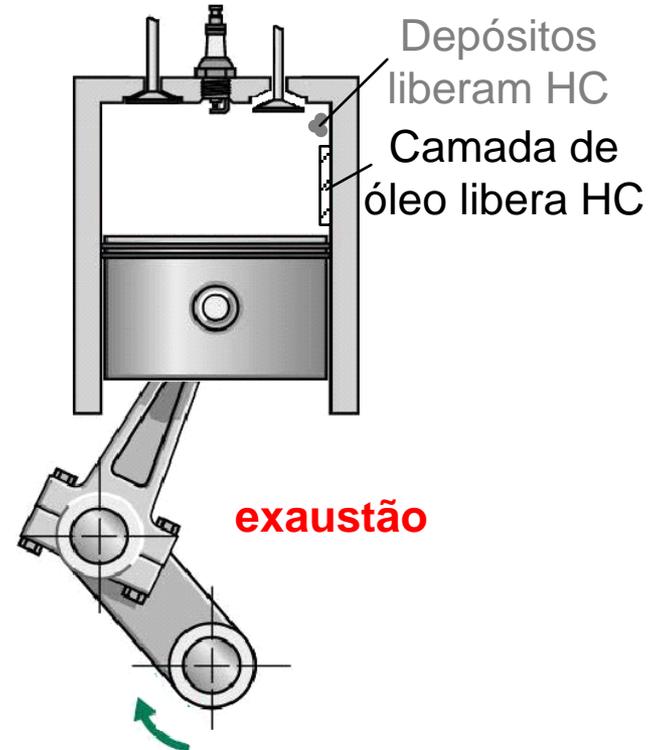
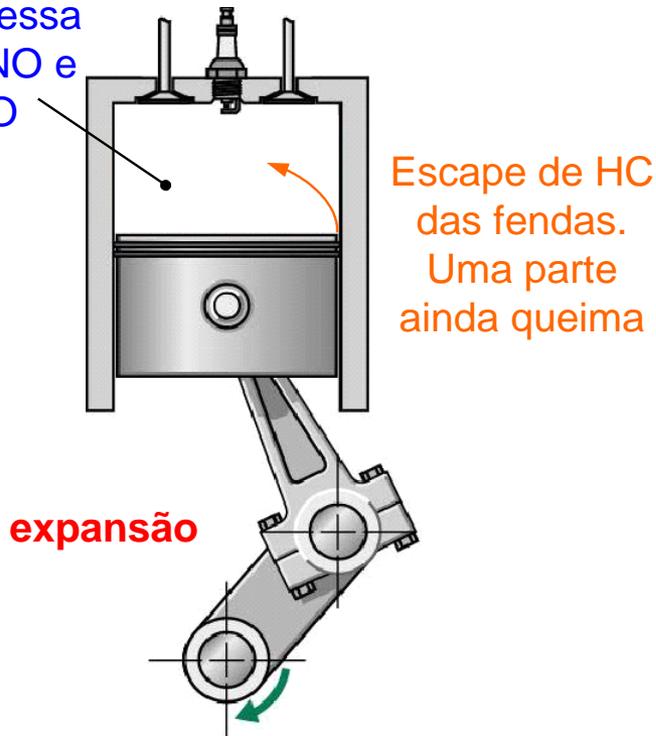
Formação de poluentes



Motores de ignição por centelha

Formação de poluentes

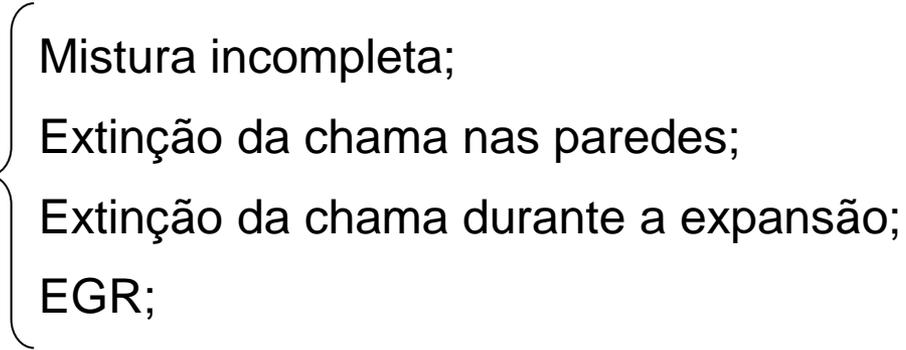
T cai, primeiro cessa a formação de NO e depois de CO



Motores de ignição por centelha

Formação de poluentes

• Hidrocarbonetos em motores de ignição por centelha:

1. Relação combustível-ar não estequiométrica;
2. Combustão incompleta 
 - Mistura incompleta;
 - Extinção da chama nas paredes;
 - Extinção da chama durante a expansão;
 - EGR;
3. Fendas (crevices);
4. Vazamento pela válvula de exaustão;
5. Sobreposição de válvulas;
6. Depósitos nas paredes da câmara de combustão;
7. Óleo nas paredes da câmara de combustão;
8. Blow-by;
9. Emissões evaporativas do tanque de combustível.

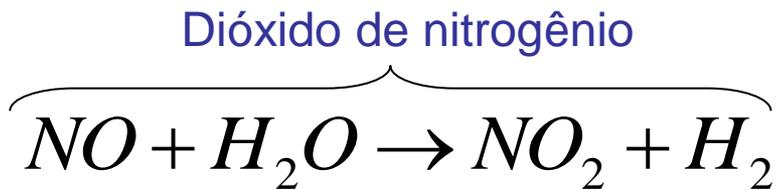
Formação de poluentes

• Monóxido de carbono (CO):

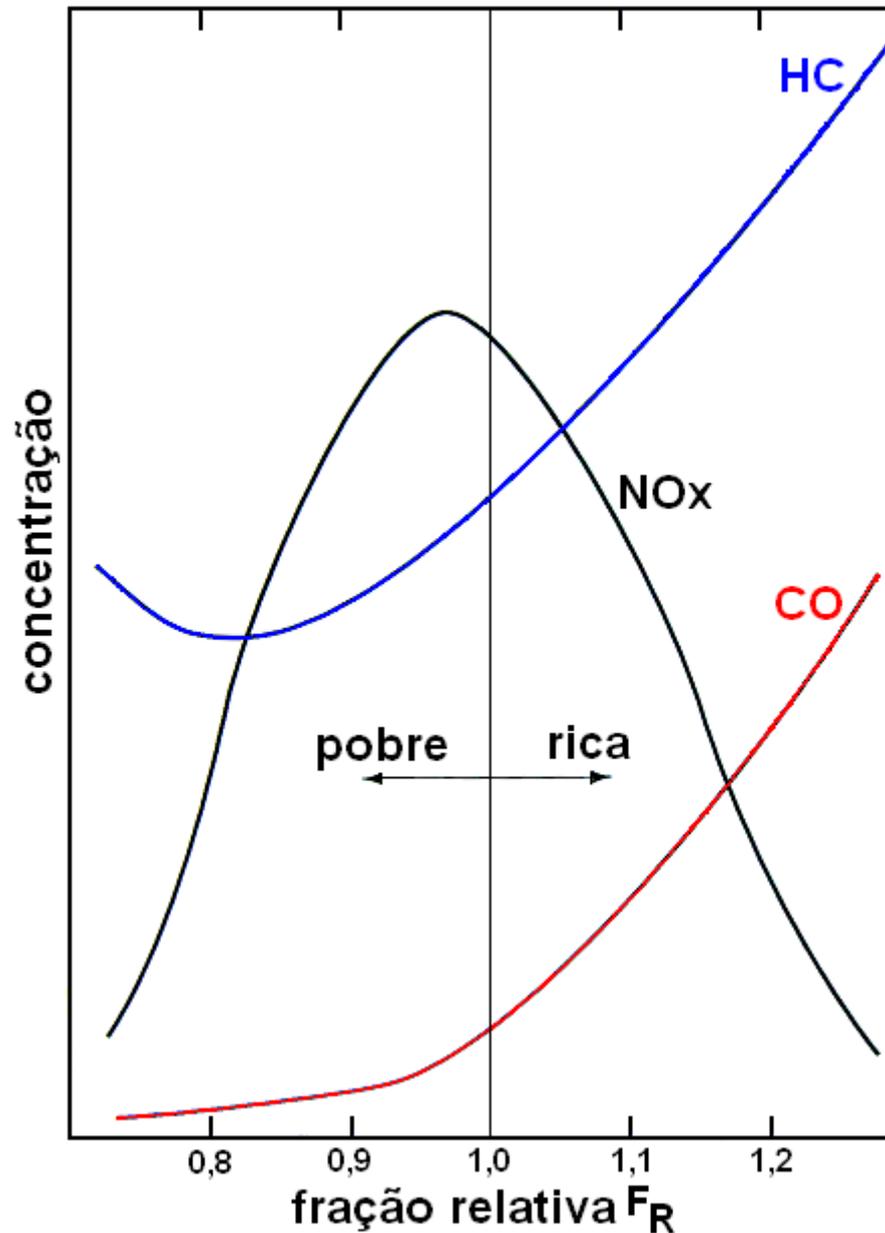
1. Combustão incompleta;
2. Relação combustível / ar não estequiométrica;
3. Dissociação.

• Óxidos de nitrogênio (nO):

1. Combustão incompleta;
2. Relação combustível / ar não estequiométrica;
3. Dissociação.



Emissões em um motor de ignição por centelha



Redução de emissões em motores de ignição por centelha

Motor com injeção no coletor

2 válvulas para 4 válvulas	Maior recirculação dos gases de exaustão	Aumento da taxa de compressão	Controle variável de válvulas
CO	HC	CO	HC
NOx	Ce	NOx	Ce
	NOx		Ce

Motor com injeção direta

Melhora da qualidade do combustível	Maior recirculação dos gases de exaustão	Controle completo de válvulas e injeção	Injeção de mistura
Ce	PM	Ce	HC
NOx	NOx	NOx	NOx
HC		Ce	HC

Formação de poluentes

• Hidrocarbonetos em motores CI:

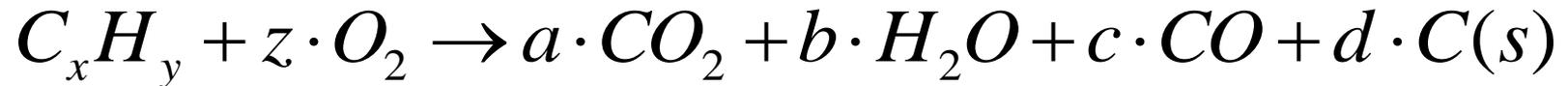
- Combustão incompleta
- Fendas;
- Vazamento pela válvula de exaustão;
- Depósitos nas paredes da câmara de combustão;
- Óleo nas paredes da câmara de combustão
- Gotejamento do bico injetor.

Formação de poluentes

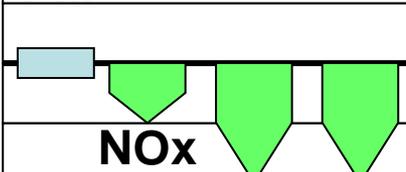
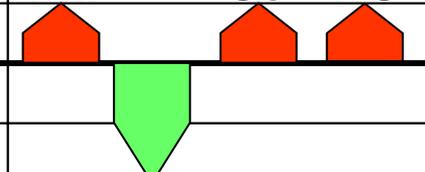
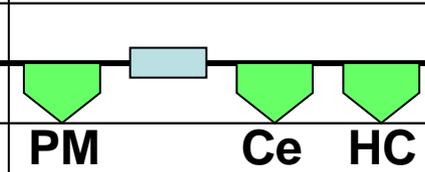
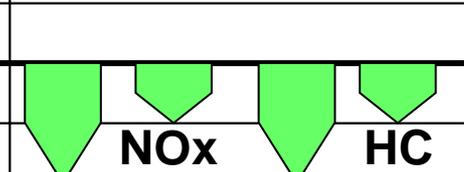
•Particulado (motores CI)

1. Relação combustível-ar não estequiométrica;
2. Combustão incompleta.

Esferas de carbono com diâmetros entre 10 nm e 80 nm.

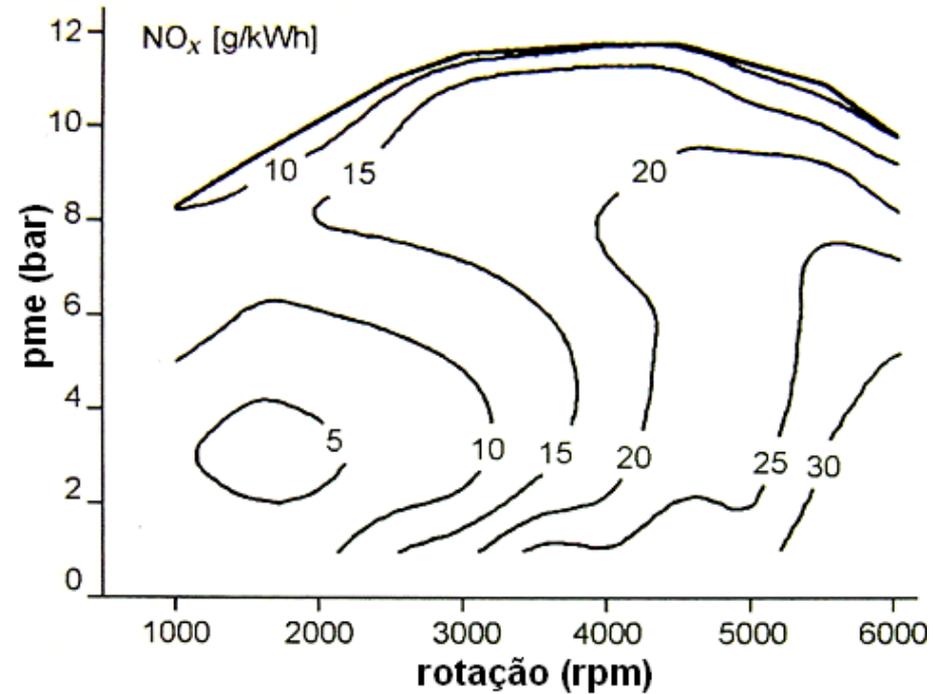
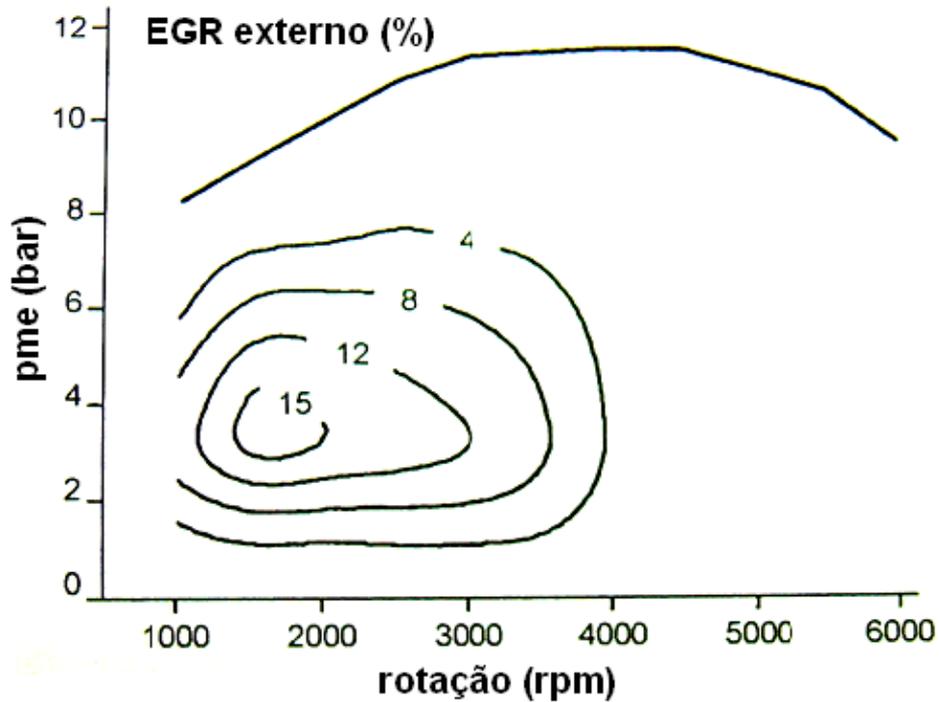


Redução de emissões em motores de ignição por compressão

2 válvulas para 4 válvulas	Maior recirculação dos gases de exaustão	Aumento na pressão de injeção	Turbo-alimentação + resfriamento
PM	PM Ce HC	NOx	
			
NOx	NOx	PM Ce HC	PM NOx HC
Ce HC	NOx		PM Ce

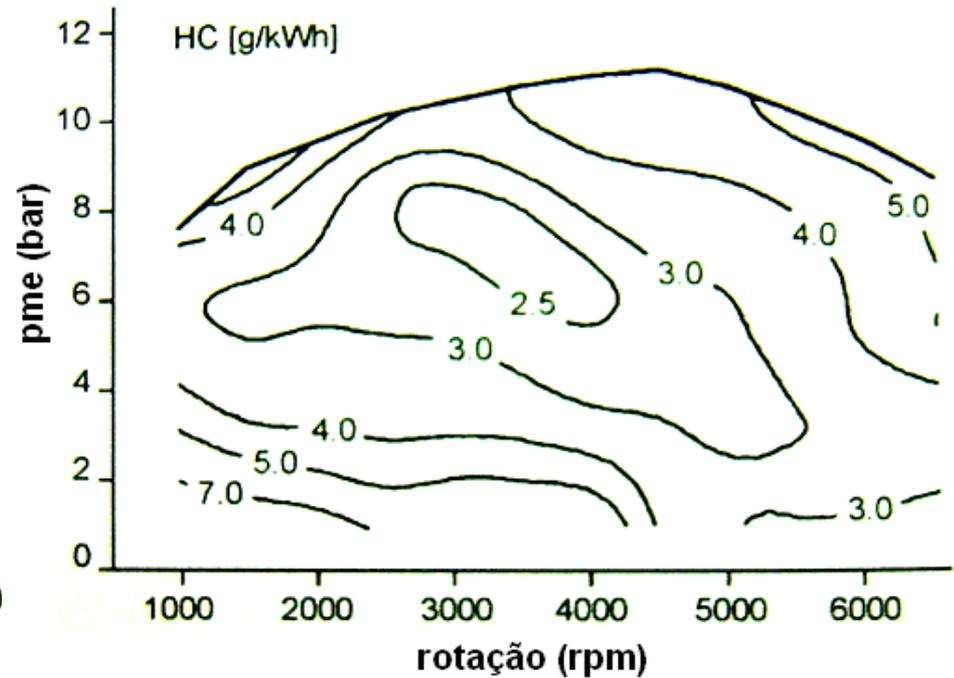
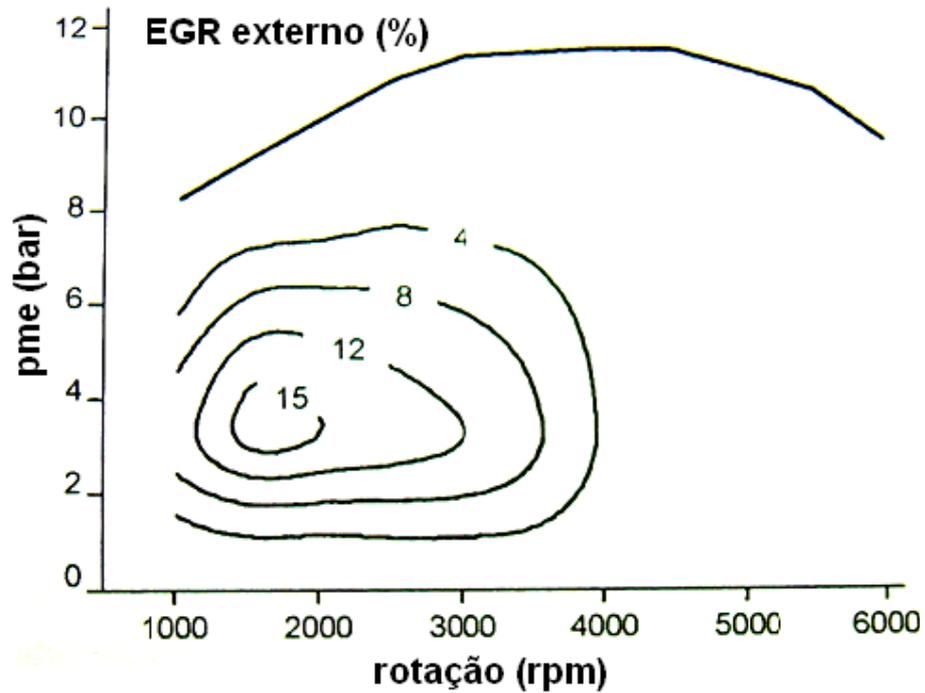
Efeito do EGR – Exhaust Gas Recycle

Motor de ignição por centelha



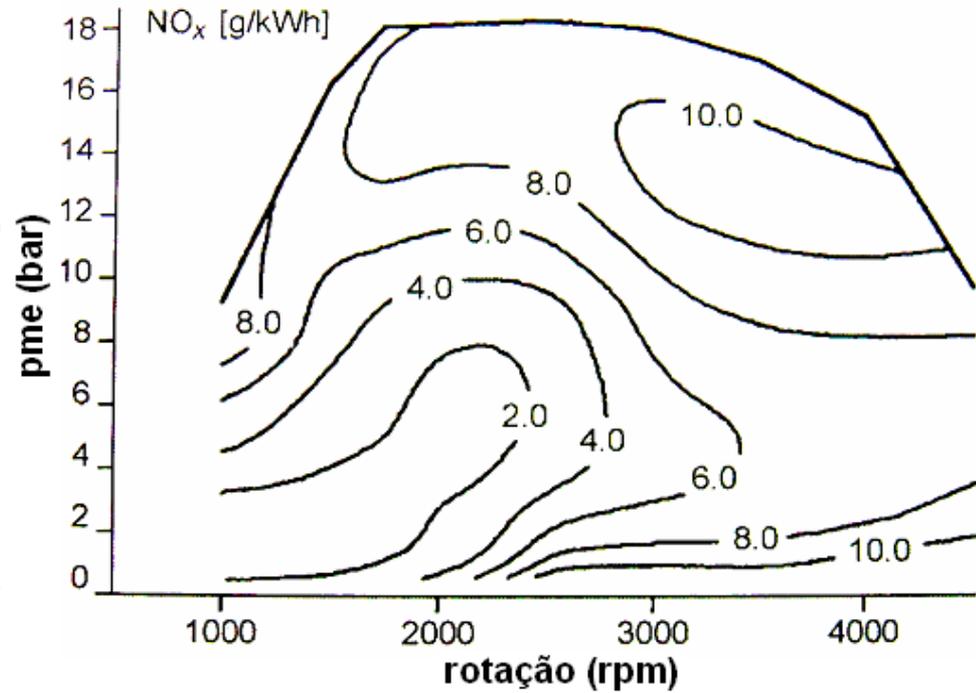
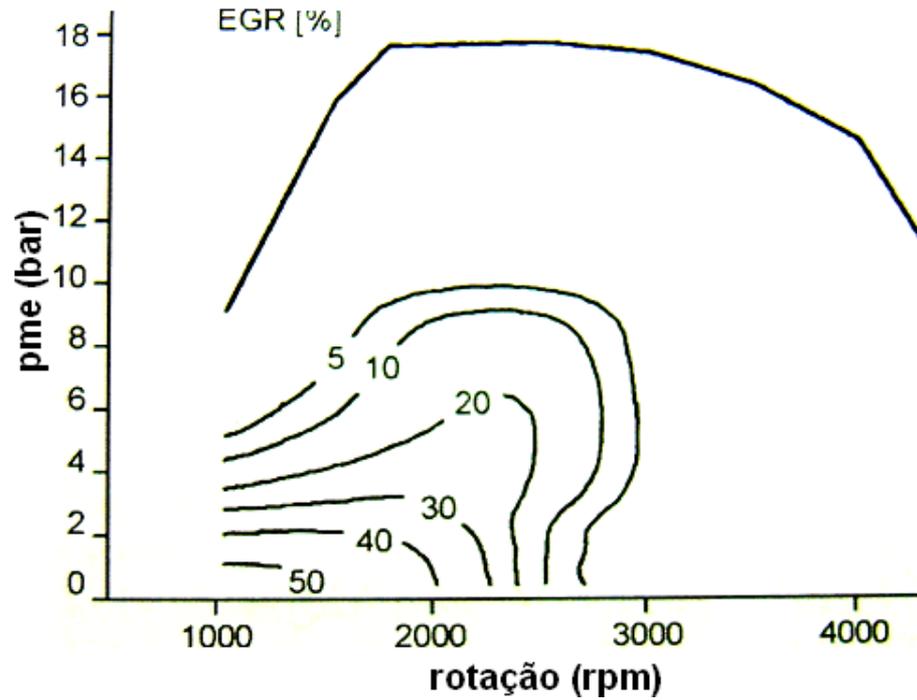
Efeito do EGR – Exhaust Gas Recycle

Motor de ignição por centelha



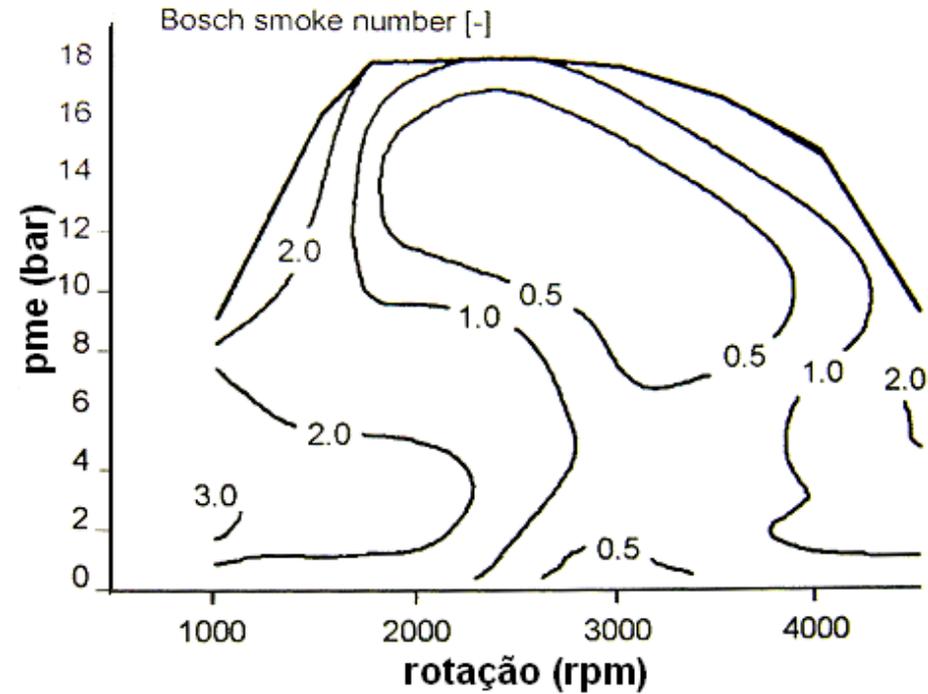
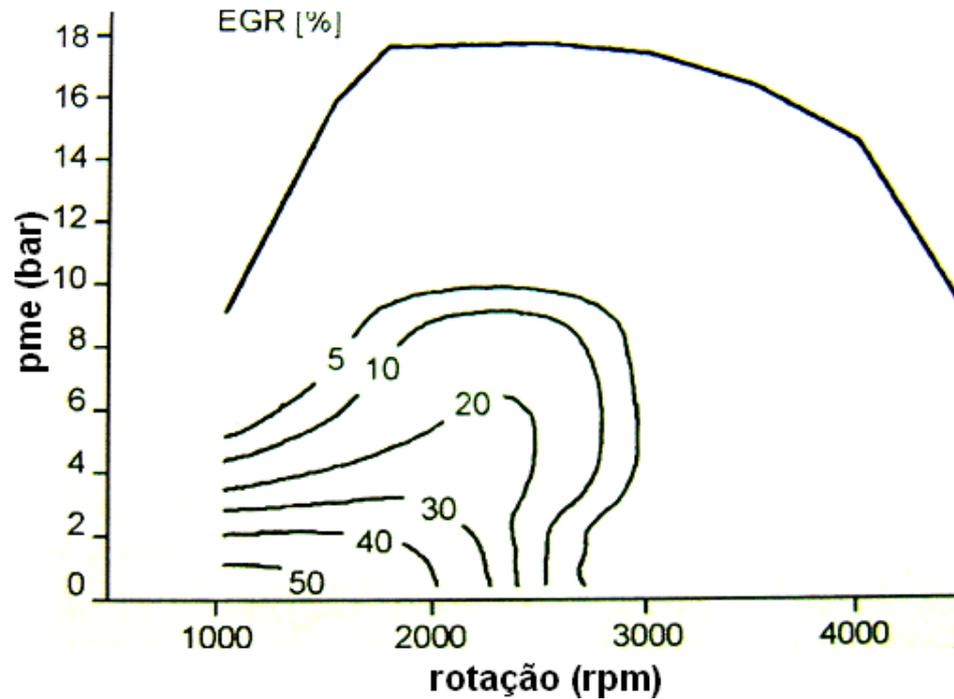
EGR – Exhaust Gas Recycle

Motor de ignição por compressão



EGR – Exhaust Gas Recycle

Motor de ignição por compressão



Tratamento dos gases de exaustão

❖ Cenário – Motores de ignição por centelha

- Temperatura dos gases de exaustão de **300 a 400 °C** em marcha lenta;
- Temperatura dos gases de exaustão de **900 °C** em alta potência;
- Temperatura dos gases de exaustão de **400 a 600 °C** usualmente;
- Fração relativa entre 0,9 e 1,2.
- Gases de exaustão contêm oxigênio quando o motor opera pobre;
- Gases de exaustão contêm CO quando o motor opera rico.

❖ Cenário – Motores de ignição por compressão

- Temperatura dos gases de exaustão de **200 a 500 °C**;
- Fração relativa sempre inferior a um.
- Gases de exaustão contêm oxigênio .

Tratamento dos gases de exaustão

★ Remoção dos gases poluentes pode ser **térmica** ou **catalítica**.

Tratamento térmico*

- A oxidação de hidrocarbonetos requer temperaturas superiores a 600 °C, durante tempo superior a 50 ms;
- A oxidação de CO requer temperaturas superiores a 700 °C;

Tratamento catalítico*

- A oxidação de HC e CO pode ser conseguida com temperatura de 250 °C;
- A oxidação de NO para formar NO₂ requer temperaturas inferiores a 400 °C e posterior eliminação do NO₂;
- A redução de NO por CO, HC ou H₂ para produzir N₂ é a forma preferida, sendo possível apenas em motores de ignição por centelha;
- A reação de NO com amônia injetada é uma forma alternativa de tratamento.

* Fonte: Heywood, J. **Internal combustion engines fundamentals**, McGrawHill, 1988.

Tratamento dos gases de exaustão em motores de ignição por centelha

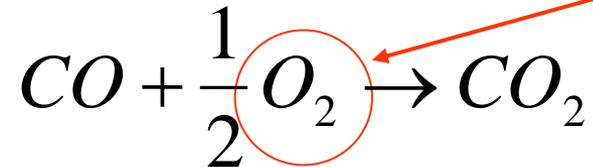
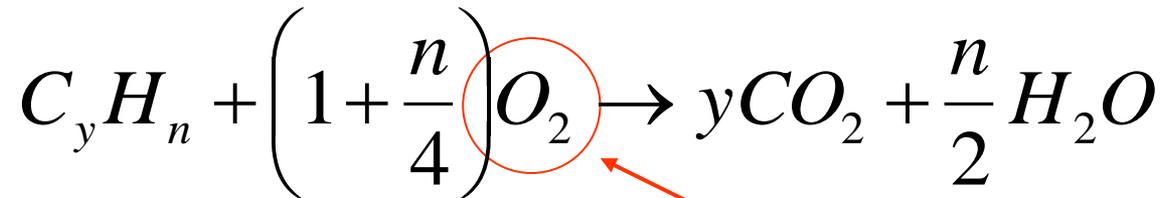
Conversor catalítico de três vias

Conversão de três poluentes: {
HC
CO
NOx

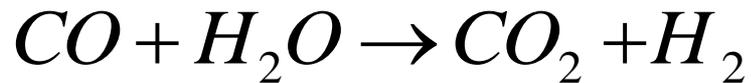
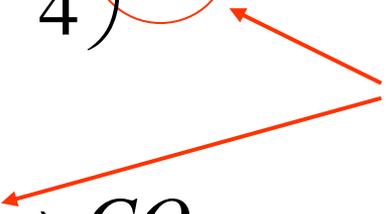


Conversor catalítico de três vias

Oxidação de CO e HC em CO₂ e H₂O:

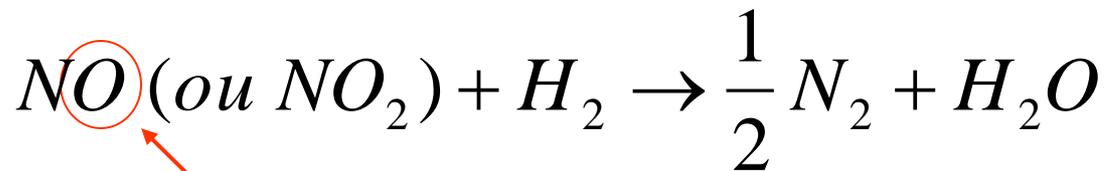
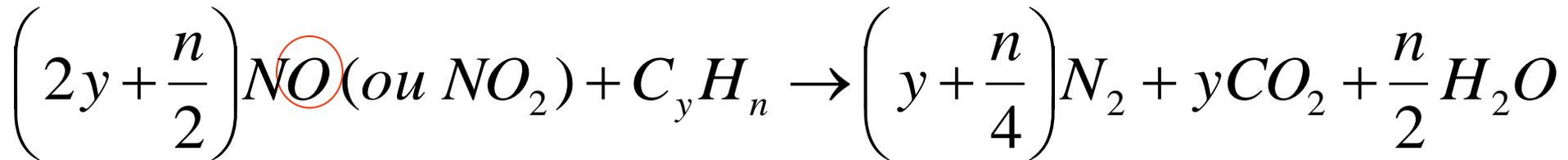


Necessidade de oxigênio

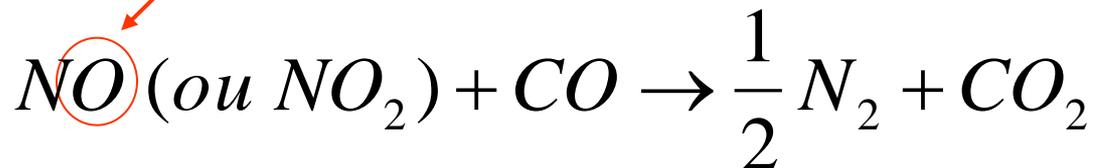


Conversor catalítico de três vias

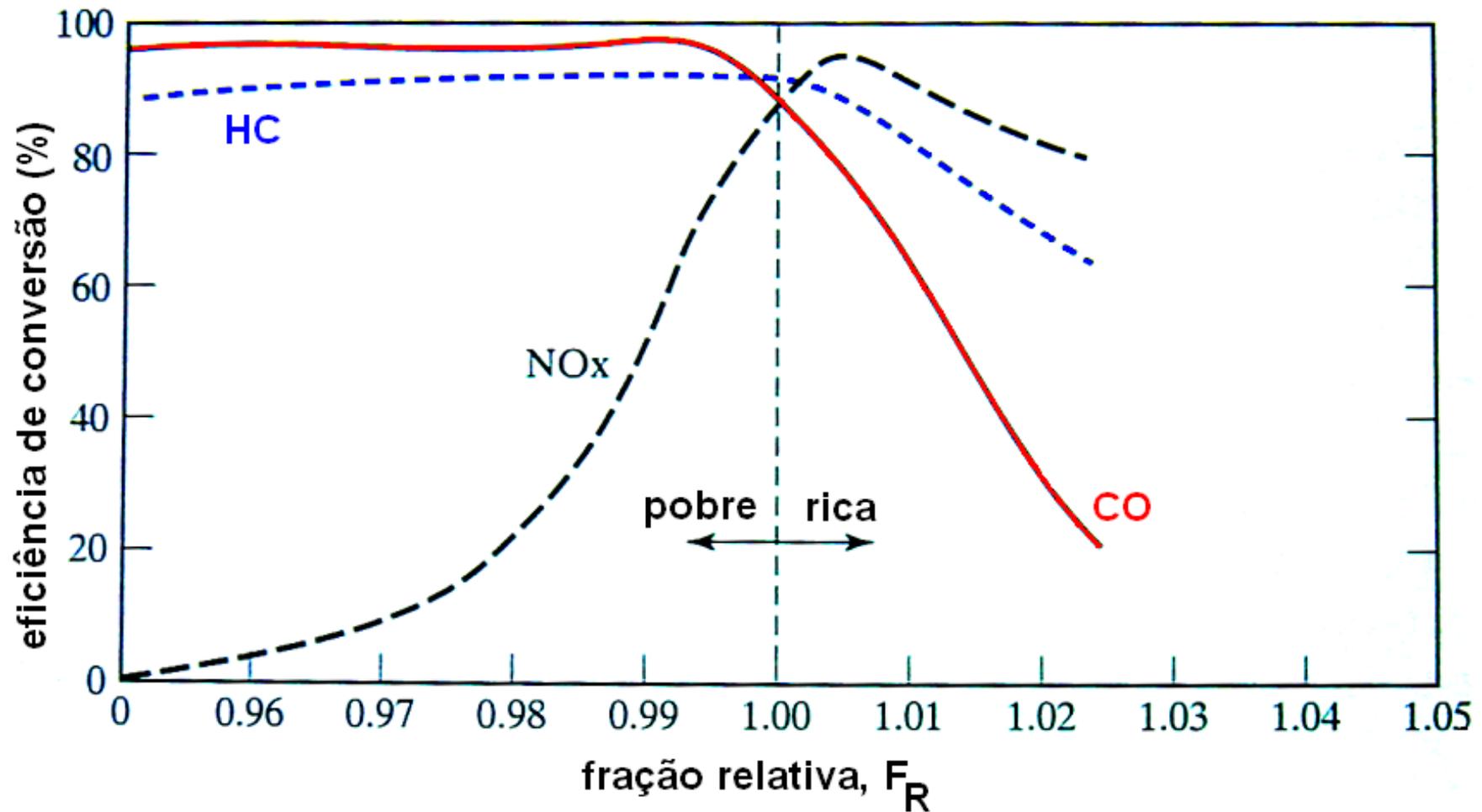
Redução de NO/NO₂ em N₂:



remoção de oxigênio



Conversor catalítico de três vias: eficiência de conversão



Conversores catalíticos de três vias

Necessidade da sonda lambda

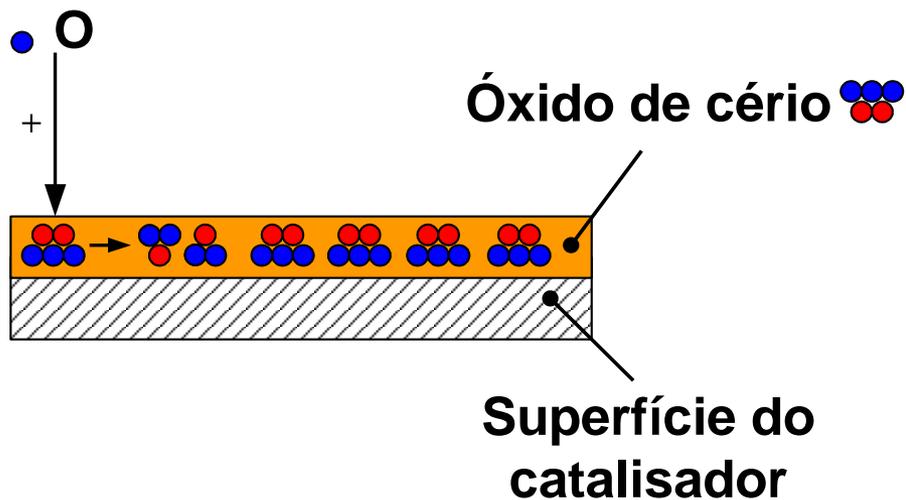


Necessidade de sistema de gerenciamento do motor para manter relação estequiométrica, **que é mantida apenas na média**

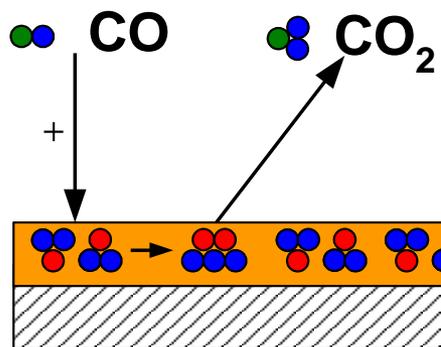
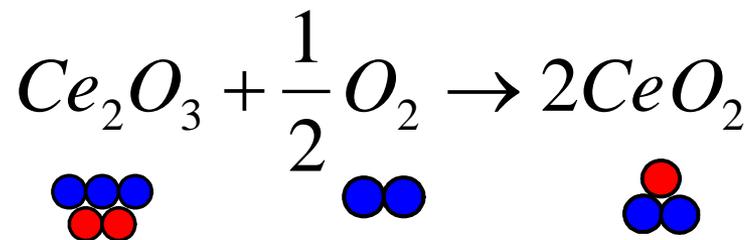


Aumento de consumo em cargas parciais, com conseqüente aumento da emissão de CO₂

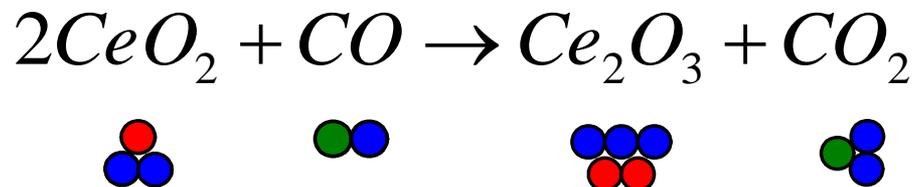
Conversor catalítico de três vias: acúmulo de O₂



Acúmulo

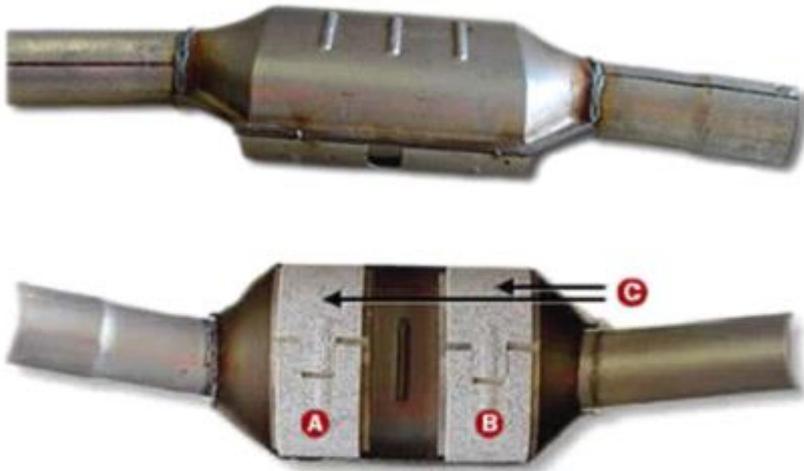


Liberação



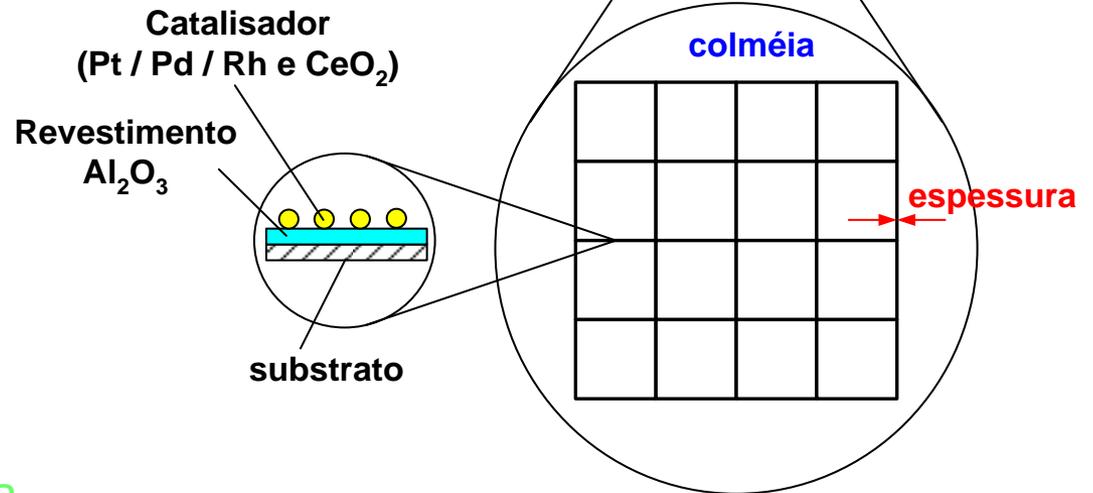
Conversor catalítico de três vias

Catalisador



- A** Catalisador de Redução Rh/Pd
- B** Catalisador de Oxidação Pt/Pd
- C** Núcleo tipo colméia

Colméia: metal ou cerâmica



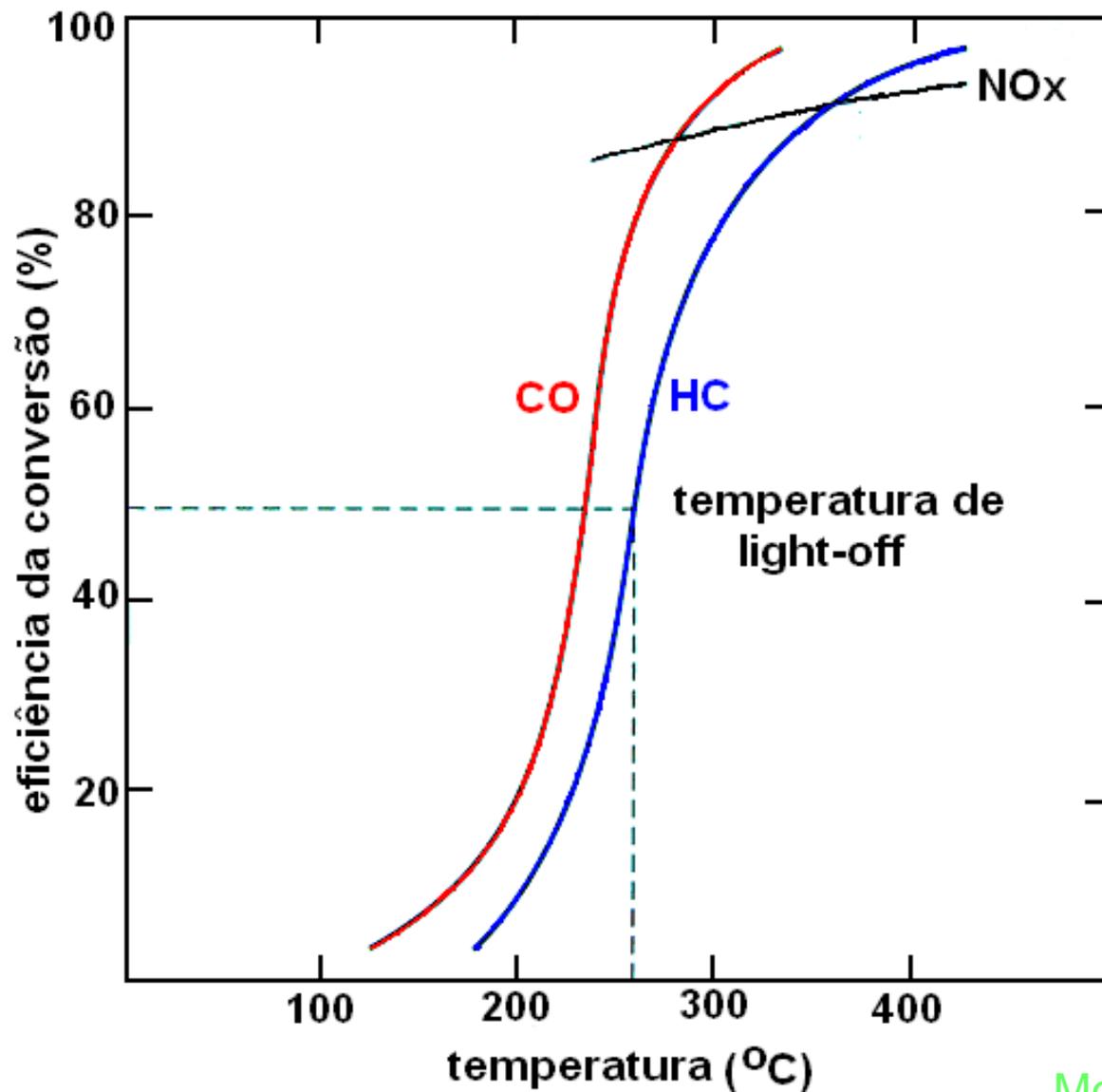
Motores de ignição por centelha

Conversor catalítico de três vias

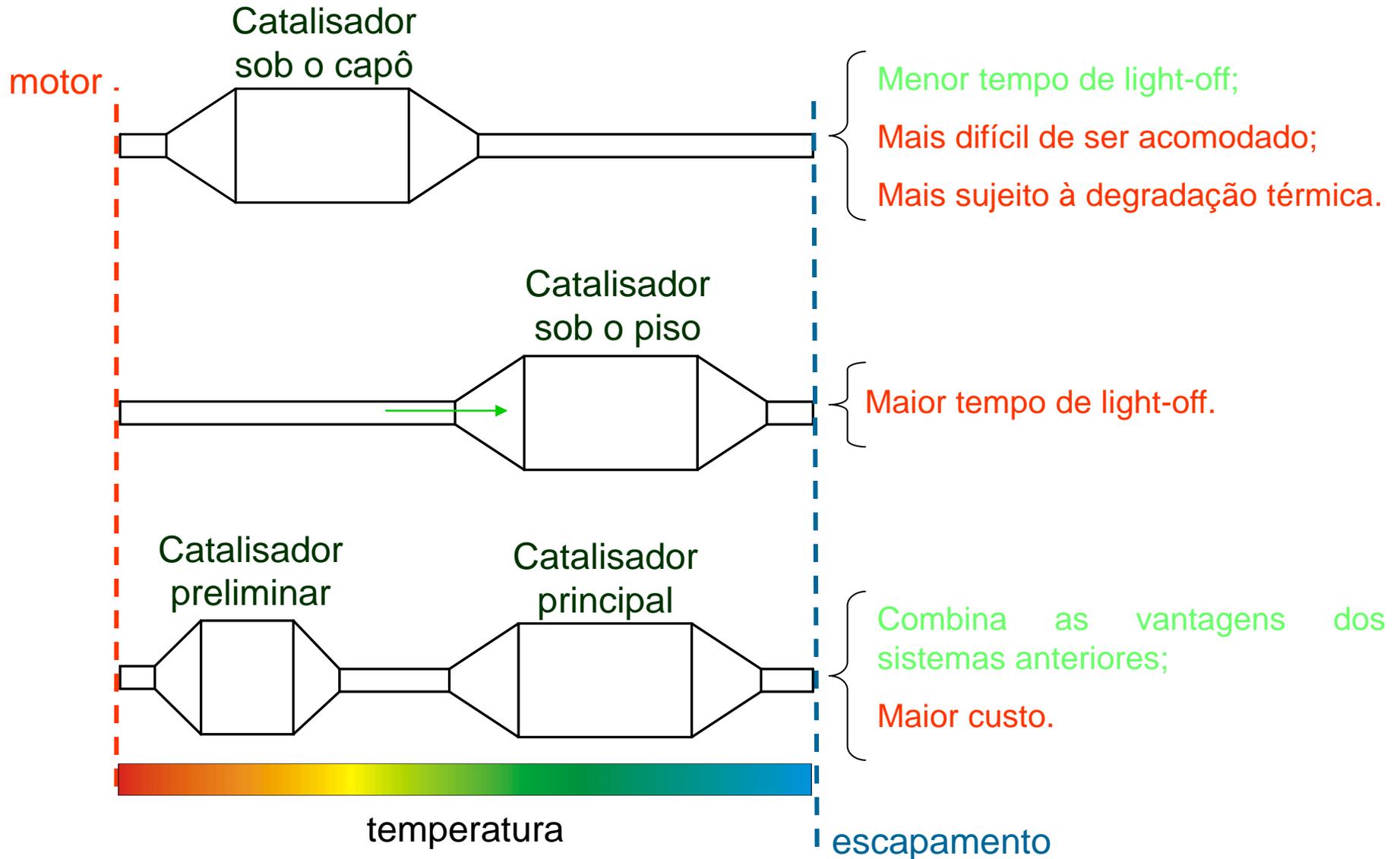
Requisitos:

- Elevada área superficial (por volta de 600 células / in²);
- Baixa perda de carga;
- Baixa capacidade térmica.

Conversor catalítico de três vias: eficiência de conversão



Arranjo do conversor catalítico



Durabilidade do conversor catalítico

Envelhecimento {
Temperatura de light-off aumenta;
Eficiência da conversão cai;
Resposta aos componentes muda.

Mecanismos de deterioração {
Envenenamento do catalisador; *
Desativação térmica.

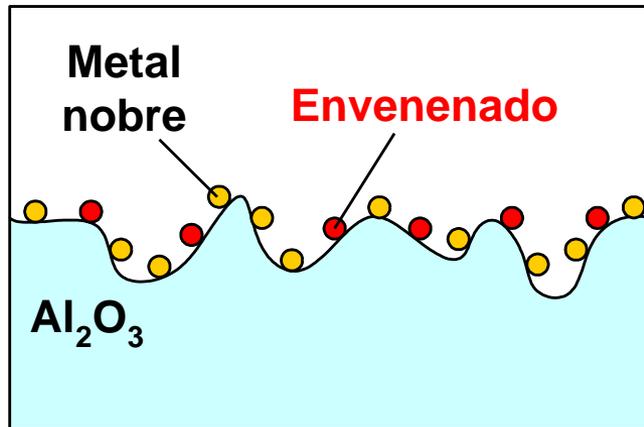
* **Fonte de contaminação:** Chumbo e enxofre no combustível, assim como aditivos no óleo lubrificante, como o fósforo.

Durabilidade do conversor catalítico: envenenamento

Envenenamento seletivo

O que é: Compostos como chumbo, mercúrio e cádmio reagem com os componentes do catalisador formando ligas.

O que fazer: Evitar contaminação já que a reação é irreversível.

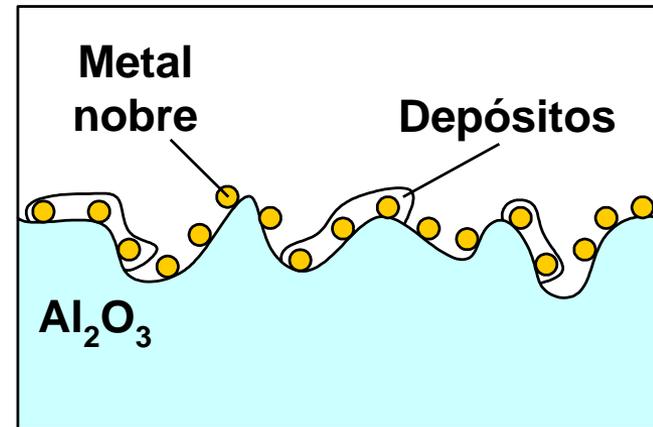


Resultado: Afeta a atividade de uma dada reação.

Envenenamento não- eletivo

O que é: Adsorção do material do catalisador por espécie química, bloqueando reações adicionais (ex. SO_2 e Pd) ou reação com o substrato formando um novo composto (ex. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

O que fazer: Aquecer ou remover o contaminante do escoamento já que a reação é reversível.



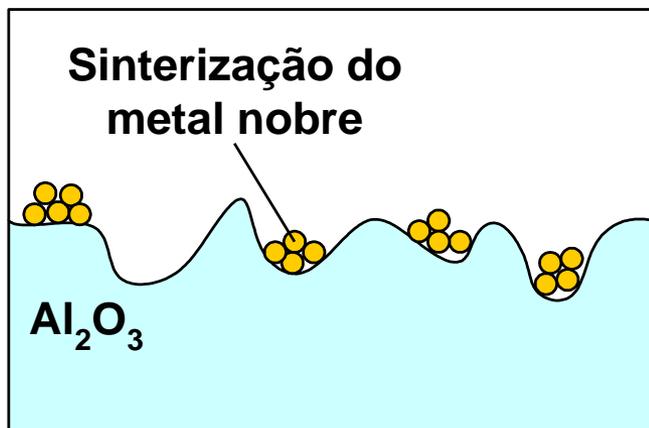
Resultado: Aumento da temperatura de light-off no 1º caso e mudança de inclinação e translação da curva para maiores temperaturas no segundo.

Durabilidade do conversor catalítico: desativação térmica

Sinterização do metal nobre

O que é: Combinação do material do catalisador, formando cristais sob a ação do calor.

O que fazer: Evitar altas temperaturas já que a reação é irreversível.

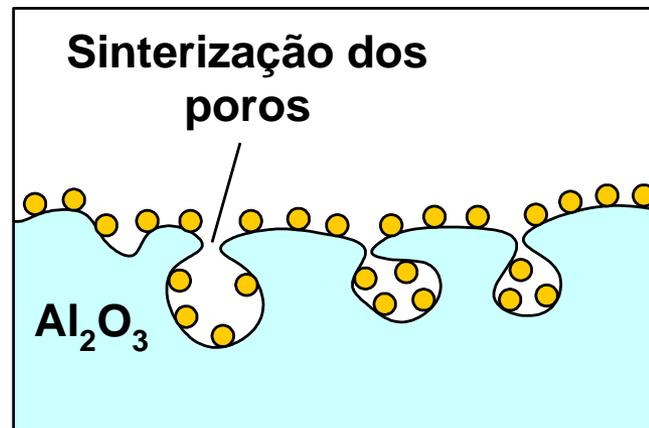


Resultado: Aumento da temperatura de light-off e translação da curva para maiores temperaturas.

Sinterização do substrato

O que é: Redução dos poros sob a ação de calor ou mudança de fase sólida do substrato, com conseqüente redução de área.

O que fazer: Evitar altas temperaturas já que a reação é irreversível.

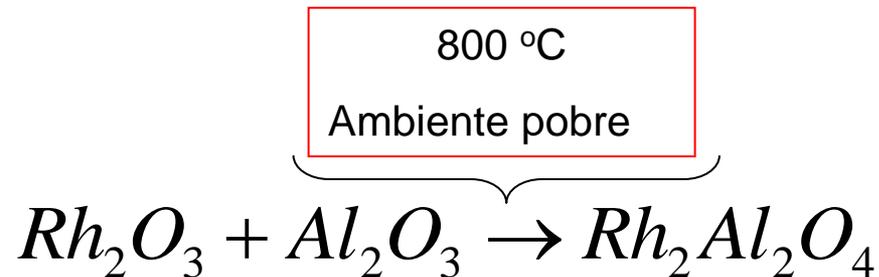


Resultado: Aumento da temperatura de light-off, mudança de inclinação e translação da curva para maiores temperaturas.

Durabilidade do conversor catalítico: desativação térmica

Interação entre o metal nobre e óxido do substrato

O que é: Combinação do material catalítico com o substrato, formando um óxido inativo.



O que fazer: Evitar altas temperaturas já que a reação é irreversível ou substratos alternativos como SiO₂, ZrO₂ e TiO₂.

Resultado: Desativação da redução de NO_x.

Conversão catalítica em motores de mistura pobre

Problema: Reduzir NOx em mistura de gases contendo grande quantidade de oxigênio.

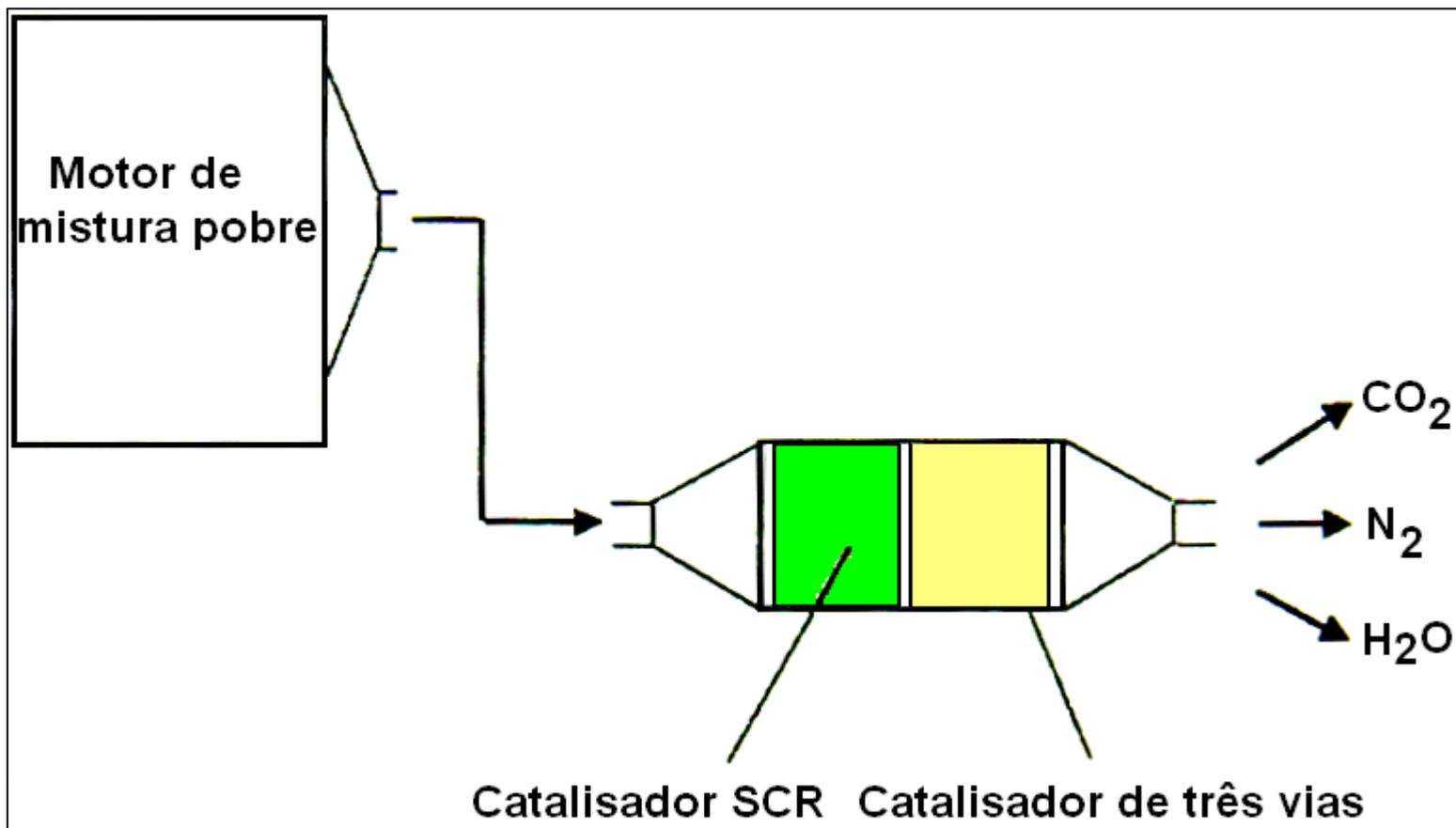
Métodos de redução {
SCR (Selective Catalytic Reduction);
Conversor catalítico de armazenamento de NOx.

SCR {
Ativo – injeção de agentes redutores nos gases de exaustão;
Passivo – uso apenas de componentes presentes nos gases de exaustão para redução de NOx.

Conversão catalítica em motores de mistura pobre

SCR Passivo

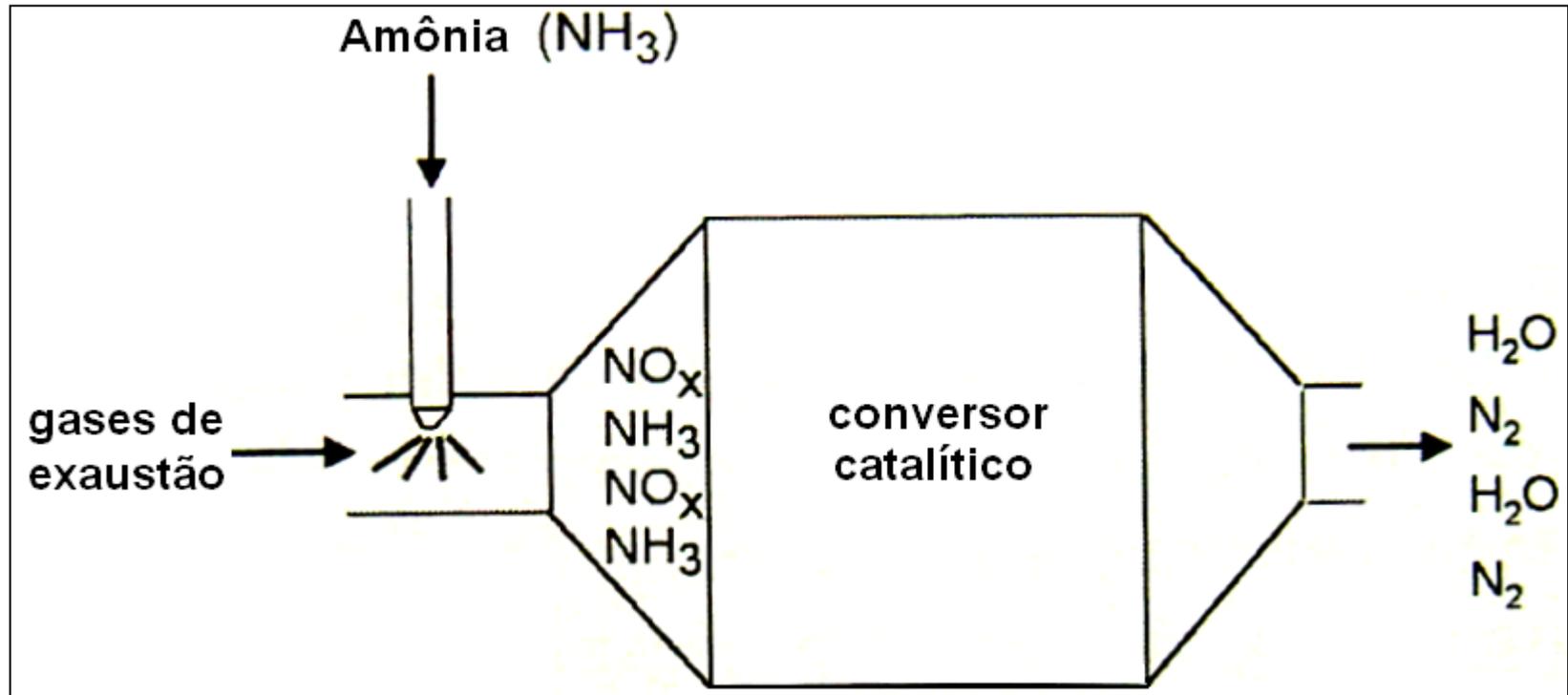
O que é: Utilização dos hidrocarbonetos presentes nos gases de exaustão para reduzir NOx formando N_2 , CO_2 e H_2O . São usados zeólitos de cobre que sofrem com o envelhecimento térmico e com a presença de enxofre no combustível. Conversores catalíticos de irídio podem ser empregados.



Conversão catalítica em motores de mistura pobre

SCR Ativo

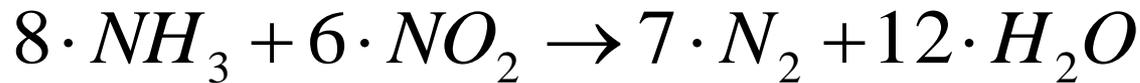
O que é: Injeção de agente redutor de NOx, amônia ou uréia, antes do conversor catalítico. Utilizam-se conversores de vanádio e titânio com janela de operação entre 200 e 450 °C.



Conversão catalítica em motores de mistura pobre

SCR Ativo – reações químicas

Injeção de amônia:



Injeção de uréia:



Conversão catalítica em motores de mistura pobre

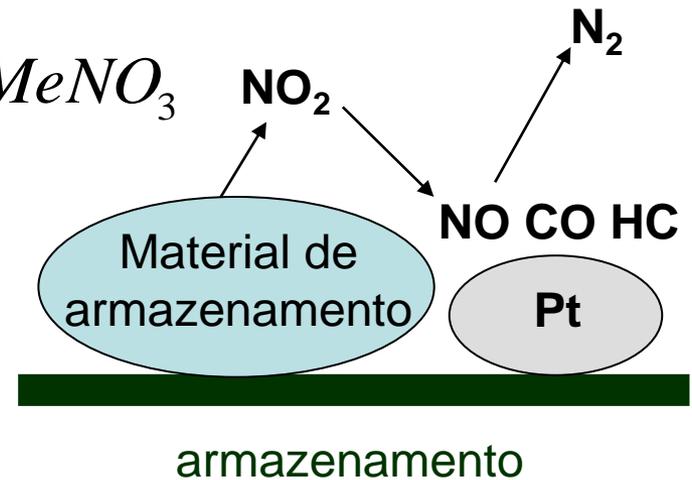
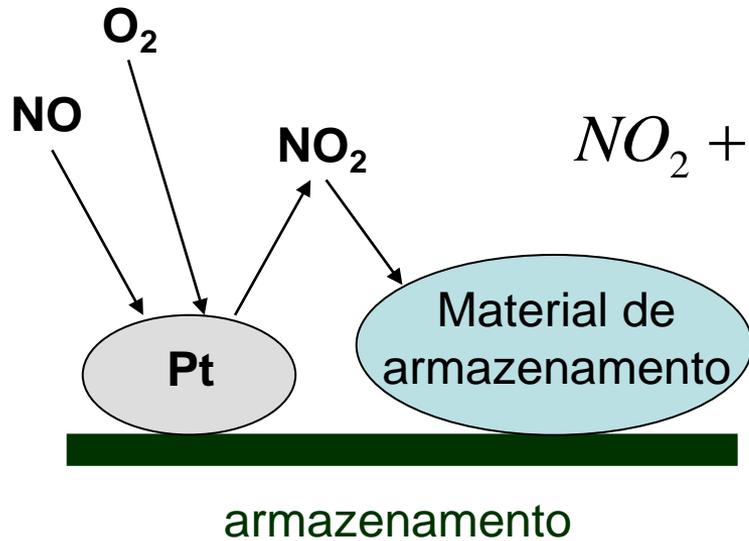
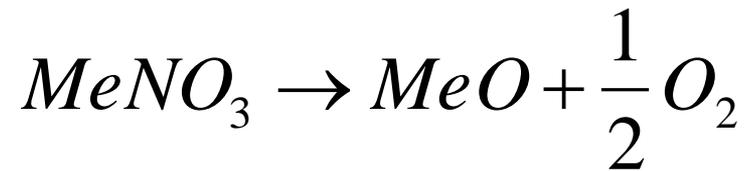
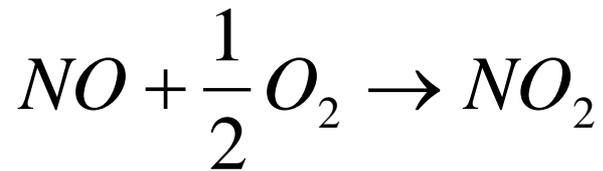
Conversor catalítico de armazenamento de NOx (Storage Catalytic Converter).

Mistura pobre



Mistura rica

Mudança periódica



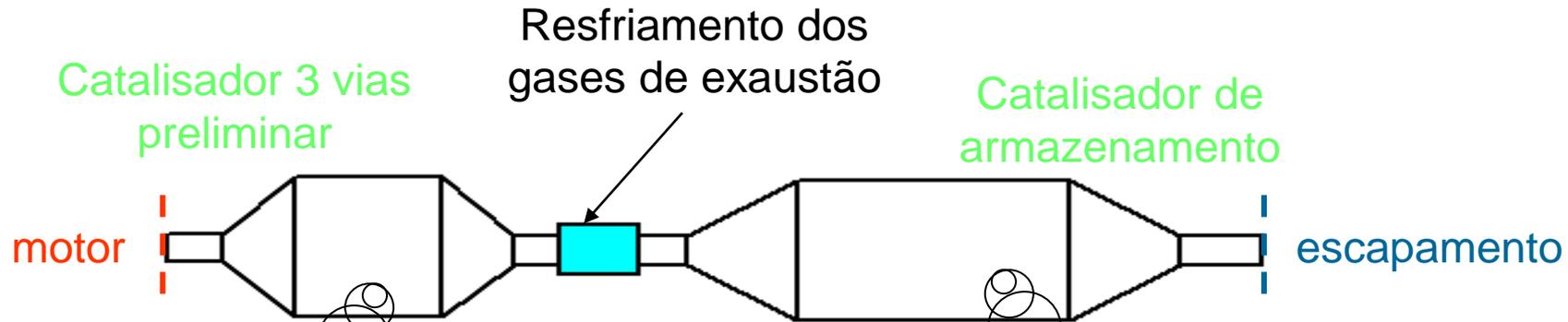
Sofre com envenenamento por enxofre.

combustível

Motores de ignição por centelha

Conversão catalítica em motores de mistura pobre

Conversor catalítico de armazenamento de NOx (Storage Catalytic Converter).



Conversão de HC na partida a frio;
Conversão em $\lambda = 1$;
Conversão de HC e CO em operação pobre;
Temperatura de estabilidade > 950 °C.

Armazenamento de NOx e redução;
Conversão em $\lambda = 1$;
Conversão de HC e CO em operação pobre;
Temperatura de estabilidade de 900 °C;
Resistência ao enxofre e dessulfurização.

Eficiências de conversão típicas

Catalisador	NOx	CO	HC	CH ₂ O*
3 vias	90-99%	90-99%	50-90%	80-95%
SCR – ativo (uréia)	75-98%	90-99%	50-90%	-----

*formaldeído

Fonte: <http://www.dcl-inc.com> 22/10/2007

Tratamento dos gases de exaustão em motores de ignição por compressão

Conversor catalítico de oxidação

Do inglês: Diesel Oxidation Catalytic Converter (DOC).

Substâncias: HC e CO.

Estrutura: similar a de um catalisador de três vias.

Desativação:

- Por envenenamento com enxofre quando as temperaturas forem maiores que 300°C. Desulfurização com temperaturas maiores que 600 °C ou enriquecimento da mistura;
- Térmica, através da sinterização dos poros e/ou metais. Processo irreversível.

Conversor catalítico de armazenamento (carros de passeio)

Substâncias: NO_x.

Funcionamento: similar ao apresentado anteriormente para um motor de ignição por compressão.

Regeneração:

- Por envenenamento com enxofre quando as temperaturas forem maiores que 300°C. Desulfurização com temperaturas maiores que 600 °C ou enriquecimento da mistura;
- Térmica, através da sinterização dos poros e/ou metais. Processo irreversível.

Desulfurização:

- Como não se pode operar com uma mistura rica sem a formação de fuligem, a desulfurização deve ser conseguida mediante o aquecimento do conversor a níveis de temperatura em torno de 500-550 °C.

Filtro de material particulado

Do inglês: Diesel Particle Filter (DPF).

Objetivo: Eliminar partículas entre 10 e 500 nm.

Características desejadas:

- Resistir a temperaturas de exaustão de 750 °C e picos de temperatura na regeneração de 1400 °C;
- Resistir ao estresse térmico provocado por rápidas variações de temperatura;
- Resistir a danos provocados por cinzas de óleo lubrificante e aditivos;
- Armazenar grandes quantidades de particulado e cinzas;
- Propiciar baixa perda de carga;
- Propiciar baixa inércia térmica.

Principais tipos:

- Monólito cerâmico;
- Filtro de metal sinterizado;

Filtro de material particulado

➡ Apresentam capacidade de armazenamento limitada, devendo ser limpos.

➡ A maior parte do material retido no filtro é formada por partículas de carbono com hidrocarbonetos absorvidos.

➡ Formas de remoção:

Exige temperaturas entre 500 °C e 600 °C*

Reação com oxigênio

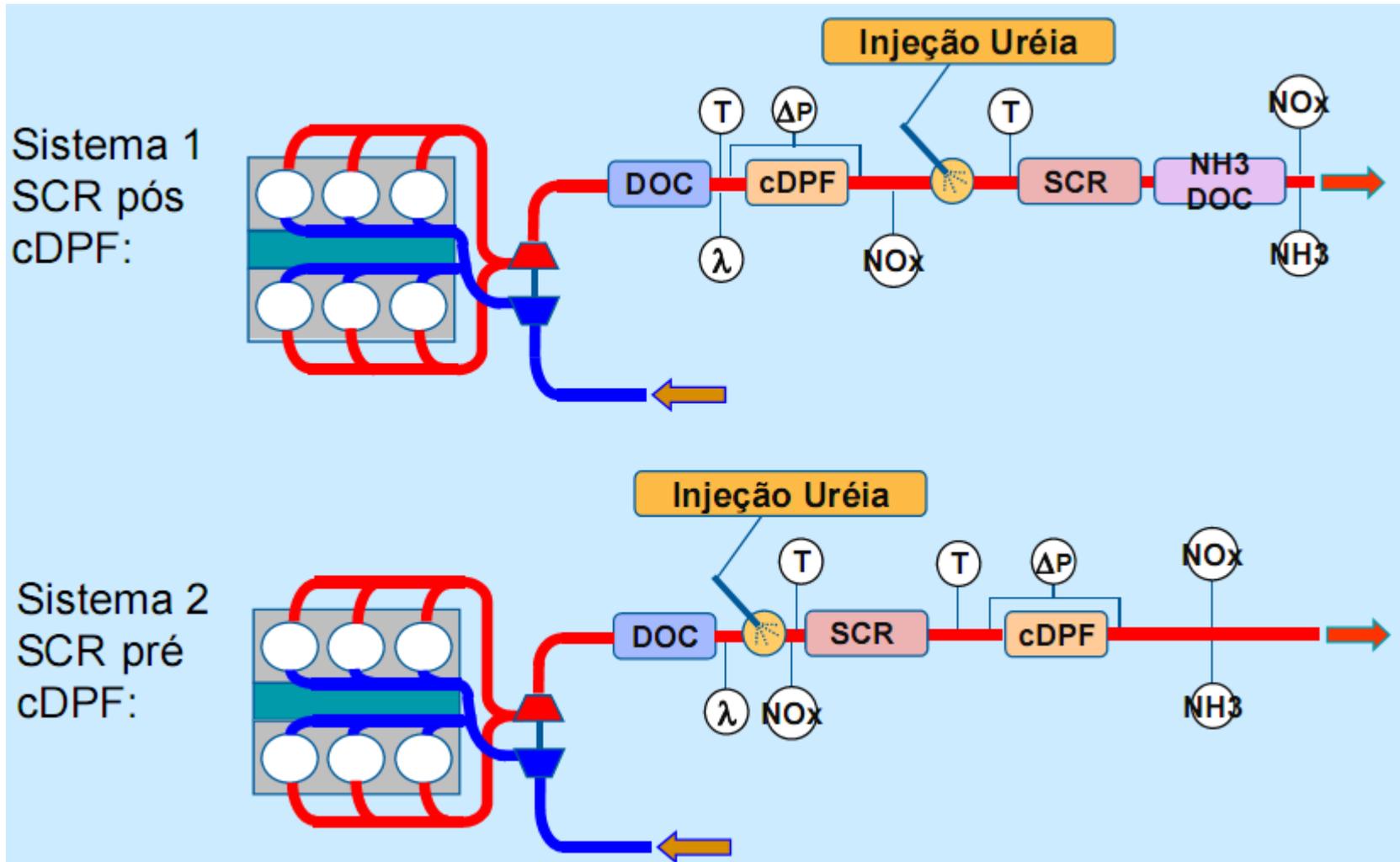


Reação com dióxido de oxigênio



Exige temperaturas entre 250 °C e 350 °C*

Arranjo do Sistema de Tratamento dos Gases de Exaustão



*Fonte: Umicore Automotive Catalysts. Simpósio SAE Brasil – Propulsão Veicular e a Nova Matriz Energética, 08/10/2007

Eficiências de conversão típicas

Catalisador	NOx	CO	HC	Aldeídos	PM₁₀
DOC	-----	70-95%	70-90%	70-90%	10-40%
SCR – ativo (uréia)	75-98%	90-99%	50-90%	-----	0-40%
DPF	-----	-----	-----	-----	70-95%

Fonte: <http://www.dcl-inc.com> 22/10/2007

Legislação

Brasil – Programas de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores: PROCONVE (automóveis) e PROMOT (motocicletas);

Europa – European emission standards;

E.E.U.U. – US Environmental Protection Agency (EPA);

Califórnia – California Air Resources Board (CARB);

Japão – Japanese Manufactures (JAMA).

Legislação: Europa

Especificação para os seguintes poluentes:

- CO;
- HC;
- NOx;
- Particulado (apenas para motores Diesel).

Emissão de CO₂:

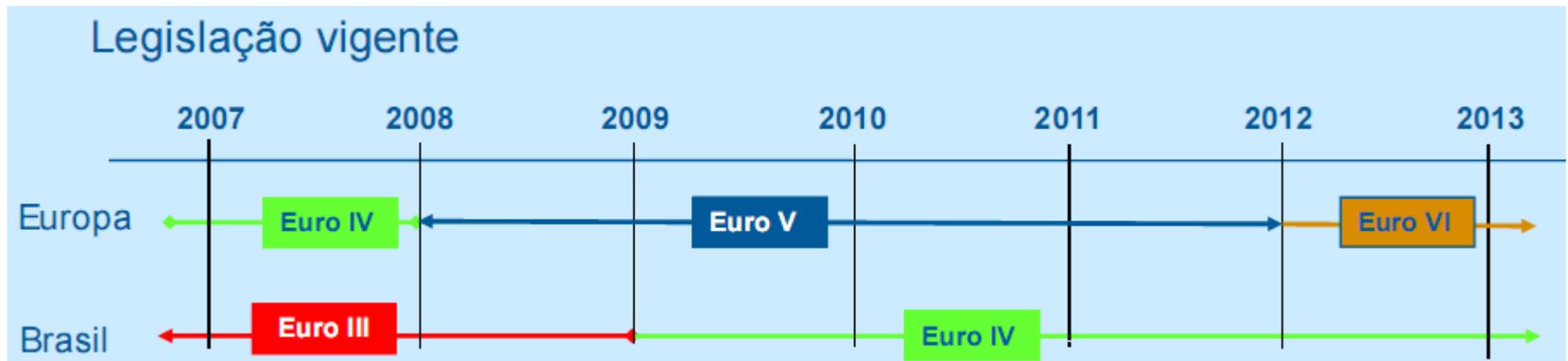
- Não existe uma legislação que especifique limites para estas emissões ou para o consumo de combustível.

Legislação: Europa – carros de passeio

Tier	Data	<u>CO</u>	<u>HC</u>	HC+NOx	<u>NOx</u>	<u>PM</u>
Diesel (em g/km)						
<u>Euro I</u>	julho 1992	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)
<u>Euro II, IDI</u>	Jan. 1996	1.0	-	0.7	-	0.08
<u>Euro II, DI</u>	Jan. 1996	1.0	-	0.9	-	0.10
<u>Euro III</u>	Jan. 2000	0.64	-	0.56	0.50	0.05
<u>Euro IV</u>	Jan. 2005	0.50	-	0.30	0.25	0.025
<u>Euro V</u> (proposto)	Set. 2009	0.50	-	0.23	0.18	0.005
<u>Euro VI</u> (proposto)	Set. 2014	0.50	-	0.17	0.08	0.005
Gasolina (em g/km)						
<u>Euro I</u>	Juho 1992	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-
<u>Euro II</u>	Jan. 1996	2.2	-	0.5	-	-
<u>Euro III</u>	Jan. 2000	2.30	0.20	-	0.15	-
<u>Euro IV</u>	Jan. 2005	1.0	0.10	-	0.08	-
<u>Euro V</u> (proposto)	Set. 2009	1.0	0.10	-	0.06	0.005
<u>Euro VI</u> (proposto)	Set. 2014	1.0	0.10	-	0.06	0.005

Legislação: Brasil

Legislação brasileira segue a europeia.

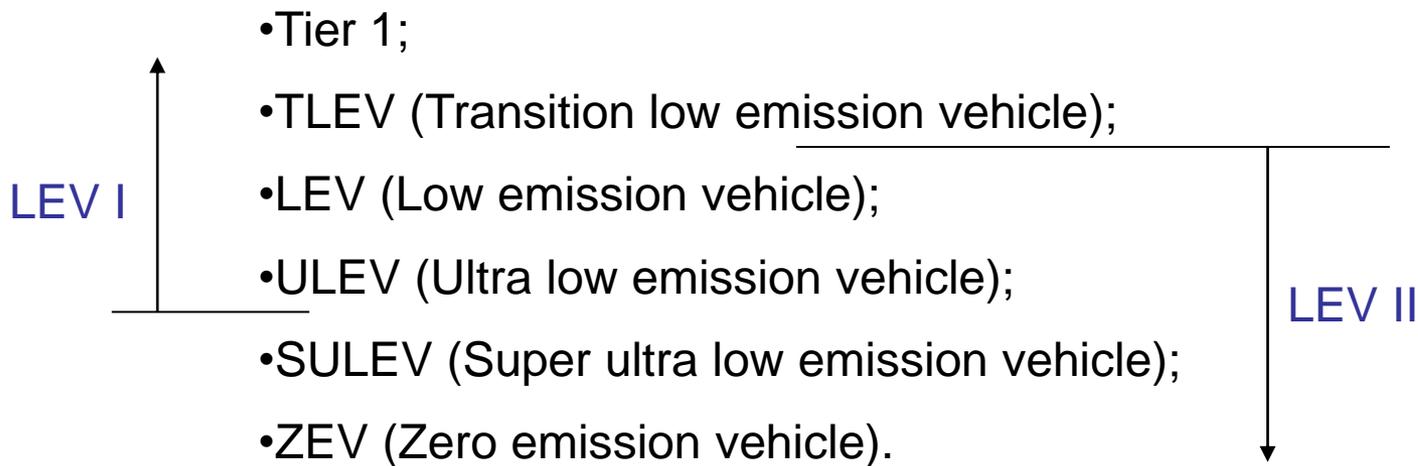


Legislação: Califórnia

Para carros de passeio e caminhões leves valem as normas:

- LEV I (veículos com menos que 2722 kg, modelos de 1993 a 2004);
- LEV II (veículos com menos que 3856 kg, modelos a partir de 2004).

Categorias:



Norma pede garantia de durabilidade

Consultar: <http://www.arb.ca.gov/msprog/ccvl/ccvl.htm>

Panorama: veículos nacionais

ANO MODELO	COMBUSTÍVEL	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	CHO (g/km)	EMIÇÃO EVAPORATIVA DE COMBUSTÍVEL (g/teste)
PRÉ - 80	Gasolina	54,0	4,7	1,2	0,050	ND
96	Gasolina C	3,8 (-86%)	0,4 (-83%)	0,5 (-69%)	0,019 (-62%)	1,2 (-95%)
	Álcool	3,9 (-77%)	0,6 (-63%)	0,7 (-42%)	0,040 (-78%)	0,8 (-92%)
97	Gasolina C	1,2 (-96%)	0,2 (-92%)	0,3 (-81%)	0,007 (-86%)	1,0 (-96%)
	Álcool	0,9 (-95%)	0,3 (-84%)	0,3 (-75%)	0,012 (-93%)	1,1 (-89%)
98	Gasolina C	0,8 (-97%)	0,1 (-96%)	0,2 (-88%)	0,004 (-92%)	0,8 (-97%)
	Álcool	0,7 (-96%)	0,2 (-88%)	0,2 (-83%)	0,014 (-92%)	1,3 (-87%)
99	Gasolina C	0,7 (-98%)	0,1 (-96%)	0,2 (-88%)	0,004 (-92%)	0,8 (-97%)
	Álcool	0,6 (-96%)	0,2 (-88%)	0,2 (-83%)	0,013 (-93%)	1,6 (-84%)
00	Gasolina C	0,73 (-97%)	0,13 (-95%)	0,21 (-87%)	0,004 (-92%)	0,73 (-97%)
	Álcool	0,63 (-96%)	0,18 (-89%)	0,21 (-83%)	0,014 (-92%)	1,35 (-87%)
01	Gasolina C	0,48 (-98%)	0,11 (-95%)	0,14 (-91%)	0,004 (-92%)	0,68 (-97%)
	Álcool	0,66 (-96%)	0,15 (-91%)	0,08 (-93%)	0,017 (-91%)	1,31 (-87%)
02	Gasolina C	0,43 (-98%)	0,11 (-95%)	0,12 (-95%)	0,004 (-92%)	0,61 (-97%)
	Álcool	0,74 (-96%)	0,16 (-90%)	0,08 (-93%)	0,017 (-91%)	ND
03	Gasolina C	0,40 (-98%)	0,11 (-95%)	0,12 (-93%)	0,004 (-92%)	0,75 (-97%)
	Álcool	0,77 (-95%)	0,16 (-90%)	0,09 (-93%)	0,019 (-89%)	ND
	Flex-Gasol.C	0,50 (-98%)	0,05 (-98%)	0,04 (-98%)	0,004 (-92%)	ND
	Flex-Álcool	0,51 (-88%)	0,15 (-90%)	0,14 (-93%)	0,020 (-89%)	nd
04	Gasolina C	0,35 (-99%)	0,11 (-95%)	0,09 (-94%)	0,004 (-92%)	0,69 (-97%)
	Álcool	0,82 (-95%)	0,17 (-89%)	0,08 (-93%)	0,016 (-91%)	ND
	Flex-Gasol.C	0,39 (-99%)	0,08 (-97%)	0,05 (-97%)	0,003 (-94%)	ND
	Flex-Álcool	0,46 (-97%)	0,14 (-91%)	0,14 (-91%)	0,014 (-92%)	ND
05	Gasolina C	0,34 (-99%)	0,10 (-96%)	0,09 (-94%)	0,004 (-92%)	0,90 (-96%)
	Álcool	0,82 (-95%)	0,17 (-89%)	0,08 (-93%)	0,016 (-91%)	ND
	Flex-Gasol.C	0,45 (-98%)	0,11 (-95%)	0,05 (-97%)	0,003 (-94%)	ND
	Flex-Álcool	0,39 (-98%)	0,14 (-91%)	0,10 (-92%)	0,014 (-92%)	ND
06	Gasolina C	0,33 (-99%)	0,08 (-96%)	0,08 (-95%)	0,002 (-96%)	0,46 (-98%)
	Álcool	0,67 (-96%)	0,12 (-93%)	0,05 (-96%)	0,014 (-92%)	ND
	Flex-Gasol.C	0,45 (-98%)	0,10 (-95%)	0,05 (-97%)	0,003 (-94%)	0,62 (-97%)
	Flex-Álcool	0,47 (-98%)	0,11 (-95%)	0,07 (-96%)	0,014 (-92%)	1,27 (-87%)

(1) Médias ponderadas de cada ano-modelo pelo volume da produção.

ND: não disponível.

(%) refere-se à variação verificada em relação aos veículos 1985, antes da atuação do PROCONVE.

Gasolina C: 78% gasolina + 22% álcool.

Exercício

- 1) A câmara de combustão de um motor Otto V8 com taxa de compressão de 7,8:1, diâmetro de pistão de 101 mm e 6719 cm^3 pode ser aproximada por cilindros de seção circular. O motor opera a 3000 rpm usando gasolina com uma relação ar/combustível de 15,2 e uma eficiência volumétrica de 90 %. Quando ocorre a combustão, a chama se extingue próxima à parede e uma camada de mistura não se queima. A combustão ocorre a volume constante próximo do ponto morto superior e a camada não queimada apresenta uma espessura de 0,1 mm. Considere o combustível uniformemente distribuído na câmara. Calcule:
- a) Porcentagem de combustível que não queimou na camada superficial;
 - b) Vazão mássica de combustível perdida na exaustão;
 - c) Taxa de calor não liberada pela combustão incompleta na parede.

2) Calcule as frações molares de NO e NO₂ em equilíbrio químico no ar atmosférico a uma temperatura de 1800K. Despreze a variação da fração molar de N₂ (0.79) e O₂(0.21) do ar atmosférico em função da conversão em NO e NO₂.