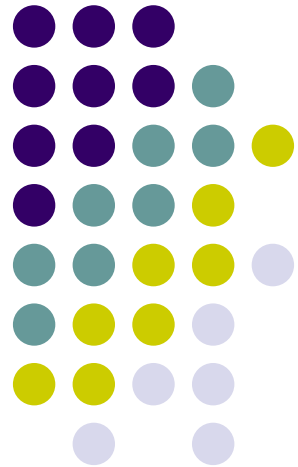
# CAPITULO 3

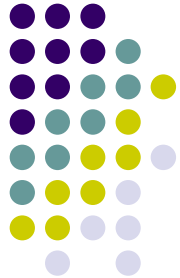
## O combustível e a Combustão

Motores a GASOLINA / ÁLCOOL com ignição por centelha



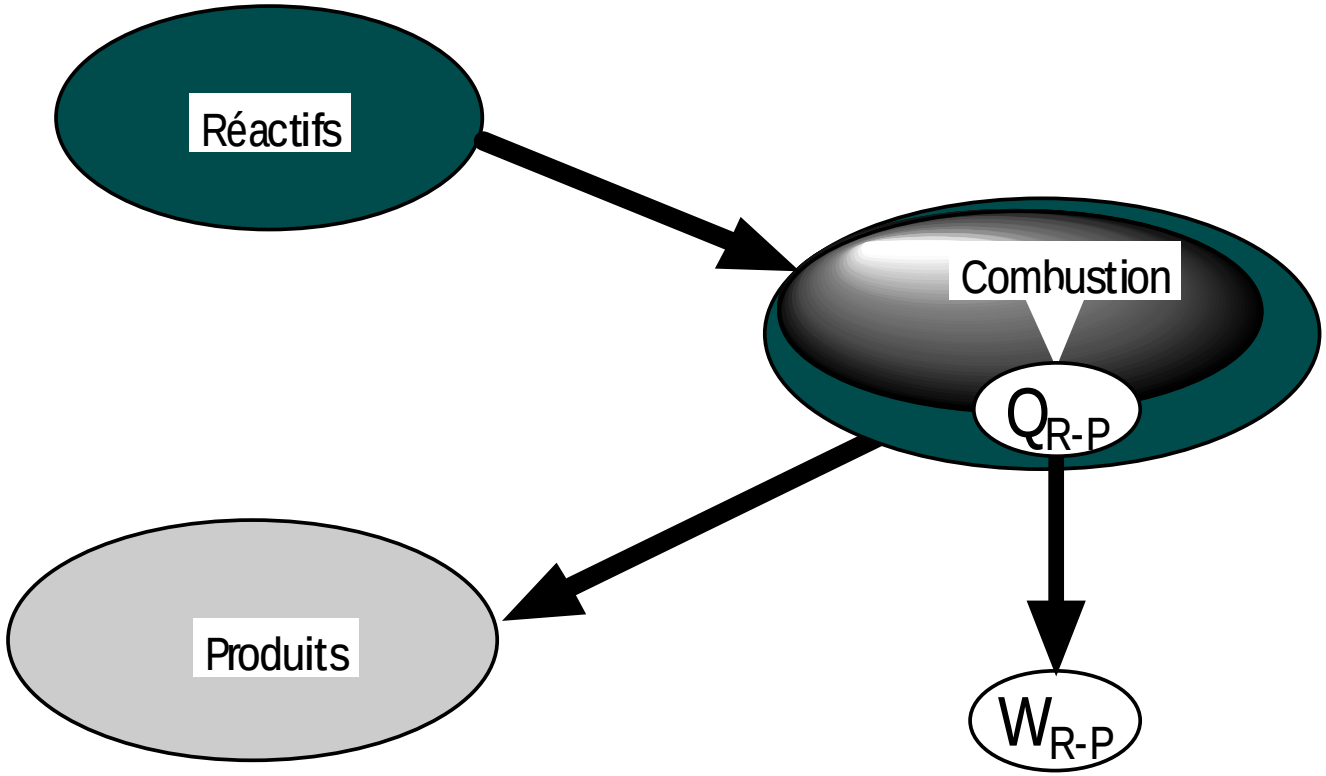
Volvo Powertrain – Julio Lodetti

# Revisão sobre as características gerais

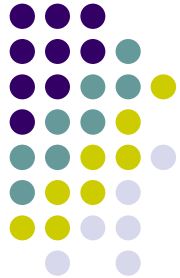


- A COMBUSTÃO consiste na etapa essencial deste processo realizado em motores térmicos.
- A COMBUSTÃO transforma a energia química potencial contida num combustível.
- Esta transformação, que resulta no aumento da pressão no interior dos cilindros, devido ao aquecimento dos produtos da combustão, é a origem do TRABALHO realizado sobre o eixo do virabrequim.

# Revisão sobre as características gerais

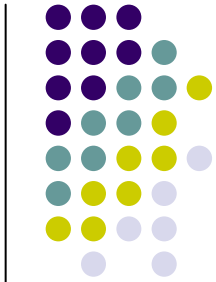


# Revisão sobre as características gerais



- Como toda reação química, a reação de combustão corresponde a uma reorganização dos átomos existentes nas moléculas colocadas em questão, chamados aqui de REATIVOS.
- Estes REATIVOS, irão então conduzir a uma criação de novas espécies, os PRODUTOS da combustão.
- Esta transformação resulta na liberação da energia química do combustível, que é a resultante das diferentes formas de energia “guardadas” em suas moléculas e átomos. Isto se deve as suas novas re-organizações, ligações e interações.

# Revisão sobre as características gerais



- A esta reação de combustão, se supõe a existência simultânea de três parâmetros:
  - Combustível
  - Comburente (ar, ou NITRO porque não)
  - Temperatura
- Outros parâmetros suplementares, como a composição da mistura e nível de pressão, resultam em transformações que ocorrem a partir de produtos oriundos de colisões entre moléculas ou espécies ativas. Elas seguem um processo e uma cinética que será vista adiante.

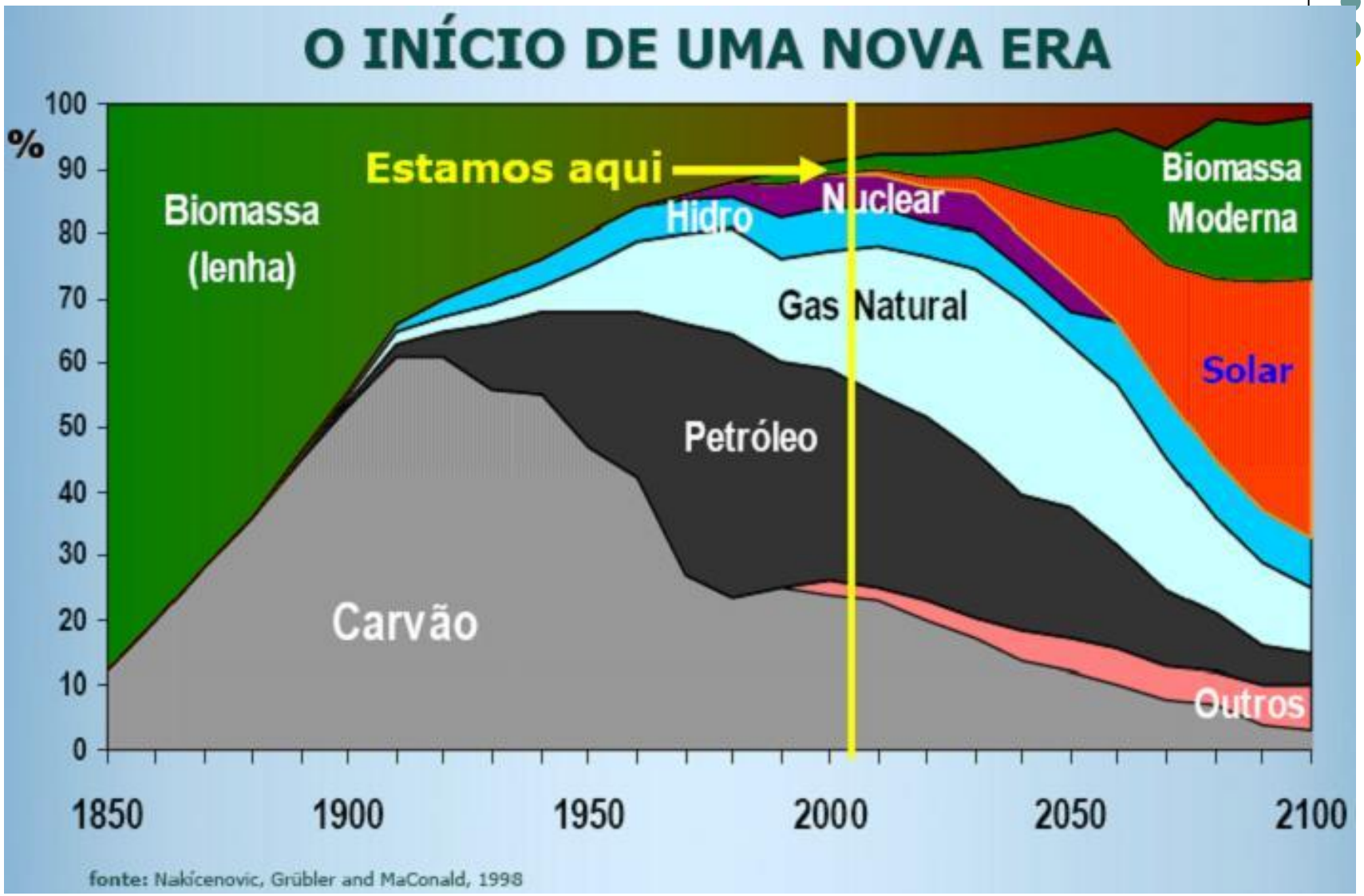
# Átomos e Moléculas

- O ar SECO atmosférico (comburente) é uma mistura de gases onde, a composição , expressa em % de volume, corresponde em média:
  - O2: 20,9% vol
  - N2 + gases inertes: 79,1 % vol

- Além destes componentes, o ar contém vapor d`água, em proporções variáveis segundo a higrometria local.
  - Esta quantidade de vapor d'água é caracterizado pela umidade relativa. Pode-se então, levar em conta a presença de vapor d`água no calculo da mistura combustível.

# OS COMBUSTIVEIS

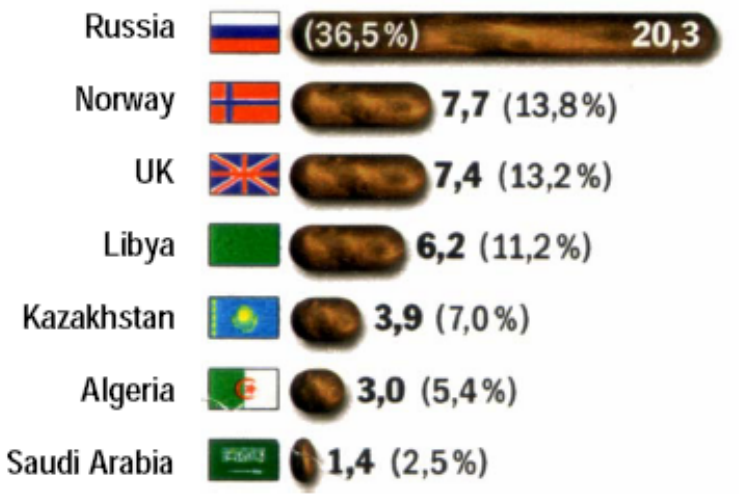
# Os combustíveis



# Os combustíveis

## DIFFERENT OIL SOURCES

Crude oil import in Germany, first six months in 2005
in Mio. tons (share in percent)

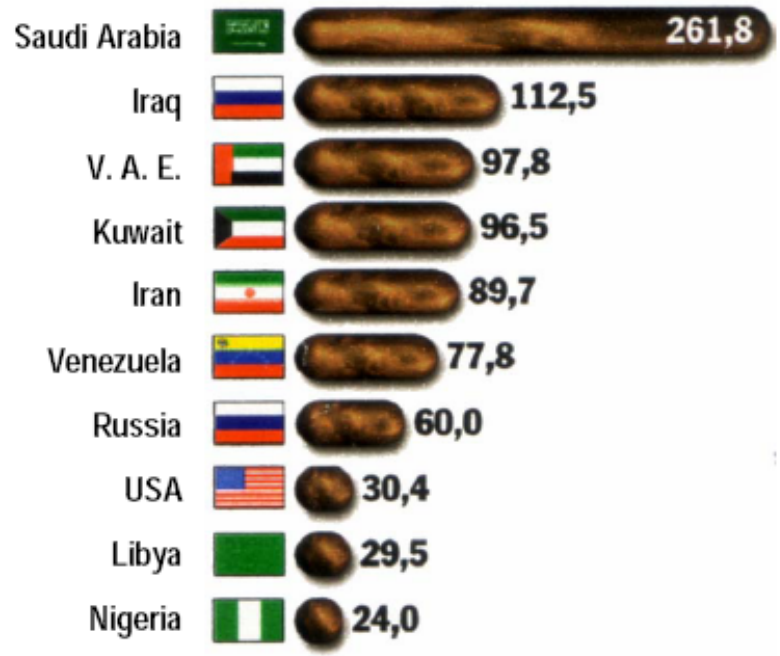



## GERMANY

is dependent to a minor degree of oil
imports from Saudi Arabia

## ABUDANCE OF SAUDI ARABIAN OIL

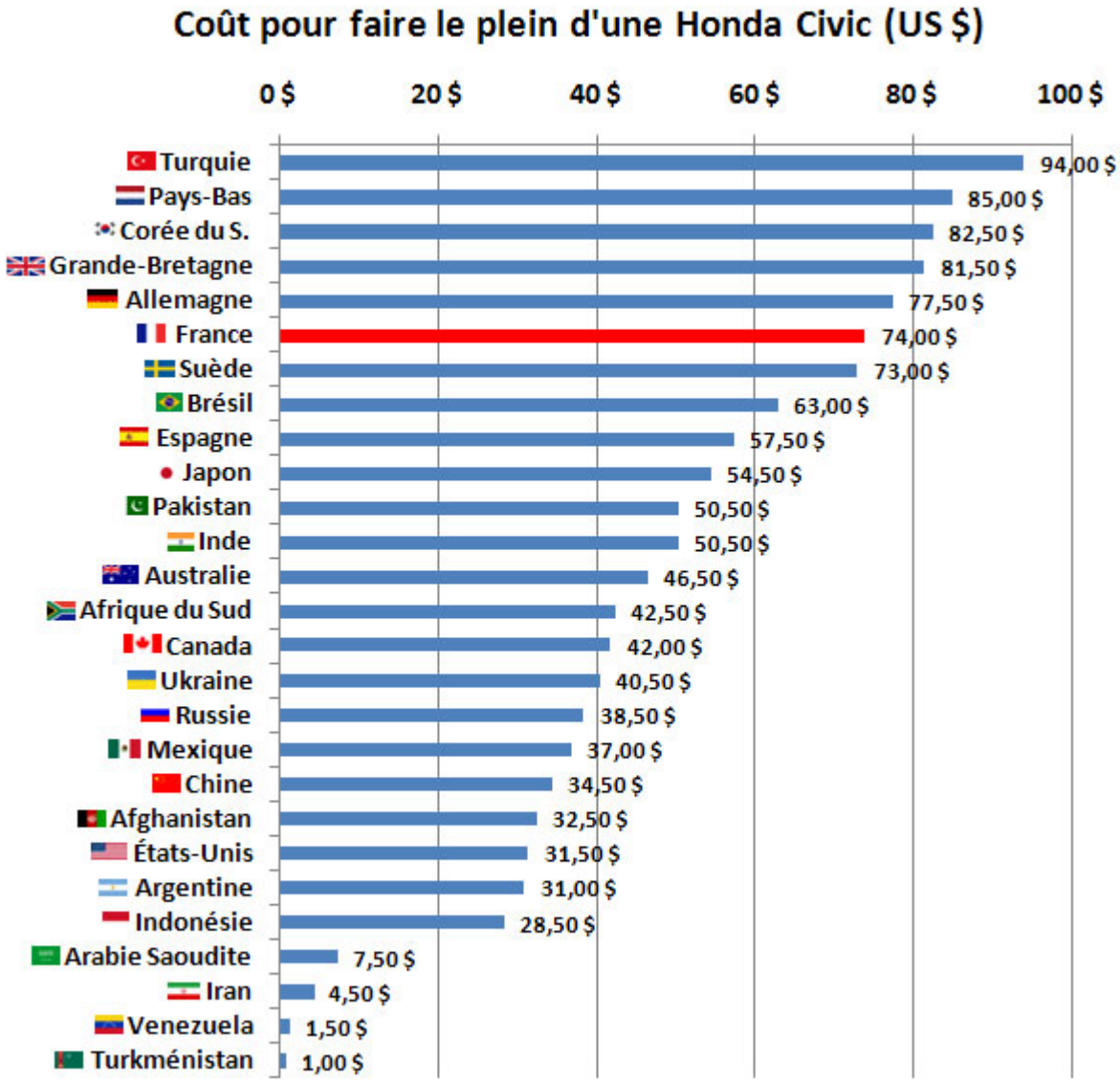
Ranking of countries with largest crude oil resources
(in Bill. Barrel)




## THE GULF STATES

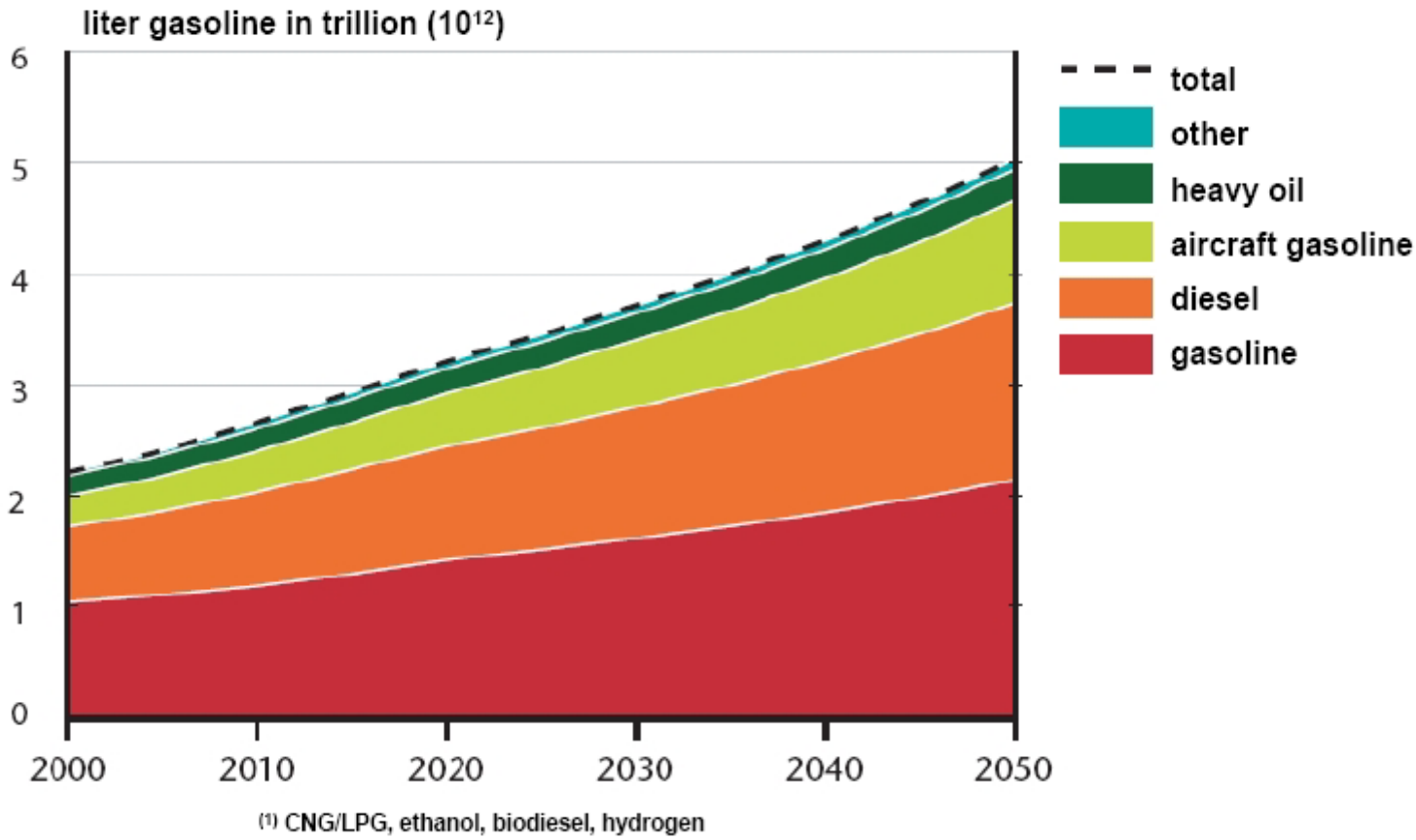
possess a big part of crude oil resources
worldwide

Source: FOCUS 32/2005


Coût pour faire le plein d'une Honda Civic (US $)
0 $
20 $
40 $
60 $
80 $
100 $
Turquie 94,00 $
Pays-Bas 85,00 $
Corée du S. 82,50 $
Grande-Bretagne 81,50 $
Allemagne 77,50 $
France 74,00 $
Suède 73,00 $
Brésil 63,00 $
Espagne 57,50 $
Japon 54,50 $
Pakistan 50,50 $
Inde 50,50 $
Australie 46,50 $
Afrique du Sud 42,50 $
Canada 42,00 $
Ukraine 40,50 $
Russie 38,50 $
Mexique 37,00 $
Chine 34,50 $
Afghanistan 32,50 $
États-Unis 31,50 $
Argentine 31,00 $
Indonésie 28,50 $
Arabie Saoudite 7,50 $
Iran 4,50 $
Venezuela 1,50 $
Turkménistan 1,00 $

# Os combustíveis

**Fuel consumption worldwide – complete traffic**




Source: WBCSD 2004: Mobilität 2030

# Os combustíveis

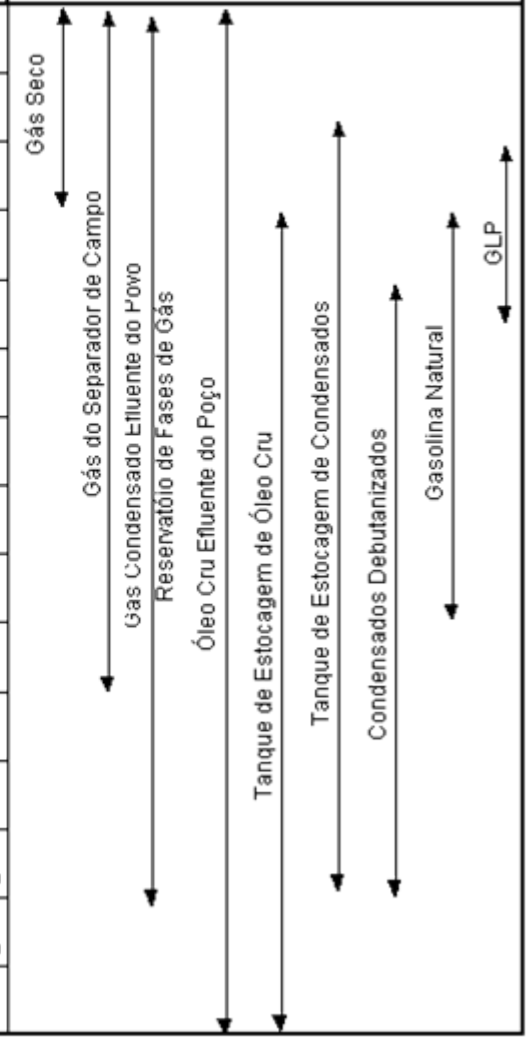
- Os combustíveis na sua grande maioria são oriundos da destilação do petróleo bruto e/ou de meios alternativos como o álcool.
- A composição de um combustível clássico, como a gasolina, não é geralmente conhecido em detalhes.
- Os combustíveis comerciais atuais, são definidos por especificações que fixam limites máximos e mínimos de suas propriedades físico-químicas medidos segundo procedimentos normalizados internacionalmente.

# Os combustíveis

- As gasolinas comerciais são atualmente constituídas de 100 a 150 moléculas diferentes em sua composição!!
- A faixa de números de átomos de carbono de sua cadeia principal, varia entre 4 e 11, as vezes até 12..
- Já o álcool comercial no Brasil, é constituído de 93% de etanol (C2H5OH) e 7% d`água.

# Composição dos Combustíveis

| Nome | Fórmula | Ponto de Vaporização Normal (°C) | Produtos Comercializáveis |
|---|---|---|---|
| Metano | $CH_4$ | -162 | Gás Natural |
| Etano | $C_2H_6$ | -89 | Gás Natural |
| Propano | $C_3H_8$ | -42 | Gás Natural, Propano |
| Isobutano | $i\text{-}C_4H_{10}$ | -12 | Gasolina Natural, Butano |
| n-Butano | $n\text{-}C_4H_{10}$ | -6 | Gasolina Natural, Butano, Diesel |
| Pentano | $C_5H_{12}$ | 32 | Gasolina Natural, Diesel |
| Hexano | $C_6H_{14}$ | 63 | Gasolina Natural, Diesel |
| Heptano | $C_7H_{16}$ | 91 | Gasolina Natural, Diesel |
| Octano | $C_8H_{18}$ | 118 | Gasolina Natural, Diesel |
| Decano | $C_{10}H_{22}$ | 174 | Óleo Diesel |
| Tetradecano | $C_{14}H_{30}$ | 254 | Querozene, Óleo leve de Caldeira |
| Hexadecano | $C_{16}H_{34}$ | 287 | Óleo de Caldeiras |
| Triacontano | $C_{30}H_{62}$ | 457 | Óleo Lubrificante Leve, Óleo Combustível Pesado |
| Tetracontano | $C_{40}H_{82}$ | 544 | Óleo Lubrificante, Óleo Combustível Pesado |
| Asfalteno | $C_{80}H_{162}+$ | 649 | Asfalto, "Road Oil", Óleo Bunker |



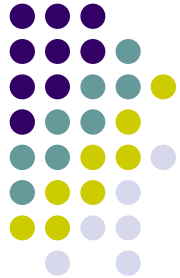
# Exemplo: Especificação Diesel

## QUALITY CERTIFICATE

| | |
|---|---|
| *Nº of Certificate / Data:* | *Nº. 01-2007 / 02.28.2007* |
| *Name:* | *ADDITIVED FASE IV STANDARD DIESEL* |
| *Origen Invoice nº/Date:* | *Nº. 289645-6 / 02. 26. 2007* |
| *Chevron Invoice nº/Date* | *Nº 572.603 / 02. 28. 2007* |
| *Quantity:* | *15.000 liters* |
| *Batch:* | *Nº 3225-06 L – REVAP* |
| *Sampling Date:* | *12.19.2006 – 00:31 hs.* |

| Test | Method | Sample Results | Especification |
|---|---|---|---|
| Appearance | Visual | Limpid and impurities free | Limpid and impurities free |
| Sulfur, % m | D-4294 | 0,0177 | 0,0500 max |
| Flash Point, ºC | D-93 | 64,5 | 65,0 min |
| Kinematic Viscosity @ 37,8ºC, cSt | D-445 | 2,681 | 2,500-3,500 |
| Ash, % m | D-482 | 0,001 | 0,010 max |
| Claculated Cetane Index | D-976 | 49,2 | 48,0 to 54,0 |
| Cetane Number | CFR | 51,0 | 51,0 min |
| Aromatic Carbon | D-3238 | 20,8 | 15,0 to 25,0 |
| Pour Point (CFPP), °C | D-2332 | -22 | -20 max. |
| Cloud Point, °C | D-2500 | -16 | -14 max. |
| Density @ 20ºC, g/ml | D-4052 | 0,8373 | 0,8350-0,8450 |
| Density @ 15ºC, g/ml | D-4052 | 0,8403 | 0,8380-0,8480 |
| Copper Strip Corrosion, 3h @ 50°C | D-130 | 1 | 1 max |
| RCR 10% End of Destilation, % m | D-524 | 0,08 | 0,20 max |
| Water and sediments, % v | D-1796 | 0,00 | 0,05 max |
| Destilation temperature, ºC | D-86 | - | - |
| - 85% | D-86 | 322,4 | 350 max |
| - 95% | D-86 | 327,2 | 360 max |
| End Boiling Point, % | D-86 | 339,0 | 370,0 máx |
| Lubricity, WSD, HFRR, µm | D-6079 | 380 | 400 Máx. |

# Exemplo: Especificação Diesel

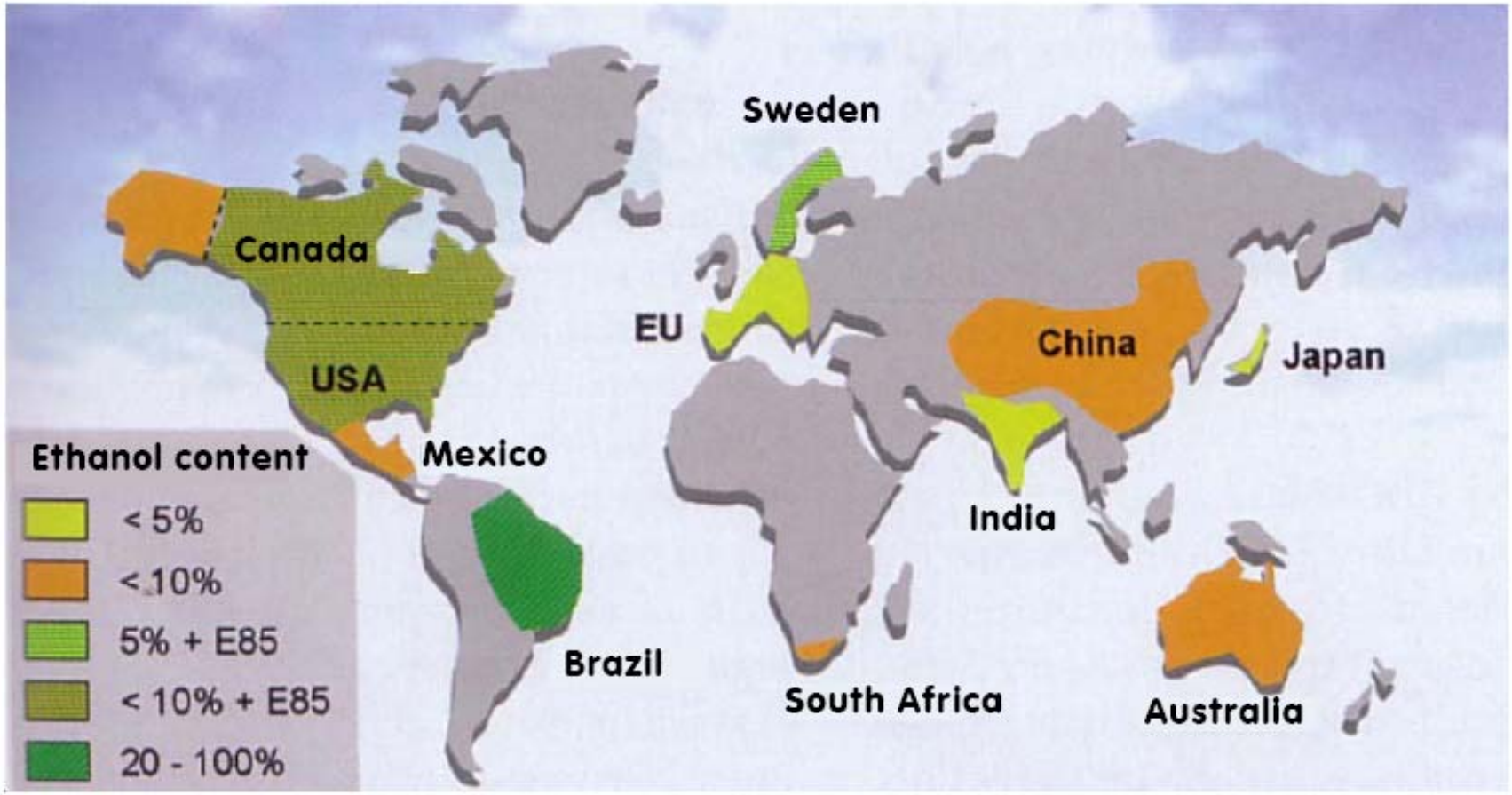


**Reformulated Diesel Fuel – Possible Measures and Consequences**

| Fuel Parameter | Effect on Exhaust Emission | | | | | Possible Refinery Processes | Disadvantages - Economic | Disadvantages –Technical |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CO | HC | $NO_x$ | PM | $SO_2$ | | | |
| Sulfur Reduction | - | - | - | ↓ | ↓ | hydrosulfurization | additional costs of 0.01 $/l | tending to reduced lubricity |
| Density Reduction | ↑↓ | ↓ | ↓ | ↓ | - | without investment | additional costs, lower availability | higher consumption, less power, reduced cetane number |
| Monaromatic Reduction | - | - | - | - | - | severe hydrotreater | Considerable additional costs | reduced lubricity, lower density with all disadvantages |
| Polyaromatic Reduction | ↑↓ | ↑↓ | ↓ | ↓ | - | mild hydrotreater | additional costs | tending to reduced lubricity |
| Cetane Number Increase | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | - | Additives severe hydrotreater | low costs, considerable additional costs | see above |
| Reduction of Final Boiling Point | ↑↓ | ↑ | ↑↓ | ↓ | - | without investment | additional costs, lower availability | reduced lubricity with corresponding disadvantages |
| Diesel Fuel - Water Emulsion | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | - | mixing system, availability of emulsifier | additional costs through emulsifier | limited storage stability, cold resistance, not controllable on an industrial scale |
| Diesel Fuel - Alcohol Mixture | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↓ | component tanks | considerable additional costs through alcohol and solubilizer | tendency to corrode, drop of cetane number |
| - no effect; ↓ reduction; ↑ increase | | | | | | | | |

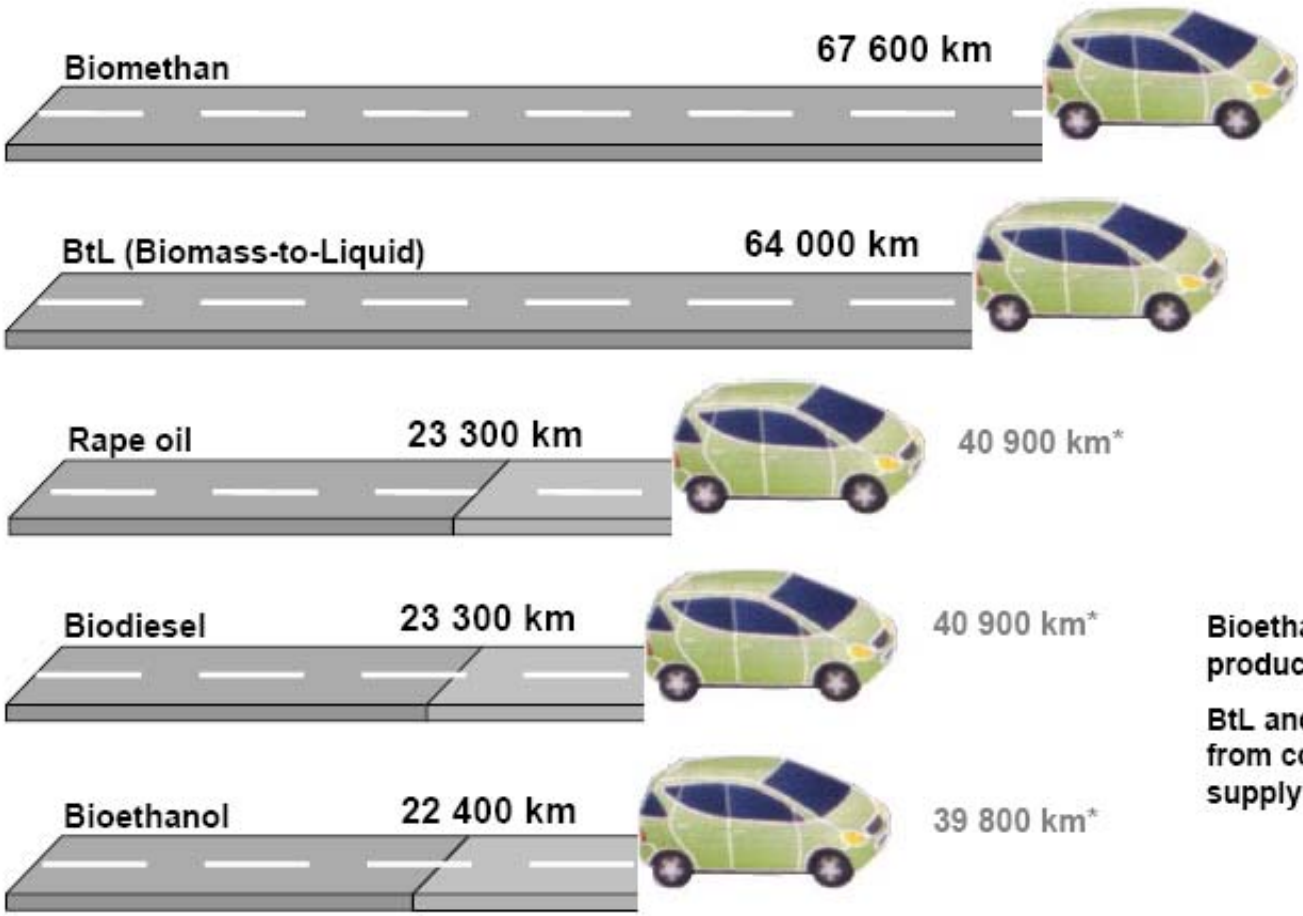
Source: Lexikon Motorentechnik

# Etanol no Mundo




Source: MTZ 07-08/2007, Bosch

# Autonomia para carros de passeio movidos a bio-combustível, por hectare cultivado.



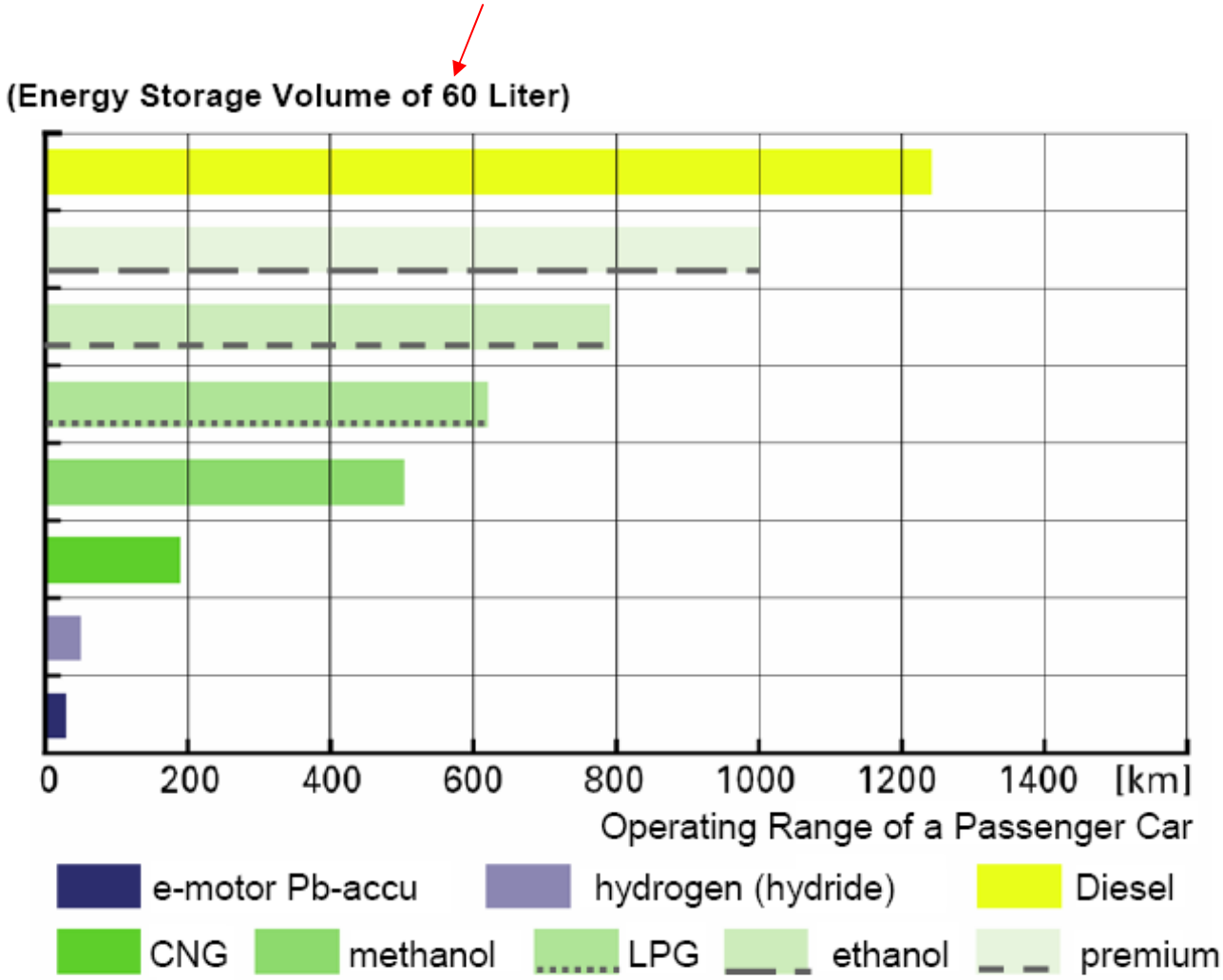

Bioethanol,-diesel and oil are produced from plant components

BtL and Biomethan are produced from complete plants, so they supply larger quantities of fuel.

* incl. Biomethan from secondary product (rape cake, mash, straw)

Source: FNR 2007

# Autonomia para carros de passeio dependendo do combustível utilizado.




Source: acc. to OMV AG (A), 2006

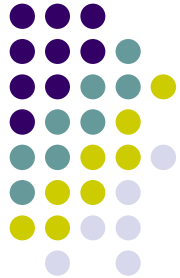
# EQUAÇÃO DA COMBUSTÃO

# Equação da Combustão

- A reação global de combustão “tenta” ser descrita através de uma equação química, que leva em conta a composição inicial da mistura dos reativos (Ar + Combustível).
- Na estequiometria, ela fica mais ou menos assim:

- $C_nH_m + Ar \Rightarrow CO_2 + água + N_2 + entalpia\ de\ combustão$.

# Equação da Combustão

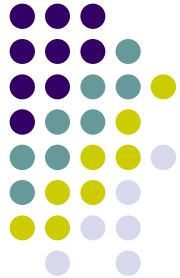


- Vale lembrar que esta equação nem de longe leva em conta o mecanismo real da combustão.
- Na realidade, a combustão em si, não é o resultado de uma única reação química mas sim, uma sucessão de incontáveis (milhões) reações elementares em cadeia.
- No final de uma combustão completa, o CARBONO e o HIDROGÊNIO do combustível se combinam com o oxigênio para formar CO2 e H2O, que são produtos saturados em oxigênio.
- O Nitrogênio, como de hábito, não reage com ninguém.

# Equação da Combustão

- Mas, no cotidiano de um motor, a composição desta “mistura queimada” que sai no escapamento é SEMPRE muito mais complexa do que está escrito na equação;
- Assim sendo, a combustão JAMAIS é completa quando da realização de um ciclo termodinâmico em um motor;
- Isto pode ocorrer devido a uma falta local ou global de oxigênio, ou por efeito de extinção da frente de chama nas paredes, e etc .....

# Equação da Combustão



- Se estas reações forem conhecidas, a composição final dos produtos de combustão pode ser CALCULADA, em se supondo um equilíbrio termodinâmico realizado, dentro de condições de pressão e temperatura dos gases observados após a combustão;
- Na prática, levando-se em conta as baixas velocidades da maioria destas reações, o estado real dos produtos está longe do equilíbrio, daí a presença de POLUENTES na saída do escapamento.

# Equação da Combustão

**CARACTERISTIQUES ENERGETIQUES DE CARBURANTS ET MELANGES AIR-CARBURANT USUELS**

| PRODUIT | Formule Chimique | Masse volumique | | Chaleur de vaporisation | PCI Massique carburant | PCI volumique carburant | | Rapport Air/Carbt stoechio. massique | PCI Mélange carburé (carburant vaporisé) Richesse 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | liquide | gazeux | | | liquide | gazeux | | massique | volumique |
| | | (15 °C) | (1 013 mbar 0 °C) | (25 °C) | | (15 °C) | (1 013 mbar 0 °C) | | | (1 013 mbar 25 °C |
| | | (kg/m3) | (kg/m3) | (kJ/kg) | kJ/kg) | (kJ/l) | (kJ/m3) | | (kJ/kg) | (kJ/l) |
| | | | | | (liquide) | | | | | |
| Supercarburant | ≈ (CH1,8)n 4<n<12 | ≈ 750 | | ≈ 335 | ≈ 42 690 | ≈ 32 000 | | ≈ 14,5 | ≈ 2 780 | ≈ 3,44 |
| Benzène | C6H6 | 884 | | 434 | 40 170 | 35 510 | | 13,25 | 2 849 | 3,51 |
| Méthanol | CH3OH | 796 | | 1 168 | 19 940 | 15 870 | | 6,46 | 2 829 | 3,38 |
| Ethanol | C2H5OH | 794 | | 925 | 26 800 | 21 280 | | 8,98 | 2 775 | 3,4 |
| | | | | | | | | | | |
| Gazole | ≈ (CH1,8)n 8<n<30 | ≈ 835 | | | ≈ 42 600 | ≈ 35 570 | | ≈ 14,5 | | |
| E24 Brasil | | | | | | | | 13,5 | | |
| | | | | | (gazeux) | | | | | |
| Propane | C3H8 | 510 | 2,104 | 357 | 46 350 | 23 455 | 93 350 | 15,66 | 2 782 | 3,35 |
| n Butane | C4H10 | 580 | 2,715 | 370 | 45 710 | 26 300 | 124 100 | 15,44 | 2 779 | 3,38 |
| GPL Carburant | ≈ 65% Butane 35% Propane | ≈ 555 | | ≈ 365 | ≈ 45 900 | ≈ 25 300 | | ≈ 15,5 | ≈ 2 780 | ≈ 3,37 |
| | | | | | | | | | | |
| Méthane | CH4 | | 0,717 | | 50 000 | | 35 850 | 17,23 | 2 743 | 3,1 |
| | | | | | | | | | | |

# Relação Ar/Combustível

- A relação Ar/Combustível ou Combustível/Ar admitida em um motor, para uma determinada condição de funcionamento pode ser expressa da seguinte forma:

$$\Phi = \frac{\left[\frac{\text{Masse de combustible}}{\text{Masse d'air}}\right]_{\text{reel}}}{\left[\frac{\text{Masse de combustible}}{\text{Masse d'air}}\right]_{\text{stoechio}}}$$

# Relação Ar/Combustível

- **= 1** para uma mistura estequiométrica
- **< 1** para uma mistura com **excesso de ar** ou mistura pobre (em combustível)
- **> 1**- para um mistura **com excesso de combustível** ou mistura rica, que resultará em uma combustão

$$\Phi = \frac{\left[\frac{\text{Masse de combustible}}{\text{Masse d'air}}\right]_{reel}}{\left[\frac{\text{Masse de combustible}}{\text{Masse d'air}}\right]_{stoechio}}$$

# Relação Ar/Combustível

- O coeficiente de excesso de ar (***Luftzahl***) *ou LAMBDA, tem origem nas publicações alemãs e é igual ao inverso da riqueza.*

$$Air - Fuel\ Equivalence\ Ratio = \frac{(A/F)_{reel}}{(A/F)_{stoechio}}$$

$$\lambda = \frac{1}{\Phi}$$