

Motores Térmicos

9° Semestre

5° ano

Aula 5 – Combustão (Prática) Tópicos

- ▶ Fórmula equivalente;
- ▶ Relação Ar-Combustível Estequiométrica;
- ▶ Coeficiente de Excesso de ar;
- ▶ Composição dos gases de Escape.

Problema 5.1

- ▶ Determine a fórmula equivalente de um combustível hidrocarboneto com 84,47% de carbono e o restante de hidrogénio.

Problema 5.1 (Resolução I)

- ▶ **Solução:** A fórmula terá os seguinte aspecto C_aH_b e pela análise dos pesos moleculares

$$(12) a = 84,47$$

$$a = 7,039$$

$$(1) b = 15,53$$

$$b = 15,53$$

- ▶ Daí o resultado será $C_{7,039}H_{15,53}$. Para se obter números redondos multiplica-se tudo por 1,42 e obtém-se:



Problema 5.2

- ▶ Determine a fórmula equivalente de um combustível hidrocarboneto com 82% de carbono e o restante de hidrogénio.

Problema 5.2 (Resolução I)

- ▶ **Solução:** A fórmula terá os seguinte aspecto C_aH_b e pela análise dos pesos moleculares

$$(12) a = 82$$

$$a = 6,833$$

$$(1) b = 18$$

$$b = 18$$

- ▶ Daí o resultado será $C_{6,833}H_{18}$. Para se obter números redondos multiplica-se tudo por 1,17 e obtém-se:



Problema 5.3

- ▶ Determine a relação ar-combustível estequiométrica para um hidrocarboneto com a fórmula estrutural C_9H_{20} .

Problema 5.3 (Resolução I)

$$RAC_s = \frac{(1 + y/4)(32 + 3,76 \times 29)}{12 + 1 \times y} = \frac{34,32(4 + y)}{12 + 1 \times y}$$

$$y = \frac{b}{a} = \frac{20}{9}$$

$$RAC_s = \frac{34,32 \left(4 + \frac{20}{9} \right)}{12 + 1 \times \frac{20}{9}} = 15,015$$

Problema 5.4

- ▶ a) Determine a relação ar-combustível estequiométrica para um hidrocarboneto com a fórmula estrutural C_6H_{14} .
- ▶ b) Sabendo que o RAC real é de 12, calcule o coeficiente de excesso de ar".
- ▶ Comente tratar-se de uma mistura rica ou pobre.

Problema 5.4 (Resolução I)

$$RAC_s = \frac{(1 + y/4)(32 + 3,76 \times 28)}{12 + 1 \times y} = \frac{34,32(4 + y)}{12 + 1 \times y}$$

$$y = \frac{b}{a} = \frac{14}{6}$$

$$RAC_s = \frac{34,32 \left(4 + \frac{14}{6} \right)}{12 + 1 \times \frac{14}{6}} = 15,16$$

b)

$$\lambda = \frac{RAC_r}{RAC_s} = \frac{12,00}{15,16} = 0,79$$

É uma mistura rica pois λ é menor que 1.

Problema 5.5

- ▶ Qual a fórmula química de um combustível que quando utilizado com o coeficiente de excesso de ar de 1,1 apresenta uma relação
- ▶ de ar-combustível real de 16,56 e tem oito átomos de carbono.

Problema 5.5 (Resolução I)

$$\lambda = \frac{RAC_r}{RAC_s} \Rightarrow RAC_s = \frac{RAC_r}{\lambda} = \frac{16,56}{1,1} = 15,05$$

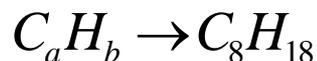
$$RAC_s = \frac{34,32(4+y)}{12+1 \times y}$$

$$\frac{34,32 \cdot 4 + 34,32 \cdot y}{15,05} = 12 + y$$

$$\frac{34,32 \cdot 4}{15,05} - 12 = -\frac{34,32 \cdot y + 15,05 \cdot y}{15,05}$$

$$-2,88 = -1,28y \Rightarrow y = 2,251$$

$$y = \frac{b}{a} \Rightarrow b = y \cdot a = 2,251 \cdot 8 = 18,01$$



Problema 5.6

Um motor a gasolina opera com uma razão ar-combustível real A/F de 15. Sabe-se que a razão ar-combustível estequiométrica A/F_{esteq} para a o combustível usado é 14,7. Utilizando a fórmula empírica para o factor de emissão de monóxido de carbono EF_{CO} , determine o factor de emissão de CO em gramas por quilograma de combustível queimado.

Problema 5.6 (Resolução I)

Passo 1: Calcular o Coeficiente de Excesso de Ar λ O coeficiente de excesso de ar λ é a razão entre a razão ar-combustível real e a razão ar-combustível estequiométrica:

$$\lambda = \frac{(A/F)_{real}}{(A/F)_{esteq}}$$

Substituindo os valores fornecidos:

$$\lambda = \frac{15}{14,7} \approx 1,02$$

Passo 2: Aplicar a Fórmula Empírica para o Factor de Emissão de CO

A fórmula empírica para o factor de emissão de monóxido de carbono é dada por:

$$EF_{CO} = A \times e^{-B\lambda}$$

onde:

- A e B são coeficientes determinados experimentalmente.

Para motores a gasolina, valores típicos desses coeficientes são:

- A = 1000 g/kg

- B = 1,6

Problema 5.6 (Resolução II)

Substituindo os valores:

$$EF_{CO} = 1000 \times e^{-1,6 \times 1,02}$$

Calculando o expoente:

$$1,6 \times 1,02 = 1,632$$

Calculando o factor de emissão:

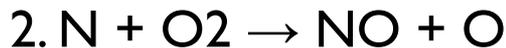
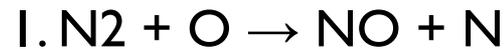
$$EF_{CO} = 1000 \times e^{-1,632} \approx 1000 \times 0,195 \approx 195 \text{g/kg}$$

Problema 5.7

Um motor a gasolina opera com uma temperatura média na câmara de combustão de 2500 K e uma concentração de oxigénio [O] de $0,5 \text{ mol/m}^3$. Sabendo que a concentração de nitrogénio molecular [N₂] é de $1,88 \text{ mol/m}^3$, utilize o mecanismo de Zeldovich para estimar a taxa de formação de monóxido de nitrogénio NO neste motor.

Problema 5.7 (Resolução I)

A formação de NO em altas temperaturas é predominantemente descrita pelo mecanismo de Zeldovich, que considera as seguintes reacções:



A taxa de formação de NO pode ser aproximada pela expressão:

$$\frac{d[NO]}{dt} \approx k_1 [O][N_2]$$

onde k_1 é a constante de taxa da primeira reacção, que depende da temperatura e é dada pela expressão de Arrhenius:

$$k_1 = 6,4 \times 10^{16} e^{-\frac{31600}{T}} \text{ cm}^3 / \text{ mol} \cdot \text{ s}$$

Problema 5.7 (Resolução II)

Passo I: Calcular a constante de taxa k_1
Substituindo a temperatura $T = 2500$ K:

$$k_1 = 6,4 \times 10^{16} e^{-\frac{31600}{2500}} \text{ cm}^3 / \text{ mol} \cdot \text{ s}$$

Calculando o expoente:

$$\frac{31600}{2500} = 12,64$$

Então:

$$k_1 = 6,4 \times 10^{16} e^{-12,64} \text{ cm}^3 / \text{ mol} \cdot \text{ s}$$

Calculando $e^{-12,64}$

$$e^{-12,64} \approx 3,25 \times 10^{-6}$$

Problema 5.7 (Resolução III)

Portanto:

$$k_1 = 6,4 \times 10^{16} \times 3,25 \times 10^{-6} = 2,08 \times 10^{11} \text{ cm}^3 / \text{mol} \cdot \text{s}$$

Passo 2: Calcular a taxa de formação de NO

Substituindo os valores de k_1 , $[O]$ e $[N_2]$:

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2,08 \times 10^{11} \text{ cm}^3 / \text{mol} \cdot \text{s} \times 0,5 \text{ mol/m}^3 \times 1,88 \text{ mol/m}^3$$

Convertendo as concentrações para mol/cm³:

$$0,5 \text{ mol/m}^3 = 0,5 \times 10^{-6} \text{ mol/cm}^3$$

$$1,88 \text{ mol/m}^3 = 1,88 \times 10^{-6} \text{ mol/cm}^3$$

Problema 5.7 (Resolução IV)

Então:

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2,08 \times 10^{11} \times 0,5 \times 10^{-6} \times 1,88 \times 10^{-6} \text{ mol/cm}^3 \cdot \text{s}$$

Calculando:

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2,08 \times 10^{11} \times 0,94 \times 10^{-12} = 1,955 \times 10^{-1} \text{ mol/cm}^3 \cdot \text{s}$$

Convertendo para mol/m³ · s:

$$1,955 \times 10^{-1} \text{ mol/cm}^3 \cdot \text{s} = 1,955 \times 10^5 \text{ mol/m}^3 \cdot \text{s}$$

Problema 5.8

- ▶ Qual é a quantidade real de ar que um motor que funciona com um combustível líquido com a fórmula química C_8H_{17} e com o coeficiente de excesso de ar de 1,1, admite, por cilindro por ciclo, sabendo ainda que o mesmo consome 0,03g de combustível por cilindro por ciclo.

Problema 5.8 (Resolução I)

$$RAC_s = \frac{34,32(4+y)}{12+1 \times y} \text{ onde } y = \frac{b}{a}$$

$$RAC_s = \frac{34,32(4+2.125)}{12+1 \times 2.125} = 14,88 \text{ onde } y = \frac{17}{8} = 2,125$$

$$\lambda = \frac{RAC_r}{RAC_s}$$

$$RAC_r = \lambda \cdot RAC_s$$

$$\frac{m_{ar}}{m_{comb}} = \lambda \cdot RAC_s$$

$$m_{ar} = m_{comb} \cdot \lambda \cdot RAC_s = 0,03 \times 1,1 \times 14,88 = 0,491 \text{ g}$$

Trabalho de Casa 01

Suponha que um motor de combustão interna seja testado para diferentes valores de λ , obtendo os seguintes dados:

λ	Emissão de CO medida (g/kg)
0,85	220
0,90	180
0,95	120
1,00	40
1,05	15

Utilizando a seguinte fórmula empírica, calcule o factor de emissão de Monóxido de Carbono para os valores de $\lambda=0,75$ e $\lambda=0,8$

$$FE_{CO} = a \times \left(1 - e^{-b(\lambda-1)} \right)$$

Trabalho de Casa 01

Nota: O trabalho deve ter conclusões!

Enviar para o endereço: motorestermicos.dema@gmail.com
até a 0 hora do dia 11 de Março de 2025 com o assunto:
TPC01