

C.02.01.A2 – Combustão e Equilíbrio Químico

Aplicação em FTAF – Finite Time Air-Fuel Otto Engine Model

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



<https://github.com/CNThermSci/ApplThermSci>

Compiled on 2020-09-13 06h53m55s UTC

Modelo de Ar

- Ar é modelado **apenas** como uma mistura de Oxigênio, O_2 , e Nitrogênio, N_2 ;

Modelo de Ar

- Ar é modelado **apenas** como uma mistura de Oxigênio, O_2 , e Nitrogênio, N_2 ;
- A proporção é de ψ kmol de N_2 para cada 1 kmol de O_2 ;

Modelo de Ar

- Ar é modelado **apenas** como uma mistura de Oxigênio, O_2 , e Nitrogênio, N_2 ;
- A proporção é de ψ kmol de N_2 para cada 1 kmol de O_2 ;
- Nitrogênio será considerado **gás inerte**;
- Todos os demais gases inertes são modelados como sendo N_2 ;

Modelo de Ar

- Ar é modelado **apenas** como uma mistura de Oxigênio, O_2 , e Nitrogênio, N_2 ;
- A proporção é de ψ kmol de N_2 para cada 1 kmol de O_2 ;
- Nitrogênio será considerado **gás inerte**;
- Todos os demais gases inertes são modelados como sendo N_2 ;
- Valor típico para ψ é de $79/21 \approx 3,76$.

Modelo de Combustível

- Molécula de combustível **modelada** como $C_n C H_n H O_n O N_n N$;

Modelo de Combustível

- Molécula de combustível **modelada** como $Cn_C Hn_H On_O Nn_N$;
- Valores n_C , n_H , n_O , e n_N são **parâmetros** ajustáveis;

Modelo de Combustível

- Molécula de combustível **modelada** como $Cn_C Hn_H On_O Nn_N$;
- Valores n_C , n_H , n_O , e n_N são **parâmetros** ajustáveis;
- Seja ϵ a quantidade de **combustível** por **kmol de O_2** estequiometricamente oxidada;

Modelo de Combustível

- Molécula de combustível **modelada** como $Cn_C Hn_H On_O Nn_N$;
- Valores n_C , n_H , n_O , e n_N são **parâmetros** ajustáveis;
- Seja ϵ a quantidade de **combustível** por kmol de O_2 estequiometricamente oxidada;

$$\epsilon^{-1} \equiv n_C + \frac{n_H}{4} - \frac{n_O}{2}.$$

Modelo de Combustível

- Molécula de combustível **modelada** como $Cn_C Hn_H On_O Nn_N$;
- Valores n_C , n_H , n_O , e n_N são **parâmetros** ajustáveis;
- Seja ϵ a quantidade de **combustível** por kmol de O_2 estequiometricamente oxidada;

$$\epsilon^{-1} \equiv n_C + \frac{n_H}{4} - \frac{n_O}{2}.$$

- $\epsilon/(1 + \psi)$ é a razão **combustível-ar** estequiométrica.

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

$$\phi \equiv \frac{n_f/n_{\text{air}}}{\varepsilon/(1+\psi)}, \quad \text{assim,}$$

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

$$\phi \equiv \frac{n_f/n_{\text{air}}}{\epsilon/(1+\psi)}, \quad \text{assim,}$$

- $\phi < 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de ar** (pobre em combustível);

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

$$\phi \equiv \frac{n_f/n_{\text{air}}}{\varepsilon/(1+\psi)}, \quad \text{assim,}$$

- $\phi < 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de ar** (pobre em combustível);
- $\phi > 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de combustível** (pobre em ar); e

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

$$\phi \equiv \frac{n_f/n_{\text{air}}}{\varepsilon/(1+\psi)}, \quad \text{assim,}$$

- $\phi < 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de ar** (pobre em combustível);
- $\phi > 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de combustível** (pobre em ar); e
- $\phi = 1$ modela misturas combustível-ar **estequiométricas**.

Mistura Ar-Combustível:

- Quantidades químicas **reais** de ar e combustível são n_{air} e n_f ...

Mistura Ar-Combustível:

- Quantidades químicas **reais** de ar e combustível são n_{air} e n_f ...
- ... na câmara de combustão fechada ao final da admissão, assumindo (P_0, V_0, T_0)

Mistura Ar-Combustível:

- Quantidades químicas **reais** de ar e combustível são n_{air} e n_f ...
- ... na câmara de combustão fechada ao final da admissão, assumindo (P_0, V_0, T_0)
- com $P_0 \leq P_{\text{atm}}$, $T_0 \approx T_{\text{atm}}$, para motores aspirados e $V_0 \approx V_{\text{PMI}}$. Assim:

Mistura Ar-Combustível:

- Quantidades químicas **reais** de ar e combustível são n_{air} e n_f ...
- ... na câmara de combustão fechada ao final da admissão, assumindo (P_0, V_0, T_0)
- com $P_0 \leq P_{\text{atm}}$, $T_0 \approx T_{\text{atm}}$, para motores aspirados e $V_0 \approx V_{\text{PMI}}$. Assim:

$$n_f = \frac{P_0 V_0}{\bar{R} T_0} \cdot \frac{\phi \epsilon}{1 + \psi + \phi \epsilon},$$

Mistura Ar-Combustível:

- Quantidades químicas **reais** de ar e combustível são n_{air} e n_f ...
- ... na câmara de combustão fechada ao final da admissão, assumindo (P_0, V_0, T_0)
- com $P_0 \leq P_{\text{atm}}$, $T_0 \approx T_{\text{atm}}$, para motores aspirados e $V_0 \approx V_{\text{PMI}}$. Assim:

$$n_f = \frac{P_0 V_0}{\bar{R} T_0} \cdot \frac{\phi \epsilon}{1 + \psi + \phi \epsilon},$$

$$n_{\text{air}} = \frac{P_0 V_0}{\bar{R} T_0} \cdot \frac{1 + \psi}{1 + \psi + \phi \epsilon}.$$

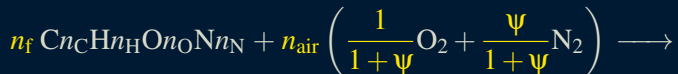
Reação de Combustão Básica:

- A reação de combustão básica é:



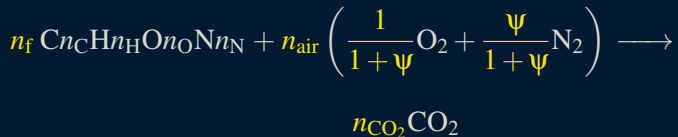
Reação de Combustão Básica:

- A reação de combustão básica é:



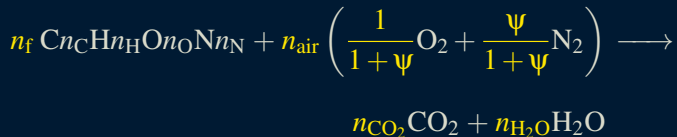
Reação de Combustão Básica:

- A reação de combustão básica é:



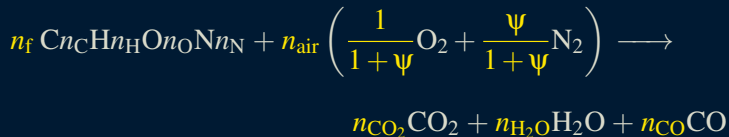
Reação de Combustão Básica:

- A reação de combustão básica é:



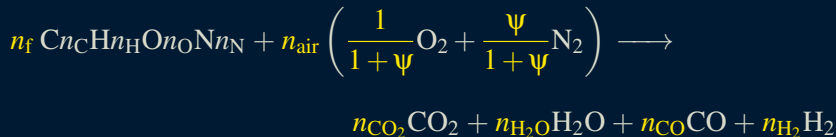
Reação de Combustão Básica:

- A reação de combustão básica é:



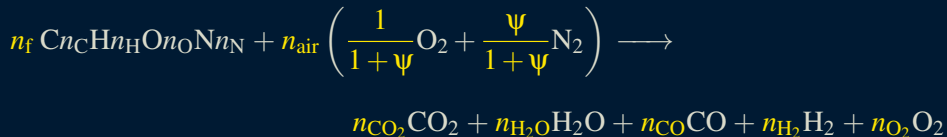
Reação de Combustão Básica:

- A reação de combustão básica é:



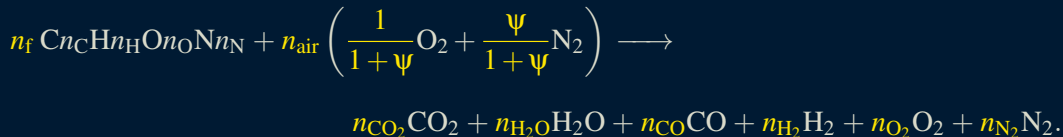
Reação de Combustão Básica:

- A reação de combustão básica é:



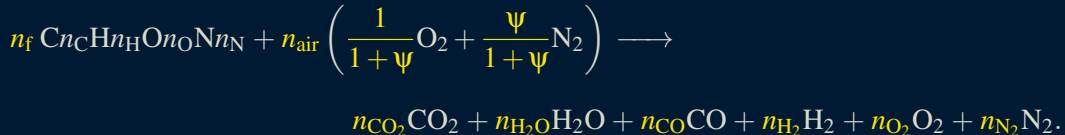
Reação de Combustão Básica:

- A reação de combustão básica é:



Reação de Combustão Básica:

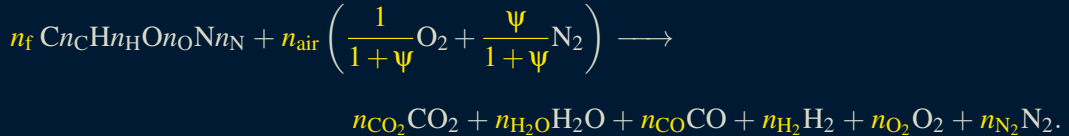
- A reação de combustão básica é:



- Hipótese: oxidação **mais completa** possível:

Reação de Combustão Básica:

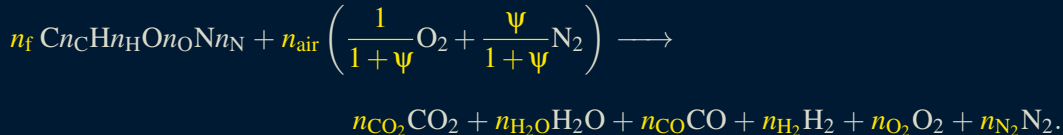
- A reação de combustão básica é:



- Hipótese: oxidação **mais completa** possível:
- $(\phi \leq 1)$: sem produção de **CO** e **H₂** $\longrightarrow n_{CO} = n_{H_2} = 0 \text{ kmol}$, e o sistema fecha;

Reação de Combustão Básica:

- A reação de combustão básica é:



- Hipótese: oxidação **mais completa** possível:
- $(\phi \leq 1)$: sem produção de **CO** e **H₂** $\longrightarrow n_{\text{CO}} = n_{\text{H}_2} = 0 \text{ kmol}$, e o sistema fecha;
- $(\phi > 1)$: todo **O₂** é utilizado $\longrightarrow n_{\text{O}_2} = 0 \text{ kmol}$, e requer-se mais equações!

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

$$\phi \equiv \frac{n_f/n_{\text{air}}}{\varepsilon/(1+\psi)}, \quad \text{assim,}$$

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

$$\phi \equiv \frac{n_f/n_{\text{air}}}{\varepsilon/(1+\psi)}, \quad \text{assim,}$$

- $\phi < 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de ar** (pobre em combustível);

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

$$\phi \equiv \frac{n_f/n_{\text{air}}}{\varepsilon/(1+\psi)}, \quad \text{assim,}$$

- $\phi < 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de ar** (pobre em combustível);
- $\phi > 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de combustível** (pobre em ar); e

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

$$\phi \equiv \frac{n_f/n_{\text{air}}}{\varepsilon/(1+\psi)}, \quad \text{assim,}$$

- $\phi < 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de ar** (pobre em combustível);
- $\phi > 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de combustível** (pobre em ar); e
- $\phi = 1$ modela misturas combustível-ar **estequiométricas**.

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

$$\phi \equiv \frac{n_f/n_{\text{air}}}{\varepsilon/(1+\psi)}, \quad \text{assim,}$$

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

$$\phi \equiv \frac{n_f/n_{\text{air}}}{\varepsilon/(1+\psi)}, \quad \text{assim,}$$

- $\phi < 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de ar** (pobre em combustível);

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

$$\phi \equiv \frac{n_f/n_{\text{air}}}{\varepsilon/(1+\psi)}, \quad \text{assim,}$$

- $\phi < 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de ar** (pobre em combustível);
- $\phi > 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de combustível** (pobre em ar); e

Razão de Equivalência:

- Seja ϕ a razão de equivalência, ou a razão combustível-ar **real pela estequiométrica**:

$$\phi \equiv \frac{n_f/n_{\text{air}}}{\varepsilon/(1+\psi)}, \quad \text{assim,}$$

- $\phi < 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de ar** (pobre em combustível);
- $\phi > 1$ modela misturas combustível-ar com **excesso de combustível** (pobre em ar); e
- $\phi = 1$ modela misturas combustível-ar **estequiométricas**.



Photo by eberhard grossgasteiger from Pexels