

## C.02.01 – Ciclo Otto Ar-Combustível de Tempo Finito de Combustão

FTAF – Finite Time Air-Fuel Otto Engine Model

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



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

Compiled on 2020-09-14 21h22m48s UTC



## Ciclo Otto ar-combustível de tempo finito—FTAF

- Modelo do livro-texto (tópicos de leitura) adiciona combustão ao Ciclo Otto ideal;
  - Permite variação de combustíveis;
  - Porém, desde que sejam carbonados: norm. em  $C$ ; excluindo  $H_2$  e  $H_4N_2$  puros, p. ex.;
  - Ênfase nas propriedades  $\bar{c}_{p,v}(T)$ ,  $k(T)$ ,  $\bar{u}(T)$ , etc. das misturas;
  - Incorpora combustão e equilíbrio químico;
  - Não emprega o calor liberado na combustão!
- Modelo ar-combustível de tempo finito, FTAF:
  - Adiciona combustão, mantendo as demais características do FTHA;
  - Obtém tanto as propriedades quanto o calor liberado pelas reações!
  - Permite modelar combustão de HC's,  $H_2$  e  $H_4N_2$ ; tanto puros quanto suas misturas!
  - Desenvolvido em um TCC defendido em 2018 (citação nos tópicos de leitura);
  - Não modela a cinética química: tempos de combustão permanecem dados de entrada.



## Ciclo Otto ar-combustível de tempo finito—FTAF

- Modela combustão de forma não instantânea:
  - Interações simultâneas de liberação de energia interna e trabalho;
  - Tempos de motor discretizados em sub-processos;
  - Elemento computacional: sub-processo localmente politrópico em base extensiva;
  - Remoção de calor permanece isocórica (instantânea);
  - Requer modelos de mistura e reações não instantâneos!
- Não mais um modelo padrão a ar;
- Não mais um modelo de substância pura:
  - Inclui combustão e equilíbrio químico;
  - Requer modelagem termodinâmica de misturas reativas.



## Ciclo Otto ar-combustível de tempo finito—FTAF

- Inclui todos os parâmetros do FTHA:
  - Todos os do ciclo Otto ideal, mais
  - Todos os parâmetros construtivos do motor, mais
  - Todos os parâmetros operacionais do motor;
- Inclui parâmetros da mistura ar-combustível:
  - Proporções dos gases do ar;
  - Composições e proporções dos combustíveis;
  - Proporções da mistura ar-combustível em relação à estequiometria.
- Balanco de Energia melhorado:
  - Liberação de energia interna pelas reações explícita;
  - Com separação conceitual das transferências de calor.

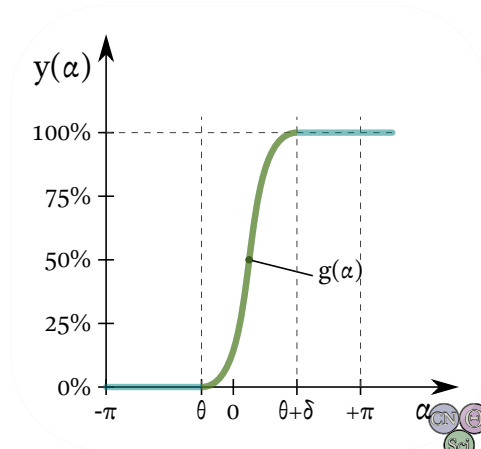


## Modelo de Evolução de Reação:

- Reações evoluem com  $y(\alpha)$ :

$$y(\alpha) = \begin{cases} 0 & \text{para } \alpha < \theta, \\ g(\alpha) & \text{para } \theta \leq \alpha \leq \theta + \delta, \\ 1 & \text{para } \alpha > \theta + \delta. \end{cases}$$

- $g(\alpha)$  modela o histórico da reação química:
  - $g(\theta) = 0$  e  $g(\theta + \delta) = 1$ ;
  - Função  $g(\alpha)$  deve ser monotônica;
  - $g(\alpha)$  pode basear-se em experimentos;
  - Lit.:  $g(\alpha) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos\left(\frac{\pi}{\delta}(\alpha - \theta)\right)$ .



## Equações Termodinâmicas

Balço de energia do  $i$ -ésimo (sub-)processo politrópico  $P_i V_i^{\gamma_i} = P_{i+1} V_{i+1}^{\gamma_i}$ :

$$Q_i - W_i = U_{m,i+1} - U_{m,i}, \quad \rightarrow$$

$$Q_i + (U_{f,m,i}^0 - U_{f,m,i+1}^0) - W_i = U_{m,i+1}^0 - U_{m,i}^0, \quad \rightarrow$$

$$U_{m,i+1}^0 = U_{m,i}^0 + Q_i + \Delta U_{\text{reac},i} - W_i, \quad \text{com}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{reac},i} &\equiv U_{f,m,i}^0 - U_{f,m,i+1}^0 \quad \rightarrow \\ &= H_{f,m,i}^0 - n_{m,i} \bar{R} T_0 - H_{f,m,i+1}^0 + n_{m,i+1} \bar{R} T_0. \end{aligned}$$

## Mistura Ativa: Composição Instantânea

A composição instantânea do sistema, que contém o fluido ativo, é:

$$\mathbb{M}_{\text{sys}} = (1 - y_i) \mathbb{M}_{\text{re}} + y_i \mathbb{M}_{\text{pr}}, \quad \rightarrow$$

$$\mathbb{M}_{\text{sys}} = (1 - y_i) [(1 - \zeta) \mathbb{M}_{\text{af}} + (\zeta) \mathbb{M}_{\text{pr}}] + y_i \mathbb{M}_{\text{pr}}, \text{ com:}$$

## Tópicos de Leitura I



Brunetti, F.

*Motores de combustão interna*. Capítulos 1 e 2.

Blücher. São Paulo. ISBN 978-85-2120-708-5.



Silva, R. K. de O.

*Modelo ar-combustível de tempo finito de adição de calor de motores Otto*.

Repositório Roca UTFPR.

repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8786.