

Apêndice E

Alguns outros conceitos interessantes: temperatura adiabática da chama; velocidade de chama; estabilização de chamas; a zona luminosa; teoria de Mallard e Lê Chatelier para a velocidade de chama.

Apêndice E-Alguns outros conceitos interessantes: temperatura adiabática da chama; velocidade de chama; estabilização de chamas; a zona luminosa; teoria de Mallard e Lê Chatelier para a velocidade de chama.

Nota: As referências citadas não são os originadores (“pais”) do conceito. O conceito já existe antes da definição dada pela referência citada.

E.1. - Temperatura adiabática da chama

A temperatura adiabática da chama é a maior temperatura que se pode obter para os produtos de combustão. É atingida quando não houver perda nem adição de energia pra dentro ou fora do sistema. Se houver perda através de paredes da fornalha ou transferência de calor devido a algum processo industrial, então a entalpia final dos produtos de combustão será inferior àquela correspondente a temperatura adiabática.

A temperatura adiabática da chama T_F pode ser calculada por (Carvalho, 2001):

$$\Delta H_c = \int_{T_i}^{T_F} C_p dT \quad (\text{E.1})$$

onde:

T_i = temperatura inicial dos reagentes

ΔH_c = entalpia de combustão

C_p = calor específico à pressão constante da mistura gasosa dos produtos de combustão

E.2. Velocidade de chama

“A velocidade de chama, também chamada de velocidade queima, velocidade normal de combustão, ou velocidade de chama laminar, é a velocidade na qual os gases

reagentes entram na superfície da onda de combustão. É uma propriedade da mistura combustível/oxidante.

Para um queimador laminar, a velocidade do gás é baixa próximo à parede, mas aumenta conforme se aproxima do centro, em um perfil aproximadamente parabólico. Em todos os pontos no interior da boca do tubo, a velocidade de escoamento excede a velocidade de queima. A chama toma o formato cônico de tal maneira que, na frente da chama, a componente normal da velocidade de escoamento seja igual à velocidade de chama “ (Carvalho, 2001).

“A velocidade de propagação da chama, isto é, a taxa de progresso da zona de chama aparente, é dependente da taxa de ar fornecido, velocidade do ar, do poder calorífico do combustível e do tamanho da partícula” (Shin e Choi, 2000; tradução nossa).

E.3. Estabilização de chamas

“A chama é estabilizada apenas entre certos limites de velocidade de escoamento dentro do tubo. Se a velocidade for muito baixa, a chama entra dentro do tubo e percorre a mistura até se apagar, ocorrendo o que chamamos de flash back. Por outro lado, se a velocidade for muito alta, não é possível estabilizar a chama na borda do tubo e ela tende a escapar e apagar, no que chamamos blow off.

Em geral, os valores dos limites da velocidade do gás para flash back e blow off dependem das dimensões do queimador e da composição do gás. Para misturas ricas e velocidades altas de escoamento, acima do limite de blow off, um outro fenômeno pode ocorrer: devido ao carregamento do ar atmosférico, a mistura tornar-se-á progressivamente pobre acima da boca do queimador e, por causa da velocidade de escoamento, uma chama suspensa (lifted flame) pode se formar em uma certa posição acima da borda. A chama suspensa também terá dois limites. Quando a velocidade do gás é reduzida, ocorre o que chamamos de drop back, isto é, a chama volta a ancorar na borda do tubo. De outra maneira, quando a velocidade do gás é aumentada ainda mais, a chama tende a escapar e apaga, no que chamamos de blow out. “(Carvalho, 2001)

E.4. A zona luminosa

“A zona luminosa de uma chama é bastante estreita (< 1 mm), correspondendo ao local onde a temperatura é máxima e onde a reação efetivamente está ocorrendo. A taxa de reação varia exponencialmente com a temperatura, o que justifica o fato da zona luminosa ser bastante estreita.

A cor da zona luminosa muda com a razão ar/combustível. Para misturas pobres, a cor é violeta, por causa dos radicais CH. Para misturas ricas, a cor é verde, por causa da molécula C₂. Para misturas muito ricas, a cor é amarelada, por causa de partículas de carbono sólido.” (Carvalho, 2001)

E.5. Teoria de Mallard e Le Chatelier para a velocidade de chama

“Mallard e Le Chatelier dividiram a chama em duas zonas: uma correspondente ao pré aquecimento da mistura combustível (zona I) e outra à queima (zona II)” (Glassman, 1996; Kuo, 1986 ambos em Carvalho, 2001), *“conforme mostrado na figura D.1. Conceitualmente, eles afirmaram que a quantidade de calor conduzida na zona II é igual à quantidade de calor necessária para que os gases não queimados atinjam a temperatura de ignição.”* (Carvalho, 2001)

Assim:

$$\dot{m} C_p (T_i - T_o) = \frac{\lambda(T_F - T_i)}{\delta} \quad (\text{balanço de entalpia}) \quad (\text{D.2})$$

onde:

“o termo do lado esquerdo corresponde ao fluxo de calor para aumentar a temperatura de um valor inicial T_o até a temperatura de ignição T_i e o termo do lado direito

corresponde ao fluxo de calor, no mesmo sentido do fluxo de calor para aumentar a temperatura, devido ao gradiente de temperatura. “(Carvalho, 2001)

\dot{m} = vazão mássica

C_p = calor específico à pressão constante da mistura

λ = condutividade térmica da mistura

δ = espessura da zona de reação

T_F = temperatura final após a passagem da onda de combustão

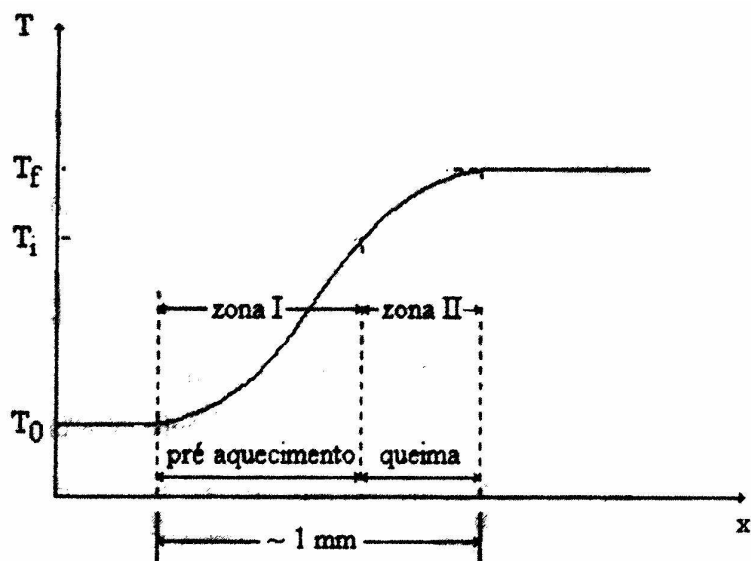


Figura E.1– Esquema de Mallard e Le Chatelier (Glassman, 1996; Kuo, 1986 em Carvalho, 2001).