

1 Introdução

O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento e a caracterização de um queimador tipo obstáculo, utilizando um escoamento não pré-misturado de combustível (gás natural) e ar. Esta caracterização aerodinâmica é realizada mediante um estudo experimental da estrutura do escoamento turbulento na vizinhança do queimador. Estes resultados experimentais são obtidos usando técnicas não intrusivas de medição, como a Velocimetria Laser Doppler (LDV) e a Velocimetria de Imagem de Partículas (PIV).

A iniciativa deste estudo teve sua origem na PUC – Rio, com financiamento da CNPq/CT-Energ, incentivado pela política do uso racional de fontes de energia limpa no Brasil, tais como o gás natural. Optou-se por desenvolver um queimador tipo obstáculo, que é um modelo simples, mas representativo das configurações utilizadas em fornos e caldeiras industriais.

Do ponto de vista da confiabilidade, a escolha deste queimador tipo obstáculo é motivada pela maior segurança de operação propiciada na utilização de um processo de combustão nos quais os reagentes encontram-se segregados pela superfície da chama. Além disto, a utilização de um obstáculo para fins de estabilização da chama permite uma ampla faixa de funcionamento em termos de variação de vazões de ar e de combustível, sem a necessidade de se utilizar uma chama piloto [17].

Esta configuração simples também facilita o trabalho de modelagem computacional, atividade complementar ao estudo experimental. Outra vantagem deste queimador é de permitir amplo acesso ótico, facilitando assim a caracterização detalhada do escoamento mediante o uso de técnicas óticas. Além disto, esta configuração pode ser facilmente modificada para utilização de outros tipos de combustíveis, tais como por exemplo, o biogás. Note-se que este queimador também pode ser modificado para operar a potências mais elevadas.

Os estudos que podem ser desenvolvidos com este queimador também poderão beneficiar diversos setores industriais como, por exemplo, aqueles que

utilizam as turbinas a gás para geração de energia elétrica, ou os setores que necessitam da geração de calor para o seu processo, como as indústrias do vidro e do cimento. Além disso, a caracterização detalhada da interação entre combustão e turbulência é objeto de uma linha de pesquisa do DEM/PUC – Rio. Medições detalhadas do campo aerodinâmico permitem a criação de um banco de dados para o desenvolvimento e validação de modelos de combustão em escoamento turbulento.

Assim, para a realização do estudo da caracterização aerodinâmica da estrutura do escoamento, foi projetada e construída uma instalação experimental que permite medir os campos de velocidade para diferentes regimes de operação do queimador. Em particular, é possível operar o queimador tanto como jato livre quanto em presença de um escoamento de ar anular. Na **Figura 1.1** é mostrado o queimador tipo obstáculo operando com combustão em uma situação correspondente ao número de Reynolds do jato de gás natural de 7235.



Figura 1.1 – Fotografia do queimador tipo obstáculo operando em regime turbulento com velocidade média do jato central de GNV de 51 m/s ($Re=7235$) e ar anular de 1,5 m/s.

A **Figura 1.2** mostra uma comparação entre resultados numéricos e experimentais obtidos na Universidade de Berkeley por Chen et al. [7], para uma configuração semelhante àquela desenvolvida no presente trabalho.

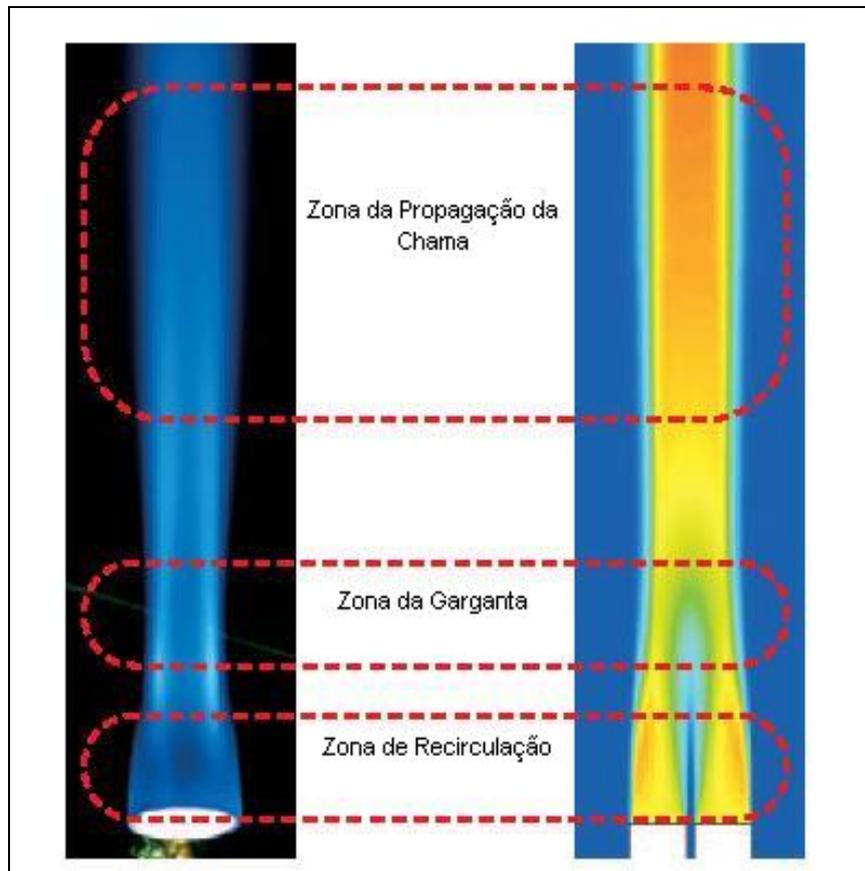


Figura 1.2 – Resultados experimental e numérico das zonas encontradas em chamas turbulentas estabilizadas em queimadores tipo obstáculo, [7].

Na **Figura 1.3** mostra-se um esquema da descrição do queimador tipo obstáculo onde ocorre um escoamento de combustão não pré-misturada. Pode-se observar a similaridade da estrutura interna com a obtida na **Figura 1.1**.

Das **Figuras 1.2 e 1.3**, de montante a jusante, a estrutura da chama turbulenta pode ser dividida em três regiões [10]:

- i) Uma região próxima ao obstáculo (estagnação) onde se produz a recirculação.
- ii) Uma região estreita, denominada de zona de garganta, onde geralmente aparecem as extinções locais da frente de chama.
- iii) Uma região de propagação livre do jato, onde se apresentam as tendências à extinção global “Blow-off”. Note-se, enfim, que uma camada cisalhante ocorre devido à interação entre o jato de ar anular e o ar do meio ambiente.

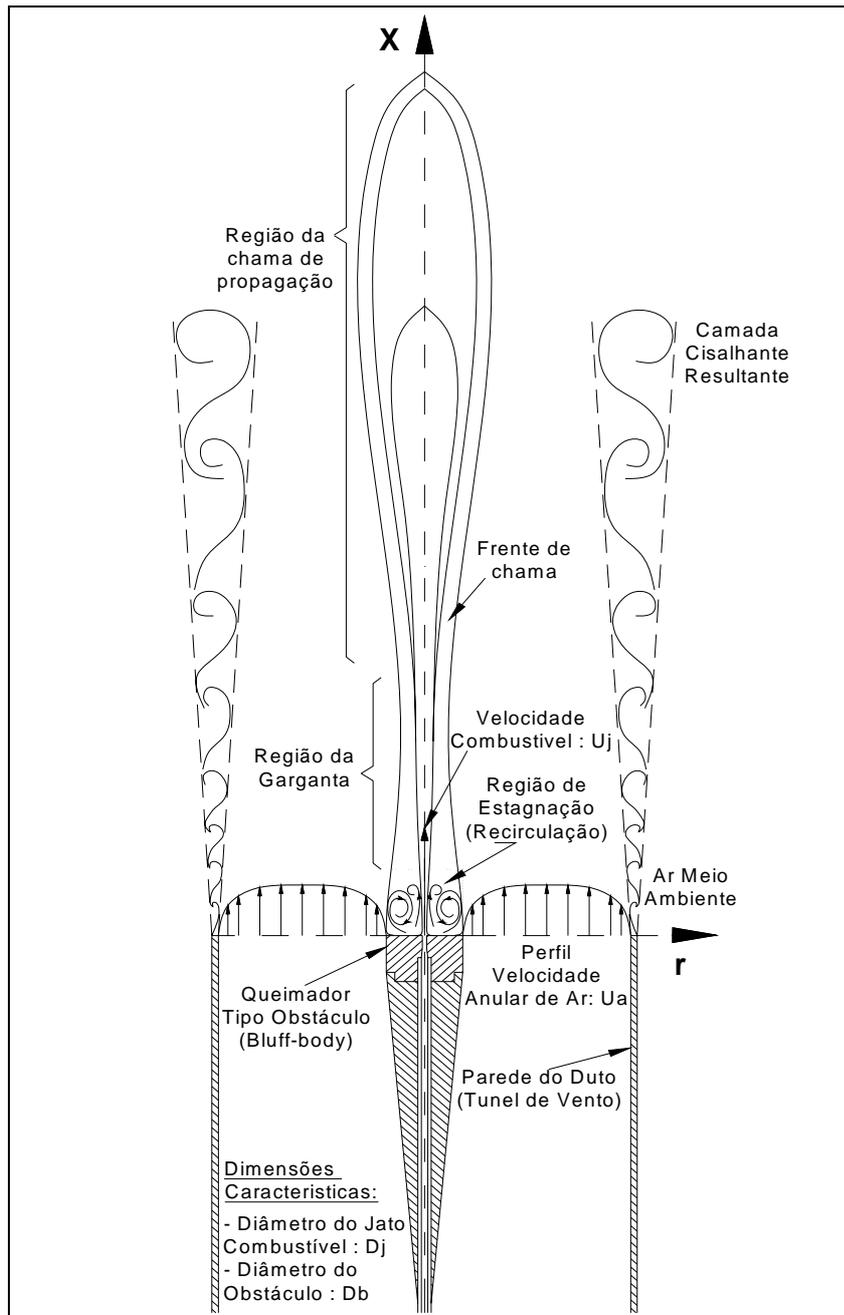


Figura 1.3 – Representação esquemática do queimador tipo obstáculo com uma chama turbulenta livre [10].

Quando a chama turbulenta encontra-se estabilizada imediatamente a jusante do obstáculo, o qual possui uma forma de coroa circular, o escoamento turbulento propicia um acréscimo local do tempo de residência dos gases queimados, o qual se torna superior ao tempo característico da reação química. Isto permite o ancoramento da chama na vizinhança do queimador em um amplo regime de operação [10].

Nesta região, denominada de zona de recirculação ou região de estagnação, ocorrem cisalhamento e rotação do escoamento, os quais levam a um acréscimo

da intensidade turbulenta. A interação da turbulência e do processo químico pode resultar numa intensificação do processo de combustão, o que se traduz por uma maior taxa de liberação de calor nessa região.

O presente trabalho é dividido em seis capítulos:

No segundo capítulo é apresentado um resumo da análise teórica das características dos jatos livres turbulentos e também uma revisão bibliográfica dos trabalhos experimentais e de modelagem computacional das chamas estabilizadas não pré-misturadas e inertes.

No terceiro capítulo são descritas as metodologias experimentais empregadas, incluindo a apresentação do projeto da instalação experimental com uma descrição geral dos equipamentos usados para os testes. Em seguida são brevemente apresentadas as técnicas óticas usadas na medição do campo de velocidade do escoamento, descrevendo-se os parâmetros usados na experiência e os procedimentos experimentais utilizados.

No quarto capítulo é apresentada a metodologia numérica CFD usada, incluindo uma breve formulação matemática de considerações teóricas básicas usadas pelo programa computacional Ansys/CFX. Em seguida são apresentadas a malha computacional, e a definição das principais características do fluido, bem como os principais modelos utilizados.

No quinto capítulo são apresentados e discutidos os principais resultados experimentais e numéricos. Descrevem-se inicialmente os regimes de operação do queimador com combustão e a estrutura do escoamento inerte. A seguir, são analisados os resultados das distribuições de velocidade nas direções longitudinal e transversal em diferentes regiões de interesse, as quais são afetadas pelo desenvolvimento turbulento do escoamento. Os casos apresentados são os escoamentos inertes, de jato livre e de jato com obstáculo.

Finalmente, no sexto capítulo se apresentam as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.