

ESTUDO DA INTERFERÊNCIA DAS CHAMAS DE DIFUSÃO DE JATOS
 PARALELOS, DIVERGENTES E CONVERGENTES

V.R. ABDALLA; M.A. FERREIRA; E J.A. CARVALHO JR.
 Laboratório Associado de Combustão e Propulsão
 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
 12630-000 - Cachoeira Paulista - SP - Brasil

RESUMO

Apresentam-se os resultados do estudo experimental da interferência entre duas chamas de difusão turbulentas de acetileno dispostas de forma paralela, divergente e convergente. Os comprimentos da chama foram obtidos por fotografias. Os parâmetros número de Reynolds na saída dos jatos, ângulo e distância entre os jatos, foram variados neste estudo. Concluiu-se que o comportamento geral do comprimento de chama é a sua diminuição com o aumento dos ângulos de inclinação, a menos do caso anômalo de 10° convergente.

INTRODUÇÃO

A queima de grandes volumes de gás, na atmosfera, através de um bico injetor, pode tornar-se uma operação de risco. O comprimento da chama, a radiação por ela emitida e a formação de poluentes são os principais fatores que uma vez controlados diminuem o risco, por exemplo em uma instalação industrial. Um método usual para a diminuição do comprimento de chama é a injeção do gás na atmosfera, feita através de múltiplos bicos injetores. Essa configuração de bicos (jatos) múltiplos induz diferentes condições de queima nas chamas. Estas diferentes condições de queima são, principalmente, funções tanto da distância entre os jatos, como do ângulo de injeção, da quantidade e da disposição geométrica dos jatos. Desta forma, a modificação das condições de queima de uma chama devido à presença de outra(s) chama(s) é denominada interferência de chamas.

Três principais efeitos decorrentes da interferência entre as chamas são: primeiro, a menor disponibilidade de oxidante entre as chamas; segundo, o aumento nos níveis de turbulência e, conseqüentemente, o aumento da taxa de mistura (combustível/oxidante) e terceiro, a união das chamas induz níveis de flutuações que são diferentes dos níveis obtidos quando as chamas estão separadas.

A interferência entre chamas livres e confinadas, ancoradas em queimadores, foi examinada experimentalmente por Lenze et al. (1975). Os experimentos foram feitos com 1, 3 e 5 queimadores usando-se gás natural e gás de rua. Fizeram-se medidas da concentração axial de CO, do comprimento e da largura das chamas. Os resultados mostraram que existe uma relação simples dos comprimentos das chamas de

queimadores múltiplos com o número de jatos e com a distância entre as chamas externas e a central.

Menon e Gollahalli (1985) estudaram os efeitos da interferência das chamas flutuantes de jatos múltiplos em ar estagnado para 1, 2, 3 e 5 queimadores de gás propano. Foram obtidos os comprimentos das chamas, altura de encontro das chamas, velocidade de "blowout", perfil de temperatura, radiação da chama e perfil da concentração de oxigênio, monóxido de carbono e óxido nítrico. Chegou-se a uma relação empírica para o comprimento da chama tendo como variáveis o número de jatos vizinhos, o diâmetro do bico de gás e a distância de separação entre os jatos externos e o jato central. Estes autores (Menon e Gollahalli (1988)) também estudaram experimentalmente o efeito da interação de jatos múltiplos na presença de escoamento transversal e forçado do oxidante, no caso o ar.

Heitor et al. (1991) analisaram experimentalmente as características da combustão de chamas flutuantes em interação mútua, através de seus comprimentos visíveis e da estrutura térmica. O estudo envolveu a caracterização de 1, 2, 3 e 5 bicos de gás de jatos paralelos de gás propano e metano. Foram analisados os casos de chamas luminosas e não luminosas. obtendo-se uma equação empírica para calcular o comprimento de chamas múltiplas.

Leite (1992) estudou queimadores multipontos para o gás acetileno com 1, 2, 3 e 5 bicos verticais e 2 e 3 bicos posicionados em linha, mantendo o paralelismo entre eles, e inclinados de 45°. Observou-se que no caso de a/d_0 igual a vinte, onde a é a distância entre os centros dos queimadores e d_0 o diâmetro de cada queimador, os comprimentos das chamas dos jatos inclinados era da ordem de 10% menores que os

comprimentos das chamas dos jatos verticais.

O objetivo do estudo apresentado neste trabalho é determinar o efeito da variação do ângulo de injeção de dois jatos de gás acetileno sobre os comprimentos das chamas obtidos. Foram propostos jatos convergentes e divergentes inclinados de 10°, 20°, 30° e 45° relativos ao eixo vertical e jatos paralelos.

DETALHES EXPERIMENTAIS

Os experimentos foram realizados em galpão de 50 m² de área com o objetivo de se evitar a influência de correntes de ar externo sobre a chama. O equipamento de teste era constituído de: cilindro de gás acetileno, medidor de vazão de gás do tipo placa de orifício concêntrico conectado a manômetros de tubo em U, distribuidor de gás e injetores. A Figura 1 apresenta o esquema do equipamento e também os arranjos dos injetores definindo o ângulo e a distância entre os jatos.

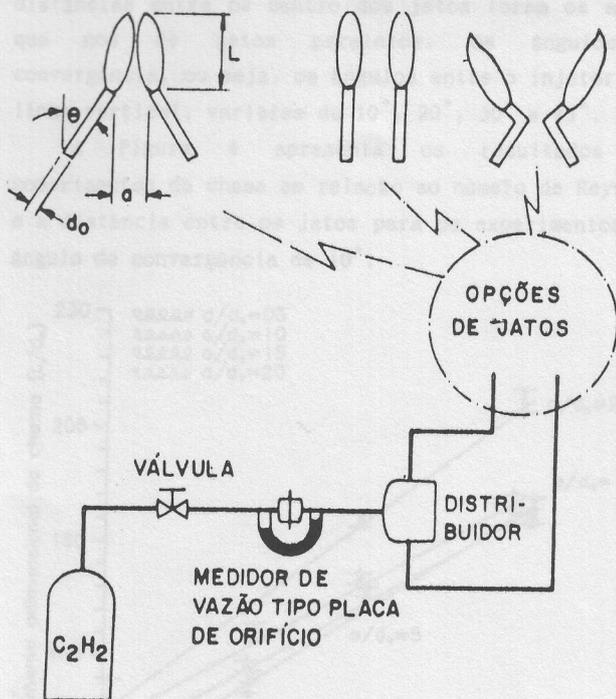


Figura 1. Esquema do Experimento.

Um dispositivo mecânico simples foi projetado, visando, primeiro, regular os ângulo e distância entre os jatos de forma contínua e, segundo, não fornecer impedimento ao escoamento de ar induzido pelas chamas.

Nos experimentos com jatos paralelos e convergentes, os bicos injetores eram de cobre, com diâmetro de saída igual a 3 mm e rosqueados a tubos de aço-inox com diâmetro externo de 1/4". Nos testes com jatos divergentes, os bicos eram de aço-inox com diâmetro de saída igual a 3 mm soldados a tubos de

aço-inox com diâmetro externo de 5/16". Este último tipo de injetor foi necessário para se realizar os experimentos de jatos divergentes mantendo-os no mesmo plano.

Os comprimentos de chama foram obtidos através de fotografias com tempo de exposição de 2 segundos e filme de 25 ASA. As ampliações das fotos foram feitas em "slide" para melhor nitidez das imagens. O comprimento de chama foi definido como o comprimento da linha central da chama, desde o bico injetor até o final da primeira porção contínua da chama na fotografia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Jatos Paralelos. Os experimentos com jatos paralelos foram realizados com a distância entre eles variando de 5, 10, 15 e 20 diâmetros do bico injetor e com os números de Reynolds variando de aproximadamente 6000, 9000, 12000 e 16000. Estes experimentos servem de parâmetro de comparação para as configurações de jatos convergentes e divergentes. A Figura 2 apresenta os resultados obtidos, ou seja, os comprimentos de chama como função do número de Reynolds e da distância entre os jatos.

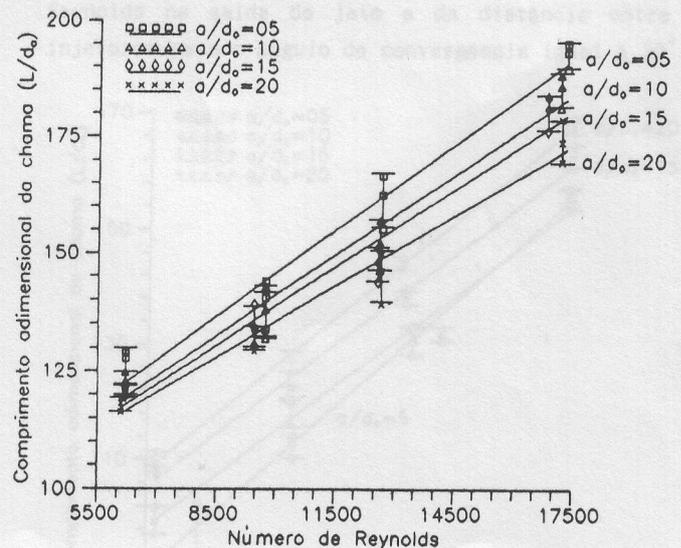


Figura 2. Comprimento de Chama para Jatos Paralelos.

Observa-se que o comprimento de chama aumenta com a diminuição da distância entre os jatos e com o aumento do número de Reynolds na saída dos jatos.

A Figura 3 apresenta a altura de encontro das chamas paralelas, também como função do Número de Reynolds e da distância entre os jatos.

Em se tratando de encontro das chamas, o aumento no número de Reynolds e a diminuição da distância entre os jatos causa a diminuição na altura de encontro. Este resultado, como elucidado por Menon e

Gollahalli (1985), vem da disponibilidade reduzida de oxidante entre as chamas causando o aumento no comprimento de chama.

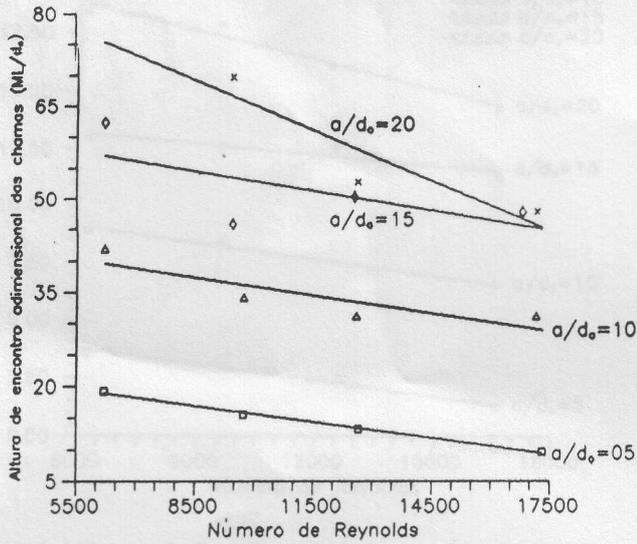


Figura 3. Altura de Encontro para Jatos Paralelos

Jatos Convergentes. Nos experimentos com jatos convergentes, os intervalos do número de Reynolds e as distâncias entre os centro dos jatos foram os mesmos que nos de jatos paralelos. Os ângulos de convergência, ou seja, os ângulos entre o injetor e a linha vertical, variaram de 10°, 20°, 30° e 45°.

A Figura 4 apresenta os resultados dos comprimentos de chama em relação ao número de Reynolds e a distância entre os jatos para os experimentos com ângulo de convergência de 10°.

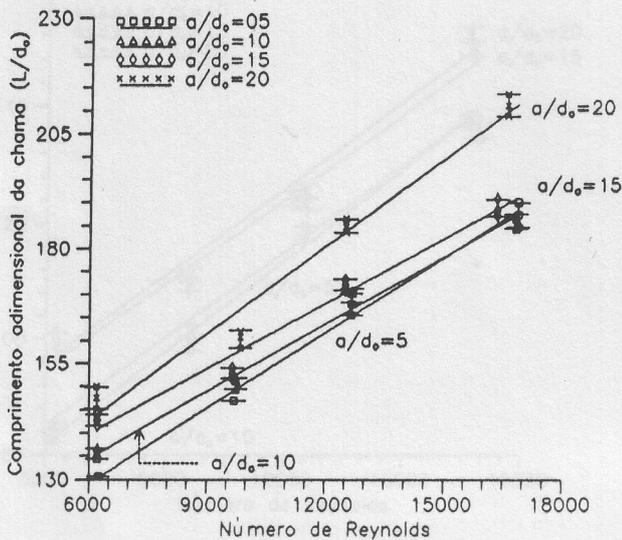


Figura 4. Comprimento de Chama para Convergência de 10°.

O aumento no comprimento de chama com o aumento do número de Reynolds segue a mesma tendência do

comportamento das chamas nos jatos paralelos, mas o aumento da distância entre os jatos acarreta no efeito contrário àquele ocorrido com jatos paralelos. Este efeito é devido ao aumento da altura de encontro das chamas com o aumento da distância entre os jatos, como indicado na Figura 5.

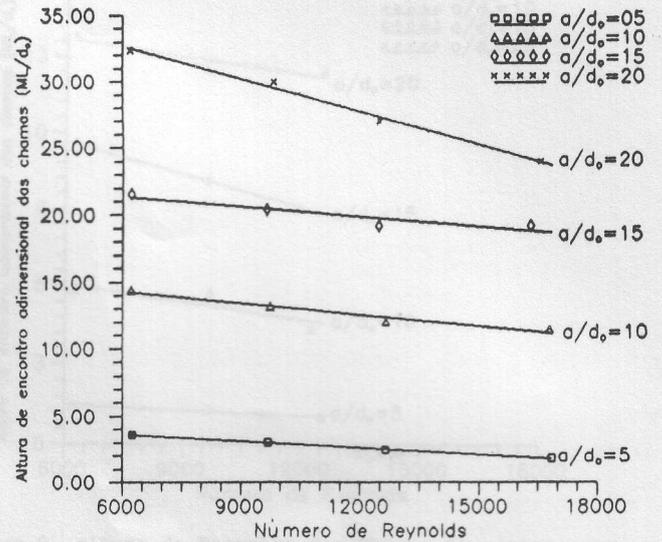


Figura 5. Altura de Encontro das Chamas de jatos com 10° de convergência.

As Figuras 6 e 7 apresentam os resultados do comprimento de chama e da altura de encontro das chamas, respectivamente, como função do número de Reynolds na saída do jato e da distância entre os injetores para o ângulo de convergência igual a 20°.

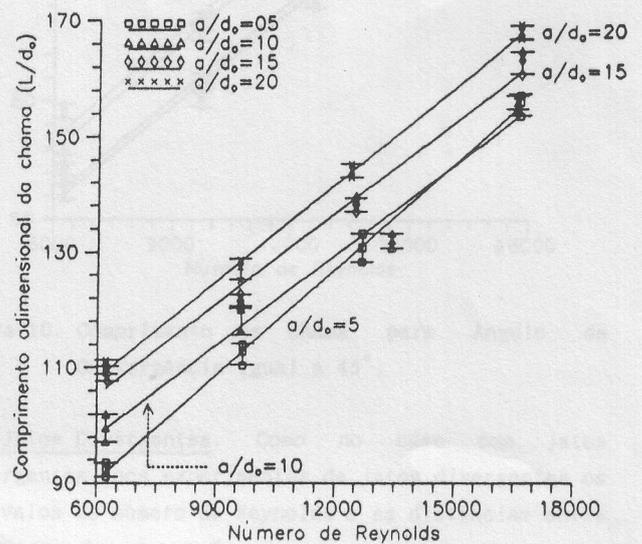


Figura 6. Comprimento de Chama para Ângulo de Convergência Igual a 20°.

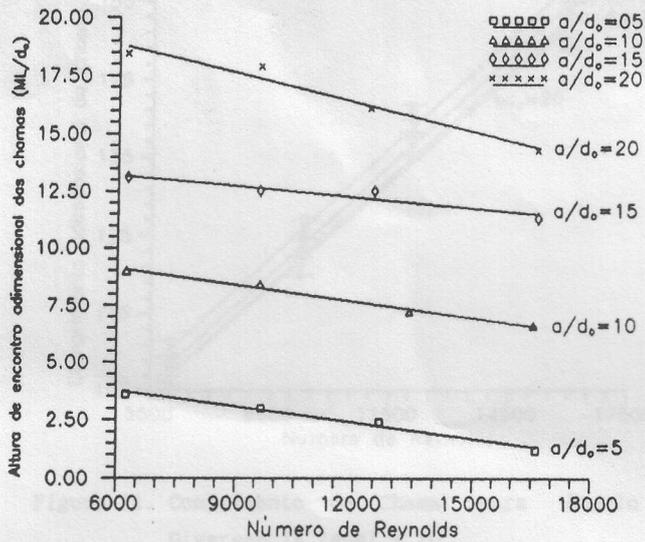


Figura 7. Altura de Encontro das Chamas de jatos com convergência de 20°.

Nas Figuras 8 e 9 são apresentados os resultados do comprimento de chama e da altura de encontro das chamas, respectivamente, em função do número de Reynolds na saída do jato e da distância entre os injetores para o ângulo de convergência igual a 30°.

Observa-se que para o caso em que as inclinações dos jatos são de 20° e 30°, tanto os comprimentos de chama como as alturas de encontro apresentam as mesmas tendências das dos jatos com 10° de inclinação.

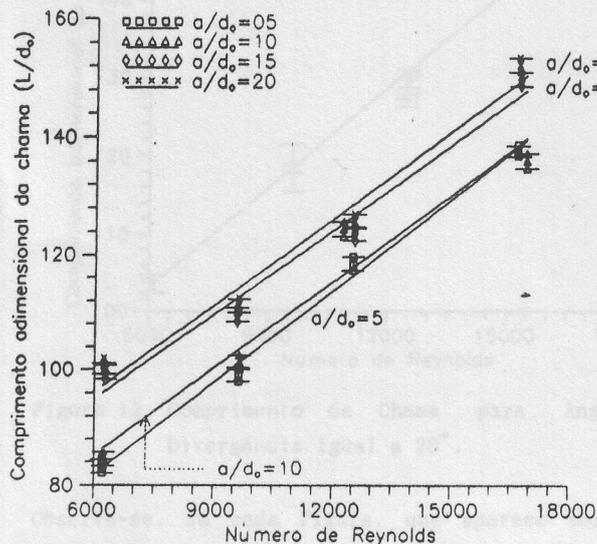


Figura 8. Comprimento de Chama para Ângulo de Convergência Igual a 30°.

Nota-se que para o caso de jatos com 45° de inclinação a tendência dos comprimentos de chama é a mesma dos casos anteriores (como mostrado na Figura 10), porém, a tendência das alturas de encontro não é apresentada, porque estas não puderam ser determinadas devido à saturação das fotos causadas pela grande radiação

emitida pela chama nesta configuração de 45° convergente.

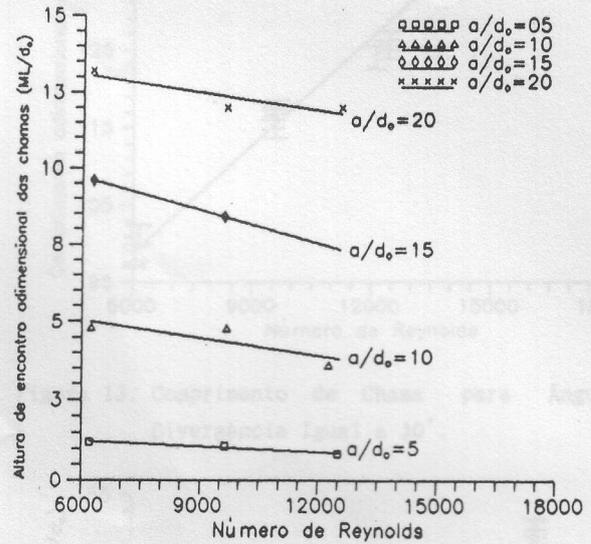


Figura 9. Altura de Encontro das Chamas de jatos com convergência de 30°.

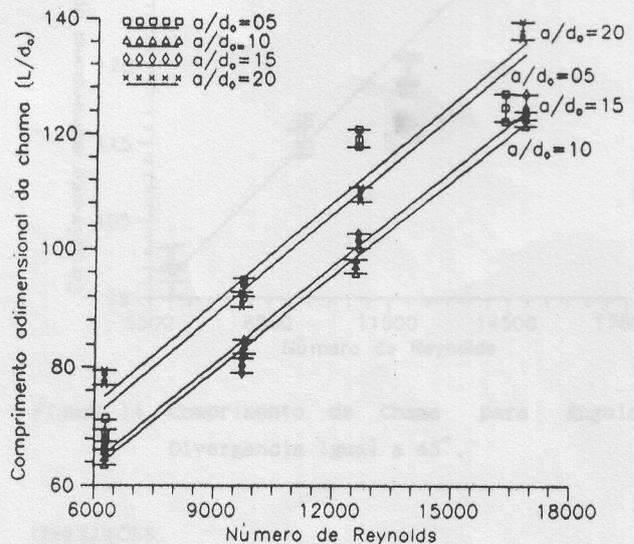


Figura 10. Comprimento de Chama para Ângulo de Convergência Igual a 45°.

Jatos Divergentes. Como no caso com jatos convergentes, nos experimentos de jatos divergentes os intervalos do número de Reynolds e as distâncias entre os centros dos jatos foram, novamente, os mesmos que nos de jatos paralelos, a menos dos experimentos com 30° e 45° cujas distâncias de separação dos jatos foram de 6 e 7 diâmetros do injetor, respectivamente, devido a impossibilidade física do bicos. Os ângulos de divergência, ou seja, os ângulos entre o injetor e a linha vertical, variaram de 10°, 20°, 30° e 45°.

Os comprimentos de chama, obtido dos experimentos com ângulo de divergência de 10°, são apresentados na Figura 11.

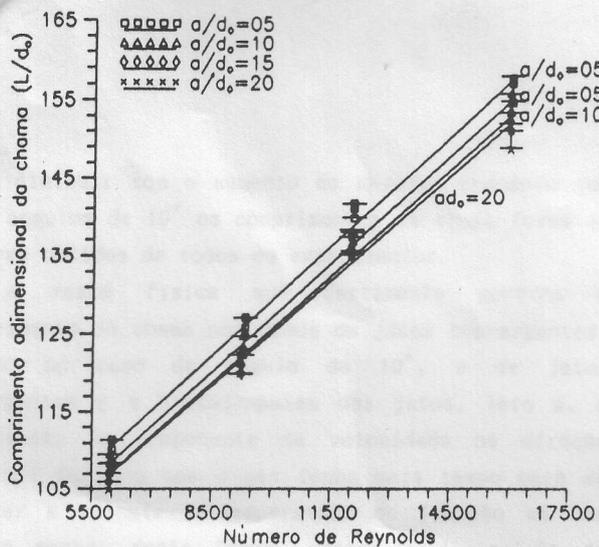


Figura 11. Comprimento de Chama para Ângulo de Divergência Igual a 10°.

Na figura acima observa-se que o comprimento de chama aumenta com o aumento do número de Reynolds e com a diminuição da distância entre os jatos.

Nas Figuras 12, 13 e 14, são apresentados os resultados dos comprimentos de chama para as configurações de jatos inclinados de 20°, 30° e 45°, respectivamente.

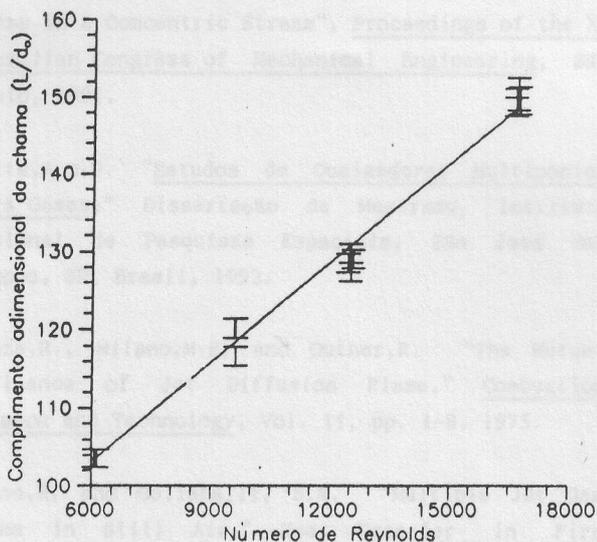


Figura 12. Comprimento de Chama para Ângulo de Divergência Igual a 20°.

Observa-se, em cada figura, que aparece somente um ajuste das curvas, porque estas se encontram muito próximas. Estas proximidades das curvas ocorrem devido à pequena influência da distância entre os jatos sobre os comprimentos de chama.

Os ajustes de curvas nas figuras são obtidos através de regressão linear e as barras de erros através do desvio padrão.

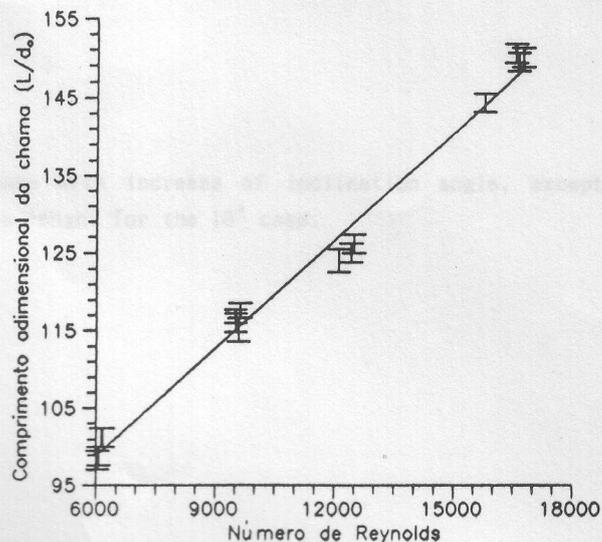


Figura 13. Comprimento de Chama para Ângulo de Divergência Igual a 30°.

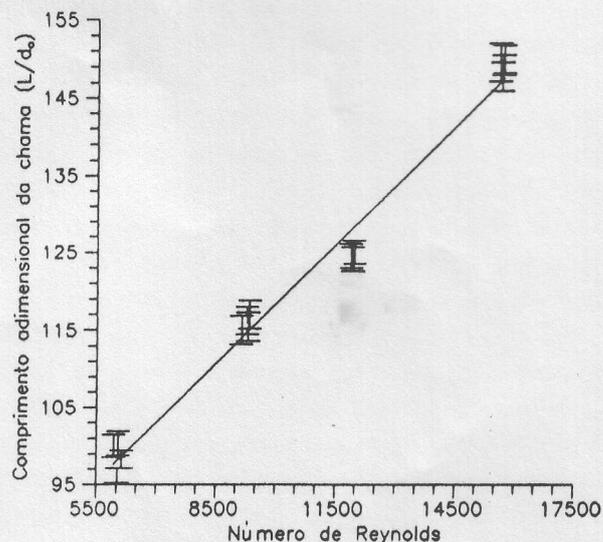


Figura 14. Comprimento de Chama para Ângulo de Divergência Igual a 45°.

CONCLUSÕES

Dos experimentos com jatos paralelos conclui-se que a distância de não interferência entre as chamas é igual a vinte diâmetros do bico injetor. Este resultado concorda com os resultados existentes na literatura (Gollahalli (1985) e Leite (1992)).

Para os experimentos com ângulos divergentes observou-se que existe um ângulo de não interferência entre as chamas, sendo este ângulo igual a 20°. Nestes experimentos observou-se que os comprimentos de chama diminuem com o aumento do ângulo de inclinação.

No caso dos experimentos com jatos convergentes um resultado um pouco mais singular foi obtido; para ângulos maiores que 10°, o comportamento da chama foi

o de diminuir com o aumento do ângulo, enquanto que para ângulos de 10° os comprimentos de chama foram os maiores obtidos de todos os experimentos.

A razão física que certamente governa o comprimento de chama nos casos de jatos convergentes, exceto no caso do ângulo de 10° , e de jatos divergentes é a hidrodinâmica dos jatos, isto é, a diminuição da componente da velocidade na direção vertical faz com que o gás tenha mais tempo para se aquecer e atingir a temperatura de ignição em uma região menor; desta forma, ocorre a diminuição do comprimento de chama.

Para o caso anômalo de 10° convergentes, o fator de disponibilidade do oxidante entre as chamas parece imperar sobre a hidrodinâmica dos jatos (uma vez que para pequenos ângulos a diminuição da componente da velocidade pode ser desprezível).

REFERÊNCIAS

- . Heitor, M.V., Pires, A.C. and Simões, J.P. "The Thermal Characteristics and radiation of Propane Jet Flame in a Concentric Stream", Proceedings of the XI Brazilian Congress of Mechanical Engineering, São Paulo, 1991.
- . Leite, A.O.P. "Estudos de Queimadores Multipontos para Gases," Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil, 1992.
- . Lenze, R., Milano, M.E. and Guther, R. "The Mutual Influence of Jet Diffusion Flame," Combustion Science and Technology, Vol. 11, pp. 1-8, 1975.
- . Menon, R. and Gollahalli, S.R. "Multiple Jet Gas Flame in Still Air," Heat Transfer in Fire Combustion Systems, Vol. 45, pp. 127-133, 1985.
- . Menon, R. and Gollahalli, S.R. "Combustion Characteristics of interacting Multiple Jets in Cross Flow," Combustion Science And Technology, Vol. 60, pp. 375-389, 1988.

ABSTRACT

This paper presents the results of an experimental investigation of the interference between parallel, divergent and convergent acetylene turbulent diffusion flames. The flame lengths were obtained by photography: the parameters - jet Reynolds number, angle and distance between jets - were varied in this study. The general behavior of flame length is its

decrease with increase of inclination angle, except flames length for the 10° case.