

DESENVOLVIMENTO DE UM QUEIMADOR POROSO RADIANTE PARA TESTES DE INFLAMABILIDADE SUPERFICIAL DE MATERIAIS

Rafael Hafemann Moser

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis/SC
moser@labcet.ufsc.br

Guilherme Brisot

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis/SC
brisot@labcet.ufsc.br

Rafael de Camargo Catapan

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis/SC
catapan@labcet.ufsc.br

Fernando Marcelo Pereira

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis/SC
fernando@labcet.ufsc.br

Amir Antonio Martins Oliveira

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis/SC
amirol@emc.ufsc.br

Resumo. O trabalho aqui apresentado trata do desenvolvimento de um queimador poroso radiante de grande razão entre área superficial e espessura capaz de operar com temperaturas superficiais entre 600° C e 900° C. O queimador poroso desenvolvido foi feito com camadas de esponjas cerâmicas de carvão de silício de 10 ppi, totalizando uma área radiante de 0,15 m². Os testes de operação foram realizados com ar e gás natural pré-misturados em razões de equivalência entre 0,42 e 0,80. Para estabilizar a chama dentro do queimador foi utilizada uma placa perfurada para a distribuição do fluxo de mistura na matriz porosa. Obteve-se um queimador poroso radiante com boa homogeneidade na temperatura superficial, que opera com potências de até 35 kW e com até 49% de eficiência de radiação. A adição do mecanismo fluidodinâmico de estabilização, promovido pela placa distribuidora de fluxo, revelou-se uma forma eficaz de controle da estabilidade de chama e da temperatura superficial em queimadores porosos radiantes.

Palavras chave: painel radiante, teste de inflamabilidade superficial, queimador poroso radiante.

1. Introdução

Queimadores porosos radiantes são equipamentos usados como fonte de calor radiante a partir da queima de combustíveis gasosos. A reação de combustão ocorre no interior da estrutura tridimensional de cavidades interconectadas que forma a matriz porosa, alterando as características da chama. A matriz sólida promove o pré-aquecimento da mistura de reagentes através da transferência de calor por condução e radiação térmica. Este pré-aquecimento traz como consequência a elevação da temperatura na zona de reação, o aumento na eficiência de conversão do combustível em produtos saturados da combustão (maior eficiência de queima e baixa emissão de poluentes), o aumento da velocidade de chama (elevadas potências), além de possibilitar a queima de misturas pobres em combustível (Howell et al., 1996). A elevada temperatura da matriz porosa confere a estes queimadores um grande potencial de troca de calor direcional por radiação a partir do meio sólido, podendo alcançar eficiências de radiação de até 50% (Catapan, et. al, 2005).

Estruturas porosas cerâmicas e metálicas são comumente usadas como matriz sólida e com frequência empregam-se materiais de estruturas diferentes em um mesmo queimador, buscando tirar vantagem das interfaces em que ocorre uma abrupta variação de propriedades (Khanna et al. 1994). O projeto ideal de um queimador poroso radiante é definido pela temperatura e forma da carga que se deseja aquecer, pela potência requerida e faixa de estabilidade necessária, pela intermitência ou continuidade do processo em questão, pela temperatura máxima de operação da matriz porosa, pela resistência mecânica dos materiais empregados, entre outros.

Vários setores industriais utilizam o aquecimento por radiação térmica em seus processos de produção. Os queimadores porosos radiantes apresentam grandes perspectivas de emprego nestes setores, trazendo vantagens econômicas e operacionais em relação ao aquecimento elétrico e aos queimadores convencionais (Pereira et al., 2004). Atualmente, queimadores porosos radiantes já podem ser encontrados em processos como secagem de papel, cura de plásticos e revestimentos, cocção de alimentos e aquecimento de ambientes.

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um queimador poroso radiante para ser utilizado como fonte de radiação térmica em testes de inflamabilidade superficial de materiais. Foi construída uma bancada para a realização de testes de acordo com a norma americana ANSI/ASTM E 162 – 79 “Standard Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Energy Source” (1979), constituída basicamente pela fonte radiante e por uma seção de testes onde a inflamabilidade superficial das amostras de materiais de construção é avaliada.

Para desenvolver um queimador capaz de atender às especificações da norma foram realizados experimentos a fim de encontrar a melhor configuração para o painel. Obteve-se um queimador de grande razão entre área superficial e espessura com eficiência de radiação de 49%. Uma ampla faixa de estabilidade de chama foi alcançada com a distribuição de reagentes em apenas alguns pontos do queimador através de uma placa distribuidora de fluxo (mecanismo fluidodinâmico de estabilização).

2. Descrição Geral da Bancada

A bancada construída para a realização do procedimento de testes de inflamabilidade superficial de materiais segue as especificações da norma ANSI/ASTM E 162 – 79. A Fig. 1 apresenta o projeto em 3D da bancada e fotos do protótipo final.

O método para medição de inflamabilidade superficial de materiais consiste primeiramente em promover a ignição da amostra na sua extremidade superior, através de uma chama piloto, e então, submetê-la a um campo de radiação equivalente a um corpo negro a 670°C. O deslocamento da frente de chama na superfície da amostra e a temperatura dos gases gerados (medidos por termopares na chaminé superior) são usados no cálculo do índice de inflamabilidade superficial padronizado pela norma.

O painel radiante (Fig. 1b-1) está montado em um suporte de aço na posição vertical. O ar necessário para alimentar o painel radiante provém de um ventilador radial monofásico (Fig. 1b-2) de ¼ de HP. A medição da vazão de ar é feita através de um rotâmetro (Fig. 1d-1) marca OMEL, modelo 4T71205x12, com faixa de operação de 0 à 45 Nm³/h (25°C e pressão de 1 ATM). O painel foi testado com gás natural e metano, podendo ser usado com outros combustíveis desde que se defina experimentalmente a nova faixa de estabilidade. A medição da vazão de gás é controlada por meio de um rotâmetro (Fig. 1d-2) marca OMEL, modelo R-3 BL, com faixa de operação de 0 à 4,0 Nm³/h (25°C e pressão de 1 ATM). O controle da vazão de ar e gás é manual, feita através de válvulas (Fig. 1d-3) instaladas imediatamente antes dos rotômetros.

Os reagentes chegam ao painel já pré-misturados. O gás combustível é injetado na corrente de ar restando um comprimento de mistura de aproximadamente 0,5 m, o que mostrou-se suficiente para a obtenção de uma mistura homogênea.

O acendimento do painel radiante é feito através de uma chama piloto (Fig. 2a-1) posicionada na parte inferior. A bancada possui ainda outra chama piloto (Fig. 2c-1) com a função de promover a ignição do material a ser testado. A chama piloto deve atingir a superfície da amostra horizontalmente, com uma inclinação de aproximadamente 15° (como mostra a Fig. 2d).

Na parte superior da bancada existe uma chaminé (Fig. 1c-1) posicionada acima do painel radiante com a função de confinar parte dos gases liberados na queima do material testado. No seu interior estão fixados oito termopares tipo K conectados a um sistema de aquisição de dados.

Durante o procedimento de teste a amostra do material deve permanecer em frente ao painel com uma inclinação de 30° em relação a vertical, de forma que a sua extremidade superior fique próxima do queimador. No suporte (Fig. 1b-3) são feitas marcações a cada 76 mm que servem de referência para quantificar a propagação da chama.

3. Desenvolvimento do painel

O queimador é constituído por 30 esponjas porosas de carbetto de silício com temperatura máxima de operação de 1500 °C e dimensão de 10x10x2cm. A Fig. 3b mostra como estas cerâmicas são montadas no queimador. As laterais do painel são isoladas por uma manta de fibra de Alumina (3 – Fig. 3a) resistente a temperaturas de até 1200°C.

O queimador poroso radiante desenvolvido para a bancada construída tem como característica uma grande razão entre área superficial e espessura. A área radiante total é de 0,15 m² (0,3m x 0,5m) e a espessura do painel é de 0,10 m.

Queimadores porosos com tal característica geométrica podem apresentar dificuldades de estabilização, principalmente devido à tridimensionalidade da chama. Para aumentar a faixa de estabilidade do queimador foi adicionada uma placa perfurada (Fig 3a-1) que restringe a injeção dos gases a alguns pontos da matriz porosa. Em cada orifício ocorre um aumento na velocidade dos gases, dificultando o retorno de chama. Além de representar um mecanismo fluidodinâmico de estabilização, a placa constituída de fibra de alumina também atua como isolamento térmico. A Fig. 3b apresenta um desenho esquemático da placa perfurada.

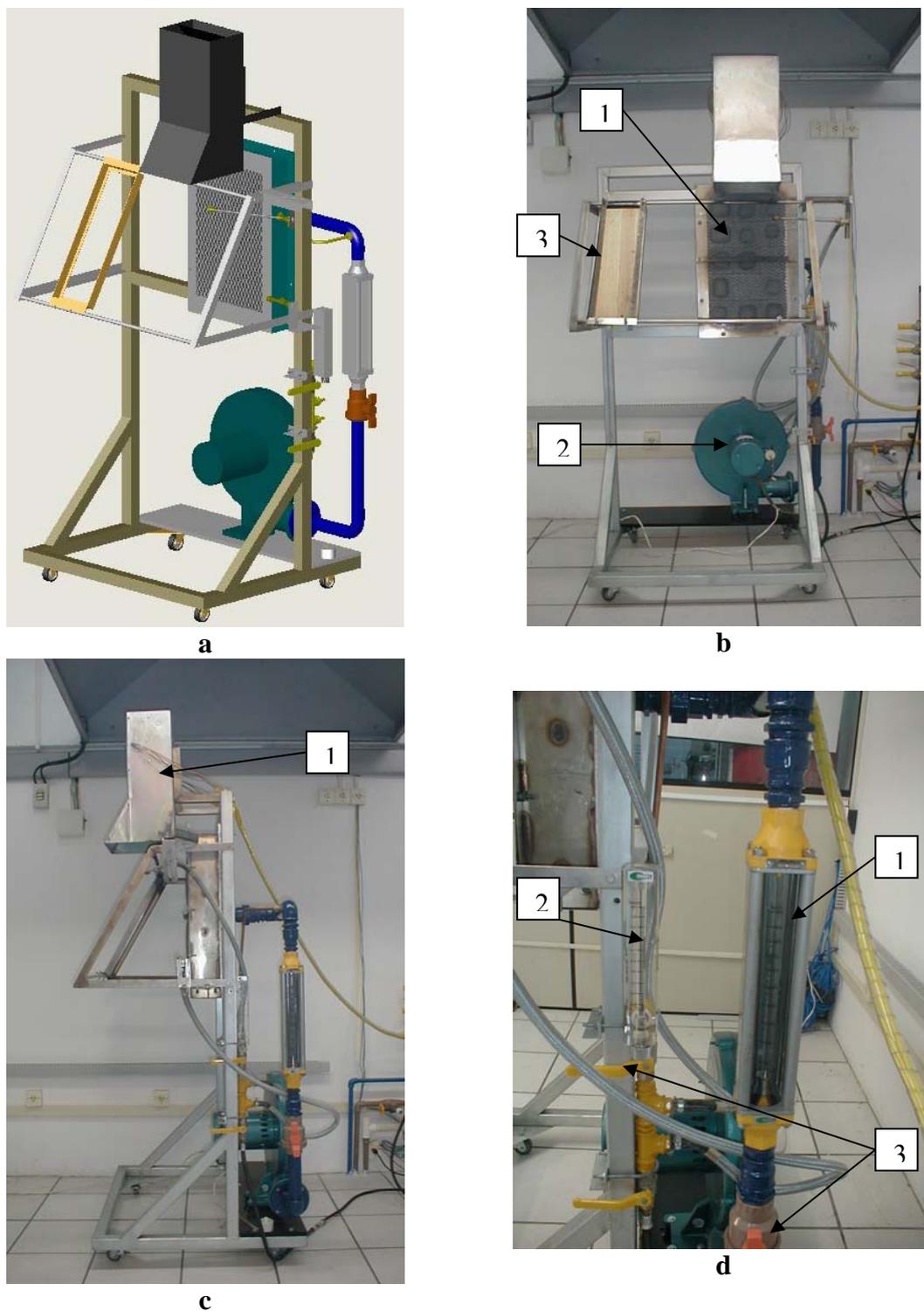
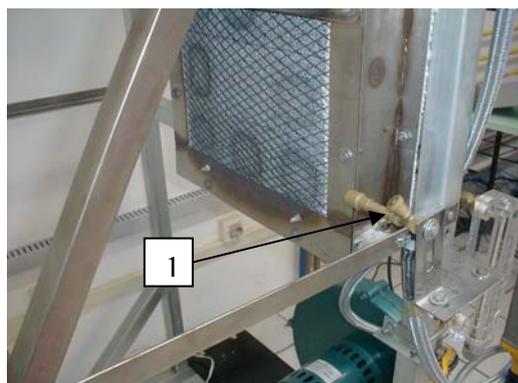


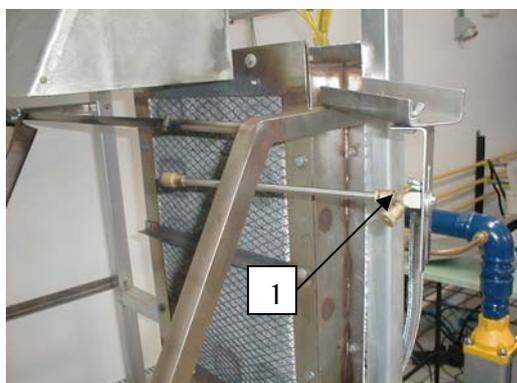
Figura 1. Bancada de teste de inflamabilidade superficial de materiais (norma ANSI/ASTM E 162 – 79): a) Projeto 3D, b) foto frontal, c) foto lateral e d) rotômetros.



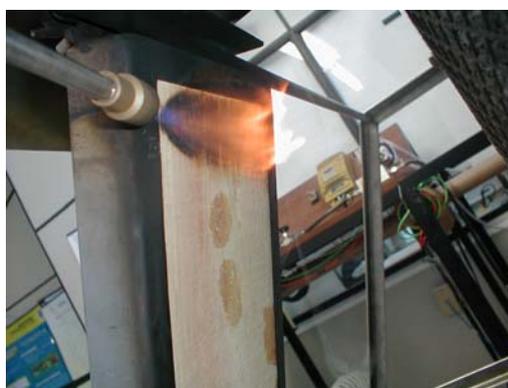
a



b



c



d

Figura 2. a) Chama piloto de acendimento do painel, b) início do acendimento do painel c) chama piloto de ignição da amostra, d) início da ignição da amostra.

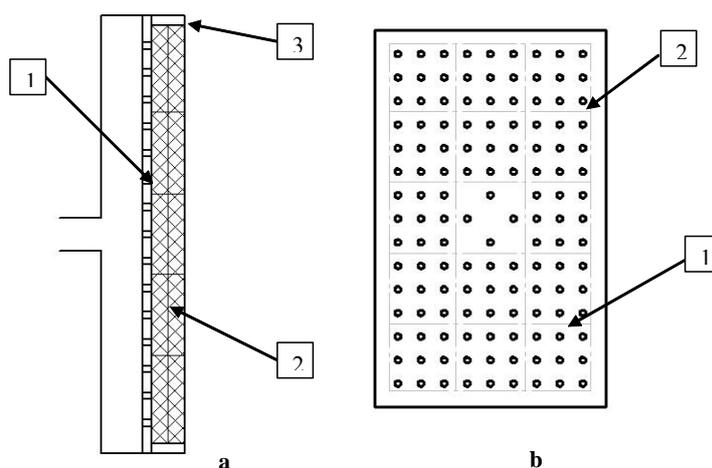


Figura 3. a) Esquema da vista lateral em corte do painel radiante, b) Desenho esquemático da placa perfurada.

A placa distribuidora de fluxo possui ao longo de toda a sua superfície vários orifícios com diâmetro de 8mm (Fig. 3b-1). Na parte central, em razão da posição do duto de alimentação de reagentes, diminuiu-se a quantidade de orifícios, promovendo uma distribuição mais homogênea do fluxo dos gases.

A pequena dimensão das cerâmicas disponíveis fez necessário a adição de uma tela de aço inox e uma travessa para manter as cerâmicas em sua posição. A tela tem também a função de proteger o operador em caso de retorno de chama.

4. Resultados

A Fig. 4a mostra a foto do queimador poroso em funcionamento e a Fig. 4b a correspondente imagem em infravermelho. Picos de temperatura de até 880°C foram observados, sobretudo nas extremidades superior e inferior do painel. Mesmo assim, obteve-se uma razoável homogeneidade de temperatura superficial sendo que o valor médio foi de aproximadamente 670 °C.

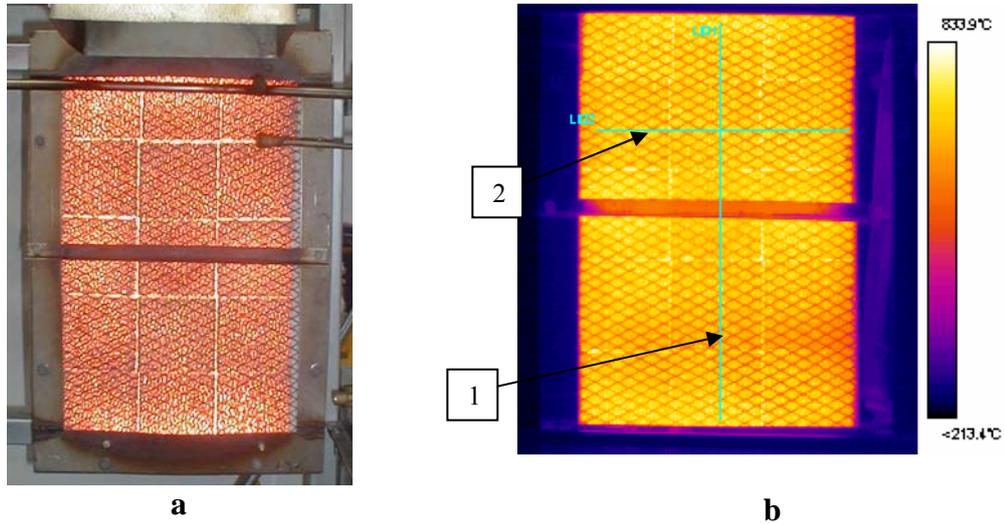


Figura 4. Painel radiante em operação: a) foto convencional e b) foto infravermelha.

Sobre a Fig. 4b foram traçadas duas linhas, uma vertical (1) e uma horizontal (2). A Fig. 5 permite visualizar as variações de temperatura na superfície do painel em cada ponto ao longo do comprimento das linhas 1 e 2.

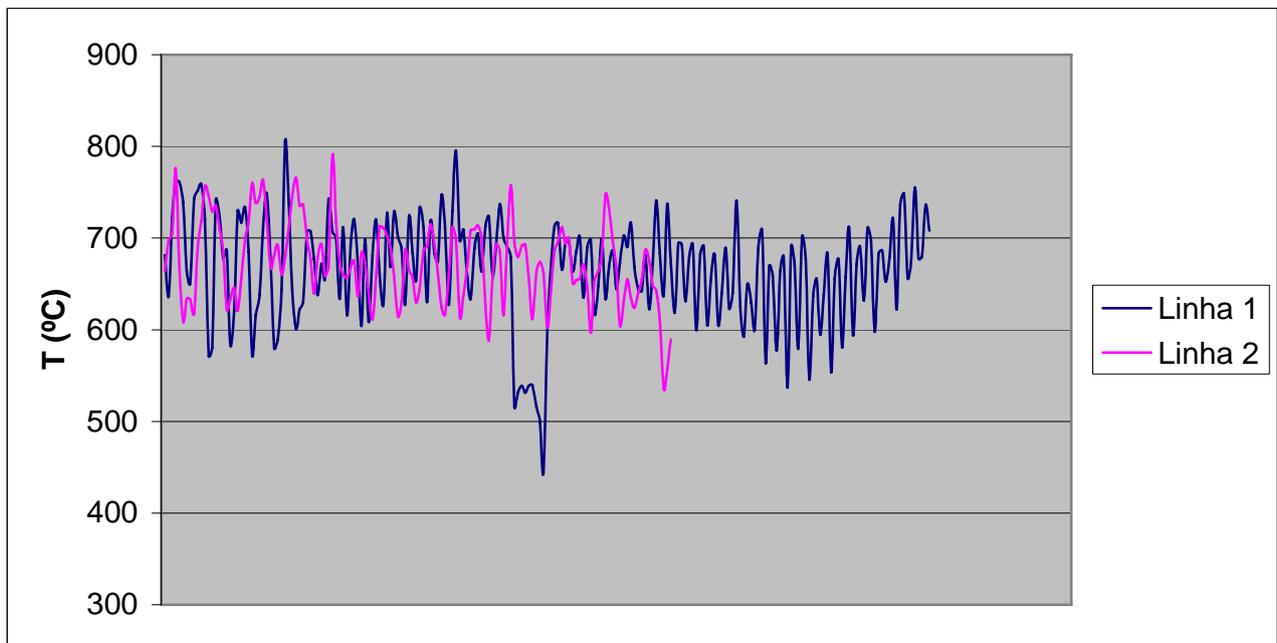


Figura 5. Perfil de temperatura do painel sobre as linhas 1 e 2.

Observa-se que a média se situa em torno de 670°C com uma variação de temperatura de $\pm 80^\circ\text{C}$. O ponto central indicando uma temperatura de 450°C corresponde à posição da travessa de suporte das placas cerâmicas como mostrado na Fig.4.

A Tab. 1 mostra alguns resultados de medições dos pontos de partida e de operação do painel, onde V_{GN} é a vazão de gás natural, V_{ar} é a vazão de ar, Φ é a razão de equivalência, u_{ch} é a velocidade de chama (definida como a vazão total dividida pela área do queimador), T_s é a temperatura superficial média obtida pela câmera IV Flir, modelo ThermaCam SC500, S_r é a potência total do queimador e η_{rad} é a eficiência de radiação (definida como a razão entre a radiação emitida pelo queimador e a energia total liberada pela chama). Observa-se que elevadas eficiências de radiação são obtidas com o painel desenvolvido, o que implica em um baixo consumo de combustível para gerar a radiação de um corpo negro a 670°C.

Tabela 1. Dados do ponto de partida e do ponto de operação do painel radiante.

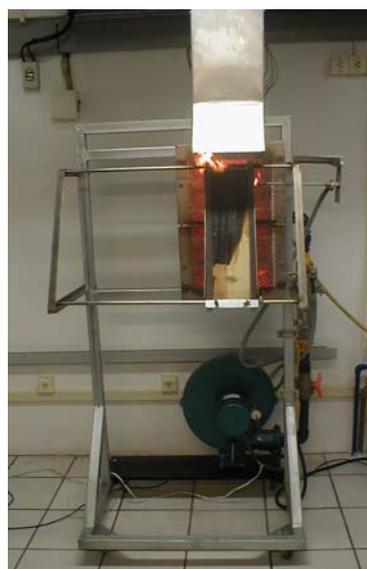
	V_{GN} [Nm ³ /h]	V_{ar} [Nm ³ /h]	Φ	u_{ch} [cm/s]	T_s [°C]	S_r [kW]	η_{rad} [%]
Ponto de partida	3,2	38	0,80	8,3	860	35	39
Ponto de operação	1,2	27	0,42	5,7	670	13	49

O ponto de operação destaca-se por se encontrar abaixo do limite de inferior inflamabilidade para misturas de metano e ar ($\Phi = 0,5$). As placas cerâmicas de carbeto de Silício (SiC) utilizadas (marca FOSECO) mostraram boa resistência à fadiga térmica imposta pela intermitências dos testes, não tendo sido observada severa degradação ou fraturas.

A seqüência de imagens da Fig. 6 mostra a realização de um teste preliminar com o objetivo de avaliar o funcionamento da bancada. Neste teste foi utilizada uma placa de madeira de pinus com 20 mm de espessura e área de 150 por 450 mm. O campo de radiação gerado pelo queimador propicia as condições necessárias para a propagação da chama através da superfície da amostra. Testes padronizados para a medição da inflamabilidade de superficial de materiais típicos de construção estão em fase de preparação.



a



b



Figura 6. Bancada em procedimento de teste.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um queimador poroso radiante de elevada razão entre área radiante e espessura para ser utilizado como fonte de radiação térmica em testes de inflamabilidade superficial de materiais, de acordo com a norma ANSI/ASTM E 162 – 79 “Standard Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Energy Source” (1979), chegando-se às seguintes conclusões:

- O queimador poroso desenvolvido apresentou uma razoável homogeneidade de temperaturas, sendo que a temperatura superficial média de 670°C, requerida pela norma, foi obtida.
- O mecanismo fluidodinâmico de estabilização promovido pela adição da placa perfurada contribuiu para obtenção de um bom desempenho do painel. A placa de orifícios aumentou a faixa de estabilidade do queimador e promoveu uma distribuição satisfatória do fluxo da mistura de reagentes.
- Eficiências de radiação de 39 a 49% foram obtidas para a faixa de operação do painel.
- Chamas pobres, abaixo do limite de inferior inflamabilidade para misturas de metano e ar, foram obtidas ($\Phi = 0,42$).
- As placas cerâmicas de carbeto de Silício (SiC) utilizadas (marca FOSECO) mostraram boa resistência à fadiga térmica imposta pela intermitências dos testes, não tendo sido observada severa degradação ou fratura.

6. Referências

- ANSI/ASTM E 162 – 79 “Standard Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Energy Source” (1979)
- Catapan, R.C., Pereira, F.M. and Oliveira, A.A.M., 2005, "Development of a Radiant Porous Burner with a Combined Thermal and Fluidynamic Mechanism of Flame Stabilization", Proceedings of the 18th Congress of Mechanical Engineering, Ouro Preto.
- Howell J. R., Hall M. J., Ellzey J. L., 1996, “Combustion of hydrocarbon fuels within porous inert media”, *Prog. Energy Combustion Science*, Vol. 22, pp. 121-145.
- Khanna, R., Goel, R. and Ellzey, J. L., 1994, “Measurements of emissions and radiation for methane combustion within a porous medium burner”, *Comb. Sci. and Tech.*, 99:133-142.
- Pereira, F. M., Catapan, R. C., Oliveira, A. M., “Relatório de Análise Técnico-Econômica de Aplicações para Queimadores Porosos Radiantes”, Technical Report, UFSC, RedeGásEnergia, 2004.

DEVELOPMENT OF A RADIANT POROUS BURNER FOR SURFACE FLAMMABILITY TEST OF MATERIALS

Rafael Hafemann Moser
Department of Mechanical Engineering Federal University of Santa Catarina – Florianópolis/SC
moser@labcet.ufsc.br

Fernando Marcelo Pereira
Department of Mechanical Engineering – Federal University of Santa Catarina – Florianópolis/SC
fernando@labcet.ufsc.br

Rafael de Camargo Catapan

Department of Mechanical Engineering – Federal University of Santa Catarina – Florianópolis/SC
catapan@labcet.ufsc.br

Guilherme Brisot

Department of Mechanical Engineering – Federal University of Santa Catarina – Florianópolis/SC
brisot@labcet.ufsc.br

Amir Antonio Martins de Oliveira Júnior

Department of Mechanical Engineering – Federal University of Santa Catarina – Florianópolis/SC
amirol@emc.ufsc.br

Abstract

The development of a radiant porous burner panel with large surface area is reported. The panel was designed to operate at mean superficial temperatures between 600° C and 900° C. The radiant porous burner was built with silicon carbide ceramic foams of 10 ppi, totalizing a 0,15m² radiant area. Tests were conducted with premixed air and natural gas for equivalence ratios between 0,42 and 0,80. To stabilize the flame inside the burner, a perforated plate was used to distribute the mixture flow in the porous matrix. A radiant porous burner with reasonable homogeneous superficial temperature has been obtained. The results showed that the panel can operate at the powers up to 35 kW and achieve radiant efficiencies up to 49%.

Keywords: radiant panel, porous burner, surface flammability test.