

ESTUDO EXPERIMENTAL DA CONVECÇÃO NATURAL EM UMA CAVIDADE DIFERENCIALMENTE AQUECIDA

Ricardo Alan Verdú Ramos

UNESP – Campus de Ilha Solteira – Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Brasil Centro, 56 – Ilha Solteira, SP – 15385-000

Email: ramos@dem.feis.unesp.br

Cássio Roberto Macedo Maia

UNESP – Campus de Ilha Solteira – Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Brasil Centro, 56 – Ilha Solteira, SP – 15385-000

Email: cassio@dem.feis.unesp.br

Alessandro Tomio Takaki

UNESP – Campus de Ilha Solteira – Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Brasil Centro, 56 – Ilha Solteira, SP – 15385-000

Email: takaki@dem.feis.unesp.br

Giancarlo de Souza Damno

UNESP – Campus de Ilha Solteira – Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Brasil Centro, 56 – Ilha Solteira, SP – 15385-000

Email: damno@dem.feis.unesp.br

Resumo. Neste trabalho foi realizado um estudo experimental do efeito da convecção natural no escoamento dentro de uma cavidade térmica retangular com paredes diferencialmente aquecidas. Foi analisada a influência da diferença de temperatura entre as paredes, tipo de fluido, razão de aspecto e ângulo de inclinação da cavidade com relação ao plano horizontal. Foram construídas cavidades e realizados testes experimentais para medida de temperaturas utilizando termopares e um sistema de aquisição de dados controlado por computador. Os termopares foram montados em uma sonda acoplada a um sistema posicionador para obter o campo de temperatura no interior da cavidade e foi feita uma comparação entre os perfis de temperatura nos planos centrais de cada um dos casos considerados. Além disso, foi feita a visualização de um escoamento de um caso básico por meio da técnica da injeção de fumaça gerada pela queima de incenso.

Palavras-chave: Convecção natural, cavidade térmica, medidas de temperatura e visualização de escoamento.

1. INTRODUÇÃO

No presente trabalho é estudada a convecção natural no escoamento em cavidades térmicas com paredes diferencialmente aquecidas, conforme mostra a Fig. (1), utilizando técnicas experimentais para medições de temperatura e visualização dos escoamentos. Esse tipo de problema tem várias aplicações tecnológicas como, por exemplo, em resfriamento de componentes eletrônicos, isolamento de reatores nucleares, condicionamento climático de ambientes fechados, coletores solares, crescimento de cristais em líquidos, entre outras.

Existem diversos trabalhos que tratam deste assunto, considerando as mais diferentes geometrias e condições de contorno. Entre eles podemos citar: Cattom (1978), Sernas & Lee (1981), De Vahl Davis (1983), Ostrach & Austin (1988), Hsieh & Wang (1994), Schöpf & Patterson (1996), Hsieh & Yang (1997), Upton & Watt (1997), Ramos *et al.* (1998), Aydin *et al.* (1999), Aydin (1999), Leong *et al.* (1999), Tian & Karayiannis (2000), Khalifa & Khudheyr (2001), Ramesh & Venkateshan (2001), entre outros.

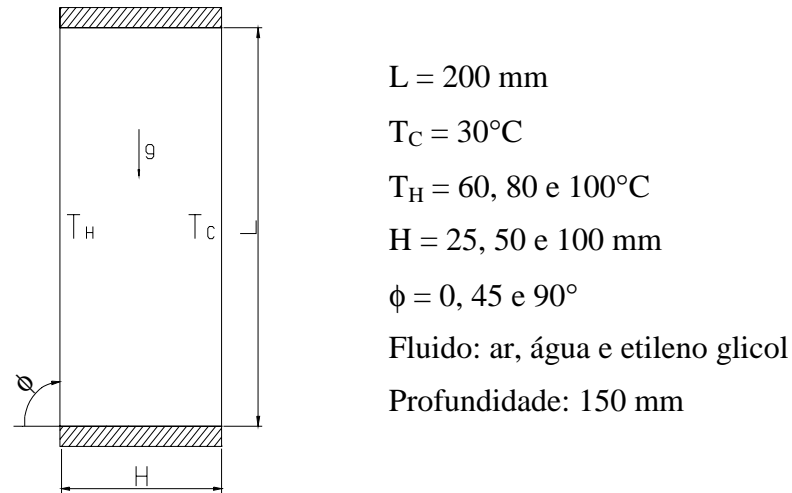


Figura 1. Cavidade térmica diferencialmente aquecida.

Serão determinados os campos de temperatura no interior da cavidade, bem como a distribuição da temperatura no interior da mesma, em função da temperatura da parede aquecida (T_H), da temperatura de resfriamento (T_C), da razão de aspecto (H/L), do ângulo de inclinação da cavidade (ϕ) e do fluido de trabalho. Serão considerados três valores para cada um dos parâmetros envolvidos, resultando os casos apresentados na Tab. (1), sendo o caso 2 considerado como um caso básico para efeito de comparação dos resultados.

Tabela 1. Descrição dos casos estudados.

Casos	ΔT ($^\circ\text{C}$)	H/L	ϕ	Fluido
1	30	1/4	90°	Ar
2	50	1/4	90°	Ar
3	70	1/4	90°	Ar
4	50	1/8	90°	Ar
5	50	1/2	90°	Ar
6	50	1/4	45°	Ar
7	50	1/4	0°	Ar
8	50	1/4	90°	Água
9	50	1/4	90°	Etileno Glicol

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram construídas cavidades cúbicas com dimensões internas de $25 \times 200 \times 150$, $50 \times 200 \times 150$ e $100 \times 200 \times 150 \text{ mm}$, sendo constituídas por uma parte central composta por três paredes de fibra de vidro (4mm), formando um “U”, uma parede frontal de acrílico (12mm). As superfícies laterais são constituídas por paredes de reservatórios térmicos frio e quente, respectivamente. Os reservatórios térmicos foram feitos de fibra de vidro, com exceção da parede interna que é de cobre (3mm). A água entra nos reservatórios pela parte inferior e sai pela superior mantendo assim a temperatura

uniforme sobre toda a parede de cobre. Todas as superfícies externas da cavidade, com exceção da frontal, foram isoladas termicamente do ambiente por meio de poliestireno (25mm).

A Fig. (2) mostra os detalhes da cavidade térmica construída e a Fig. (3) mostra a foto da montagem experimental para a aquisição dos campos de temperatura dentro da cavidade.

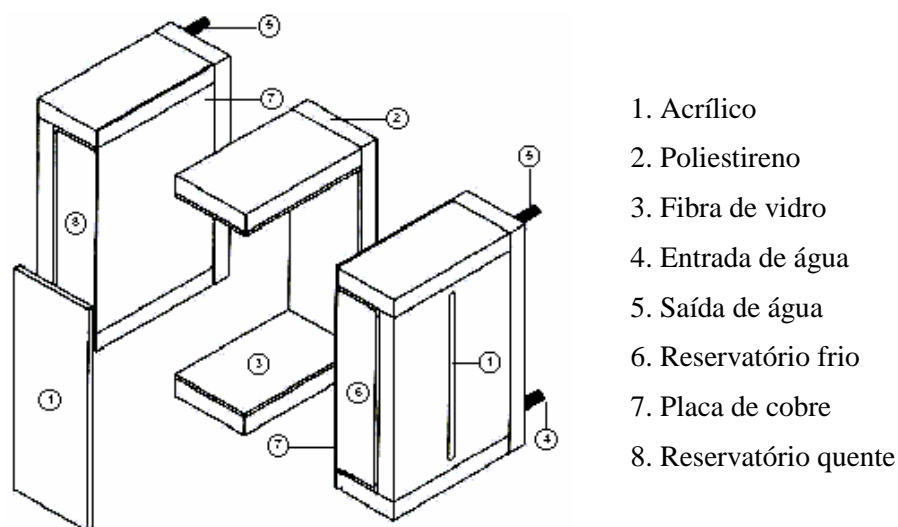


Figura 2. Detalhes construtivos da cavidade térmica.

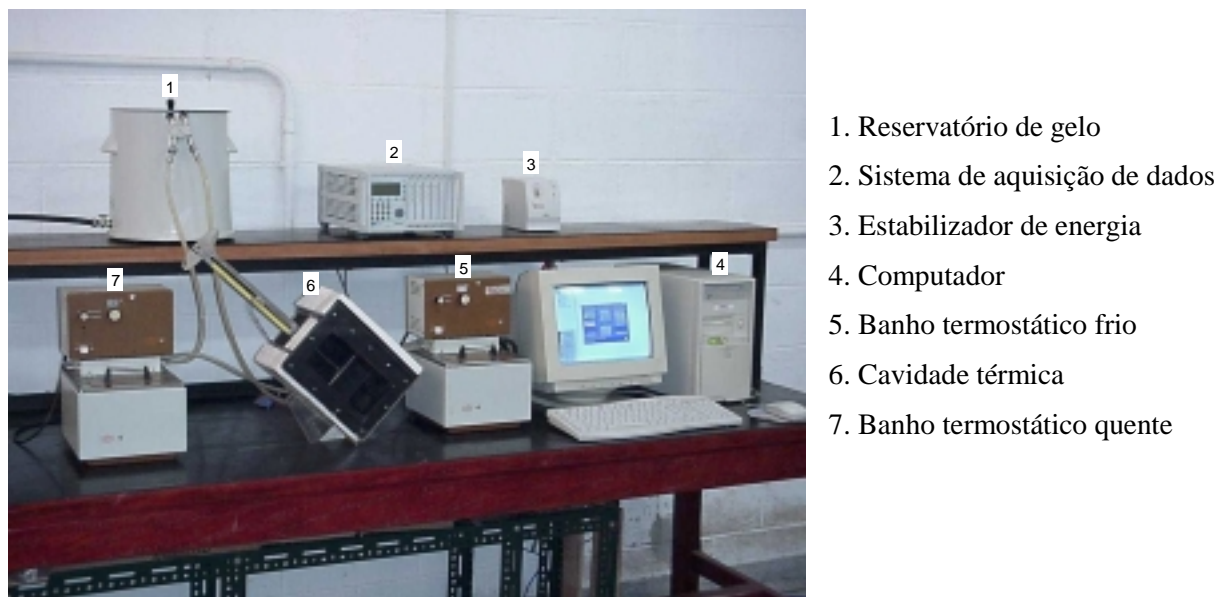


Figura 3. Montagem experimental para medição de temperatura na cavidade térmica.

Para a realização de medidas de temperatura foram utilizados termopares tipo T (Cobre-Constantan) AWG 36 e um sistema de aquisição de dados por computador (*HBM-MGCPlus*) controlado pelo programa *Catman*. Foram instalados cinco termopares em cada uma das paredes de cobre para monitorar a temperatura. Para obter as medidas de temperatura no interior da cavidade foram usadas as sondas construídas para cada razão aspecto estudada, sendo a sonda acoplada a um mecanismo posicionador. As medidas foram iniciadas após o estabelecimento do regime permanente, sendo adquiridos simultaneamente as temperaturas de todos os termopares da sonda e das paredes quente e fria durante 60 segundos a uma frequência de 1Hz para cada posição de medida da sonda (deslocamento de 5 em 5mm). Os pontos de medidas de temperatura obtidos pelo deslocamento das sondas encontram-se no cruzamento das linhas horizontais e verticais das malhas ilustradas na Fig. (4), para cada uma das razões de aspecto consideradas.

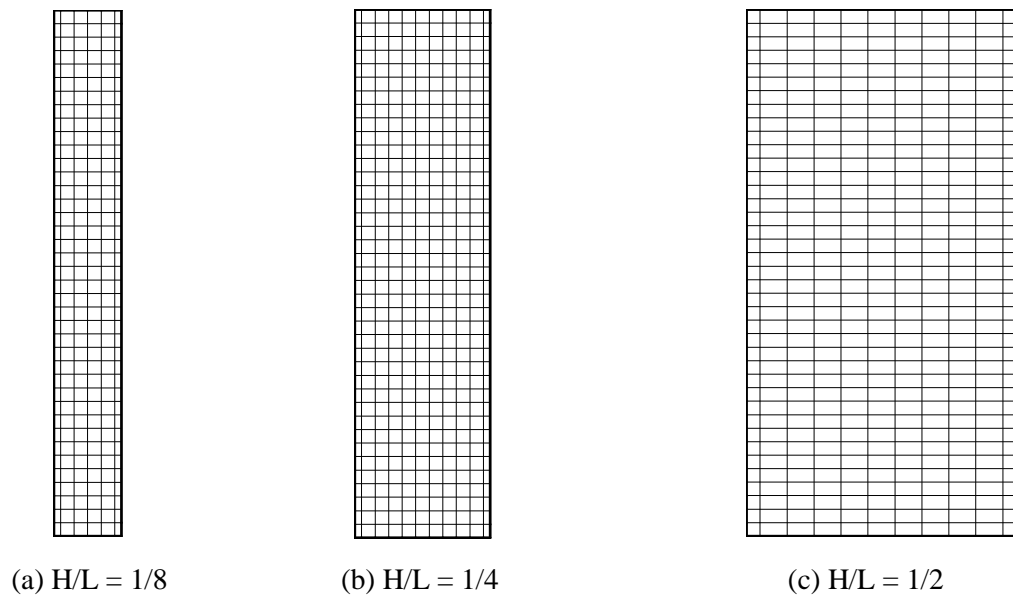


Figura 4. Pontos de medidas de temperatura obtidos pelo deslocamento da sonda.

A Fig. (5) mostra a foto da montagem experimental para a realização da visualização dos escoamentos. Trata-se de uma montagem similar à realizada para medida de temperatura, sendo que, neste caso, foram retirados a sonda e o mecanismo posicionador e utilizado um sistema de iluminação.

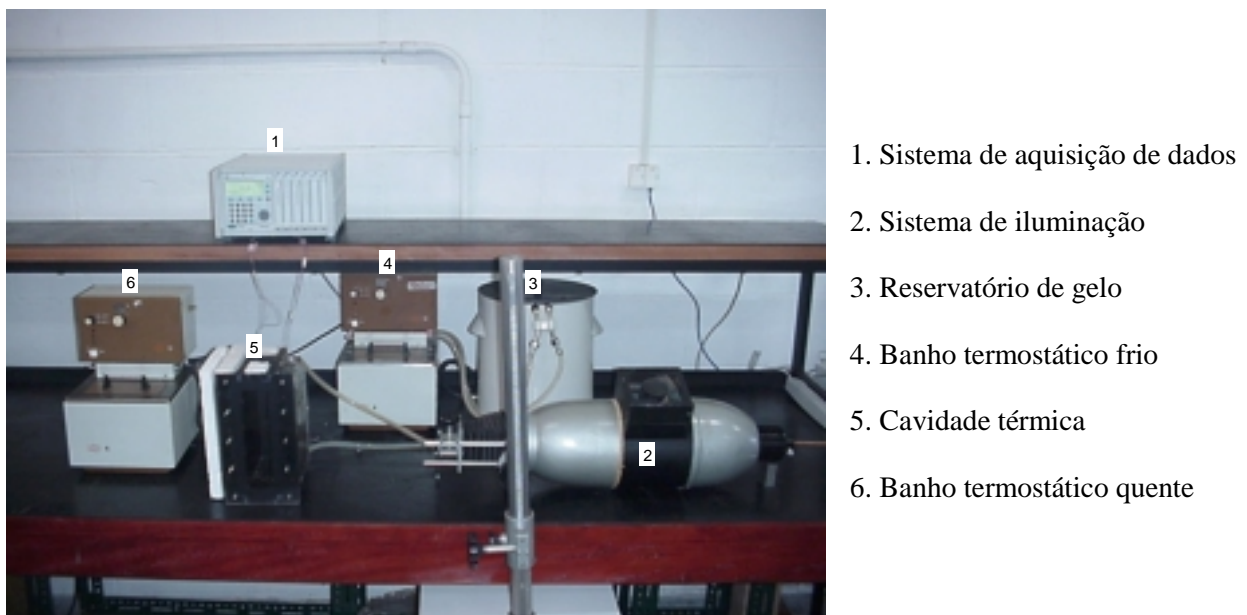


Figura 5. Montagem experimental para visualização do escoamento na cavidade térmica.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As Fig. (6) mostra os resultados experimentais do campo de temperatura no interior da cavidade para os casos descritos na Tab. (1). As Figs. (7) a (10) mostram, respectivamente, o efeito da temperatura da parede aquecida, da razão de aspecto, da inclinação da cavidade e do fluido de trabalho, sobre a distribuição de temperatura na altura média na cavidade. A Fig. (11) mostra uma imagem obtida na visualização do campo de velocidade para o caso básico (caso 2) utilizando-se a técnica da fumaça.

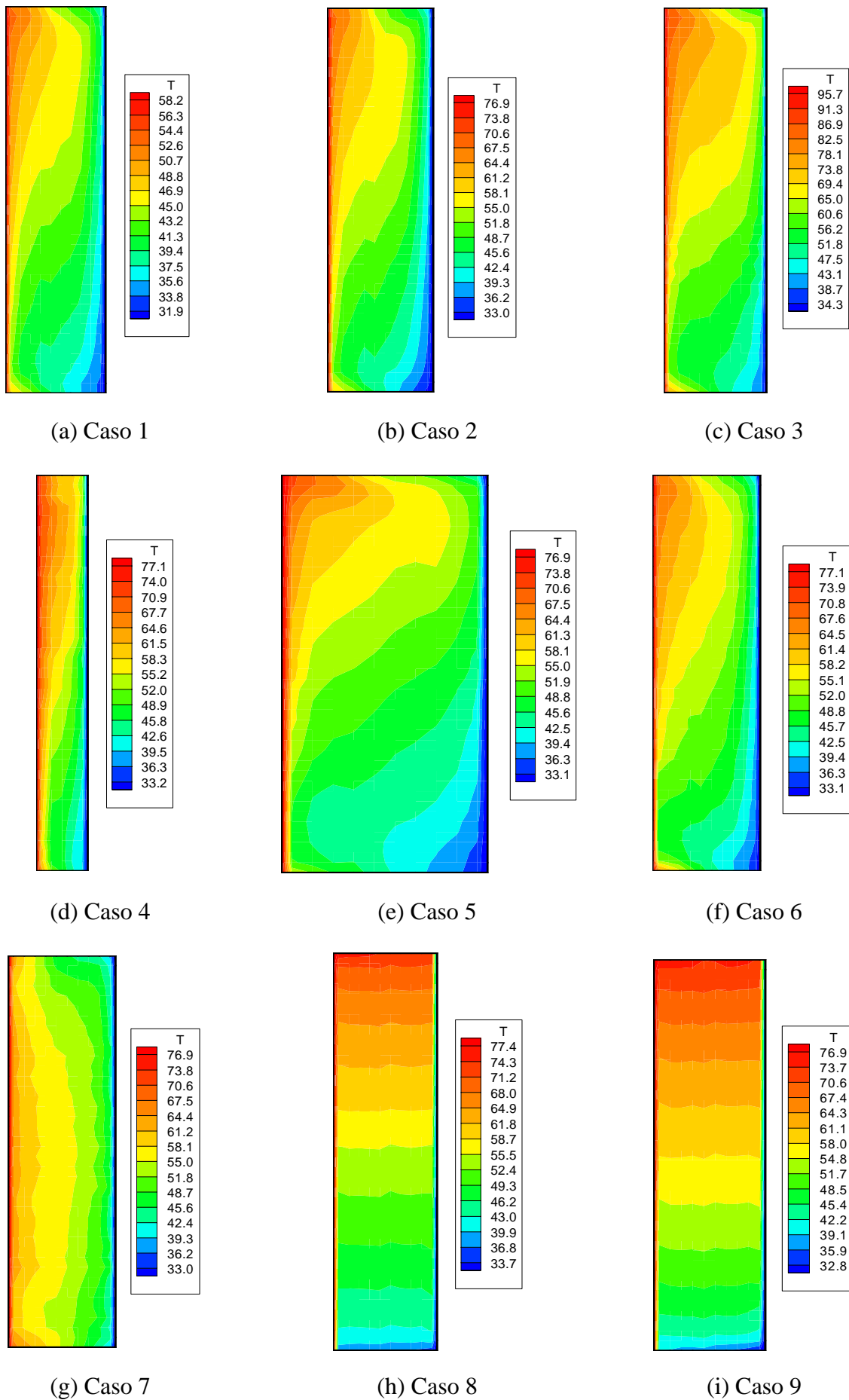


Figura 6. Linhas isotérmicas no interior da cavidade para cada caso considerado na Tab. (1).

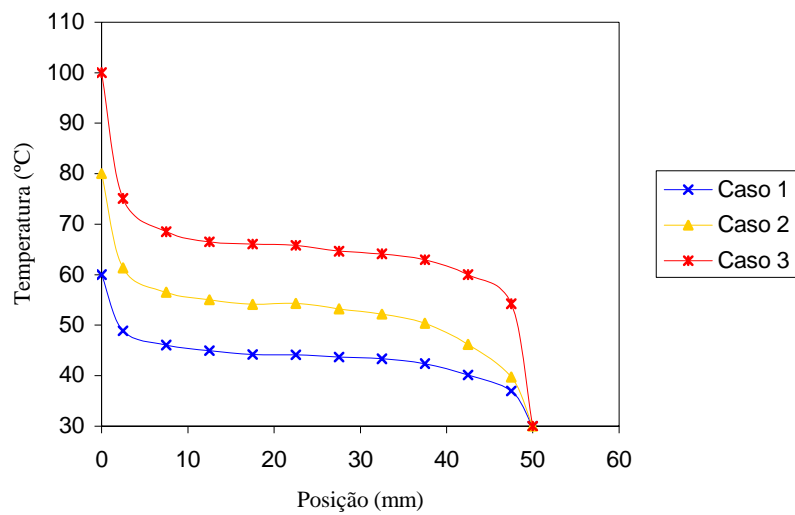


Figura 7. Efeito da diferença de temperatura entre as paredes na distribuição de temperatura.

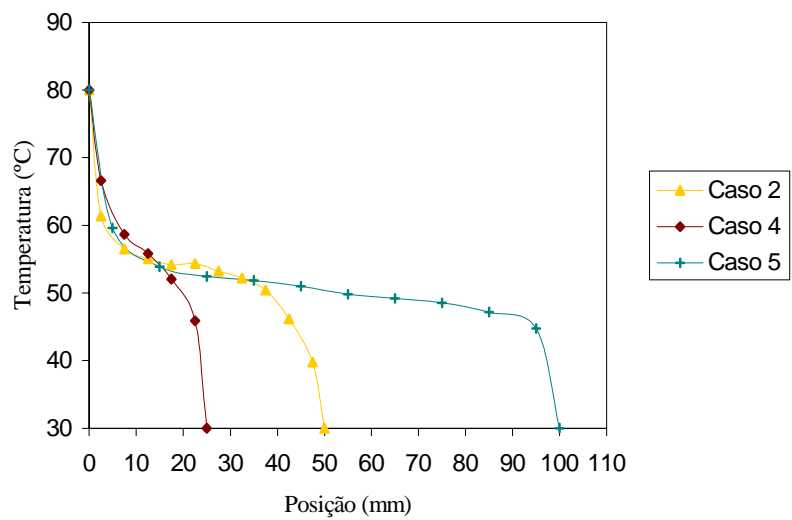


Figura 8. Efeito da razão de aspecto na distribuição de temperatura.

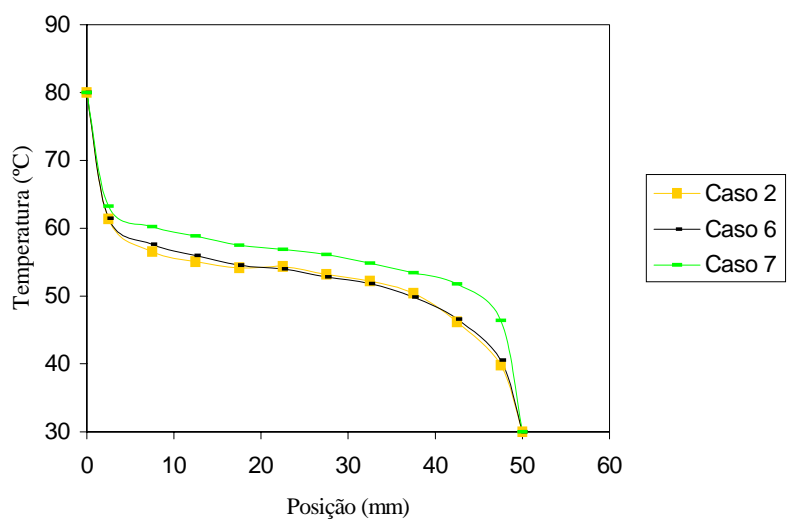


Figura 9. Efeito da inclinação na distribuição de temperatura.

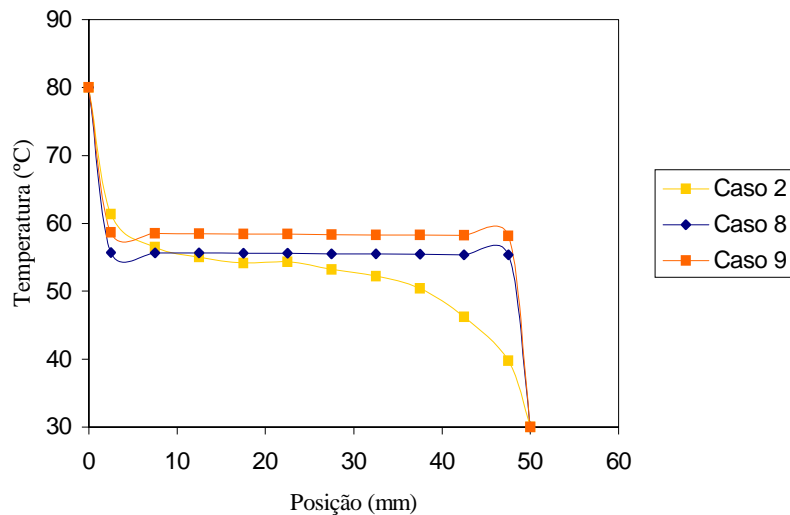


Figura 10. Efeito do fluido na distribuição de temperatura.



Figura 11. Visualização do escoamento utilizando a técnica da fumaça.

4. CONCLUSÕES

Observa-se que as linhas isotérmicas são paralelas nas proximidades das paredes onde as temperaturas são mantidas constantes e aproximadamente perpendiculares nas proximidades das paredes isoladas, como esperado.

Analisando a influência da diferença de temperatura entre as paredes, verifica-se um aumento do gradiente no campo de temperatura quando se aumenta diferença de temperatura entre as paredes. Conseqüentemente, ocorre uma maior movimentação do fluido (ar) na cavidade, aumentando assim as trocas de calor entre as paredes.

Com a variação da razão de aspecto nota-se que, aumentando este parâmetro, o gradiente de temperatura diminui, ou seja, tem-se uma queda na transferência de calor por convecção dentro da cavidade.

Já com a variação do ângulo de inclinação da cavidade, observa-se que, quando se diminui a inclinação da mesma, ocorre alterações no campo de temperatura, pois a taxa de transferência de calor nas paredes com temperatura prescrita é alterada devido à movimentação ascendente do ar

quente que está próximo da parede aquecida, que acaba provocando o movimento descendente do ar que está próximo da parede fria.

Finalmente, analisando os campos de temperatura para cada tipo de fluido (gasoso ou líquido), nota-se que a transferência de calor por convecção sofre uma mudança significativa. Para os líquidos (água e etileno-glicol), a movimentação do fluido aconteceu somente muito próxima às paredes quente (movimento ascendente) e fria (movimento descendente), sendo que na região central da cavidade o fluido ficava estagnado.

No resultado obtido através da visualização do escoamento por meio da técnica da injeção de fumaça, pode-se verificar que o ar circula no sentido horário no interior da cavidade, subindo próximo à parede com fontes de calor e descendo próximo à parede resfriada. Nota-se a ocorrência de células de recirculação menores tanto na região superior como na região inferior da cavidade e uma estagnação na região central da cavidade.

Foi possível capturar as imagens dos escoamentos mesmo com a baixa luminosidade, mas acredita-se que com uma melhoria do sistema de iluminação seja possível a obtenção de melhores resultados.

Em trabalhos futuros serão feitas tentativas de visualização dos outros casos considerados e também realizadas comparações com resultados numéricos correspondentes.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, pela concessão de bolsas de estudos (Processos 01/05794-8 e 01/05795-4), bem como pelo financiamento do projeto no qual está inserido este trabalho (Processo 00/00632-7).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aydin, O., Unal, A. and Ayhan, T., 1999, "Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated from One Side and Cooled from the Ceiling", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 42, pp.2345-2355.
- Aydin, O., 1999, "Transient Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated from One Side and Cooled from Above", *International Comm. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 26, No. 1, pp.135-144.
- Cattom, I., 1978, "Natural Convection in Enclosures", *Proceedings of the Heat Transfer Conference*, Vol. 6, pp.13-30, Toronto.
- De Vahl Davis, G., 1983, "Natural Convection of Air in a Square Cavity: A Bench-Mark Numerical Solution, *International Journal of Numerical Methods in Fluids*, Vol. 3, pp.249-264.
- Hsieh, S.-S. and Wang, C.-Y., 1994, "Experimental Study of Three-dimensional Natural Convection in Enclosures with Different Working Fluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 37, No. 17, pp. 2687-2698.
- Hsieh, S.-S. and Yang, K. T., 1997, "Flow Structure and Temperature Measurements in a 3-D Vertical Free Convective Enclosure at High Rayleigh Number, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 40, No. 6, pp. 1467-1480.
- Khalifa, A.J.N. and Khudheyer, A.F., 2001, "Natural Convection in Partitioned Enclosures: Experimental Study on 14 Different Configurations", *Energy Conversion and Management*, Vol. 42, pp. 653-661.
- Leong, W.H., Hollands, K.G.T. and Brunker, A.P., 1999, "Experimental Nusselt Numbers for a Cubical Cavity Benchmark Problem in Natural Convection, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 31, pp. 1979-1989.
- Ostrach, S. and Austin, W.J., 1988, "Natural Convection in Enclosures", *Journal of Heat Transfer*, Vol. 110, pp. 1175-1190.
- Ramesh, N. and Venkateshan, S.P., 2001, "Experimental Study of Natural Convection in a Square

- Enclosure Using Differential Interferometer”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 44, pp. 1107-1117.
- Ramos, R.A.V., Vieira, E.D.R. and Milanez, L.F., 1998, “Natural Convection Flow Visualization in a Thermal Cavity Heated from Lateral Side”, Proceedings of the 7th Brazilian Congress of Engineering and Thermal Sciences, Vol. I, pp. 247-251, Rio de Janeiro-RJ.
- Schöpf, W. and Patterson, J.C., 1996, “Visualization of Natural Convection in a Side-heated Cavity: Transition to the Final Steady State”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 39, No. 16, pp.3497-3509.
- Sernas, V. and Lee, E.I., 1981, “Heat Transfer in Air Enclosures of Aspect Ratio Less than One, Journal of Heat Transfer, Vol. 103, pp. 617-622.
- Tian, Y.S. and Karayinnis, T.G., 2000, “Low Turbulence Natural Convection in an Air Filled Square cavity – Part I: The Thermal and Flow Fields”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 43, pp.849-866.
- Upton, T.D. and Watt, D.W., 1997, “Experimental Study of Transient Natural Convection in an Inclined Rectangular Enclosure”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 40, No. 11, pp. 2679-2690.

EXPERIMENTAL STUDY OF NATURAL CONVECTION IN A CAVITY WITH DIFFERENT TEMPERATURE AT WALLS

Ricardo Alan Verdú Ramos

UNESP – Campus de Ilha Solteira – Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Brasil Centro, 56 – Ilha Solteira, SP – 15385-000
Email: ramos@dem.feis.unesp.br

Cássio Roberto Macedo Maia

UNESP – Campus de Ilha Solteira – Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Brasil Centro, 56 – Ilha Solteira, SP – 15385-000
Email: cassio@dem.feis.unesp.br

Alessandro Tomio Takaki

UNESP – Campus de Ilha Solteira – Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Brasil Centro, 56 – Ilha Solteira, SP – 15385-000
Email: takaki@dem.feis.unesp.br

Giancarlo de Souza Damno

UNESP – Campus de Ilha Solteira – Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Brasil Centro, 56 – Ilha Solteira, SP – 15385-000
Email: damno@dem.feis.unesp.br

Abstract. *In this work an experimental study of the effect of natural convection heat transfer inside a rectangular thermal cavity with one of the walls heated and its opposite wall cooled, was carried out. The influence of the thermal gradient among the walls, working fluid, aspect ratio and inclination angle of the cavity with respect to horizontal plane, was studied. Cubic cavities were built and experimental tests were realized for temperature measurements by using thermocouples and a data acquisition system controlled by computer. The thermocouples were mounted in a probe attached to a positioning system to obtain the temperature field inside cavity and the temperature profiles in the medium planes were compared for each one case considered. Additionally, fluid flow visualization was realized by means of the smoke tracing technique, generated by burning incense.*

Keywords: *Natural convection, thermal cavity, temperature measurements, flow visualization.*