GEOMETRIC OPTIMIZATION OF BODIES SUBMITTED TO AN INTENSE HEAT FLUX USING BIFURCATED CHANNEL NETS

Bolzan, C. R.[1], Dos Santos, E.D.[1], Isoldi, L. A.[2], Rocha, L.A.O.[2,*]

[1] School of Engineering, Universidade Federal do Rio Grande, Italia Avenue, km 8, Cx.P. 474, Rio Grande, RS, Brasil, 96201-900.

[2] Program of Post-graduation in Computational Modeling, Universidade Federal do Rio Grande, Italia Avenue, km 8, Cx. P. 474, Rio Grande, RS, Brasil, 96201-900.

Abstract

The present work studies the geometric optimization of a body submitted to intense heat flux. The body to be optimized is refrigerated by a ducts system whose circulating fluid will remove the heat. The optimization method is denominated "Constructal Design" and it is based on Constructal theory", which is a new theory that guides the engineers in the discovery of new and highly efficient architectures for the drainage of fluids, mass, energy, and " anything that moves ". The maximum temperature of the system is minimized while the volumes of the body and of the fluid are maintained constant. However, the angle, diameters and lengths of the studied geometry can vary. The ducts structure to be studied is bifurcated. The flow in the ducts is considered incompressible, constant properties, laminar and three-dimensional. The equations of conservation of the mass, momentum and energy are solved for the fluid, while the equation of the energy is solved for the solid. The numeric method uses finite volumes for the discretization of the conservation equations. Those equations are solved simultaneously for the determination of the temperature field.

Keywords: Thermal optimization; Circular bodies; Intense Heat Flux; Constructal Design.

* Corresponding author: laorocha@gmail.com   Phone: +5553 3233 6883

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o desempenho de dispositivos microeletrônicos melhorou significativamente. Associado a estas melhorias, o gerenciamento térmico efetivo é fundamental para assegurar alto desempenho, eficiência e confiabilidade nos dispositivos eletrônicos, tendo em vista que esses sofrem aplicações de intenso fluxo de calor. Vários métodos inovadores de resfriamento de dispositivos microeletrônicos têm sido investigados, entre eles o resfriamento por micro-canais. Nesse trabalho será estudado o resfriamento de micro-chips que durante seu funcionamento geram intenso fluxo de calor, o qual deve ser dissipado através de micro-canais inseridos no interior dos mesmos.

Muitos pesquisadores interessados no estudo de resfriamento de micro-chips através de micro-canais publicaram vários trabalhos sobre o assunto. A seguir será descrito sumariamente algumas dessas publicações, as quais serviram de fundamentação para o trabalho em questão.

Em muitos trabalhos estudam-se os fenômenos naturais, bem como sistemas físicos naturais, como o sistema circulatório de animais, devido à comprovada eficiência destes, que servem como modelo para o desenvolvimento e otimização de sistemas de resfriamento de micro-chips. Chen e Cheng (2002) estudaram o sistema circulatório e respiratório de mamíferos, a fim de avaliar novas redes de ramificações de canais, para aumentar a capacidade de transferência de calor. Bejan e Lorente (2006) mostraram o fundamento básico da teoria Constructal para fenômenos físicos de geração de escoamento em configurações naturais.

Wang et al. (2006) estudaram escoamento e transferência de calor em ramificações de micro-canais e a otimização destes, avaliando os parâmetros influentes no processo e utilizando simulação numérica em um ambiente de três dimensões.

Este trabalho é baseado na Teoria Constructal desenvolvida por Bejan e Lorente (2006). A literatura é muito vasta com relação a estudos utilizando a Teoria Constructal. Por exemplo, Rocha et al. (2005) estudaram a otimização de uma cavidade isotérmica, tendo geração de calor na parede sólida e condições adiabáticas nas outras faces.

Em síntese, o trabalho irá consistir no estudo de um corpo sólido submetido a intenso fluxo de calor em uma de suas faces e de redes de micro-canais com estrutura bifurcada inseridos em seu interior por onde escoará um fluido refrigerante.

Os resultados obtidos serão comparados com aqueles obtidos para redes de micro-canais mais complexas como as estudadas por Rocha et al. (2009)

2. GEOMETRIA BIFURCADA

O corpo a ser otimizado é refrigerado por um sistema de dutos cujo fluido circulante irá remover o calor a que este está submetido. A temperatura máxima do sistema é minimizada enquanto os volumes do corpo e do fluido são mantidos constantes, podendo variar o ângulo da bifurcação, diâmetros e comprimentos da geometria estudada. A estrutura de dutos a ser estudada tem a forma bifurcada. A FIGURA 1 mostra que somente 1/8 do domínio será estudado por questões de simetria.

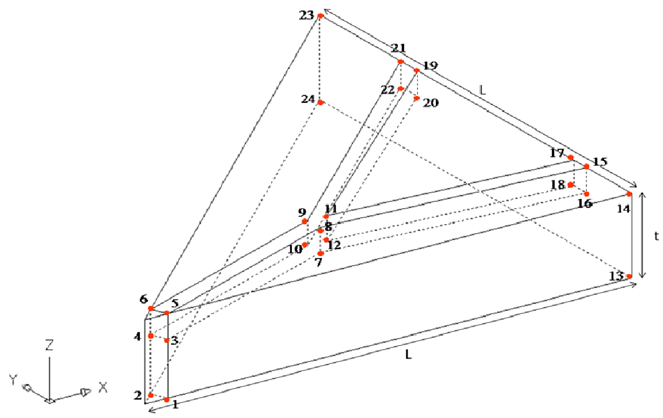

Figura 1 - Esquema da geometria bifurcada.

No cálculo para determinação da geometria bifurcada existe uma constante principal a ser considerada, a qual é a razão entre o volume dos dutos (micro-canais), V_d, e o volume total do sólido, V_T, definida pela Eq. (1):

$$\varphi = \frac{V_d}{V_T} \tag{1}$$

O volume dos dutos é definido pela Eq. (2):

$$V_d = D_0^{\,2}(L_0 + L_1 + L_2) \tag{2}$$

onde D_0 é o diâmetro hidráulico do duto, L_0 é o comprimento do duto antes da bifurcação e L_1 e L_2 são os comprimentos do duto após ocorrer à bifurcação. O volume total do sólido, V_T, é definido por:

$$V_T = \left(\frac{L^2}{2} - A_{tr}\right)t \tag{3}$$

onde L é a dimensão do lado da geometria, t a espessura da mesma e A_{tr} a área do triângulo formado pelo vértice da geometria com os pontos 1 e 2, representados na FIGURA 1.

3. MODELO FÍSICO - MATEMÁTICO

O modelo físico-matemático que descreve o processo contempla as equações de conservação da massa, quantidade de movimento e energia para o fluido, sendo esta última aplicada também para o sólido. A equação de conservação de massa é dada por:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \tag{4}$$

As Eq. (5) - (7) representam as equações de conservação da quantidade de movimento para escoamentos incompressíveis de fluidos newtonianos no regime permanente. Além disso, as propriedades foram consideradas constantes.

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \tag{5}$$

$$\rho\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) \tag{6}$$

$$\rho\left(u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) \tag{7}$$

O princípio da conservação da energia aplicado aos escoamentos com transferência de calor por convecção forçada, no regime permanente, pode ser escrito na forma vetorial através da Eq. (8).

$$\rho c_p \vec{u} \nabla T = k \nabla^2 T \tag{8}$$

Para a região do sólido a equação da energia pode ser ainda mais simplificada, sem a presença dos termos advectivos. Dessa forma, a equação que descreve o comportamento térmico na região do sólido é dada por:

$$\nabla^2 T = 0 \tag{9}$$

O fluido utilizado é o ar a T = 300 K. Todas as simulações foram avaliadas sob o mesmo número de Bejan, Be = 10^8, onde Be é definido como:

$$Be = \frac{\Delta PL}{\alpha\mu} \qquad (10)$$

As condições de contorno são fluxo de calor constante (1 W/m^2) na face inferior da estrutura. Além disso, a diferença de pressão entre a entrada e a saída da rede de canais ΔP, apresentada na Eq. (10), sendo a pressão na saída igual a pressão atmosférica. O restante das faces são consideradas adiabáticas, forçando o fluxo de calor a ser removido por convecção na rede de canais.

4. RESULTS

A FIGURA 2 mostra a curva de minimização da temperatura máxima do corpo independente de onde ela ocorra, como uma função do comprimento adimensional L_0, comprimento do duto antes da bifurcação. Note que o comprimento escala utilizado foi o lado do domínio L. A FIGURA 2 mostra que o valor ótimo para L_0 é 0.2.

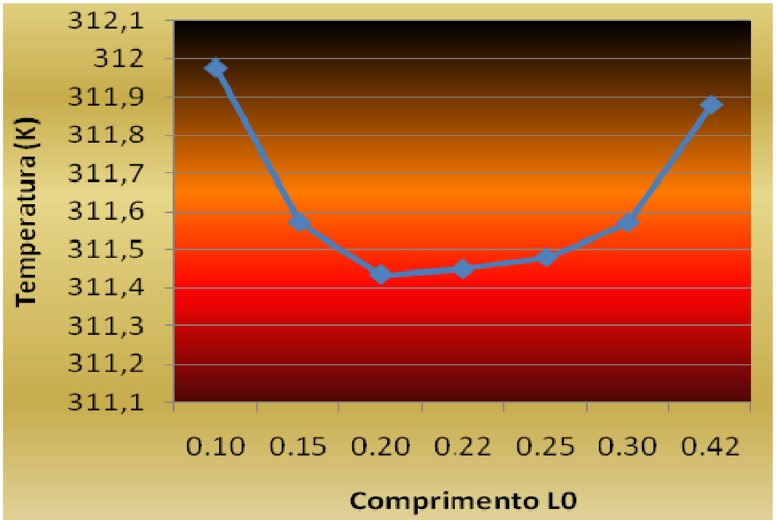

Figura 1 - Curva de otimização para L_0 para $\varphi = 0.05$, $q'' = 1$ W/m².

A FIGURA 3 ilustra a distribuição do campo de temperaturas na superfície superior do sólido para o comprimento L_0 ótimo encontrado da geometria estudada. A geometria ótima é aquela que conduz a distribuição mais uniforme do campo de temperaturas, tanto na direção radial quanto angular.

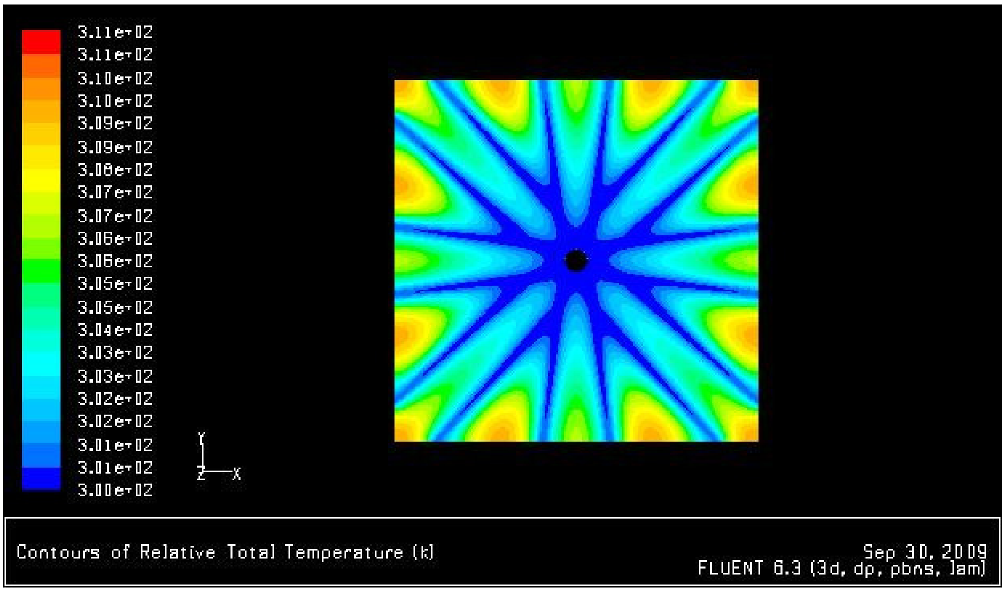

Figura 2 - Campo de temperatura da geometria para $\varphi = 0.05$, $q'' = 1$ w/m^2.

A FIGURA 4 mostra o comportamento do campo de temperatura a partir de uma vista inferior da geometria onde se pode perceber a mínima máxima temperatura da mesma, obtida no processo de otimização geométrica. Note que nas FIGURA 3 e 4 os pontos quentes, isto é, os pontos onde a temperatura é máxima estão distribuídos uniformemente. Esta observação evidencia o princípio de ótima distribuição das imperfeições que é uma das maneiras que a Lei Construtal pode ser entendida. O sistema é destinado a permanecer imperfeito. Ele atuará otimamente quando as imperfeições estiverem uniformemente distribuídas.

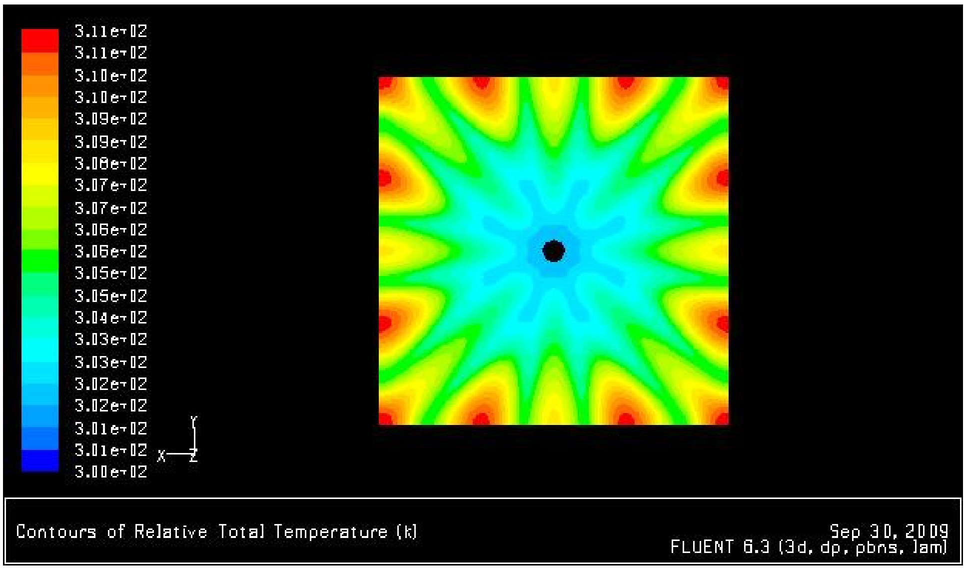

Figura 4 - Campo de temperatura da geometria para $\varphi = 0.05$, $q'' = 1$ w/m^2.

5. CONCLUSIONS

Na engenharia são várias as aplicações que geram intenso fluxo de calor, principalmente na área de micro-componentes eletrônicos. O objetivo desse trabalho é minimizar a máxima temperatura de um sólido sujeito a intenso fluxo de calor em uma de suas faces. O método utilizado baseia-se na Teoria Constructal. Para encontrar a geometria ótima φ (razão entre o volume do micro-canal e o volume total do sólido) é mantida constante e igual a 0.05.

Os resultados mostram que existe um comprimento ótimo L_0 = 0.2 que minimiza a temperatura máxima no corpo. Foi observado também que esta configuração distribui uniformente os pontos de temperatura, isto é, as imperfeições. Os resultados concordam qualitativamente com aqueles obtidos para redes de micro-canais mais complexas como as estudadas por Rocha et al. (2009), o que é aceitável tendo em vista que as geometrias estudadas apresentam diferenças entre si, o que demonstra o quanto variações na geometria podem influenciar na otimização.

REFERENCES

BEJAN, A., LORENTE, S., Constructal theory of generation in nature and engineering, **Journal of Applied Physics**, Vol. 100, 2006.

CHEN, Y., CHENG, P., Heat transfer and pressure drop in fractal tree-like microchannel nets, **Int. J. Heat Mass Transfer**, Vol. 45, 2002, pp. 2643 – 2648.

ROCHA, L.A.O., LORENTE, S., BEJAN, A., Tree-shaped vascular wall designs for localized intense cooling, **Int. J. Heat Mass Transfer**, Vol. 52, 2009, pp. 4535-4544.

ROCHA, L.A.O., LORENZINI, E., BISERNI, C., Geometric optimization of shapes on the basis of Bejan's Constructal theory, **Int. J. Heat Mass Transfer**, Vol. 32, 2005, pp. 1281 – 1288.

ACKNOWLEDGEMENTS

L. A. O. Rocha thanks CNPq for his research grant.