

## 1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento acelerado da tecnologia e da indústria moderna, a importância em aperfeiçoar as técnicas de transferência de calor tornou-se mais notável do que em qualquer momento. Os estudos no campo de resfriamento de dispositivos eletrônicos tornou-se uma tecnologia essencial na evolução de miniaturizados de alto desempenho. O presente trabalho utiliza o método Constructal Design [Bejan e Lorente, 2013] para desenvolver um estudo numérico da configuração de caminhos de alta condutividade térmica em forma de "T" que minimiza a resistência ao fluxo de calor quando as áreas ocupadas pelos materiais de alta e baixa condutividade são mantidas constantes.

## 2. MODELO MATEMÁTICO

Considere o corpo condutor mostrado na Figura 1. A configuração é bidimensional, com a terceira dimensão ( $W$ ) suficientemente longa em comparação com a altura ( $H$ ) e o comprimento ( $L$ ) do volume total. Existem vias em forma de T de um material com condutividade térmica elevada ( $k_{p0}$ ) na base e ( $k_{p1}$ ) na parte superior, inseridas no corpo com menor condutividade térmica ( $k$ ). O corpo sólido gera calor uniformemente a taxa volumétrica  $q'''$  ( $W/m^3$ ). As superfícies exteriores do corpo são perfeitamente isoladas. A corrente de calor gerada ( $q'''AW$ ) é removida pelos dissipadores de calor localizados na borda do corpo à temperatura  $T_0$ .

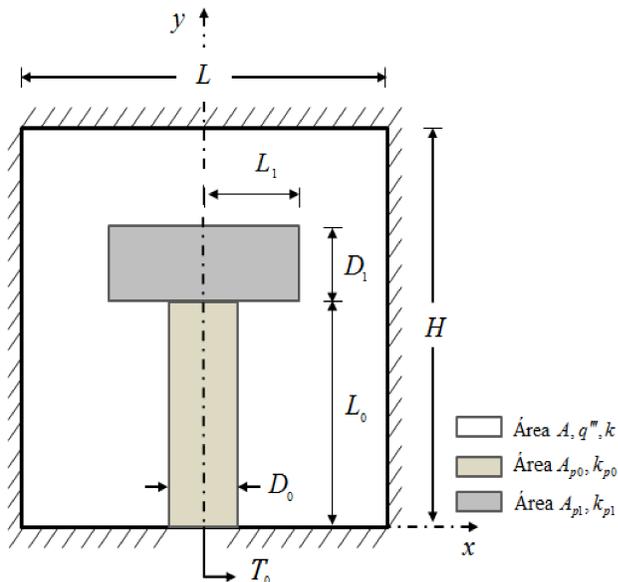


Figura 1. Áreas do domínio com diferentes valores de condutividade térmica e principais dimensões para o corpo altamente condutivo a ser analisado.

O trabalho consiste em calcular o excesso da temperatura adimensional máxima  $(T_{max} - T_0)/(q'''A/k)$  e observar o que a geometria ( $L_1/L_0$ ,  $D_0/L_0$  e  $\tilde{D}_0$ ) facilita a remoção do calor. A análise que proporciona o excesso de temperatura máxima em função da geometria consiste em resolver numericamente a equação de condução com geração de calor constante ao longo da região de menor condutividade térmica  $k$  (região branca da Figura 1):

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + 1 = 0 \quad (1)$$

e a condução de calor constante, sem geração de calor na região de alta condutividade térmica (região cinza da Figura 1):

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

O excesso de temperatura máxima adimensional ( $\theta_{max}$ ), é definido como:

$$\theta_{max} = \frac{T_{max} - T_0}{q'''A/k} \quad (3)$$

Com o problema totalmente formulado e a geometria definida, a resistência térmica pode ser calculada com os parâmetros estabelecidos, variando os graus de liberdade determinados para o problema.

## 3. MODELO NUMÉRICO

O método numérico foi inicialmente desenvolvido para uma configuração inicial com a forma de "T" onde o valor de  $k_{p0} = k_{p1}$ . A função definida pela Eq. (4) pode ser determinada pela solução numérica da condução do calor dada pelas Eqs. (1) e (2) para o campo de temperatura em cada configuração assumida, dependendo do grau de liberdade fixado. Para determinar a solução numérica das equações de condução do calor é utilizado um código de elementos finitos, com base em elementos triangulares, desenvolvido em ambiente MATLAB® (2000), mais precisamente a ferramenta PDETool (equações diferenciais parciais).

## 4. RESULTADOS

Inicialmente, buscou-se descobrir qual a melhor combinação de valores das condutividades e se o melhor seria uma maior condutividade na base ou na parte superior da geometria. Para tanto foram testadas quatro combinações e as curvas de excesso de temperatura em função do grau de liberdade  $L_1/L_0$  estão representadas na Figura 2.

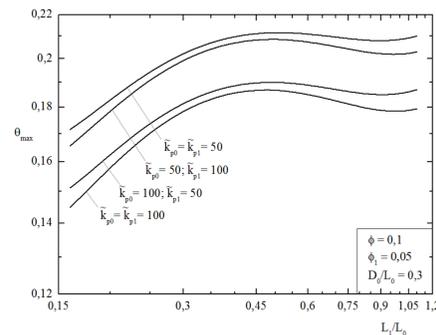


Figura 2. Comportamento da resistência térmica em função do parâmetro  $L_1/L_0$  para diferentes pares de condutividade térmica.

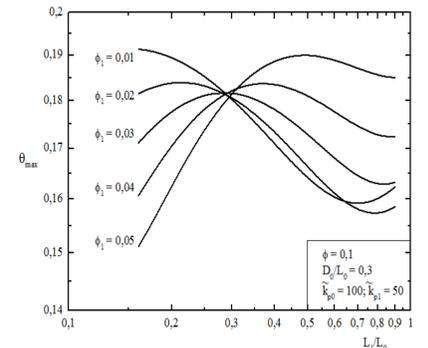


Figura 3. Comportamento da resistência térmica em função do parâmetro  $L_1/L_0$  para diferentes valores de  $\phi_1$ .

Como previsto, o melhor desempenho foi obtido quando a base e a parte superior possuíam o material melhor condutor.

Na Figura 3, é avaliado o comportamento da resistência térmica de cinco pares diferentes para os valores de  $\phi_1$  em função da razão de aspecto  $L_1/L_0$  considerando  $\tilde{k}_{p0} = 100$  e  $\tilde{k}_{p1} = 50$ .

Na Figura 4 é possível observar o caminho condutivo em forma de T inserido em um corpo sólido com geração uniforme de calor. A Figura 5 mostra a melhor configuração encontrada a partir das análises realizadas nas Figuras 2 e 3. Os resultados mostram que a resistência térmica adimensional mínima ( $\theta_{max,m}$ ) ocorre quando o caminho condutivo em forma de "T" se degenera resultando em um caminho condutivo em forma de "I" com  $(L_1/L_0)_0 = 0,16$  e  $\theta_{max,m} = 0,151127$ .

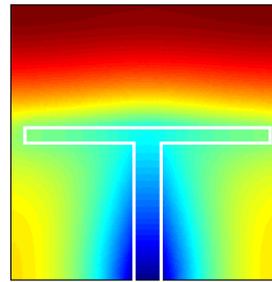


Figura 4. Geometria inicial obtida com:  $\phi = 0,1$ ,  $\phi_1 = 0,05$ ,  $D_0/L_0 = 0,2$ ,  $\tilde{k}_{p0} = \tilde{k}_{p1} = 50$  e  $L_1/L_0 = 0,9$ .

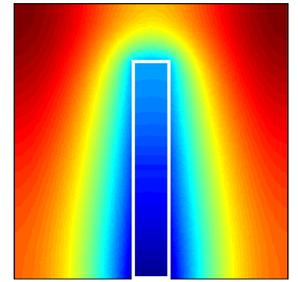


Figura 5. Melhor geometria encontrada na Figura 2 e 3 para  $\phi = 0,1$ ,  $\phi_1 = 0,05$ ,  $D_0/L_0 = 0,3$  e  $\tilde{k}_{p0} = 100$  e  $\tilde{k}_{p1} = 50$

## 5. CONCLUSÕES

Aplicando o método Constructal Design obtém-se a arquitetura que minimiza o desempenho de vias condutoras em forma de "T" de um material de alta condutividade incorporado no corpo de menor condutividade que gera calor uniformemente a uma taxa volumétrica. O par de condutividades  $\tilde{k}_{p0} = \tilde{k}_{p1} = 100$  é o caso em que ocorre o melhor desempenho, podendo justificar o uso de uma condutividade menor na parte superior. Considerando  $\tilde{k}_{p0} = 100$  e  $\tilde{k}_{p1} = 50$ , os resultados demonstram que o pior desempenho é obtido quando  $\phi_1 = 0,03$  e o melhor desempenho é obtido quando  $\phi_1 = 0,05$ , resultando na minimização da temperatura adimensional máxima da geometria estudada.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bejan, A; Lorente, S. Constructal law of design and evolution: Physics, biology, technology, and society, **Journal of Applied Physics**, v. 113, p. 151301-1 - 151301-20, 2013.
- MATLAB®, 2000.