

TRANSFERÊNCIA DE CALOR E DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA EM UM DISSIPADOR ALETADO ACOPLADO A UM MICROPROCESSADOR: UM ESTUDO NUMÉRICO

Ricardo L. Azevedo

Depto. de Engenharia Mecânica – CTG - Universidade Federal de Pernambuco – Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cid. Universitária, CEP:50740-530, Fax: 55-81-2126-8232, Recife-PE, Brasil
razevedo@ufpe.br

Jorge R. Henríquez

Depto. de Engenharia Mecânica – CTG - Universidade Federal de Pernambuco – Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cid. Universitária, CEP: 50740-530 Fax: 55-81-2126-8232, Recife-PE, Brasil
rjorgeh@demec.ufpe.br

Resumo. Neste trabalho apresenta-se um estudo numérico da transferência de calor e distribuição de temperatura em um dissipador aletado acoplado a um microprocessador. O modelo matemático é baseado na equação da energia na sua forma tridimensional e sob condições de regime permanente. O dissipador é admitido como sendo uma placa plana de espessura finita, submetida a condições de contorno de fluxo de calor especificado numa das superfícies (calor dissipado pelo processador) e resfriamento convectivo na superfície oposta. Os contornos da placa são admitidos adiabáticos. A simulação numérica é implementada pelo método de elementos finitos, adotando um esquema de discretização geométrica com o emprego de hexaedros. São apresentados resultados para o campo de temperatura em função de parâmetros geométricos do dissipador e potência dissipada pelo mesmo.

Palavras chave: análise numérica, transferência de calor, método dos elementos finitos, arrefecimento de componentes eletrônicos.

1. Introdução

O controle da temperatura em dispositivos eletrônicos é de vital importância para um desempenho ótimo, um funcionamento confiável e aumento do tempo de vida dos mesmos. Com a crescente redução de componentes microeletrônicos e aumento da densidade de empacotamento verifica-se um aumento na potência térmica dissipada pelos novos sistemas eletrônicos. Deste ponto de vista, o dimensionamento eficiente de sistemas de dissipação de calor em dispositivos eletrônicos é um aspecto desafiador e necessário. Uma das formas mais usuais de dissipação térmica ou resfriamento destes componentes é via convecção forçada fazendo uso de ventiladores que forcem o ar a escoar pelos dispositivos a serem resfriados permitindo manter a temperatura destes em níveis aceitáveis.

Diversos estudos relativos à dissipação térmica de componentes eletrônicos tem sido reportados na literatura especializada tendo como foco de estudo o desenvolvimento de novas tecnologias de resfriamento, levantamento da influência dos parâmetros geométricos e termofísicos envolvidos no processo dissipação de calor, o desenvolvimento de modelos matemáticos e simulação numérica, e uso de novas técnicas experimentais.

O resfriamento de dispositivos eletrônicos montados numa placa de circuito impresso tem sido amplamente estudado por diversos autores. Alguns destes estudos têm considerado as placas de circuito impresso na posição vertical formando canais por onde pode escoar um fluxo de ar de forma ascendente apenas movido pelas forças de empuxo provocadas pela variação de densidade do fluido. Neste sentido, Bar-Cohen e Rohsenow(1984) apresentaram algumas correlações visando a otimização do espaçamento entre placas verticais como aquelas encontradas em equipamentos eletrônicos. Os resultados são também discutidos por Kraus e Bar-Cohen(1983) em textos sobre a análise térmica de equipamentos eletrônicos.

Mais recentemente Avelar e Ganzarolli(2002) apresentaram os resultados de um estudo numérico e experimental sobre escoamento por convecção natural entre placas paralelas verticais com elementos protuberantes aquecidos. A convecção forçada em canais com elementos protuberantes foi estudado por Hacoheh et al(1995). No mesmo trabalho foi estudado também o escoamento por convecção natural. Os resultados são apresentados na forma de correlações empíricas para o número de Nusselt médio e local. Feng e Xu(2004) apresentaram um estudo sobre a resistência térmica de dissipadores aletados para aplicações de resfriamento de componentes eletrônicos. Os autores apresentam um modelo matemático do problema e uma solução analítica usando series de Fourier.

Técnicas mais sofisticadas para o resfriamento de componentes eletrônicos, também têm sido estudadas e apresentadas na literatura. O uso de tubos de calor em miniatura é uma destas técnicas em desenvolvimento que tem sido usado para controle térmico destes componentes como descrito nos trabalhos de Groll et al.(1998), Toth et al(1998) e Pastukhov et al.(2003). Material de mudança de fase encapsulado representa uma alternativa que desperta interesse para uso como uma técnica passiva de controle térmico. Neste sentido, Tan e Tso(2004) realizaram um estudo experimental explorando esta técnica.

Neste artigo apresenta-se um estudo numérico da transferência de calor e distribuição de temperatura em um dissipador aletado acoplado a um microprocessador. O modelo matemático é baseado na equação da energia na sua forma tridimensional sob condições de regime permanente. O dissipador é admitido como sendo um placa plana de espessura finita com uma das sua superfícies submetida a uma fonte de calor uniforme dissipada pelo microprocessador, enquanto que a outra superfície é submetida a uma transferência de calor por convecção forçada, computada através de correlações adequadas para este tipo de geometria e condições do problema. A simulação numérica é implementada utilizando o método de elementos finitos (MEF).

2. Descrição do problema

A Fig. 1, a seguir, apresenta os aspectos geométricos do problema modelado, incluindo o sistema de coordenadas cartesianas, a identificação do comprimento e largura do dissipador (representados por 'l') e da sua altura (representada por 'w'), além da configuração de um elemento finito hexaédrico típico da malha utilizada .

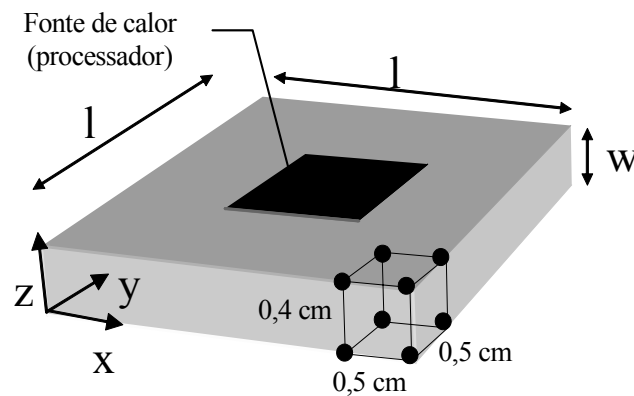


Figura 1. Aspectos geométricos do problema em foco.

A equação geral de condução de calor resulta da consideração do balanço energético em um elemento de dimensões infinitesimais. Para regime estacionário e admitindo constante a condutividade térmica do dissipador de calor esta equação vem dada, em coordenadas cartesianas, pela seguinte expressão:

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

As condições de contorno do problema, por sua vez, são:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \quad \text{nas laterais da placa} \quad (2)$$

$$k \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{\text{sup. superior}} = \begin{cases} q & \text{na região localizada sob o processador (fonte de calor)} \\ 0 & \text{nas demais regiões} \end{cases} \quad (3)$$

$$k \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{\text{sup. inferior}} = hT \quad (4)$$

onde T [°C] é a temperatura, k [W/m°C] representa a condutividade térmica do material do dissipador e h [W/m²°C] é o coeficiente de transferência de calor por convecção.

3. Modelagem via MEF

A Eq. (1), apresentada anteriormente, será resolvida numericamente através de um código próprio, baseado no método dos elementos finitos, e desenvolvido para solução da equação geral de condução de calor, dada abaixo:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q'' = \frac{\partial}{\partial t} (\rho c T) \quad (5)$$

No caso presente tem-se $k_x = k_y = k_z$, a taxa de geração interna, q'' , é nula, assim como o lado direito da Eq. (2), uma vez que, sendo o regime estacionário, as derivadas com relação ao tempo anulam-se. Identifica-se, ainda, a temperatura como variável governante a ser determinada na equação diferencial parcial de segunda ordem que assim se estabelece.

A formulação clássica do MEF (ver, por exemplo, Brauer, 1988; Hughes, 2000 e Zienkiewicz e Taylor, 1989) propõe o cálculo aproximado do campo de temperaturas através do emprego de um conjunto de elementos de geometria definida (elementos finitos) para representação da geometria do problema e de funções de interpolação para modelagem do comportamento da variável de interesse. O campo contínuo de temperaturas, desta forma, é aproximado por um conjunto de valores discretos associados com os vértices de cada elemento.

Na versão Galerkin do MEF um procedimento de resíduos ponderados que utiliza as mesmas funções de interpolação como funções de peso permite obter um sistema de equações lineares, cujo número de incógnitas coincide com o número total de nós da discretização e cuja solução é o próprio campo aproximado de temperaturas.

Em termos formais, a expressão matemática que caracteriza a aproximação de elementos finitos vem dada a seguir:

$$\tilde{T} = \sum_{j=1}^{n_{\text{nos}}} N_j T_j \quad (6)$$

onde N_j corresponde ao valor da função de interpolação associada ao nó j e T_j é a temperatura do referido nó. Para o elemento hexaédrico adotado a função de interpolação é do tipo polinomial trilinear, sendo dada por:

$$N_i(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{8} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (1 + \zeta_i \zeta) \quad i = 1, \dots, 8 \quad (7)$$

onde o sub-índice i percorre os oito nós do elemento. Os valores de ξ_i, η_i e ζ_i referem-se ao espaço computacional, no qual são efetuadas as operações de diferenciação e integração numéricas. Desta forma, a obtenção das matrizes elementares fica consideravelmente simplificada.

O processo de minimização do resíduo resultante da substituição de T por \tilde{T} , após a utilização do Teorema de Gauss, dá origem ao seguinte sistema de equações lineares:

$$\mathbf{BT} = \mathbf{G} \quad (8)$$

onde os termos da matriz de coeficientes, \mathbf{B} , e do vetor de termos independentes, \mathbf{G} , vêm dados respectivamente pelas seguintes expressões:

$$B_{ij} = \sum_{e=1}^{NEL} \left[\left(\iint_{V^e} \frac{\partial N_i}{\partial x} k \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} k \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) dV^e + \int_{S^e} N_i \alpha N_j dS^e \right] \quad (9)$$

$$G_i = \mathbf{A} \sum_{e=1}^{NEL} \left(\int_{S^e} N_i C dS^e \right) \quad (10)$$

onde NEL refere-se ao número total de elementos na discretização, os infinitésimos dV^e e dS^e estão relacionados, respectivamente, com os processos de integração ao longo do volume e da superfície do elemento finito genérico ' e ' e \mathbf{A} representa o operador booleano de montagem.

Nas expressões acima os valores de α e C são tais que permitem considerar adequadamente os três tipos distintos

de condição de contorno para o problema: temperatura prescrita (condição de contorno de Dirichlet), fluxo de calor prescrito (condição de contorno de Neumann) ou fluxo de calor convectivo. O sistema global da Eq. (8) é obtido através de um processo de montagem das matrizes individuais de cada elemento da discretização, sendo adicionadas para cada nó as diversas contribuições dos elementos que contêm o mesmo.

Neste trabalho a solução do sistema de equações lineares foi obtida por intermédio de um processo iterativo, mais especificamente através do método de gradientes conjugados com pré-condicionamento da matriz de coeficientes (Hughes, 2000).

4. Resultados numéricos

A etapa de validação do código computacional implementado foi executada através da análise de alguns exemplos acadêmicos simples com solução analítica disponível, extraídos da literatura específica da área (Holman, 1976; Kreith, 1959; Schneider, 1957) e de *benchmarks* disponibilizados para esta finalidade pela organização National Agency for Finite Element Methods and Standards (NAFEMS, 1989), sediada em Glasgow, Reino Unido. Além da comparação com os resultados analíticos, os resultados numéricos fornecidos pelo código comercial ANSYS (ANSYS Verification Manual) foram considerados nesta análise comparativa.

Os exemplos simulados em regime permanente foram:

- placa longa com geração interna de calor e transferência de calor por convecção nas superfícies externas (VM94);
- placa longa de seção transversal retangular com temperatura prescrita, fluxo de calor prescrito e convecção como condições de contorno (VM193).
- distribuição de temperatura em cilindro curto, submetido à temperatura prescrita na base, topo e superfície lateral.

Os exemplos transientes, por sua vez, foram os seguintes:

- sólido semi-infinito (placa) exposto ao ambiente, com o qual ocorre a transferência convectiva (VM28);
- placa infinita, inicialmente com temperatura uniforme e que é subitamente sujeita a uma taxa de geração de calor uniformemente distribuída e à temperatura prescrita no seu contorno (VM115);
- distribuição de temperatura em placa com superfícies adiabáticas e convectivas no contorno (VM110).

onde os códigos entre parênteses acima dizem respeito à identificação dos problemas na documentação do programa ANSYS.

A discretização geométrica empregada para cada problema foi estabelecida com o intuito de reproduzir o mais fielmente possível a que foi utilizada na publicação acima citada. Com relação aos resultados obtidos, em todos os exemplos alcançou-se a concordância com a solução analítica e solução numérica do programa ANSYS, dentro da precisão usual de engenharia para simulações desta natureza.

Esses testes permitiram concluir pela adequação do programa implementado em termos de acurácia e estabilidade numérica dos processos de integração e solução do sistema de equações. Adicionalmente, a capacidade de lidar com os diversos tipos de condição de contorno (temperatura, fluxo de calor e convecção prescritos), seja isoladamente ou atuando simultaneamente, foi verificada com os referidos testes. Foi testada também a utilização das condições de simetria existentes em determinados problemas, possibilitando a simplificação do modelo geométrico e, conseqüentemente, da análise como um todo.

São apresentados a seguir os resultados numéricos advindos da aplicação do modelo descrito na seção anterior. A área superficial do processador, adotada para realizar todas as simulações numéricas, é de $1,0 \times 1,0 \text{ cm}^2$. A potência dissipada no processador é mantida fixa durante a simulação e são realizados ensaios numéricos para duas condições diferentes de dissipação térmica (30 e 55 W), sendo estes valores compatíveis com os processadores comerciais atuais. A temperatura máxima, denominada de temperatura de junção, não deve ser maior do que $80 \text{ }^\circ\text{C}$ em média. De acordo com catálogos da Intel[®] para o processador Pentium[®] III esta fica entre 75 e $82 \text{ }^\circ\text{C}$ dependendo da frequência do processador.

Todos os testes do programa foram executados em microcomputador com processador Intel[®] Pentium[®] IV de 2.6 GHz e com 256 Mb de memória. O compilador utilizado, por sua vez, foi o Compaq[®] Visual Fortran Professional Edition 6.1.0. Os tempos de processamento relativos a cada exemplo foram obtidos com chamadas sucessivas da função `gettim(tmphour, tmpminute, tmpsecond, tmphund)` e, para os exemplos simulados, foram todos da ordem de um segundo, o que decorre do pequeno número de nós e elementos das discretizações empregadas.

Inicialmente são mostrados resultados da distribuição da temperatura na base do dissipador cuja área superficial é de $6,0 \times 6,0 \text{ cm}^2$ e espessura de 0,4 cm. O domínio do problema nos casos 1 e 2 foi discretizado através de uma malha com elementos de $0,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm} \times 0,4 \text{ cm}$, ou seja, 12 divisões na direção x, 12 divisões na direção y e 1 divisão na direção z. Já para os casos 3 e 4 o mesmo tamanho mencionado anteriormente para cada elemento foi novamente empregado, correspondendo agora a 8 divisões na direção x, 8 divisões na direção y e 1 divisão na direção z. Na tabela

abaixo estão sumarizados os parâmetros correspondentes aos quatro casos distintos simulados.

Tabela 1. Parâmetros físicos dos exemplos simulados.

EXEMPLO	Dimensões do dissipador	Pot.(W)	k(W/cm ⁰ C)	h(W/cm ²⁰ C)
CASO1	l= 6.0 cm, w= 0.4 cm	30	3.86	0.03
CASO2	l= 6.0 cm, w= 0.4 cm	55	3.86	0.03
CASO3	l= 4.0 cm, w= 0.4 cm	30	3.86	0.03
CASO4	l= 4.0 cm, w= 0.4 cm	30	3.86	0.05

Na Fig. 2a temos os valores do campo de temperatura na superfície inferior do dissipador (aquela em contato com as aletas) e na Fig. 2b os resultados para superfície superior do mesmo (aquela que está em contato com o processador). Conforme esperado, a temperatura na superfície superior é maior do que aquela da superfície inferior, uma vez que a fonte de calor está situada junto àquela primeira superfície.

Outro aspecto a ser mencionado diz respeito à simetria observada na solução numérica, ressaltando-se que a modelagem do problema foi efetuada sobre o domínio completo, sem tirar proveito da simetria natural do problema (geométrica e de carregamento térmico). Para estas condições simuladas podemos verificar que a temperatura máxima, na região de contato entre o dissipador e o processador, é inferior ao valor crítico fornecido pelo fabricante.

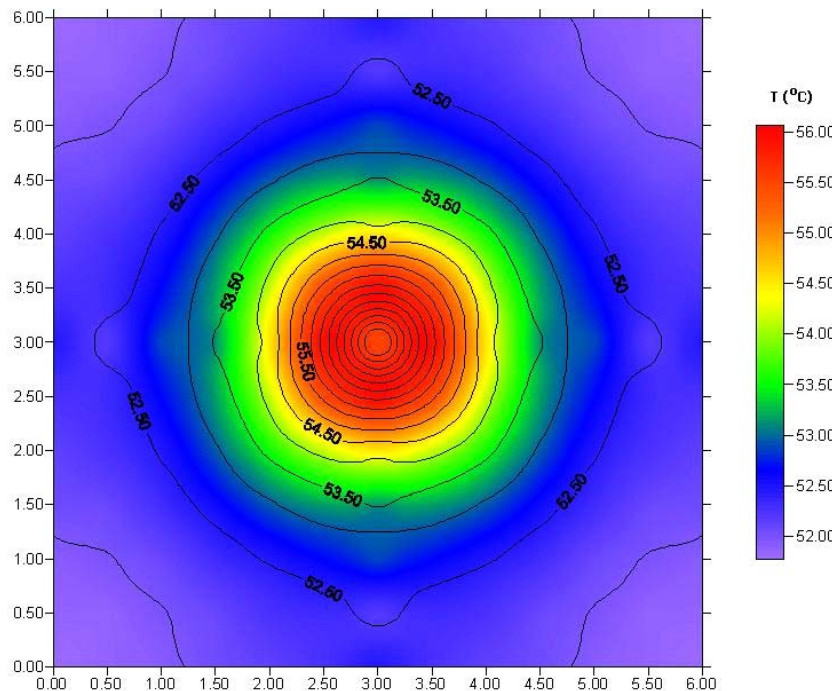


Figura 2a. Campo de temperatura na superfície inferior do dissipador (caso 1)

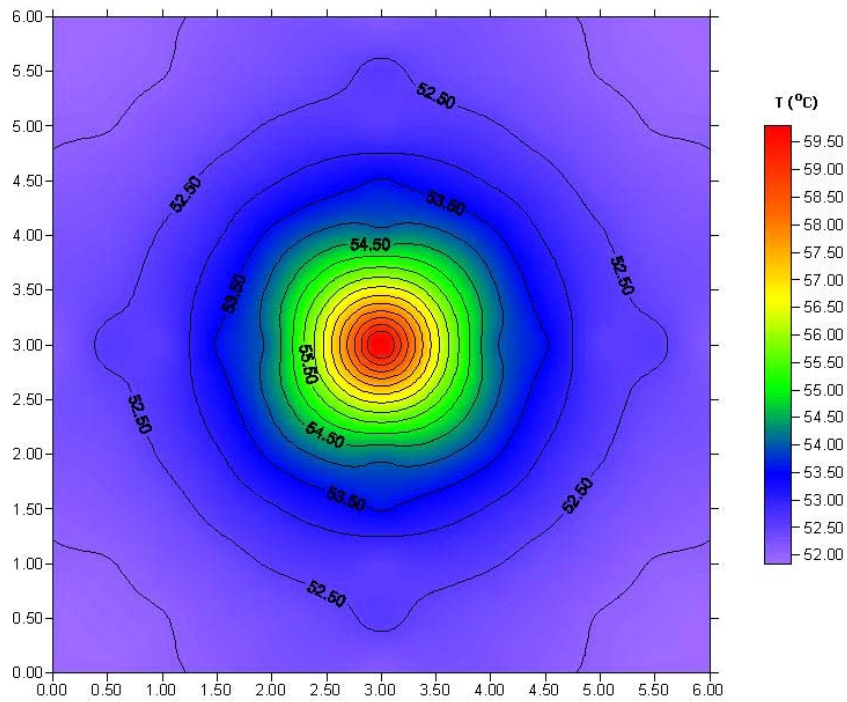


Figura 2b. Campo de temperatura na superfície superior do dissipador (caso 1)

Simulações similares para uma potência dissipada de 55 W, utilizando os mesmos parâmetros geométricos do dissipador, são mostradas nas Figs. 3a e 3b. Comparando-se qualitativamente os gráficos das Figs. 2 e 3 observa-se, como já era de esperar, que o aumento da potência dissipada pelo processador provoca um aumento na intensidade do campo de temperatura, embora a distribuição de temperatura apresente o mesmo padrão para as duas situações. Outra observação importante é que, para esta potência dissipada e as condições físicas e geométricas consideradas, os valores extremos de temperatura na região do processador já se aproximam dos valores críticos.

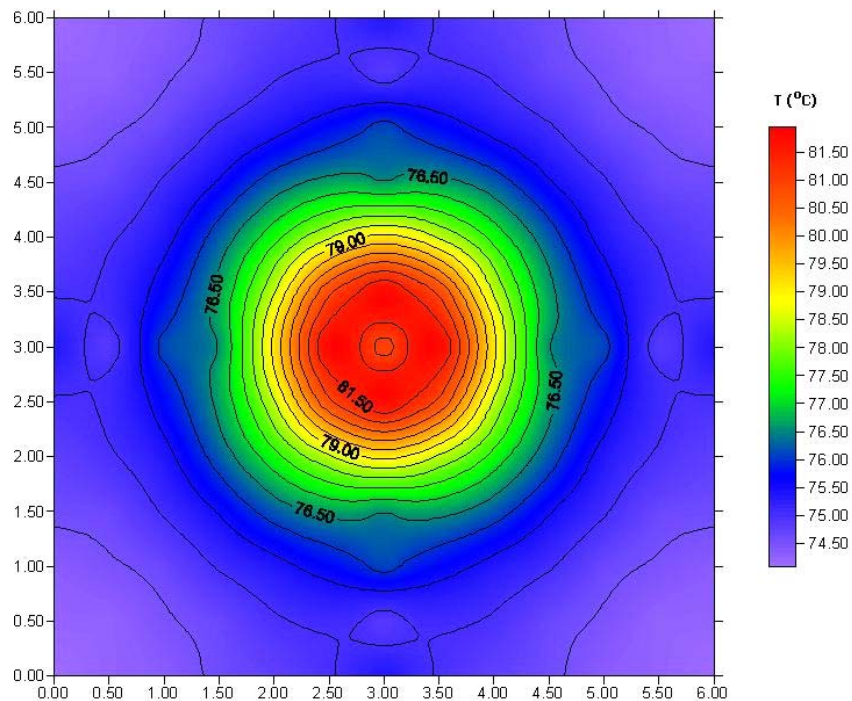


Figura 3a. Campo de temperatura na superfície inferior do dissipador (caso 2)

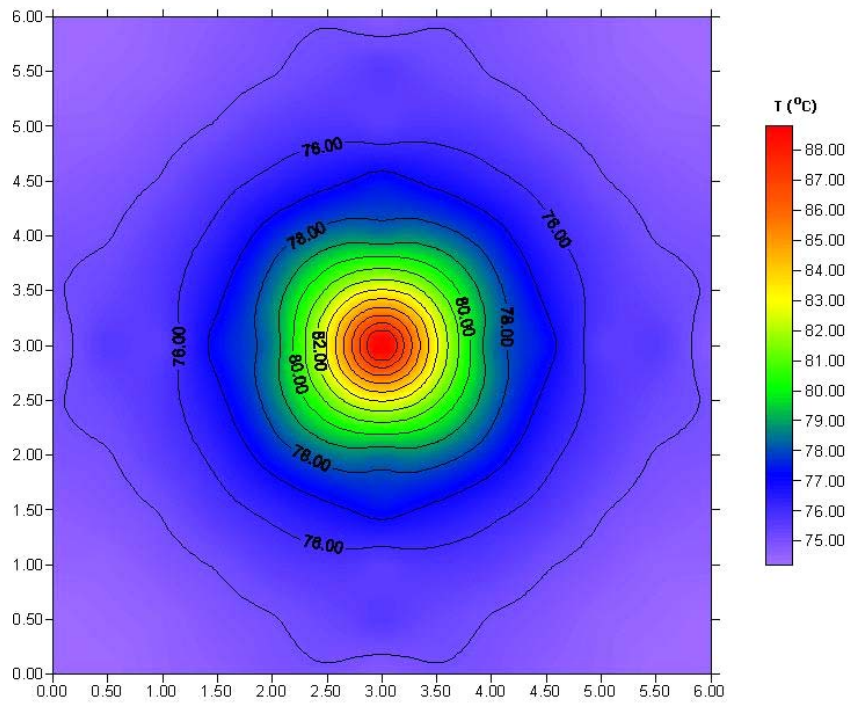


Figura 3b. Campo de temperatura na superfície superior do dissipador (caso 2)

Na simulação dos casos 3 e 4 podemos verificar o efeito da redução do tamanho do dissipador para uma área superficial de $4,0 \times 4,0 \text{ cm}^2$, mantendo a mesma espessura de 0,4 cm. Os resultados do campo de temperatura na superfície inferior e superior do dissipador para potências dissipadas de 30 W são indicados nas Figs. 4a e 4b. Podemos observar que a redução nas dimensões do dissipador afeta negativamente o desempenho térmico do mesmo, provocando uma elevação muito acentuada na temperatura, acima do valor crítico.

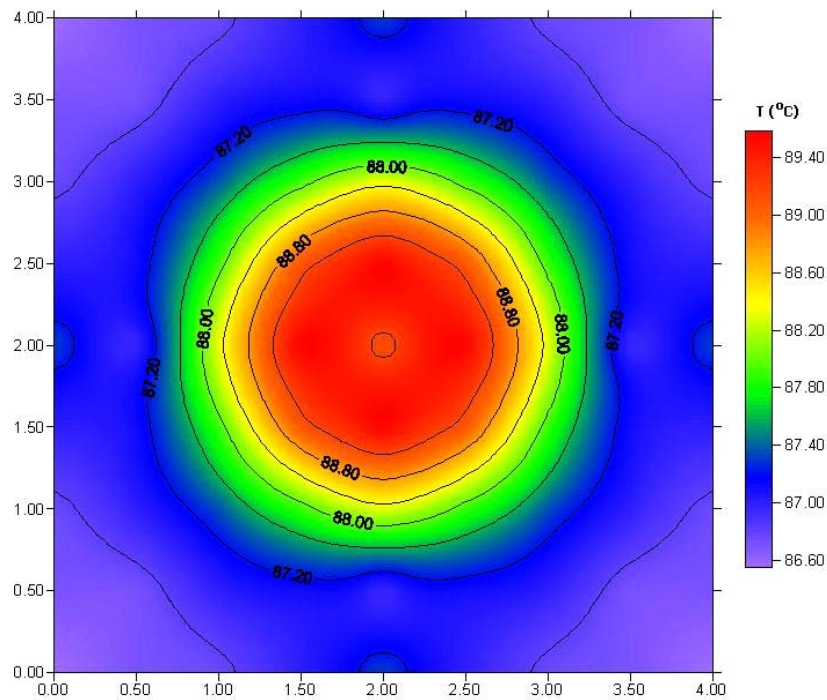


Figura 4a. Campo de temperatura na superfície inferior do dissipador (caso 3)

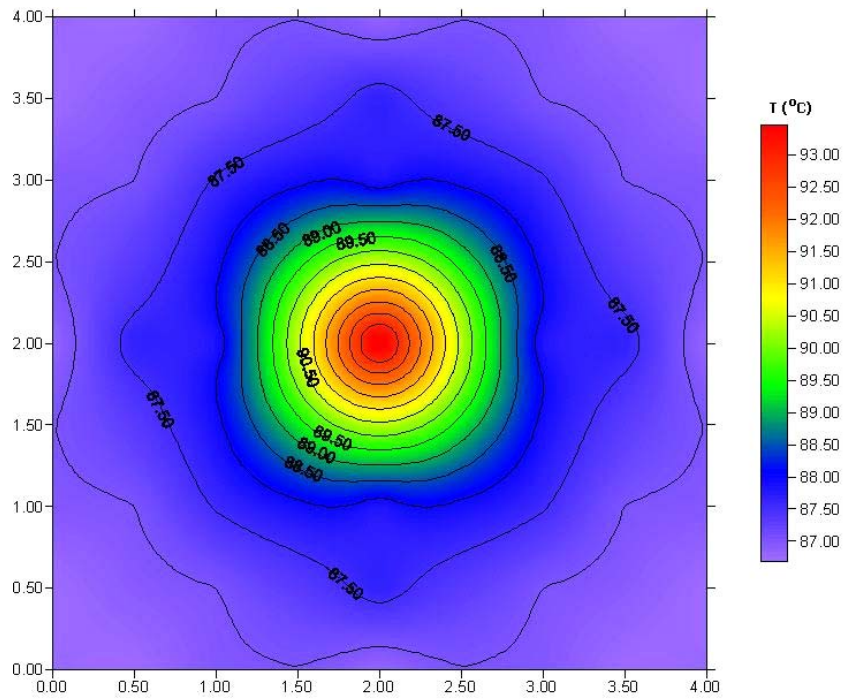


Figura 4b. Campo de temperatura na superfície superior do dissipador (caso 3)

Uma melhor condição de dissipação, sem necessidade de mudar o tamanho do dissipador, pode ser obtida através do aumento do coeficiente de transferência de calor por convecção na superfície inferior do dissipador. Este efeito é mostrado nas Figs. 5a e 5b, que representam resultados para o caso em que o coeficiente de transferência de calor, h , foi aumentado de $0,03 \text{ W/cm}^2\text{C}$ para $0,05 \text{ W/cm}^2\text{C}$. Este aumento permite que a temperatura na região do processador retorne a um patamar aceitável, conforme mostrado na Fig. 5b.

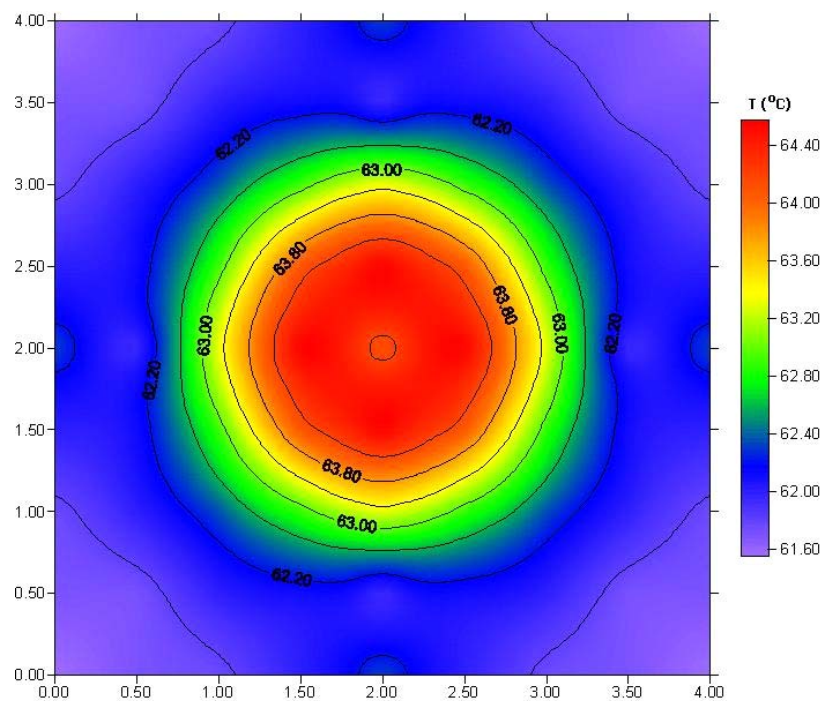


Figura 5a. Campo de temperatura na superfície inferior do dissipador (caso 4)

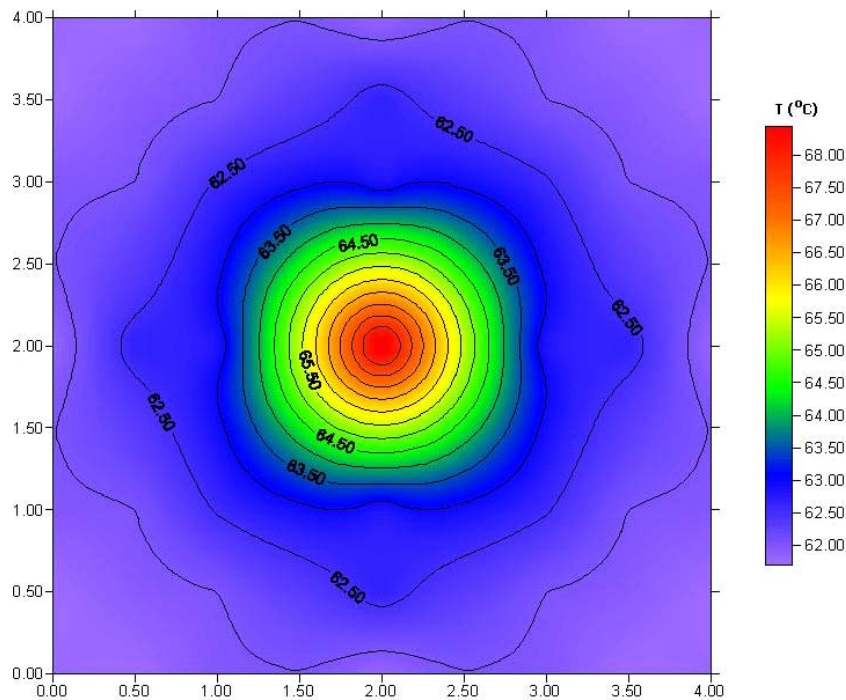


Figura 5b. Campo de temperatura na superfície superior do dissipador (caso 4)

5. Conclusões

Foi desenvolvido e apresentado um modelo numérico, baseado no método dos elementos finitos, capaz de simular o processo de transferência de calor em componentes eletrônicos. Utilizando este código computacional foi possível estudar a influência de parâmetros na dissipação de calor num processador acoplado a um dissipador térmico dotado de aletas. Os resultados obtidos nestas experiências iniciais são consistentes com o fenômeno físico estudado, entretanto a confiabilidade dos resultados exige estudos mais aprofundados e comparações com medidas experimentais planejadas para futuros estudos, no sentido de validar mais efetivamente o modelo desenvolvido.

6. Agradecimentos

O primeiro autor gostaria de agradecer ao Grupo de Engenharia Térmica (GET), do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade de participar desta pesquisa, através de um contrato de Professor Visitante.

7. Referências

- ANSYS Verification Manual. Address: www1.ansys.com/customer/content/documentation/60/Hlp_V_VMTOC.html
- Avelar, A.C., Ganzarolli, M.M., 2002, “Numerical and experimental analysis of natural convection heat transfer in an array of vertical channels with two dimensional protruding heat sources”, II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, João Pessoa, Paraíba, em CD.
- Bar-Cohen, A., Rohsenow, W.M., 1984 “Thermally optimum spacing of vertical, natural convection cooled parallel plates”, *Journal of Heat Transfer*, v.106, p.116-123.
- Brauer, J. R. (Ed.), 1988 “*What every Engineer Should Know about Finite Element Analysis*”, Marcel Dekker, Inc.
- Feng, T. Q., Xu, J. L. 2004 “An analytical solution of thermal resistance of cubic heat spreaders for electronic cooling”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, pp. 323-337.
- Groll, M, Schneider, M., Sartre, V., Zaghoudi, M.C., Lalleman, M., 1998, “Thermal control of electronic equipment by heat pipes”, *Rev. Gen. Therm.*, Vol. 37, pp. 323-352.
- Hacohen, J., Chiu, T.W., Wragg, A.A., 1995, “ Forced and free convective heat transfer coefficients for a model printed circuit board channel geometry”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 10, pp. 327-334.
- Holman, J. P. “Heat Transfer”. 4th Edition. McGraw-Hill Book Co.. New York, NY. 1976
- Hughes, T. J. R., 2000 “*The Finite Element Method – Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*” , Dover Publications, Inc.
- Kraus, A.D. e Bar-Cohen, A., 1983 “*Thermal analysis and control of electronics equipment*”. Hemisphere Publishing Corporation.

- Kreith, F. "Principles of Heat Transfer". 2nd Printing. International Textbook Co.. Scranton, PA. 1959.
- Pastukhov, V.G., Maidanik, Y.F., Vershinin, C.V., Korukov, M.A., 2003, "Miniature loop heat pipes for electronics cooling", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, pp.1125–1135.
- NAFEMS. "The Standard NAFEMS Benchmarks". Rev. No. TSNB. National Engineering Laboratory. E. Kilbride, Glasgow, UK. August, 1989.
- Schneider, P. J. "Conduction Heat Transfer". 2nd Printing. Addison-Wesley Publishing Co., Inc.. Reading, MA. 1957.
- Tan, F.L., Tso, C.P., 2004 "Cooling of mobile electronic devices using phase change materials", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, pp. 159–169.
- Toth, J., DeHoff, R., Grubb, K., 1998, "Heat pipes: the silent way to manage desktop thermal problems", *Proceedings of the I-THERM Conference*, Seattle, EUA.
- Zienkiewicz, O. C., Taylor R. L., 1989 "The Finite Element Method – Basic Formulation and Linear Problems", 4th ed., Mc Graw-Hill Book Company.

Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

TITLE: HEAT TRANSFER AND TEMPERATURE DISTRIBUTION OVER A FINNED SPREADER COUPLED TO A MICROPROCESSOR: A NUMERICAL STUDY

Ricardo L. Azevedo

Department of . Mechanical Engineering
Federal University of Pernambuco
Av. Acadêmico Hélio Ramos S/N – Recife/PE – 50740-530
razevedo@ufpe.br

Jorge R. Henríquez

Department of . Mechanical Engineering
Federal University of Pernambuco
Av. Acadêmico Hélio Ramos S/N – Recife/PE – 50740-530
riorgeh@demec.ufpe.br

Abstract. This work presents a numerical study of the heat transfer and temperature distribution over a finned spreader coupled to a microprocessor. The mathematical model is based on the steady state energy conservation equation, three dimensional formulation. The spreader is modelled as a plate of finite thickness, submitted to a specified heat flux on its upper surface and to convective cooling on its bottom surface, being the remaining surfaces considered adiabatic. The numerical simulation employs the Finite Element Method, with hexahedral elements in the geometric discretization. Some results to temperature field as a function of geometric and physical parameters are shown in order to test the developed model.

Keywords: numerical analysis, heat transfer, finite element method, electronic devices cooling.