

# COMPORTAMENTO DO ESCOAMENTO LAMINAR SOBRE AQUECEDORES 3D PROTUBERANTES MONTADOS NA PLACA INFERIOR DE UM CANAL RETANGULAR HORIZONTAL

**Felipe Baptista Nishida**

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/*Campus* Ponta Grossa  
felipenishida@hotmail.com

**Thiago Antonini Alves**

Professor/Pesquisador do Curso de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/*Campus* Ponta Grossa  
thiagooalves@utfpr.edu.br

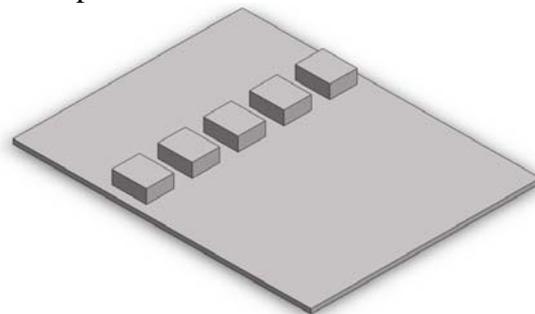
**Resumo.** No presente trabalho foi realizada uma análise numérica do comportamento do escoamento laminar sobre aquecedores 3D protuberantes montados na placa inferior de um canal retangular horizontal utilizando o Método dos Volumes de Controle através do software ANSYS/Fluent®. O escoamento foi considerado com propriedades constantes sob condições de regime permanente com perfil de velocidade uniforme na entrada do canal. Os efeitos do número de Reynolds, baseado na altura dos aquecedores protuberantes, foram investigados na faixa de 100 a 300. As principais características deste escoamento consistiram de uma pequena recirculação a montante dos aquecedores, da formação de um vórtice de ferradura ao redor das laterais das protuberâncias e de uma grande recirculação na região a jusante dos aquecedores.

**Palavras-chave:** Análise numérica. Escoamento laminar. Aquecedores 3D protuberantes.

## 1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho, foram considerados problemas motivados pelo Nível 2 de empacotamento eletrônico, associados ao controle térmico de uma fileira de aquecedores 3D protuberantes montados em uma placa de circuito impresso, como indicado na Fig. 1 (ALVES, 2010). O espaço disponível para

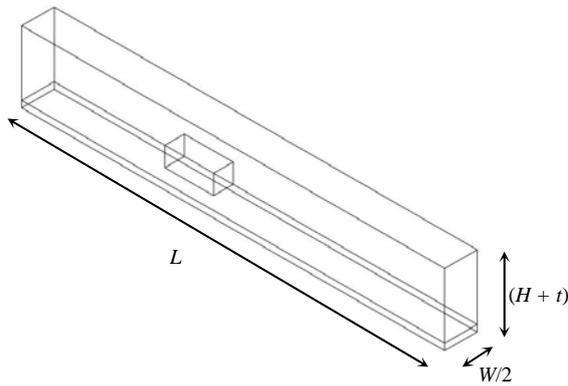
os aquecedores discretos pode ser limitado e seu resfriamento deve ocorrer por convecção forçada com velocidades moderadas (baixo *Reynolds*) por limitações operacionais e para redução de ruídos. Sob estas condições, pode não haver espaço suficiente para a instalação de aletas nestes componentes com dissipação concentrada de calor. Estes componentes podem ser simulados por blocos protuberantes montados em um canal horizontal de placas paralelas.



**Figura 1.** Configuração com uma fileira de aquecedores 3D protuberantes montados em uma placa de circuito impresso.

## 2. MODELAGEM DO PROBLEMA

A modelagem matemática do problema foi efetuada para um domínio único, compreendendo o aquecedor protuberante e o escoamento fluido no canal. Devido às simetrias do problema, as equações de conservação foram formuladas para o domínio de comprimento  $L$ , largura  $W/2$  e altura  $(H + t)$ , conforme Fig. 2.



**Figura 2.** Domínio da modelagem matemática do problema.

As equações governantes englobam os princípios de conservação de massa e de *momentum* no domínio considerado, sob condições de regime permanente, propriedades constantes e dissipação viscosa desprezível.

- Equação da Continuidade

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

- Equação de *Navier-Stokes*

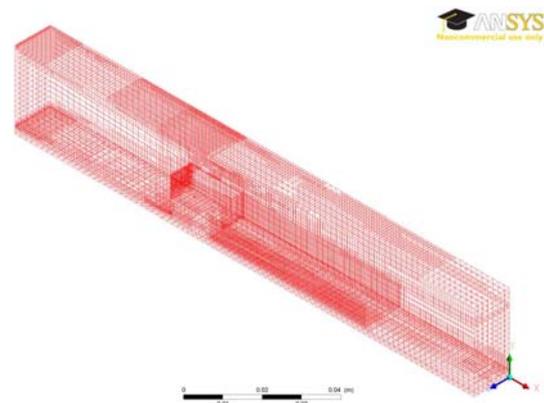
$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} \quad (2)$$

As condições de contorno do escoamento foram velocidade uniforme ( $u_0$ ) na entrada do canal e velocidade nula nas interfaces sólido-fluido, condição de não-deslizamento. Na saída do canal, o escoamento foi tratado com uma difusão desprezível na direção  $x$  para as três componentes de velocidade. Nas fronteiras laterais do domínio de solução, condição de contorno de simetria (condição periódica) é aplicada para os campos de velocidade (mesma geometria em cada um dos aquecedores 3D protuberantes).

### 3. SOLUÇÃO NUMÉRICA

As equações governantes com suas condições de contorno foram resolvidas numericamente utilizando o Método dos Volumes de Controle (PATANKAR, 1980) por meio do *software ANSYS/Fluent*<sup>®</sup> 14.0. O algoritmo *SIMPLE* foi utilizado para tratar do acoplamento pressão-velocidade. As

condições de contorno foram impostas nas fronteiras do domínio analisado. Após um estudo de refinamento de malha computacional, os resultados numéricos foram obtidos com uma grade 3D não-uniforme contendo 212.670 volumes de controle. Esta grade computacional foi mais concentrada nas regiões próximas às interfaces sólido-fluido devido aos maiores gradientes das variáveis primitivas nestas regiões, como ilustrado na Fig. 3.



**Figura 3.** Grade computacional 3D não-uniforme (vista em perspectiva 3D).

As resoluções numéricas foram executadas em um microcomputador com processador *Intel*<sup>®</sup> *Core*<sup>™</sup> *i7* 3,6GHz e com 16GB de memória RAM. O tempo de processamento de uma solução típica foi de aproximadamente 5 (cinco) minutos.

### 4. RESULTADOS

Para a obtenção dos resultados numéricos, foram utilizados valores típicos de geometria e propriedades encontrados nas aplicações de resfriamento de componentes eletrônicos montados em uma PCB (BARCOHEN *et al.*, 2003). As propriedades do ar foram consideradas constantes, obtidas à temperatura de 300 K (INCROPERA *et al.*, 2008). Os efeitos do número de *Reynolds* foram investigados para  $Re = 100, 150, 200, 250$  e  $300$ . Nesta faixa de investigação de  $Re$  o regime do escoamento no canal é laminar (MORRIS & GARIMELLA, 1996).

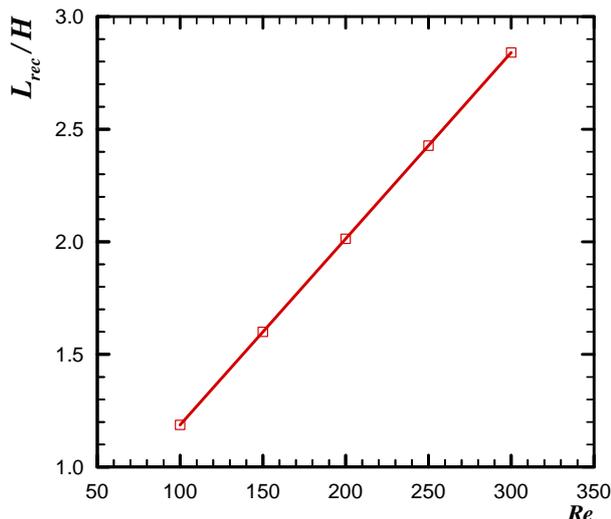


O comprimento da recirculação ( $L_{rec}$ ) a jusante do aquecedor protuberante, ou ainda, a distância entre a base da superfície de trás do aquecedor até o ponto de recolamento da camada-limite fluidodinâmica, é apresentado em função de  $Reynolds$  na Tab. 1 e na Fig. 6. Este comprimento varia linearmente com  $Re$ . Uma correlação com desvios menores do que 0,35% pode ser expressa por

$$(L_{rec}/H) = 0,0083 Re + 0,3602 \quad (3)$$

**Tabela 1.** Comprimento  $L_{rec}$  da recirculação a jusante do aquecedor protuberante.

$Re$	$L_{rec}/H$
100	1,19
150	1,60
200	2,00
250	2,43
300	2,84



**Figura 6.** Comprimento  $L_{rec}$  da recirculação a jusante do aquecedor protuberante.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada uma análise numérica do comportamento do escoamento laminar sobre aquecedores 3D protuberantes montados na placa inferior de um canal retangular horizontal utilizando o Método dos Volumes de Controle por meio do *software* ANSYS/Fluent<sup>®</sup>. As equações de conservação com suas condições de contorno foram resolvidas numericamente dentro de um domínio único, através de um procedimento acoplado. Para a obtenção dos

resultados numéricos, foram utilizados valores típicos de geometria e propriedades encontrados nas aplicações de resfriamento de componentes eletrônicos montados em uma placa de circuito. O comportamento do escoamento laminar sobre os aquecedores 3D protuberantes foi indicado pelas linhas de corrente. As principais características do escoamento laminar consistiram de vórtices ferradura que iniciavam sua formação à montante do aquecedor e se desenvolveram ao redor das superfícies laterais do aquecedor; da formação de uma pequena recirculação à montante do aquecedor protuberante; do descolamento da camada-limite fluidodinâmica do escoamento no topo do aquecedor causando um fluxo reverso e uma grande região de recirculação à jusante do aquecedor devido ao recolamento do escoamento. O comprimento da recirculação a jusante dos aquecedores protuberantes variou linearmente com  $Re$ .

## 6. REFERÊNCIAS

- ALVES, T.A. **Resfriamento conjugado de aquecedores discretos em canais**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Energia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2010. 129 p.
- BAR-COHEN, A.; WATWE, A.A.; PRASHER, R.S. **Heat Transfer in Electronic Equipment**. In: BEJAN, A.; KRAUS, A.D. (Eds.). *Heat Transfer Handbook*. New Jersey, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2003. chap.13, 947-1027 p.
- INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T.L.; LAVINE, A.S. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2008. 644 p.
- MORRIS, G.K.; GARIMELLA, S.V. Thermal wake downstream of a three-dimensional obstacle. *Exp. Thermal Fluid Sc.*, V.12, p. 65-74, 1996.
- PATANKAR, S.V. **Numerical Heat Transfer and Fluid Flow**. New York, NY, USA: Hemisphere Publishing Corporation, 1980. 197 p.