PERFIL DE VELOCIDADES DO ESCOAMENTO LAMINAR DE AR 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
thiagoaalves@utfpr.edu.br

Resumo. *No presente trabalho foi realizado um estudo numérico do perfil de velocidades 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 forçado de ar foi considerado com propriedades constantes sob condições de regime permanente com perfil de velocidades uniforme na entrada do canal. Os efeitos do número de* Reynolds, *baseado na altura dos aquecedores 3D protuberantes, foram investigados na faixa de* 100 *a* 300.

Palavras-chave: *Estudo numérico. 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 (PCB), 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 baixo *Reynolds* por limitações operacionais e para redução de ruídos.

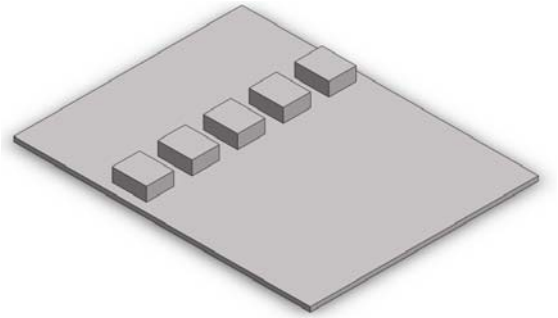


Figura 1. Configuração com fileira de aquecedores 3D protuberantes montados em uma PCB.

2. MODELAGEM DO PROBLEMA

A modelagem matemática do problema foi efetuada para um domínio único, compreendendo o aquecedor protuberante e o escoamento de ar 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.

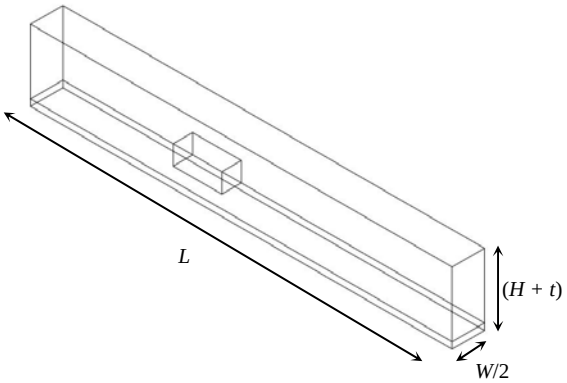


Figura 2. Domínio da modelagem matemática do problema.

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

$$\nabla \cdot \boldsymbol{u} = 0 \qquad (1)$$

- Equação de *Navier-Stokes*

$$\rho\left(\boldsymbol{u} \cdot \nabla\right)\boldsymbol{u} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \boldsymbol{u} \qquad (2)$$

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*® 14.0. O algoritmo *SIMPLE* (*Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations*) 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.

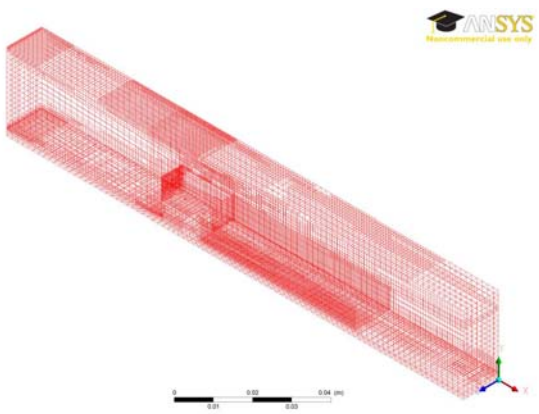


Figura 3. Grade computacional 3D não-uniforme (vista em perspectiva 3D).

As resoluções numéricas foram executadas em um microcomputador com processador *Intel*® *Core*™ *i*7 3,6GHz e com 16GB de memória RAM. O tempo de processamento de uma solução típica foi de aproximadamente 5 (cinco) minutos.

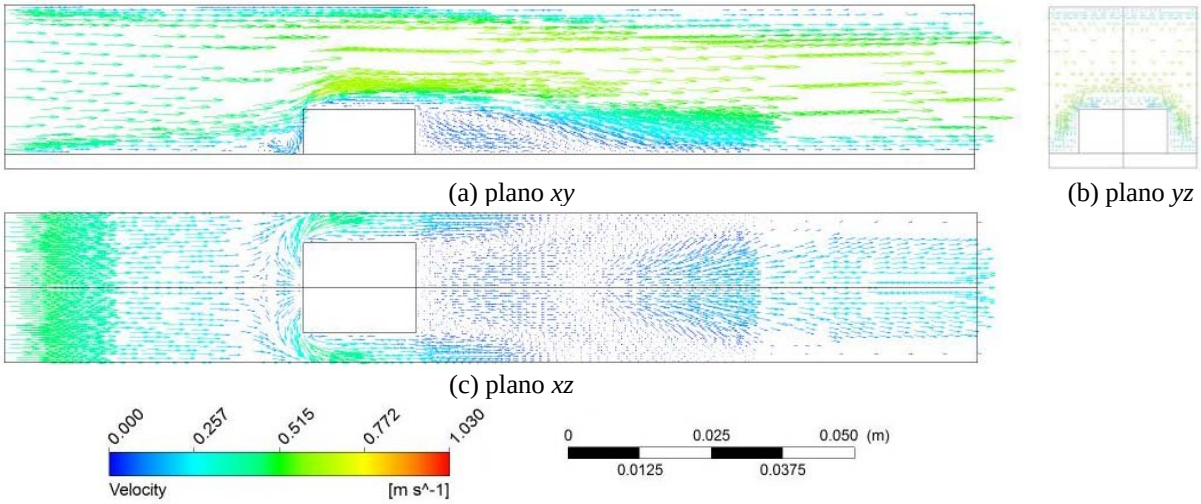
4. RESULTADOS

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 (BAR-COHEN *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).

Na Figura 4 são apresentados os perfis de velocidade do escoamento laminar de ar para os planos *xy*, *xz* e *yz*, respectivamente, considerando *Re* = 200. Na Figura 5 as magnitudes da velocidade do escoamento de ar e os sentidos das recirculações formadas podem ser observadas detalhadamente.

Os perfis de velocidade do ar ao longo da direção *y* de duas posições a montante e de quatro posições a jusante do aquecedor 3D protuberante são mostrados nas Figs.6(a) e 6(b), respectivamente, para *Re* = 200. O

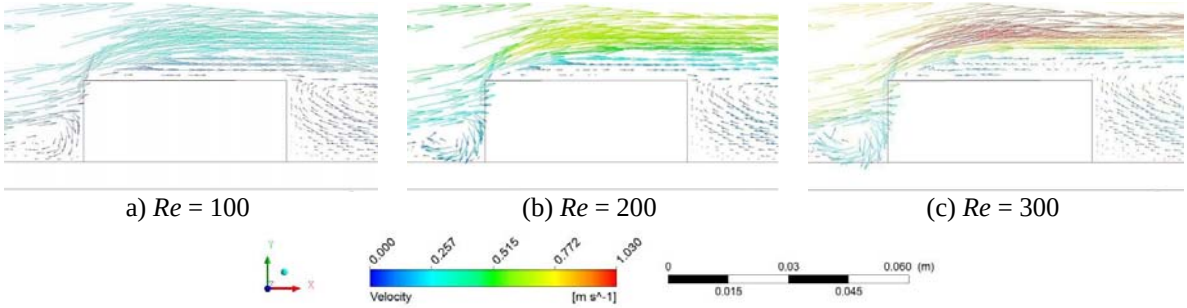
comportamento das recirculações próximas ao aquecedor protuberante pode ser melhor observado a partir dos valores da componente da velocidade na direção *x*. Um valor negativo da velocidade *u* representa um fluxo reverso ao escoamento principal.



(a) plano *xy* (b) plano *yz*

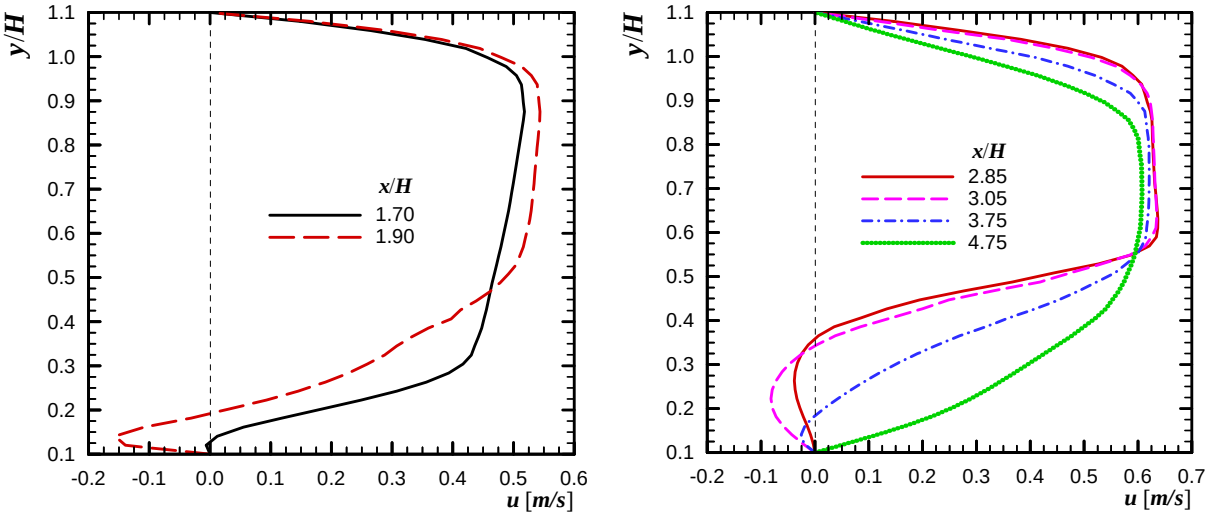
(c) plano *xz*

Figura 4. Perfil de velocidades do ar sobre um aquecedor 3D protuberante para *Re* = 200.



a) *Re* = 100 (b) *Re* = 200 (c) *Re* = 300

Figura 5. Perfil de velocidades do ar sobre um aquecedor 3D protuberante no plano *xy* para *z* = 0.



(a) região a montante do aquecedor (b) região a jusante do aquecedor

Figura 6. Perfil de velocidade do ar ao longo da direção *y* para diversas posições para *Re* = 200.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizado um estudo numérico do perfil de velocidades 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®. As equações de conservação de massa e de *momentum* 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. As principais características do escoamento laminar sobre os aquecedores 3D protuberantes 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. As magnitudes da velocidade e os sentidos das recirculações nas diferentes regiões do escoamento laminar considerando ar foram apresentados nos planos *xy*, *xz* e *yz*.

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.