

## **ESTUDO EXPERIMENTAL DE COMPARAÇÃO DA PERDA DE CARGA ENTRE TROCADORES DE CALOR DE TUBOS CIRCULARES E ELÍPTICOS ALETADOS EM REGIME TURBULENTO**

**Rudmar Serafim Matos, rudmar@demec.ufpr.br<sup>1</sup>**  
**José Viriato Coelho Vargas, jvargas@demec.ufpr.br<sup>1</sup>**  
**Marcos Antonio Rossetim, mrossetim@hotmail.com<sup>1</sup>**  
**Roque Luis Sutil Mainardes, roque@ufpr.br<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PGMEC, Universidade Federal do Paraná, C.P. 19011, Curitiba, PR 81531-990, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, DEMEC, Universidade Federal do Paraná, C.P. 19011, Curitiba, PR 81531-990, Brasil

**Resumo:** Este trabalho apresenta um estudo de otimização geométrica experimental para minimizar a potência de bombeamento do ventilador, entre um feixe de tubos aletados em um dado volume e um determinado fluxo externo, ambos para arranjos de tubos circulares e elípticos, para configurações gerais. O procedimento de otimização começou pelo reconhecimento da disponibilidade limitada do espaço de projeto como uma restrição do volume fixo. Os resultados são apresentados para o ar como o fluido externo, onde o Número de Reynolds variou na faixa de 2650 a 10600 baseado no eixo menor do tubo de seção elíptica. Arranjos circulares e elípticos com a mesma área de obstrução da seção transversal do fluxo foram comparados com base na mínima potência de bombeamento do ventilador. Resultados da otimização experimental para tubos aletados em arranjos circular e elíptico são apresentados e para a perda de carga há uma perda mínima, que comparada com os valores obtidos para  $e = 1.0$  (tubos circulares) e  $e = 0.5$  (tubos elípticos) verifica-se uma redução da potência de bombeamento de aproximadamente 8% para os tubos elípticos, otimizados com dois graus de liberdade.

**Palavras-chave:** Transferência de Calor, Perda de carga, Otimização de Parâmetros de Projeto.

### **1. INTRODUÇÃO**

Trocadores de calor aletados de fluxo cruzado são partes de vários processos de engenharia na indústria e são, inquestionavelmente, responsáveis por uma grande parcela do consumo total de energia onde quer que estejam presentes (Rocha et al, 1997; Elsayed et al, 2003; Khan et al, 2004; Min e Webb, 2004; Elshazly et al, 2005; Hasan, 2005 e Kundu et al, 2006).

Erek et al (2005) mostraram numericamente a influência da geometria das aletas na transferência de calor e na perda de carga, para uma aleta retangular num trocador de calor. Foi descoberto que a distância entre aletas tem um considerável efeito sobre a perda de carga. Outro ponto importante do estudo foi que aumentando a elipticidade (excentricidade) do tubo aletado, aumenta a troca de calor e reduz a perda de carga.

Neste trabalho, a otimização geométrica dos parâmetros de projeto para uma mínima potência de bombeamento para o ventilador é procurada experimentalmente. O objetivo é fornecer informação científica para a possível utilização de tubos elípticos em vez de tubos circulares em trocadores de calor para aplicações práticas e em processos industriais (como por exemplo, ar condicionado, refrigeração, HVAC-R, sistemas, aquecedores, radiadores, etc.) no futuro. Portanto é necessário que a investigação seja conduzida para regime de escoamento turbulento, que é o que ocorre nestes sistemas industriais. A idéia básica é analisar a potência de bombeamento dos ventiladores usando trocadores de calor com tubos elípticos em comparação com os tubos circulares tradicionais, quando variamos os seguintes parâmetros de projetos:  $\delta$  = espaçamento entre aletas,  $e$  = excentricidade elíptica e  $S$  = espaçamento entre as fileiras de tubos. O problema consiste na identificação de uma configuração (arquitetura interna, forma ótima; Bejan, 2000) que forneça a mínima potência de bombeamento.

Para a otimização em regime turbulento do escoamento através dos arranjos de tubos aletados, será necessário, portanto, considerar a perda de carga (a potência de bombeamento de ar através dos arranjos).

O foco principal do presente trabalho está na otimização geométrica experimental de um arranjo com tubos aletados alternados circular e elíptico em um volume fixado. O trabalho descreve uma série de experimentos conduzidos no

laboratório na pesquisa para obtenção dos parâmetros geométricos ótimos, em configurações circular e elíptica para tubos aletados alternados para mínima potência de bombeamento, em escoamento em regime turbulento. Arranjos circular e elíptico, com a mesma seção transversal de obstrução ao fluxo, são então comparados na base da mínima potência de bombeamento. Adequados grupos de grandezas não-dimensionais são definidas e os resultados de otimização estão reportados em gráficos adimensionais.

## 2. TEORIA

A fim de que os resultados sejam de caráter geral, grupos adimensionais convenientes são definidos para a representação das quantidades de interesse, i.e., temperaturas, velocidades e pressão, fazendo uso também do número de Prandtl, correspondente ao fluido, e do número de Reynolds baseado na velocidade de entrada do fluido no arranjo e no eixo menor do tubo de seção elíptica, 2b.

As variáveis adimensionais definidas foram baseadas em escalas físicas apropriadas como segue:

$$P = \frac{p}{\rho u_{\infty}^2} \quad (U, V, W) = \frac{(u, v, w)}{u_{\infty}} \quad Re_{2b} = \frac{u_{\infty} (2b)}{\nu} \quad (1)$$

onde p a pressão, N m<sup>-2</sup>; ρ a massa específica, kg m<sup>-3</sup>; u<sub>∞</sub> a velocidade livre do escoamento, m s<sup>-1</sup>; (u, v, w) as velocidades do fluido, m s<sup>-1</sup> e ν a viscosidade cinemática do fluido, m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>.

O objetivo da otimização é encontrar a geometria ótima, tal que a potência de bombeamento seja minimizada, sujeita a uma mesma restrição de volume. O problema do projeto de engenharia se inicia pelo reconhecimento da disponibilidade finita do espaço, isto é, um espaço disponível LxWxH como um volume dado que deva ser preenchido com um trocador de calor. Minimizar a potência de bombeamento significa consumo mínimo de energia pelo ventilador.

O estudo de otimização prossegue com a identificação dos graus de liberdade que permitam a minimização total da perda de carga entre os tubos e a corrente livre, resultando numa mínima potência de bombeamento do ventilador,  $\dot{W}_p$  (potência de bombeamento). Três graus de liberdade geométricos são identificados no arranjo desta maneira, a saber: i) o espaçamento entre fileiras de tubos, S; ii) a excentricidade dos tubos, e iii) o espaçamento entre aletas, δ. A escolha de tais parâmetros procede da análise de dois extremos, isto é, quando eles são pequenos ou grandes. Quando S → 0, Δp aumenta e para S → S<sub>max</sub> (espaçamento máximo tal que o arranjo apresenta um determinado número de canais elementares, N<sub>ec</sub>, ajustados no espaço disponível, L×H×W), Δp diminui, mas a taxa mássica aumenta. Quando e → 0, o limite de placas planas alternadas está representado, então a área da seção transversal A<sub>c</sub> ao escoamento livre, aumenta, a velocidade do fluxo diminui, o coeficiente de perda de carga diminui, mas a taxa mássica aumenta, logo  $\dot{W}_p$  aumenta, e para e → 1, a queda de pressão Δp aumenta, o limite dos tubos circulares está representado, portanto a variação da excentricidade permite que a performance do Δp possa ser comparada com a performance do Δp para tubos elípticos com os tubos circulares que é o objetivo do presente trabalho. A distância entre aletas tem considerável efeito na queda de pressão. Quando δ → 0, Δp aumenta então Δp<sub>min</sub> → Δp<sub>max</sub>, o aumento da densidade de aletas sempre resultará em maior perda de carga, porém, para os arranjos com tubos elípticos, o crescimento é menor do que para os arranjos com tubos circulares e quando δ → δ<sub>max</sub> = W, Δp → 0, decresce. O comportamento de S e e para os extremos indica a possibilidade de um Δp, mínimo nos intervalos, 0 < S < S<sub>max</sub> e 0 < e < 1.0.

A potência de bombeamento  $\dot{W}_p$  é obtida através da seguinte equação (potência hidráulica):

$$\dot{W}_p = \frac{\dot{m} \Delta p}{\rho} \quad (2)$$

onde  $\dot{m}$  é a taxa do fluxo de massa total (kg/s) entrando no arranjo. Um canal é definido como a soma de todas as células unitárias na direção z. Entretanto, a taxa do fluxo (kg/s) de massa entrando no arranjo é:

$$\dot{m} = N_{ec} \rho u_{\infty} [(S + 2b)/2] (W - n_f t_f) = \frac{N_{ec}}{2} \left( \frac{S}{2b} + 1 \right) (1 - \phi_f) \rho u_{\infty} 2bW \quad (3)$$

onde  $\phi_f = \frac{n_f t_f}{W}$  é a densidade de aletas adimensional na direção  $z$  ( $0 \leq n_f t_f \leq W$ ),  $n_f = \frac{W}{t_f + \delta}$  é o número

de aletas no arranjo e  $t_f$  é a espessura da aleta, m. A potência de bombeamento adimensional é reescrita utilizando as Eqs. (2)-(3) como segue::

$$\tilde{W}_p = \left( \frac{S}{2b} + 1 \right) (1 - \phi_f) \frac{\Delta p}{\rho u_\infty^2} \quad (4)$$

onde  $\Delta \tilde{p} = \frac{\Delta p}{\rho u_\infty^2}$  representa a perda de carga adimensional. (5)

### 3. EXPERIMENTO

O mesmo equipamento experimental que foi utilizado em estudos anteriores para o regime laminar (Matos et al, 2001 e 2004), mostrado na Fig. (1), foi reaproveitado no laboratório para produzir os dados experimentais necessários para realizar a otimização experimental dos arranjos aletados. O fluxo de ar forçado foi induzido por aspiração com um ventilador radial elétrico, com uma potência nominal de 1 HP e foi capaz de prover velocidades do fluxo de ar livre, até  $20 \text{ m s}^{-1}$ .

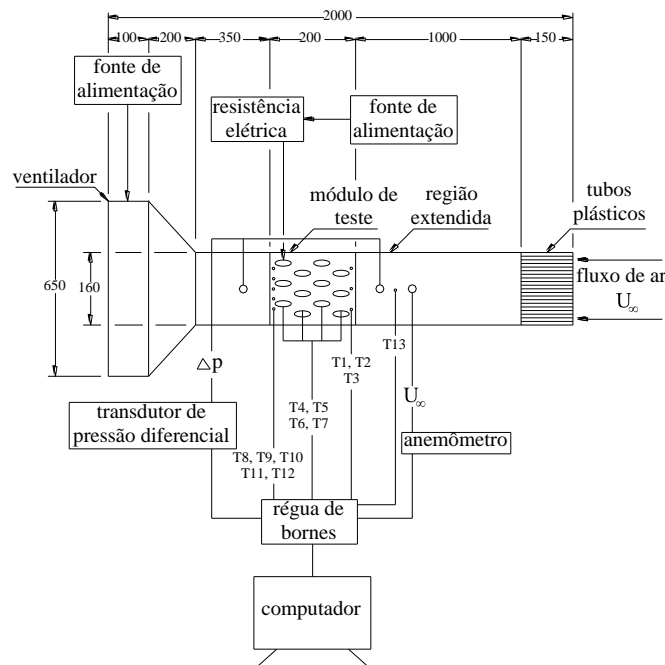


Figura 1. Modelo esquemático do aparato experimental

O objetivo do trabalho experimental foi avaliar a potência de bombeamento de cada arranjo testado por computação  $\tilde{W}_p$  (potência de bombeamento adimensional) com a Eq. (4) através de medições diretas de  $u_\infty$  ( $Re_{2b}$ ), e  $\Delta p$ .

As medições de velocidade foram tomadas com um anemômetro digital de pás rotativas. As velocidades testadas no fluxo de ar livre foram  $2.5, 5, 7.5$  e  $10 \text{ ms}^{-1}$ , neste estudo. As medições de pressão diferencial foram realizadas com um transdutor de pressão, com uma escala nominal de (0 - 2068.5 Pa), que foi conectado a um medidor de pressão digital. O limite “bias” máximo da pressão diferencial é de  $\pm 1\%$  da leitura.

Quatro rodadas de medição foram conduzidas para o arranjo de cada experimento. As condições de regime permanente foram alcançadas após 3 horas em todos os experimentos. Para uma geometria particular de tubos e aletas planas, os testes começaram com uma configuração de triângulo equilátero, que preencheu uniformemente o volume fixo, resultando em um espaçamento adimensional máximo de  $S/2b = 1.5$ . O espaçamento entre os tubos foi então progressivamente reduzido, ou seja,  $S/2b = 1.5, 0.5, 0.25$  e  $0.1$  e neste intervalo um espaçamento ótimo foi encontrado tal que  $\tilde{W}_p$  foi a mínima potência de bombeamento.

Várias velocidades do fluxo livre de ar foram testadas, tais que  $u_\infty = 2.5, 5.0, 7.5$  e  $10.0 \text{ ms}^{-1}$ , correspondendo a  $Re_{2b} = 2650, 5300, 7950$  e  $10600$ , respectivamente, que abrangeram uma parcela significativa da faixa de velocidade do ar de interesse para aplicações típicas de ar condicionado, ou seja,  $1.8 \text{ ms}^{-1} \leq u_\infty \leq 18.2 \text{ ms}^{-1}$ , Bordalo et al (1999).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada número de Reynolds testado,  $Re_{2b}$ , a otimização foi desenvolvida de acordo com os seguintes passos: i) para uma dada excentricidade, foi computada a potência de bombeamento total adimensional,  $\tilde{W}_p$ , conforme Eq. (4), para faixa de  $0.1 \leq S/2b \leq 1.5$  dos espaçamentos entre tubos; ii) o mesmo procedimento foi repetido para diversas excentricidades, i.e.,  $e = 0.4, 0.5, 0.6$  e  $1.0$ ; e iii) passos i) e ii) foram repetidos para diferentes configurações de espaçamentos entre aletas, com a densidade de aleta adimensional de  $\phi_f = 0.006$ .

Este trabalho apresenta resultados de otimização experimental para uma faixa de número de Reynolds maior que os estudos de otimização anteriores para arranjos de tubos elípticos e circulares aletados (Matos et al, 2001 e 2004), isto é, para  $Re_{2b} = 2650, 5300, 7950$  e  $10600$ , portanto investigando o regime de escoamento turbulento. Os ótimos resultados obtidos nos experimentos são bem definidos, ressaltando a sua importância nos atuais projetos de engenharia. Os espaçamentos adimensionais ótimos entre tubos encontrados experimentalmente para  $Re_{2b} = 2650, 5300, 7950$  e  $10600$  ficaram num intervalo de  $0.25 \leq (S/2b)_{ot} \leq 0.6$ , para uma excentricidade variando entre  $0.4 \leq e \leq 1$ .

As perdas de carga foram medidas em todos os arranjos circular e elíptico para fazer a comparação. As medidas foram conduzidas para tubos aletados ( $\phi_f = 0.006$ ), para todas os espaçamentos entre tubos, i. e.,  $0.1 \leq S/2b \leq 1.5$ , todas as excentricidades, i. e.,  $e = 0.4; 0.5; 0.6$  e  $1.0$ , e para todos os todos os Reynolds  $Re_{2b} = 2650, 5300, 7950$  e  $10600$  ( $u_\infty = 2.5, 5.0, 7.5$  e  $10.0 \text{ m/s}$ ). Parte dos resultados obtidos experimentalmente foram registrados em um gráfico  $\Delta p \times S/2b$  para  $Re_{2b} = 2650$  e  $7950$ , mostrados nas Figs. (2 e 3). Uma queda de pressão mínima pode ser observada em todos os casos estudados. Fazendo a comparação entre os valores obtidos para  $e = 1.0$  (tubos circulares) e  $e = 0.5$  (tubos elípticos), os elípticos apresentam uma queda de pressão de aproximadamente em 8% menor do que os valores obtidos com os circulares.

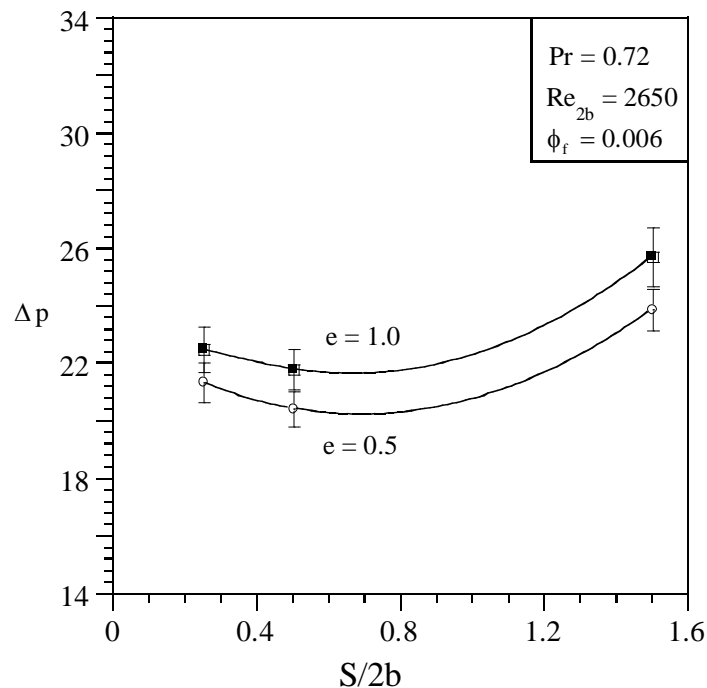
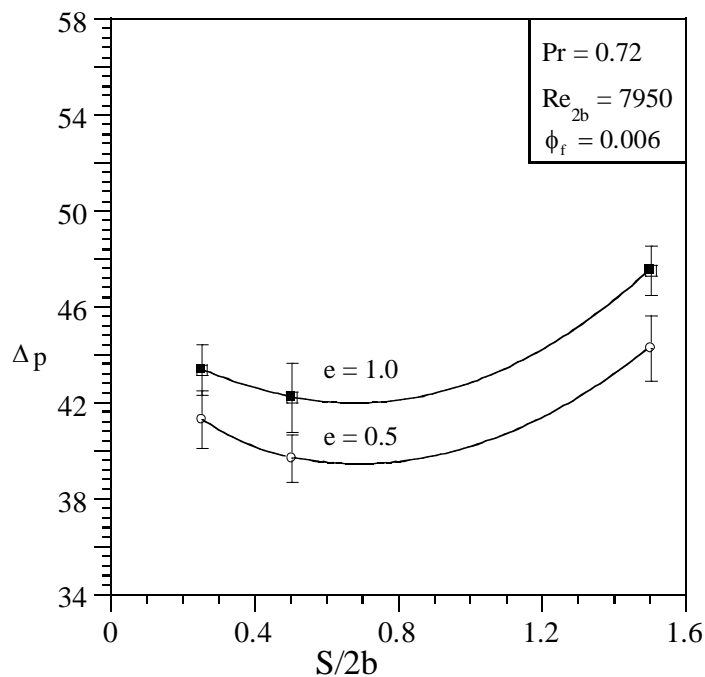
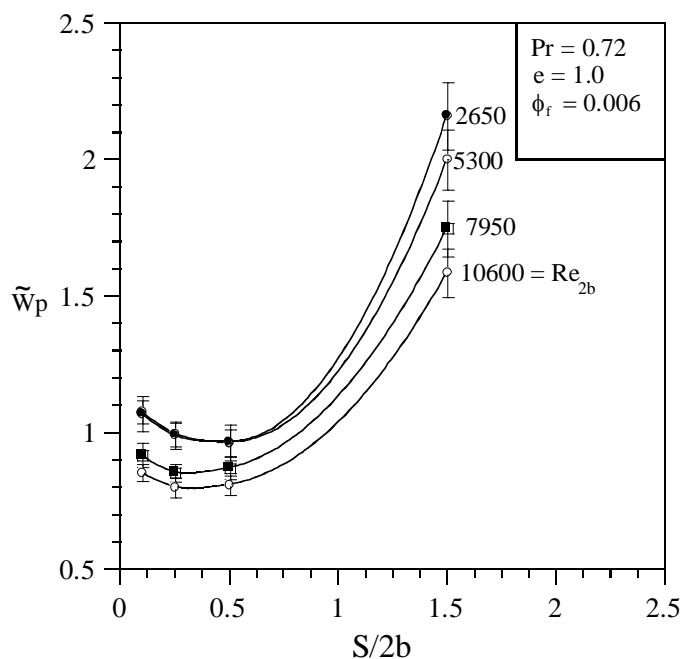


Figura 2. Resultados experimentais de otimização para arranjos aletados com relação a queda de pressão ( $Re_{2b} = 2650$ ).



**Figura 3. Resultados experimentais de otimização para arranjos aletados com relação a queda de pressão ( $Re_{2b} = 7950$ ).**

Este trabalho apresenta resultados da otimização experimental para uma faixa de altos números de Reynolds, i. e.,  $Re_{2b} = 2650, 5300, 7950$  e  $10600$ . O primeiro passo para o procedimento da otimização com dois graus de liberdade está documentado pelas Figs. (4 - 6) as quais mostram a otimização experimental para os espaçamentos entre tubos,  $S/2b = 1.5, 0.6$  e  $0.5$  para  $e = 1.0, 0.6$  e  $0.5$ , respectivamente, para arranjos de tubos aletados com densidade de aletas de ( $\phi_f = 0.006$ ). Os resultados indicam ótimos bem definidos para todas as excentricidades com relação a  $S/2b$ . Este fenômeno é fisicamente esperado baseando-se no fato que a potência de bombeamento decresce porque a formação de vórtices nos tubos elípticos é menor que a formação de vórtice nos tubos circulares.



**Figura 4. Resultados experimentais do primeiro modo de otimização para arranjos aletados com relação ao espaçamento entre tubos ( $e = 1.0$ ).**

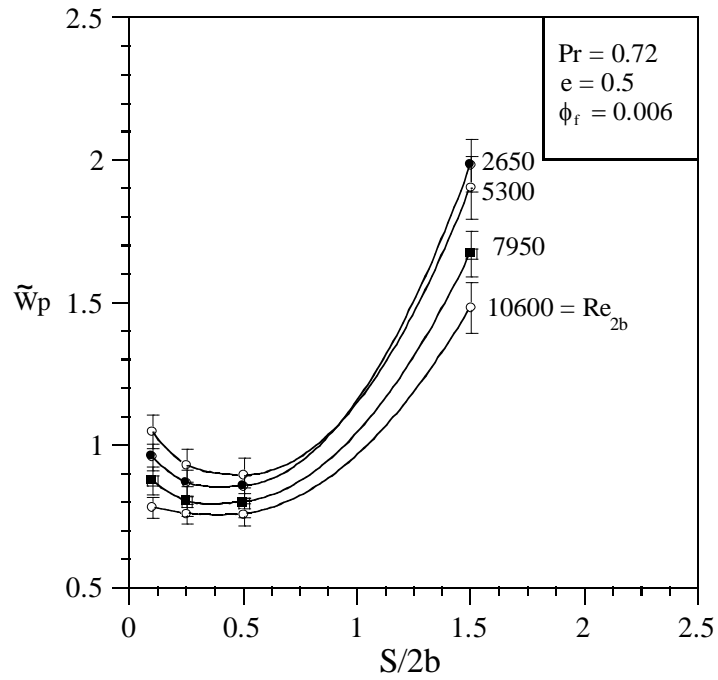


Figura 5. Resultados experimentais do primeiro modo de otimização para arranjos aletados com relação ao espaçamento entre tubos ( $e=0.5$ ).

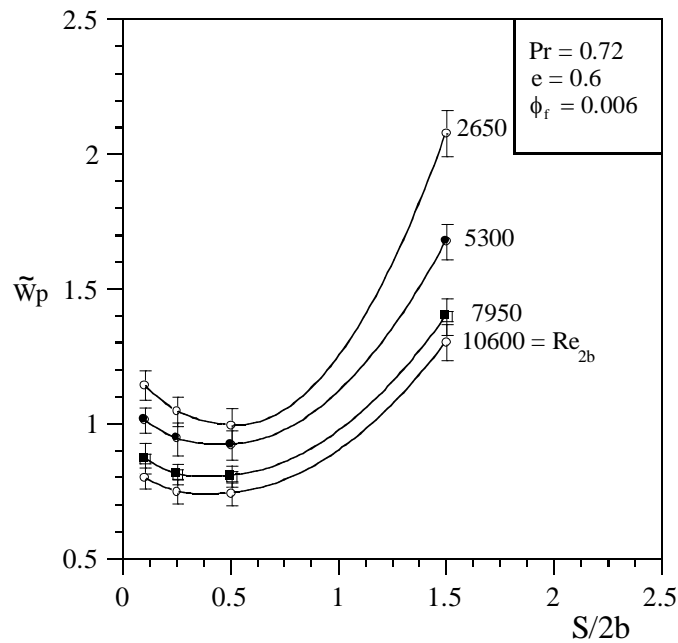
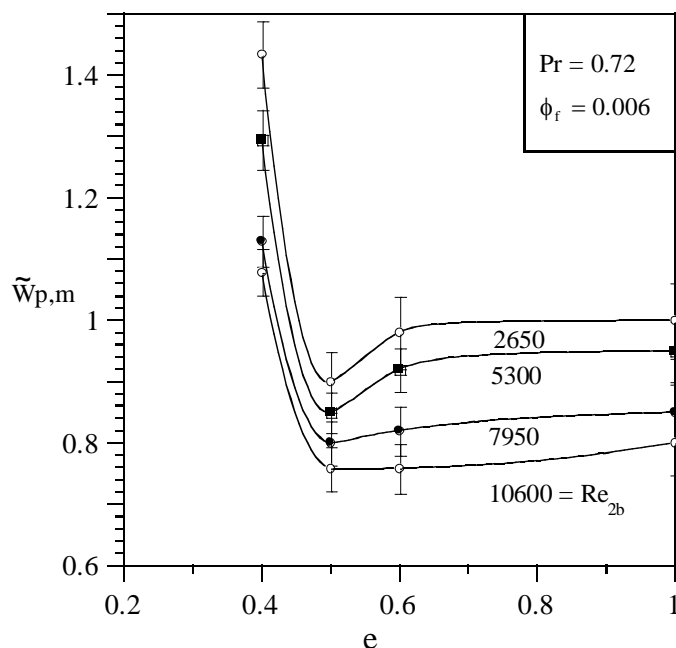


Figura 6. Resultados experimentais do primeiro modo de otimização para arranjos aletados com relação ao espaçamento entre tubos ( $e=0.6$ ).

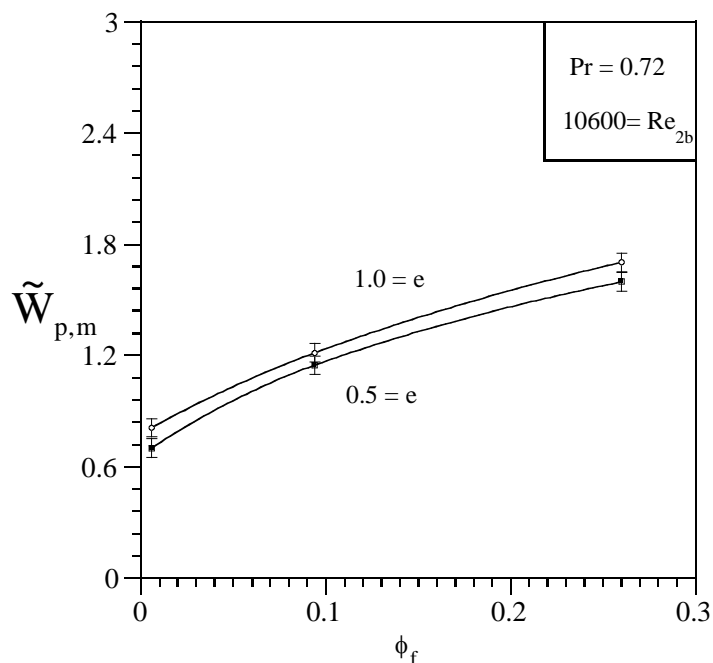
Os experimentos mostraram um par ótimo  $(S/2b, e)_{\text{ót}} \cong (0.5, 0.5)$  para  $\phi_f = 0.006$ . Então, o segundo modo de otimização resulta na Fig. (7) onde há uma indicação clara do par ótimo  $(S/2b, e)_{\text{ót}}$ . Realmente, a Fig. (7) descreve a segunda minimização,  $\tilde{W}_{p,m}$ , valores obtidos experimentalmente com dois graus de liberdade ou seja para relação,  $S/2b$  e  $e$ , para um espaçamento entre aletas fixado em  $\phi_f = 0.006$ .



**Figura 7. Resultados experimentais do segundo modo de otimização para arranjos aletados com relação ao espaçamento entre tubos e a excentricidade.**

A comparação entre a potência de bombeamento requerida para os arranjos com tubos elípticos e circulares foi o objetivo do presente trabalho, com as perdas de carga sendo medidas em todos os ensaios. Uma redução da potência de bombeamento de aproximadamente 8% foi observada no arranjo elíptico otimizado com dois graus de liberdade em comparação com a do arranjo circular otimizado (i. e., com relação ao espaçamentos entre tubos e a excentricidade) para o ensaio feito com o maior número de Reynolds testado neste trabalho, i. e.,  $Re_{2b} = 10600$ . As medidas são consistentes com resultados previamente reportados para arranjos elípticos similares (Bordalo e Saboya, 1999).

A Figura 8 mostra os resultados da otimização global com respeito aos três graus de liberdade  $S/2b$ ,  $e$ , e  $\phi_f$  obtidos após executar os três passos do procedimento de minimização, neste caso a Fig. (8) mostra que é impossível um ótimo, mas os valores de  $\tilde{W}_{p,m}$  com o arranjo de tubos elípticos consome menos potência do que o arranjo com tubos circulares.



**Figura 8. Comparação de resultados experimentais de otimização para arranjos circulares e elípticos aletados com relação ao espaçamento entre aletas.**

A Figura 9 mostra com símbolos quadrados, pontos determinados experimentalmente para  $\tilde{W}_{p,m}$  através de parâmetros projetados dos arranjos, perdas de carga medidas e calculadas pela Eq. (4). Pode ser observado que a tendência de  $\tilde{W}_{p,m}$  com relação ao  $Re_{2b}$  dentro do intervalo  $2650 \leq Re_{2b} \leq 10600$  é bem aproximada.

Podemos propor uma correlação para estimar a potencia de bombeamento, maximizada com dois graus de liberdade e esperada para qualquer tipo de arranjo estudado neste trabalho para  $2650 \leq Re_{2b} \leq 10600$ :

$$\tilde{W}_{p,m} = 0,9 + 0,4151 \times 10^{-6} Re_{2b} + 2,136 \times 10^{-9} Re_{2b}^2 \quad R = 0,9926 \quad (6)$$

onde R é o coeficiente de correlação estatístico.

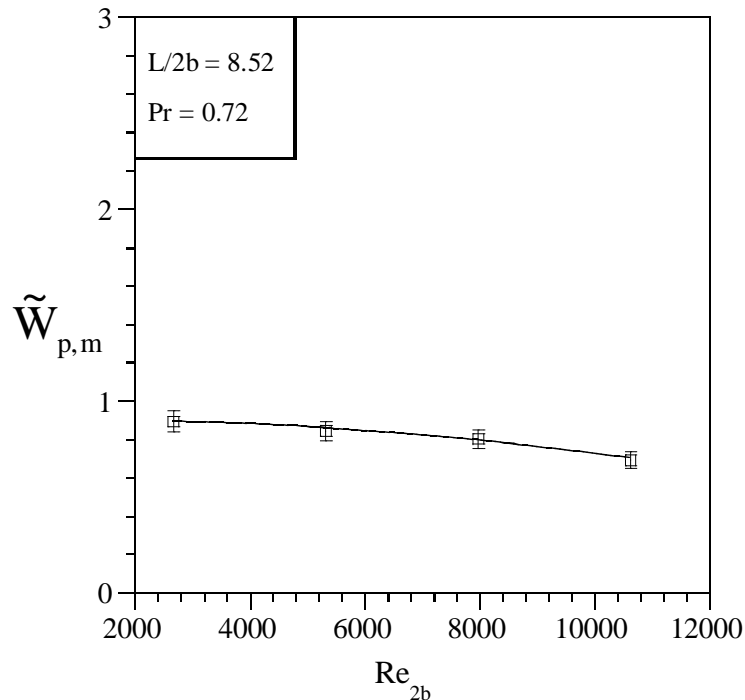


Figura 9. Taxa de potência de bombeamento adimensional minimizada com três graus de liberdade, em relação ao  $Re_{2b}$ .

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, um estudo teórico e experimental foi conduzido para demonstrar que trocadores de calor de tubos alternados circulares e elípticos aletados podem ser otimizados para mínima potência de bombeamento, sob uma mesma restrição de volume fixo. Diversos arranjos foram construídos no laboratório e muitos testes foram conduzidos em um túnel de vento em convecção forçada turbulenta. A estrutura geométrica interna dos arranjos foi otimizada para a mínima potência de bombeamento. Um desempenho global melhor é conseguido quando a resistência do fluxo é minimizada e a transferência de calor maximizada juntas, isto é, quando a imperfeição está distribuída no espaço otimamente. A distribuição ótima da imperfeição representa a arquitetura do fluxo, ou o projeto “constructal” (Bejan, 2000).

Os resultados foram apresentados adimensionalmente para permitir a aplicação geral aos trocadores de calor do tipo tratado neste trabalho. Um critério de comparação foi adotado em estudos prévios (Bordalo e Saboya, 1999; Saboya e Saboya, 2001; Rosman et al, 1984; Matos et al, 2001 e 2004), isto é, estabelecendo a mesma velocidade de entrada e a mesma obstrução da seção transversal para os arranjos com tubos circulares e elípticos, para compará-los na base da mínima potência de bombeamento ao fluxo da maneira mais isolada possível. As perdas de carga foram também medidas e os resultados estão de acordo com os resultados publicados anteriormente (Bordalo e Saboya 1999).

As conclusões chaves para este trabalho estão listadas como segue:

1. Um ótimo para os parâmetros geométricos foi determinado experimentalmente tal que  $\tilde{W}_p$  foi minimizada duas vezes, isto é,  $(S/2b, e)_{ót} \cong (0.5, 0.5)$ , onde a potência de bombeamento adimensional minimizada foi obtida;
2. O arranjo elíptico otimizado duas vezes exhibe uma redução da potência de bombeamento em aproximadamente 8% com relação ao ótimo para o arranjo com tubos circulares otimizado duas vezes.



Com estes valores obtidos para o arranjo elíptico ótimo, em comparação ao arranjo circular ótimo, verifica-se a grande vantagem da utilização de equipamentos utilizando tubos de seção transversal elíptica.

Espera-se que tais configurações globalmente otimizadas sejam de grande valia para indústria na execução de projeto de engenharia de trocadores de calor e para geração de estruturas ótimas de fluxo em geral.

## 6. REFERÊNCIAS

- Bejan, A., 2000, *Shape and Structure, from Engineering to Nature*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Brauer, H., 1964, "Compact Heat Exchangers," *Chem. Process Eng.* August, pp. 451-460.
- Bordalo, S. N., and Saboya, F. E. M., 1999, "Pressure Drop Coefficients for Elliptic and Circular Sections in One, Two and Three-Row Arrangements of Plate Fin and Tube Heat Exchangers," *J. Braz. Soc. Mech. Sci.*, XXI (4) pp. 600-610.
- Thermal Engineering, vol. 25, pp. 2421-2431.
- Elsayed, A. O., Ibrahim, E. Z., and Elsayed, S. A., 2003, "Free Convection from a Constant Heat Flux Elliptic Tube," *Energy Conversion Management*, 44(15), pp. 2445-2453.
- Elshazly, K., Moawed, M., Ibrahim, E., and Emara, M., 2005, "Heat Transfer by Free Convection from the Inside Surface of the Vertical and Inclined Elliptic Tube," *Energy Conversion Management*, 46(9-10), pp. 1443-1463.
- Erek, A.; Ozderdem, B.; Bilir, L.; Ilken, Z., 2005, "Effect of Parameters on Heat exchangers," *Applied Thermal Engineering*, vol. 25, pp. 2421-2431.
- Hasan, A., 2005, "Thermal-Hydraulic Performance of Oval in Cross-Flow of Air," *Springer-Verlag Gmbh*, vol. 41, pp. 724-733.
- Khan, M. G., Fartaj, A., and Ting, D. S. K., 2004, "An Experimental Characterization of Cross-Flow Cooling of Air via an In-Line Elliptical Tube Array," *Int. J. Heat Fluid Flow*, 25(4), pp. 636-648.
- Kundu, B., Maiti, B., and Das, P. K., 2006, "Performance Analysis of Plate Fins Circumscribing Elliptic Tubes," *Heat Transfer Engineering*, 27(3), pp. 86-94.
- Min, J. C., and Webb, R. L., 2004, "Numerical Analyses of Effects of Tube Shape on Performance of a Finned Tube Heat Exchanger," *J. Enhanced Heat Transfer*, 11(1), pp. 61-73.
- Stanescu, G., Fowler, A. J., and Bejan, A., 1996, "The Optimal Spacing of Cylinders in Free-Stream Cross-Flow Forced Convection," *Int. J. Heat Mass Transfer*, 39(2), pp. 311-317.
- Matos, R. S., Vargas, J. V. C., Laursen, T. A., and Saboya, F. E. M., 2001, "Optimization Study and Heat Transfer Comparison of Staggered Circular and Elliptic Tubes in Forced Convection," *Int. J. Heat Mass Transfer*, 44(20), pp. 3953-3961.
- Matos, R. S., Laursen, T. A., Vargas, J. V. C., and Bejan, A., 2004, "Three-Dimensional Optimization of Staggered Finned Circular and Elliptic Tubes in Forced Convection," *Int. J. Thermal Sciences*, 43(5), pp. 477-487.
- Rocha, L. A. O., Saboya, F. E. M., and Vargas, J. V. C., 1997, "A Comparative Study of Elliptical and Circular Sections in One and Two-Row Tubes and Plate Fin Heat Exchangers," *Int. J. Heat Fluid Flow*, 18(2), pp. 247-252.
- Rosman, E. C., Carajilescov, P., and Saboya, F. E. M., 1984, "Performance of One and Two-Row Tube and Plate Fin Heat Exchangers," *J. Heat Transfer*, 106(3), pp. 627-632.
- Saboya, S. M., and Saboya, F. E. M., 2001, "Experiments on Elliptic Sections in One and Two-Row Arrangements of Plate Fin and Tube Heat Exchangers," *Experimental Thermal and Fluid Science*, 24(1-2), pp. 67-75.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

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

# EXPERIMENTAL STUDY OF COMPARISON OF PRESSURE DROPS BETWEEN FINNED CIRCULAR AND ELLIPTIC TUBES IN HEAT EXCHANGERS IN THE TURBULENT REGIME.

Rudmar Serafim Matos, [rudmar@demec.ufpr.br](mailto:rudmar@demec.ufpr.br)<sup>1</sup>

José Viriato Coelho Vargas, [jvargas@demec.ufpr.br](mailto:jvargas@demec.ufpr.br)<sup>1</sup>

Marcos Antonio Rossetim, [mrossetim@hotmail.com](mailto:mrossetim@hotmail.com)<sup>1</sup>

Roque Luis Sutil Mainardes, [roque@ufpr.br](mailto:roque@ufpr.br)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PGMEC, Universidade Federal do Paraná, C.P. 19011, Curitiba, PR 81531-990, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, DEMEC, Universidade Federal do Paraná, C.P. 19011, Curitiba, PR 81531-990, Brasil

**Abstract:** *This work presents an experimental geometric optimization study to minimize the pumping power of the fan between a bundle of finned tubes in a given volume and a given external flow both for circular and elliptic arrangements, for general staggered configurations. The optimization procedure started by establishing a fixed volume constraint to account for the design limited space availability. The results are reported for air as the external fluid, in the range of Reynolds number from 2650 to 10600 based on the smaller ellipse axis. Circular and elliptic arrangements with the same air input velocity and flow obstruction cross-sectional area were compared on the basis of minimum pumping power of the fan.. Experimental optimization results for finned circular and elliptic tubes arrangements are presented. In the case of the pressure drop there is a clear minimal pressure drop that in comparison with values obtained for  $e = 1.0$  (circular tubes) and elliptical ( $e = 0.5$ ) with the relative pumping power reduction of up to 8% observed in all cases studied, optimized with respect to two degrees of freedom.*

**Keyword:** *Heat Transfer, Pressure Drop, Optimization of Project Parameters*