

A COMPUTAÇÃO COMO RECURSO DIDÁTICO NO ESTUDO DA DISSIPACÃO DE CALOR POR ALETAS

José Carlos Silva*

SILVA, José Carlos. A Computação como recurso didático no estudo da dissipação de calor por aletas. *Rev. Ensino Eng.*, São Paulo, 3(2):89-94, 2.º sem. 1984.

Um programa de computador dimensiona, alternativamente, "n" conjuntos de aletas retangulares e anulares, para atuarem como extensão da superfície lateral de um cilindro, em cujo interior ocorre um processo com geração de calor. Para cada conjunto de dados inicialmente estabelecidos, o relatório de saída apresenta "n" soluções, correspondentes a um abaixamento de temperatura da parede, para "n" valores de eficiência das aletas. A facilidade de manipulação das variáveis no programa possibilita a proposição de um conjunto de dados para cada aluno e a antecipação da análise dos resultados, com evidentes vantagens de cunho didático.

Aletas. Dissipação de calor.

SILVA, José Carlos. Computation as a didactic tool in the study of the heat dissipation through fins. *Rev. Ensino Eng.*, São Paulo, 3(2):89-94, 2.º sem. 1984.

A computer programme gives the design parameters of "n" rectangular and anular fins that work as an extension of the lateral surface of a cilinder in which there is a heat generation process. For each entry data "n" solutions are produced corresponding to the temperature decreasing of the wall, for the "n" values of the fins efficiency. As the variables are eazily manipulated in the computer programme it gives us the possibility of proposing different data sets for each student with obvious didactical advantages.

Fins. Heat dissipation.

1 INTRODUÇÃO

Um programa de computador, previamente elaborado para solucionar um problema de engenharia proposto em sala de aula, viabiliza a individualização dos dados de cada aluno, que será obrigado a efetuar os seus próprios cálculos. Além disso, o problema pode ser formulado e os conjuntos de dados organizados, de modo a possibilitar ou mesmo induzir comparações dos resultados.

Este artigo apresenta uma experiência deste tipo, na qual um cilindro metálico, em cujo interior ocorre um processo termodinâmico com geração de calor a nível constante, deve ser aletado para abaixamento da temperatura em sua parede lateral externa. O programa dimensiona, alternativamente, n conjuntos de aletas retangulares e anulares capazes de dissipar o calor originário do núcleo do cilindro, de modo a manter a temperatura da parede lateral com o valor desejado. As soluções são múltiplas (n) para cada caso, porque cada solução se refere a um valor tomado para a eficiência da aleta, tendo-se, evidentemente, tomado n valores da eficiência.

O programa desenvolve soluções inteiramente teóricas e analíticas, pelo uso de equações algébricas provenientes das equações gerais da transferência de calor.

Além de fornecer as dimensões das aletas e o número delas — para os tipos retangular e anular — o relatório do programa ainda apresenta a relação entre as áreas das superfícies das aletas retangulares e anulares para cada caso.

* Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFU. Curso de Pós-Graduação em Hidráulica e Recursos Hídricos pela EESC/USP.

2 ENUNCIADO DO PROBLEMA

Um cilindro metálico com as dimensões mostradas na Figura 1, isolado termicamente nas extremidades, dissipa calor lateralmente, em virtude de um processo termodinâmico que ocorre no seu interior. A fonte que alimenta este processo tem potência constante. Determine as dimensões e a quantidade de aletas, respectivamente, retangulares e anulares necessária para manter a superfície lateral do cilindro à uma temperatura de $T^\circ\text{C}$. Calcule também a relação entre as áreas das superfícies das aletas retangulares e anulares, interpretando o resultado obtido.

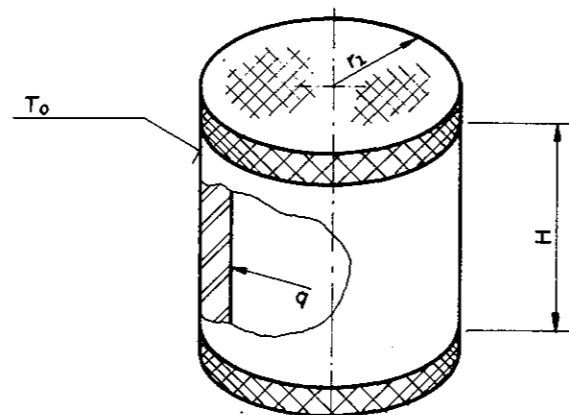


Figura 1 - Cilindro com geração interna de calor.

Dados: Condutividade térmica do cilindro (k); valor médio do coeficiente de transferência de calor por convecção no contorno do cilindro (\bar{h}); temperatura da parede do cilindro, sem aletas (T_0); temperatura da parede do cilindro, com aletas (T_a); temperatura do meio circundante (T_{∞}); diâmetro do cilindro (D_1); comprimento do cilindro (H); espessura das aletas retangulares (t_r); espessura das aletas anulares (t_a) e eficiência das aletas (η).

Incógnitas: (ver Figuras 2a e 2b) Comprimento da aleta retangular (L); raio externo da aleta anular (r_2); número de aletas retangulares (n_r); número de aletas anulares (n_a); relação entre as áreas das aletas (β) e relação entre os volumes das aletas (γ).

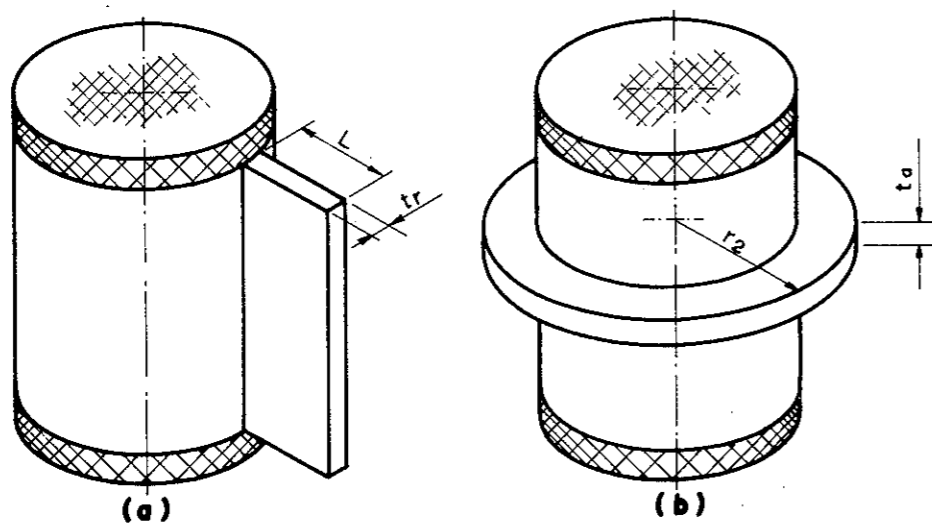


Figura 2 - Detalhes das aletas retangulares e anulares.

3 SOLUÇÃO PARA ALETAS RETANGULARES

Não é intenção estender-se no dimensionamento de aletas, nem demonstrá-lo matematicamente, mas sim apresentar as equações utilizadas no programa de computador. Essas equações do dimensionamento tiveram origem nas equações gerais da condução e da convecção de calor, sendo completadas por equações subsidiárias, como se mostra resumidamente a seguir.

A equação geral da condução de calor para aletas retangulares é dada por:

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - m^2\theta = 0 \quad (1)$$

onde:

$$\theta = T - T_{\infty};$$

$T = T(x)$ = temperatura da aleta;

x = distância tomada no comprimento (L) da aleta, a partir da base da mesma;

T_{∞} = temperatura do meio envolvente não afetado pelo sistema.

O parâmetro " m " é definido por:

$$m = \sqrt{\frac{\bar{h}P}{kA}} = \sqrt{\frac{2\bar{h}}{kt_r}}, \text{ para } t_r \ll H \quad (2)$$

onde:

\bar{h} = coeficiente médio de transferência de calor por convecção na camada limite que envolve o sistema;

k = condutibilidade térmica do material da aleta e do cilindro;

P = perímetro do retângulo que define a seção reta da aleta, normal ao fluxo de calor;

A = área da seção transversal da aleta, normal ao fluxo condutivo de calor (suposição de sistema unidimensional).

A solução da eq. dif. (1) é:

$$C_1 \cdot \exp(mx) + C_2 \cdot \exp(-mx) = \theta \quad (3)$$

Sejam as seguintes condições de contorno: aleta de comprimento finito; seção " A " delgada; fluxo de calor desprezível na extremidade livre da aleta. A eq. (3) torna-se:

$$\theta = \theta_b \cdot \left[\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL} \right] \quad (4)$$

onde:

$$\theta_b = T_b - T_{\infty};$$

T_b = temperatura na base da aleta;

L = comprimento da aleta.

Levando a equação (4) na lei de Fourier aplicada em $x = 0$, $q = -KA \frac{d\theta}{dx} \Big|_{x=0}$, obtém-se:

$$q = \sqrt{\bar{h}PKA} \theta_b \operatorname{tgh} mL \quad (5)$$

onde:

q = taxa de fluxo de calor dissipado pelo sistema.

A eficiência da aleta é definida por:

$$\eta = \frac{q}{q_i} \quad (6)$$

onde:

q_i = fluxo de calor ideal, se a aleta toda tivesse a temperatura da base.

Tem-se, portanto, para a eficiência da aleta:

$$\eta = \frac{\operatorname{tgh} mL_c}{mL_c} \quad (7)$$

onde:

$L_c = L + \frac{t}{2}$. O comprimento da aleta foi substituído por um "comprimento corrigido" (L_c) como forma de compensar a simplificação feita anteriormente, pela qual desprezou-se o fluxo de calor na extremidade da aleta.

Substituindo a eq. (2) na eq. (7), obtém-se:

$$\eta L_c \left(\frac{2\bar{h}}{kt_r} \right)^{1/2} - \text{tgh} \left[L_c \left(\frac{2\bar{h}}{kt_r} \right)^{1/2} \right] = 0 \quad (8)$$

A eq. (8) integra o programa de computador, sendo solucionada em relação à grandeza " L_c ". Deste modo é obtido o comprimento " L " da aleta retangular.

A transparência de calor de uma superfície estendida por aletas é dada por:

$$q = \bar{h} (A_{pa} + \eta A_{al}) \theta_b \quad (9)$$

onde:

q = fluxo de calor dissipado;

A_{pa} = área da superfície lateral livre do cilindro;

A_{al} = área da superfície da aleta que dissipa calor.

De acordo com a Fig. 2.a., tem-se:

$$A_{pa} = H(2\pi r_1 - n_r t_r) \quad e \quad (10)$$

$$A_{al} = n_r (2L + t_r) H; \quad (11)$$

onde:

n_r = número de aletas retangulares.

Substituindo as eq. (10) e (11) na eq. (9), resulta:

$$n_r = \frac{q - 2\pi r_1 H \bar{h} \theta_b}{H \bar{h} \theta_b [(2L + t_r) \eta - t_r]} \quad (12)$$

A eq. (12) também integra o programa de computador e determina a quantidade de aletas retangulares.

4 SOLUÇÃO PARA ALETAS ANULARES

Adotando-se procedimento análogo, obtém-se as seguintes equações:

$$\bar{h} \eta (r_2^2 - r_1^2) - k m r_1 t_a \frac{K_1(m r_1) I_1(m r_2) - I_1(m r_1) K_1(m r_2)}{K_0(m r_1) I_1(m r_2) + I_0(m r_1) K_1(m r_2)} = 0 \quad e \quad (13)$$

$$n_a = \frac{q - 2\pi r_1 H \bar{h} \theta_b}{2\pi \bar{h} \theta_b [\eta (r_2^2 - r_1^2) - r_1 t_a]} \quad (14)$$

onde:

K_0 , K_1 , I_0 e I_1 representam funções de Bessel.

Estas duas equações também integram o programa.

5 RELAÇÃO ENTRE AS ÁREAS DAS SUPERFÍCIES DAS ALETAS RETANGULARES E ANULARES E ENTRE OS SEUS VOLUMES.

As equações que fornecem as relações entre as áreas das superfícies e entre os volumes das aletas retangulares e anulares são as seguintes:

$$\beta = \frac{\Sigma A_r}{\Sigma A_a} = \frac{H n_r (2L + t_r)}{2\pi n_a [r_2(r_2 + t_2) - r_1^2]} \quad (15)$$

$$\gamma = \frac{\Sigma V_r}{\Sigma V_a} = \frac{n_r L H t_r}{\pi n_a (r_2^2 - r_1^2) t_a} \quad (16)$$

Para diversas situações experimentadas, respeitantes ao problema enunciado no cap. 2, o programa apresentou valores de β e γ muito próximos de 1.

6 RELAÇÃO ENTRE A EFICIÊNCIA DAS ALETAS E A ÁREA DE SUA SUPERFÍCIE TOTAL

Solucionou-se repetidas vezes o mesmo problema, para os mesmos valores dos dados, porém, com a eficiência das aletas assumindo valores discretos de 5 a 95%. Os resultados revelaram a relação entre a eficiência das aletas e a área de sua superfície total, representada no gráfico da Figura 3.

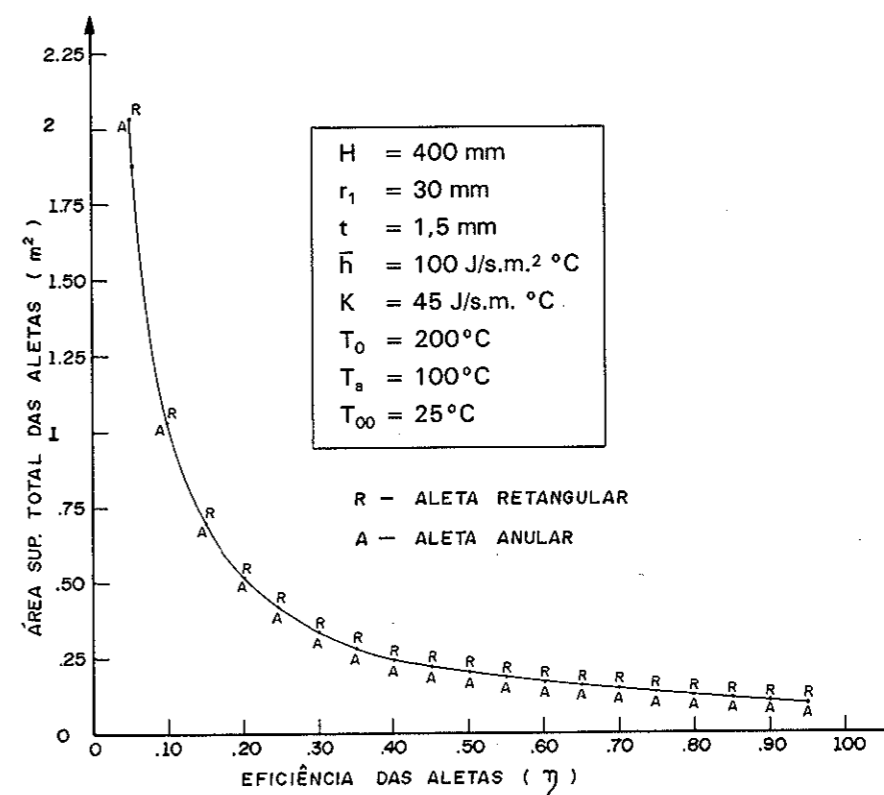


Figura 3 - Relação entre a eficiência das aletas e a área de sua superfície total. A curva vale para aletas retangulares e anulares.

7 FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DA SOLUÇÃO

O fluxograma da Figura 4 mostra as principais fases do programa de computador para o cálculo do número de aletas e suas dimensões.

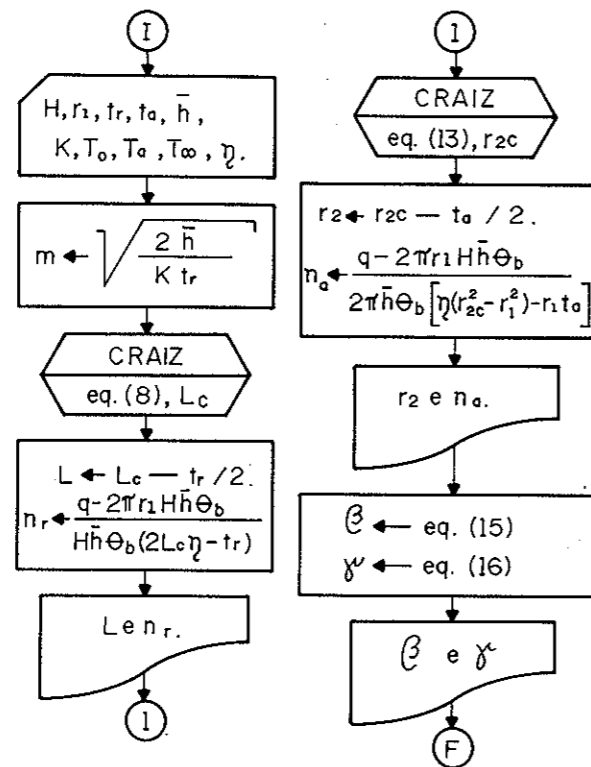


Figura 4 - Fluxograma simplificado da solução.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O programa ora exposto está sendo utilizado com êxito na disciplina Fenômenos de Transporte 1, do curso de engenharia mecânica da UFU. O mesmo tem apresentado uma grande vantagem prática, ao permitir a antecipação dos resultados do problema, cujos dados são específicos a cada aluno, por revelar a tempo a conveniência de alterar um ou outro dado, visando melhorar a qualidade dos resultados. Isto tem evitado situações nas quais o cálculo levaria a um número inconveniente de aletas.

Além disso, o aluno ao receber de volta o seu trabalho, juntamente com o relatório do computador, referente aos seus dados, pode comprovar o acerto dos seus cálculos ou constatar erros cometidos, com evidentes vantagens para o processo de ensino-aprendizagem.

O autor está à disposição de quem interessar-se na utilização do programa aqui apresentado ou quiser discutir as formas de melhorá-lo ou estendê-lo a problemas semelhantes.

AGRADECIMENTO

O autor agradece e cumprimenta o aluno monitor Cairo Lúcio Nascimento Júnior pela forma dedicada e competente com que se lançou na elaboração do programa de computador deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SISSOM, L.E.; PITTS, R.R. *Fenômenos de Transporte*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1979.
2. KREITH, F. *Princípios da Transmissão de Calor*. 3.ª ed. São Paulo, Edgard Blücher Ltda., 1977.

SISTEMAS DEMONSTRATIVOS PARA SIMULAÇÃO DE REDES ELÉTRICAS EM COMPUTADOR DIGITAL

José Luiz da Costa Peron*
Carlos Alberto Sotille*
Sérgio Tsutomu Matsuda**

PERON, José Luiz C. et alii. Sistema demonstrativo para simulação de Redes Elétricas em Computador Digital. *Rev. Ensino Eng.*, São Paulo, 3(2):95-98, 2.º sem. 1984.

O Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de Lins, desenvolveu um "Sistema Demonstrativo para Simulação de Redes Elétricas em Computador Digital", com o intuito de equipar o Laboratório de Sistemas Elétricos de Potência com recursos didáticos que facilitem as aulas sobre Fluxo de Potência e Curto Circuito. O referido Sistema Demonstrativo foi idealizado, projetado e construído por engenheiros da Escola de Engenharia de Lins, com recursos da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação, sua mantenedora. É constituído por um "Painel Mímico" onde se encontra a estrutura da rede elétrica a ser estudada, com barramentos de geração e de carga e linhas de transmissão. Para cada barramento e linha de transmissão tem-se um conjunto de "Displays" que fornece tensão, corrente ou potência. Além do painel mímico o Sistema Demonstrativo possui uma "interface" que o acopla ao Computador Cobra 530. Programas específicos para redes elétricas, processados no C-530, solicitam dados a um terminal de vídeo e enviam respostas à "interface", que aciona os "Displays" no painel.

Recurso didático: simulador. Sistema demonstrativo de redes. Ensino auxiliado por computador.

PERON, José Luiz C. et alii. Demonstrative simulation systems for Electrical Supply Systems in Digital Computer. *Rev. Ensino Eng.*, São Paulo, 3(2):95-98, 2.º sem. 1984.

The Electrical Engineering Department of Escola de Engenharia de Lins, has developed a "Demonstrative Simulation Systems for Electrical Supply Systems in Digital Computer", aiming to equip the Electrical Power Systems Laboratory with didactic resources providing facilities for classes in Power Flow and Circuit Cost. The Demonstrative System has been idealized, designed and built by Engineers of Escola de Engenharia de Lins, with resources from Fundação Paulista de Tecnologia e Educação, its maintainer. It consists of a "Mimic Panel" where the structure of the electrical systems to be studied is found with busses of generation and loads transmission lines. For each bus and transmission line there is a set of "Displays" which supplies voltage, current or power. Besides the mimic panel the Demonstrative Systems has an "interface" coupling it to a Cobra 530 Computer. Specific programs for electrical supply systems, processed on the C-530, ask data to a video terminal and send answers to an "interface", which sets in motion the "Displays" on the panel.

Didactic resources: simulation. Simulation of electrical supply systems. Computer aided instruction.

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Demonstrativo para Simulação de Redes Elétricas em Computador Digital, tem como objetivo propiciar uma visualização global e instantânea das grandezas envolvidas em uma rede elétrica, tornando-se um grande "recurso didático" nos estudos referentes à análise de redes elétricas. Foi projetado e construído pela Escola de Engenharia de Lins — Departamento de Eletricidade, com recursos próprios de sua mantenedora, a Fundação Paulista de Tecnologia e Educação. O Sistema foi elaborado para equipar o laboratório de Sistemas Elétricos de Potência, nas experiências voltadas para o estudo de fluxo de potência e curto circuito e redes elétricas, embora possa ser utilizado em outras áreas, inclusive fora da eletricidade, fazendo-se pequenas alterações.

* Professores em RTI na Escola de Engenharia de Lins. Mestres em Engenharia COPPE/UFRJ.
** Projetista de Sistemas Digitais na Escola de Engenharia de Lins. Engenheiro Eletricista.