

Henrique Cândido da Silva Ramos, Isadora pires Gomes, Juan Felipe  
Cardoso Elias, Marco Túlio Mello Silva, Maria Letícia Teodoro Reis,  
Vinícius Rocha João Pinheiro

## **EXPERIMENTO 1: Estudo do perfil de temperatura em aletas, superfícies estendidas**

Lorena, SP

2023



Henrique Cândido da Silva Ramos, Isadora pires Gomes, Juan Felipe  
Cardoso Elias, Marco Túlio Mello Silva, Maria Letícia Teodoro Reis,  
Vinícius Rocha João Pinheiro

## **EXPERIMENTO 1: Estudo do perfil de temperatura em aletas, superfícies estendidas**

Disciplina: Laboratório de Engenharia Química  
II - LOQ4061  
Turma: 20232D1  
Prof. Geronimo Virginio Tagliaferro

Universidade de São Paulo - USP  
Escola de Engenharia de Lorena

Lorena, SP  
2023

# Resumo

Tal x e y

# Lista de símbolos

§



# Sumário

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
|            | <b>Sumário</b> . . . . .   | <b>5</b>  |
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .  | <b>7</b>  |
| <b>2</b>   | <b>OBJETIVOS</b> . . . . .   | <b>9</b>  |
| <b>3</b>   | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> . . . . .                                     | <b>11</b> |
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS</b> . . . . .  | <b>15</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Determinação do coeficiente de convecção para as aletas</b> . . . . . | <b>17</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Distribuição Teórica versus Real</b> . . . . .                        | <b>18</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Taxa de transferência de calor</b> . . . . .                          | <b>18</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Eficiência de cada Aleta</b> . . . . .                                | <b>19</b> |
| <b>4.5</b> | <b>Ultima Conta, não sei oq é</b> . . . . .                              | <b>19</b> |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSÃO</b> . . . . .   | <b>21</b> |
|            | <b>Referências</b> . . . . .   | <b>23</b> |





# 1 Introdução

O estudo do comportamento térmico de superfícies estendidas, como aletas, desempenha um papel fundamental na análise e otimização de sistemas de transferência de calor. As aletas são estruturas projetadas para aumentar a taxa de transferência de calor entre um fluido e o ambiente circundante, sendo amplamente aplicadas em diversos setores da engenharia, como na refrigeração de equipamentos eletrônicos, trocadores de calor e sistemas de resfriamento industrial (INCROPERA, 2008). O perfil de temperatura em aletas é um fator crítico para entender a eficiência da dissipação de calor e a distribuição de temperaturas ao longo da superfície. A compreensão detalhada das variações de temperatura nessas estruturas é essencial para projetar aletas que maximizem a transferência de calor, minimizando as perdas energéticas e otimizando o desempenho térmico dos sistemas (INCROPERA, 2008). O presente relatório tem como objetivo avaliar o perfil de temperatura de aletas em aquecimento em função do tempo. As medições foram realizadas por um termômetro digital. Serão consideradas as seguintes variáveis nas aletas: diâmetro da aleta e propriedades do material. Além disso, serão discutidas as técnicas experimentais e numéricas empregadas para investigar o comportamento térmico das aletas e avaliar o impacto de diferentes variáveis. Ao compreendermos o perfil de temperatura em aletas, poderemos desenvolver soluções mais eficientes e sustentáveis para o controle térmico em uma ampla gama de aplicações.



## 2 Objetivos



### 3 Materiais e Métodos

Em primeiro lugar, foi analisado quais materiais constituíam as superfícies estendidas que seriam estudadas, a A era feita de alumínio e B e C de aço (Figura 1).

Posteriormente, utilizou-se o paquímetro para medir o diâmetro das aletas (Figura 2) sendo elas 9.5 mm, 15 mm 15 mm, respectivamente.

Figura 1 – Aletas A, B e C



Fonte: Tagliaferro (2021)

Figura 2 – Medição do diâmetro da aleta



Fonte: Autores

Com o auxílio de uma régua, foi possível medir a distância de cada ponto de coleta

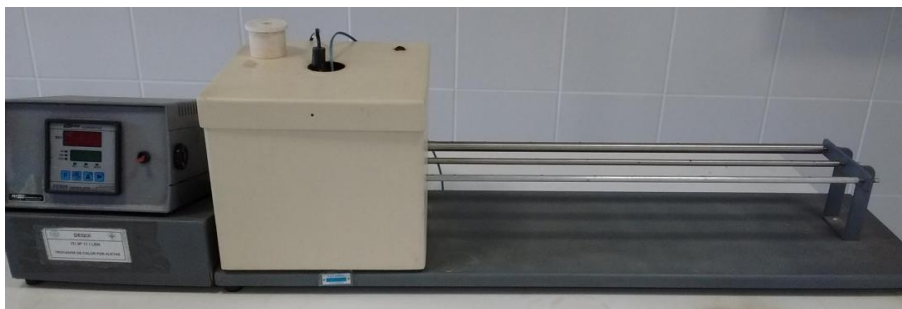
de temperatura - a temperatura foi medida a partir do termômetro (Figura 3). O equipamento utilizado no experimento (Figura 4) continha as aletas estendidas conectadas ao banho termoss-tático que transmitia calor para as mesmas. Para medir o tempo de cada intervalo de medição, utilizou-se três cronômetros para que assim a medição fosse mais fidedigna (Figura 5).

Figura 3 – Medição da temperatura



Fonte: Autores

Figura 4 – Equipamento utilizado no experimento



Fonte: Autores

Figura 5 – utilização dos Cronômetros



Fonte: Autores

Utilizando um termômetro, foi medida a temperatura inicial das aletas na posição 8 cm. Em seguida, avaliou-se a temperatura nessa posição a cada 4 minutos, para verificar o perfil de temperatura e se estão sob regime permanente de transferência de calor. Posteriormente, estimou-se a temperatura ambiente e, conseqüentemente, analisou-se outras posições das aletas para ver como se comportavam em relação à distância do ponto inicial, onde o banho termostático dissipava calor para o restante da superfície estendida. Através desses dados, determinou-se o coeficiente de convecção, taxa de transferência e eficiência de cada aleta, considerando a relação entre o material e o diâmetro de cada uma delas.





## 4 Resultados

Como primeiro passo, foi determinado a condição de contorno que seria aplicada no experimento. Foi determinado que o diâmetro de todas as aletas são mais do que 20 vezes menores que o comprimento, logo a condição de contorno aplicável é a de aleta infinita.

$$\frac{\text{Diâmetro}}{\text{Comprimento}} \geq 20 \quad (4.1)$$

$$\frac{9.5 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 10^{-2}} > 20 \implies \text{Aleta infinita} \quad (4.2)$$

$$\frac{15 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 10^{-2}} > 20 \implies \text{Aleta infinita} \quad (4.3)$$

Portanto, as condições de contorno para o experimento são as seguintes:

$$\theta(0) = T_0 \quad (4.4)$$

$$\theta(L) = 0 \quad (4.5)$$

Para os cálculos foram utilizadas as seguintes equações:

$$\frac{\theta(x)}{\theta_0} = \exp\left(-\frac{hP}{kA}x\right) \quad (4.6)$$

Onde  $\frac{\theta(x)}{\theta_0}$  é a temperatura adimensionalizada, que é dada por

$$\frac{\theta(x)}{\theta_0} = \frac{T(x) - T_\infty}{T_0 - T_\infty} \quad (4.7)$$

Onde  $T$  é a temperatura da aleta em um ponto qualquer,  $T_\infty$  é a temperatura ambiente,  $T_0$  é a temperatura na base da aleta. Como a aleta é uma em formato de pino, podemos simplificar o expoente da equação (4.6) para, pois  $P = 2\pi r$ , onde  $r$  é o raio da aleta, e  $A = \pi r^2$ , então

$$\frac{hP}{kA_{tr}} = \frac{2h}{k \cdot r} \quad (4.8)$$

Onde  $r$  é o raio da aleta.

Para o cálculo da taxa de transferência de calor, utilizou-se a seguinte equação:

$$M = -kA_{Tr} \left. \frac{d\theta}{dx} \right|_{x=0} \quad (4.9)$$

$$= \int_0^\infty hP\theta dx \quad (4.10)$$

$$M = \sqrt{hPA_{Tr}} k\theta_b \quad (4.11)$$

Onde  $M$  é a taxa de transferência de calor,  $k$  é a condutividade térmica do material,  $A_{Tr}$  é a área de transversal,  $h$  é o coeficiente de convecção,  $\theta$  é a temperatura adimensionalizada,  $P$  é o perímetro da aleta e  $\theta_b$  é a temperatura na base da aleta.

Para a eficiência da aleta, utilizou-se a seguinte equação:

$$\eta = \frac{1}{L} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{2h}{k \cdot r}}} \quad (4.12)$$

Os valores de condutividade térmica do alumínio e do aço foram retirados da tabela 1.1 do livro de Incropera (INCROPERA, 2008), e são respectivamente  $237 \frac{W}{m} \cdot K$  e  $71 \frac{W}{m} \cdot K$ . Os perímetros das aletas de diâmetro de  $9.5 \text{ mm}$  valem

$$P = \pi \cdot 9.5 \cdot 10^{-3} \quad (4.13)$$

$$= 2.984 \cdot 10^{-2} \quad (4.14)$$

Já para a aleta de  $15 \text{ mm}$  temos

$$P = \pi \cdot 15 \cdot 10^{-3} \quad (4.15)$$

$$= 4.712 \cdot 10^{-2} \quad (4.16)$$

A área de seção transversal para as aletas de  $9.5 \text{ mm}$  valem

$$A = \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 \quad (4.17)$$

$$= \pi \left( \frac{9.5 \cdot 10^{-3}}{2} \right)^2 \quad (4.18)$$

$$= 7.088 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (4.19)$$

Para a aleta de  $15 \text{ mm}$  a área fica

$$A = \pi \left( \frac{15 \cdot 10^{-3}}{2} \right)^2 = 1.7671 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (4.20)$$

Os dados coletados são apresentados a seguir

Tabela 1 – Temperatura em função do tempo

| Tempo (min) | 0       | 4       | 8       | 12      | 16      | 20       | 24      | 28      |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Aleta A     | 28.2 °C | 28.7 °C | 28.7 °C | 28.4 °C | 29.3 °C | 29.16 °C | 29.8 °C | 29.9 °C |
| Aleta B     | 24.1 °C | 24.7 °C | 24.8 °C | 25.5 °C | 25.5 °C | 26.1 °C  | 26.2 °C | 28.2 °C |
| Aleta C     | 37.4 °C | 39.3 °C | 38.7 °C | 39.1 °C | 38.4 °C | 38.5 °C  | 39.1 °C | 38.8 °C |

Fonte: Autores

Tabela 2 – Temperatura em Função da Posição

| x (cm)  | 0       | 3       | 8       | 15      | 22.5    | 37.5    | 52.5    | 60      |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Aleta A | 44.3 °C | 38.2 °C | 30.9 °C | 26.0 °C | 23.9 °C | 22.1 °C | 22.6 °C | 22.8 °C |
| Aleta B | 36.8 °C | 32.7 °C | 28.2 °C | 25.2 °C | 23.6 °C | 23.6 °C | 23.6 °C | 23.6 °C |
| Aleta C | 47.5 °C | 44.2 °C | 39.6 °C | 34.6 °C | 30.9 °C | 26.5 °C | 24.4 °C | 24.3 °C |

Fonte: Autores

É importante notar que na tabela 2, em principal na aleta C, teve ocorrência da interferência do sol que estava irradiando sobre as partes finais da mesma, fazendo com que sua temperatura saísse do padrão esperado.

## 4.1 Determinação do coeficiente de convecção para as aletas

Para o calculo da determinação do coeficiente convectivo, utilizou-se da equação (4.6). Como é necessário um ponto com temperatura conhecida, utilizou-se o ponto que dista 0.3 cm da base da aleta, para os cálculos. A temperatura da base é o primeiro ponto, que dista 0 cm e a temperatura ambiente considerada foi de 21.5° C. Isolando nossa equação em função de  $h$  temos

$$h = \left( \ln \frac{\theta_0}{\theta} \right)^2 \cdot \frac{k \cdot r}{2 \cdot x} \quad (4.21)$$

Os valores encontrados são apresentados abaixo

Tabela 3 – Valores coeficiente convectivo

| Aleta                                    | A       | B       | C      |
|--|---------|---------|--------|
| $h \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ | 28.6781 | 18.2313 | 11.755 |

Fonte: Autores

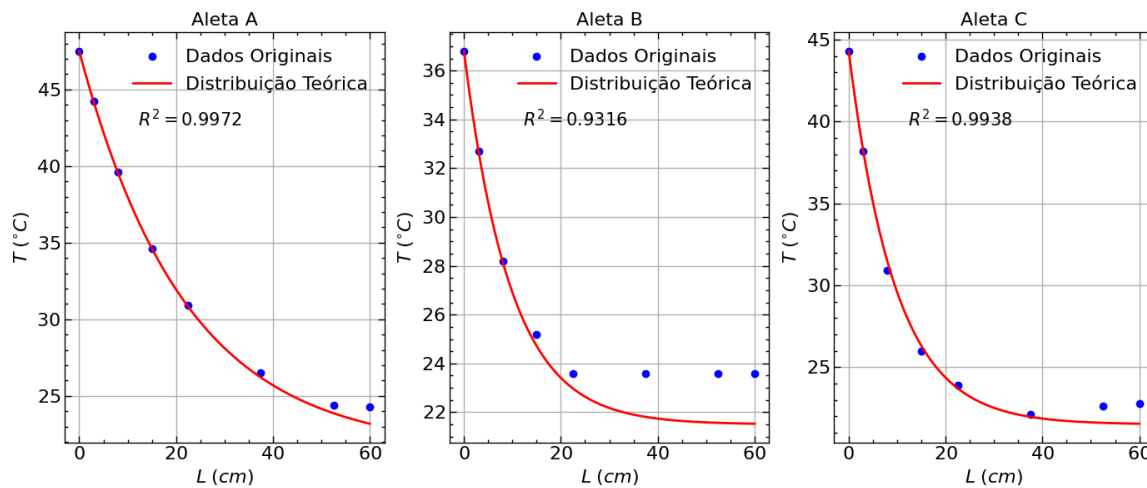
## 4.2 Distribuição Teórica versus Real

Foram realizadas as curvas das distribuições de temperatura teórica, utilizando os valores de  $h$  calculados em 4.1. Aplicando novamente na equação (4.6), substituindo os valores e isolando para a temperatura, a equação da curva fica

$$T = (T_B - T_\infty) \exp \left( -\sqrt{\frac{2h}{k \cdot r}} \cdot x \right) + T_\infty \quad (4.22)$$

Onde os devidos valores foram substituídos para cada aleta. Os gráficos são apresentados a seguir

Figura 6 – Distribuição Real x Teórica



Fonte: Autores

## 4.3 Taxa de transferência de calor

A taxa de transferência de calor foi calculada utilizando a fórmula (4.9), onde para os valores de  $\theta_0$  valem, para as aletas A, B e C respectivamente  $\theta_{0,A} = 22.8^\circ C$ ,  $\theta_{0,B} = 15.3^\circ C$  e  $\theta_{0,C} = 26^\circ C$ . A taxa de calor é mostrada abaixo

Tabela 4 – Taxa de transferência

| Aleta | A      | B      | C      |
|-------|--------|--------|--------|
| M [W] | 2.9687 | 0.8005 | 1.9958 |

Fonte: Autores

## 4.4 Eficiência de cada Aleta

A eficiência de cada aleta foi calculada pela fórmula (4.12). Os resultados são apresentados abaixo

Tabela 5 – Eficiência de cada Aleta

| Aleta  | A       | B       | C      |
|--------|---------|---------|--------|
| $\eta$ | 0.16059 | 0.16029 | 0.3655 |

Fonte: Autores

## 4.5 Ultima Conta, não sei oq é



## 5 Conclusão





# Referências

INCROPERA, F.P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. [S.l.]: LTC, 2008. ISBN 9788521615842. Citado nas pp. 7, 16.