

USP



**Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de Lorena**

**LAB. DE ENGENHARIA QUÍMICA II
LOQ4061 – Turma 20211N3 – Engenharia Química**

Apresentação 02

**EXPERIMENTO
ALETAS**

PROF. ANTONIO CARLOS DA SILVA



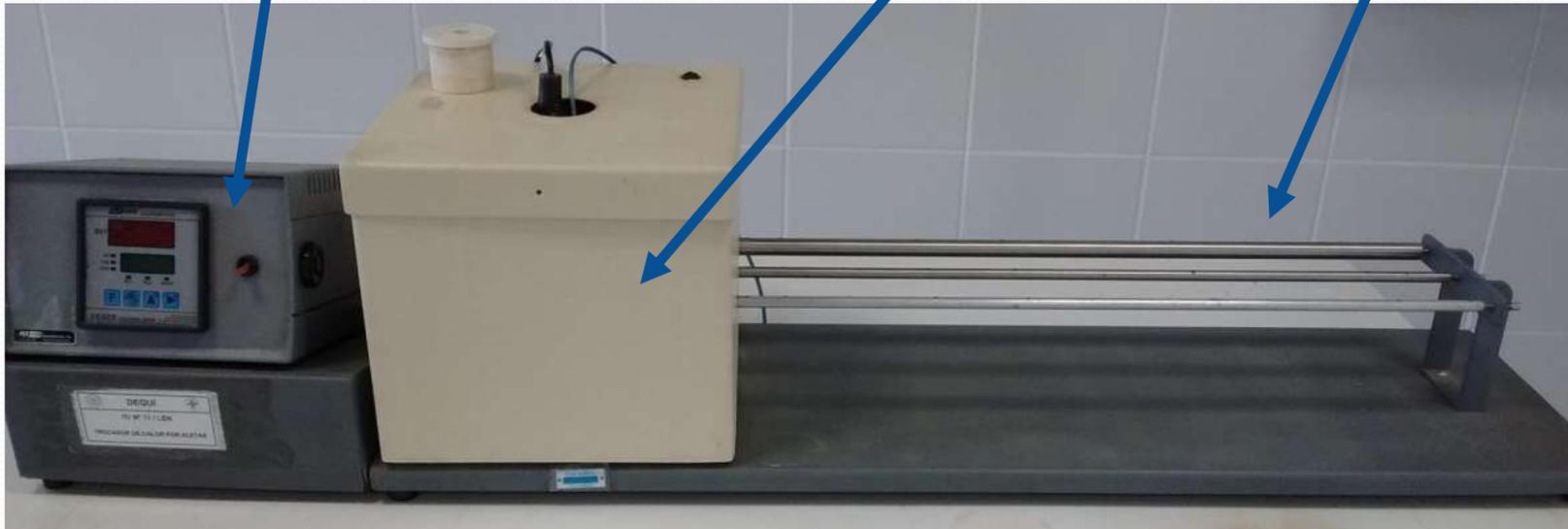
OBJETIVO DO EXPERIMENTO

Determinar experimentalmente o perfil de temperatura de Aletas em função do tempo, comparando os valores de temperatura obtidos com os teóricos

Registro da temperatura da água

Reservatório com água mantida a temperatura constante

Aletas



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - ALETAS

Aletas são superfícies metálicas estendidas, ligadas a um reservatório, para dissipação de calor.

Por condução térmica o calor do reservatório rapidamente se dissipa nas aletas. Nas superfícies das aletas o calor é transferido por convecção ao ar atmosférico.

Quando se quer resfriar ou aquecer um fluido, o modo mais frequente é fazê-lo trocar calor com outro fluido, separados ambos por uma parede sólida de resistência baixa (metal de pequena espessura).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - ALETAS

Como exemplo, apresenta-se a análise da transferência de calor entre dois fluidos separados por uma parede cilíndrica. O fluxo de calor entre eles pode ser calculado pela expressão:

$$\dot{q} = \frac{T_i - T_e}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{T_i - T_e}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{\ln(r_1/r_2)}{k \cdot 2\pi \cdot L} + \frac{1}{h_e A_e}}$$

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - ALETAS

- **Analisando-se os meios de elevar a transferência de calor através da redução das resistências térmicas:**

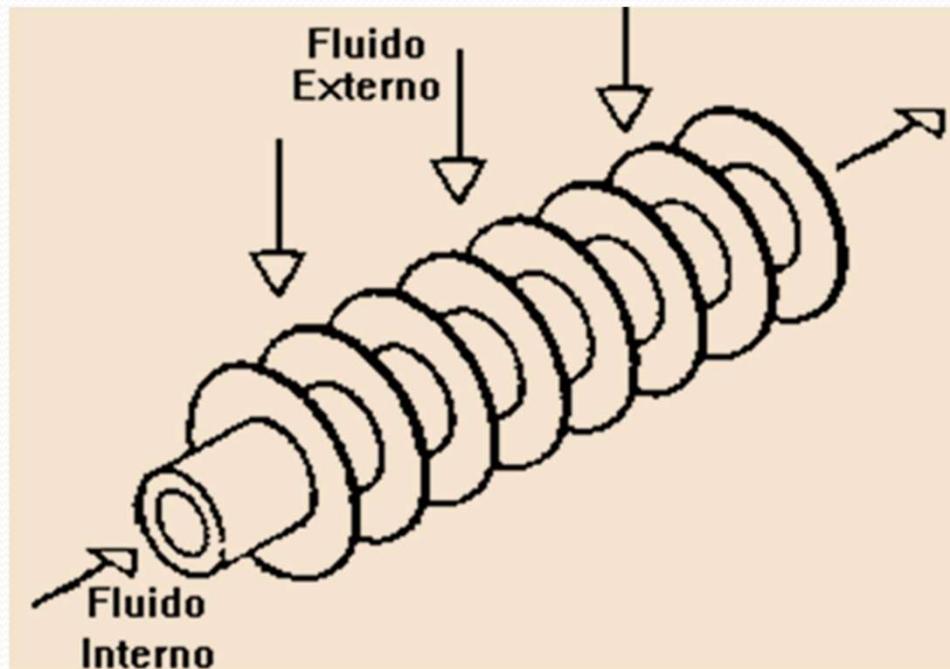
$$R_1 = \frac{1}{h_i \cdot A_i} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{aumentar } A_i \rightarrow \text{necessário mudança de dimensões} \\ \text{aumentar } h_i \rightarrow \text{necessário aumento de velocidade de escoamento} \end{array} \right.$$

$$R_2 = \frac{\ln(r_1/r_2)}{k \cdot 2 \cdot \pi \cdot L} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{reduzir } (r_1/r_2) \rightarrow \text{necessário reduzir a espessura da parede} \\ \text{aumentar } k \rightarrow \text{necessário troca do material da parede} \end{array} \right.$$

$$R_3 = \frac{1}{h_e \cdot A_e} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{aumentar } h_e \rightarrow \text{necessário aumento de velocidade de escoamento} \\ \text{aumentar } A_e \rightarrow \text{mudança de dimensões ou COLOCAÇÃO DE ALETAS} \end{array} \right.$$

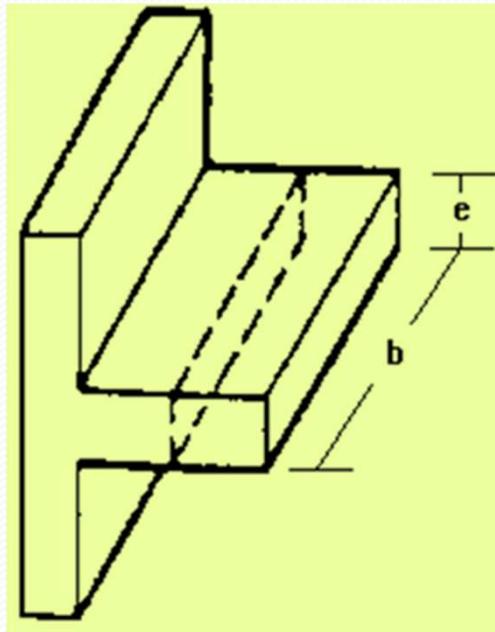
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - ALETAS

- O aumento da superfície externa de troca de calor pode ser feito através de expansões metálicas denominadas aletas, como mostra a figura:



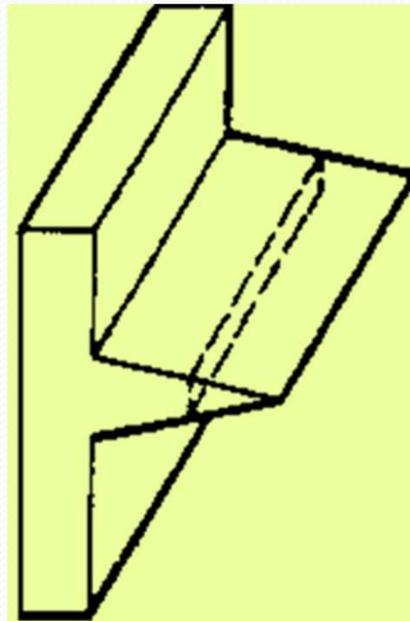
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - ALETAS

- TIPOS DE ALETAS
- *Aleta de seção retangular*



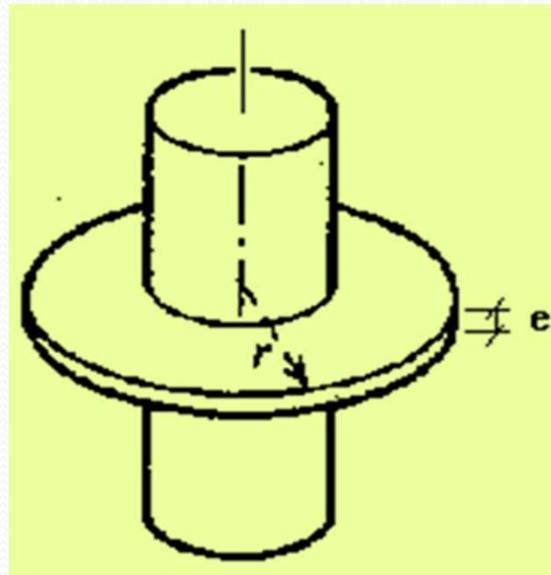
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - ALETAS

- TIPOS DE ALETAS
- *Aleta de seção não-retangular*



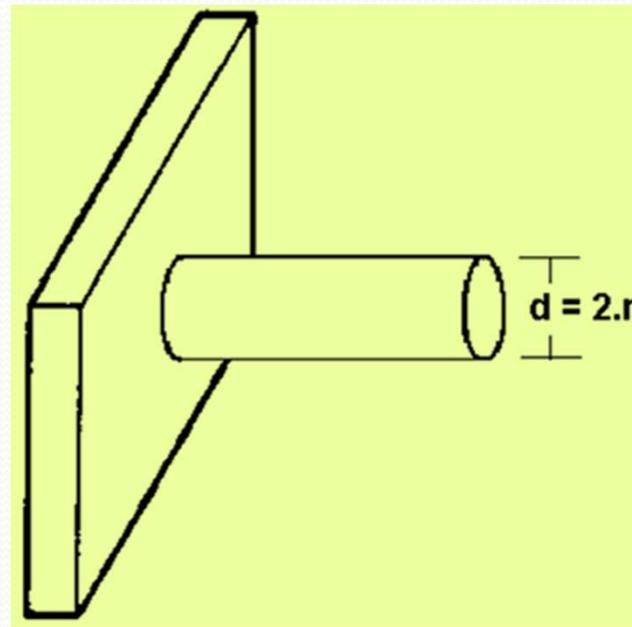
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - ALETAS

- TIPOS DE ALETAS
- *Aleta curva*



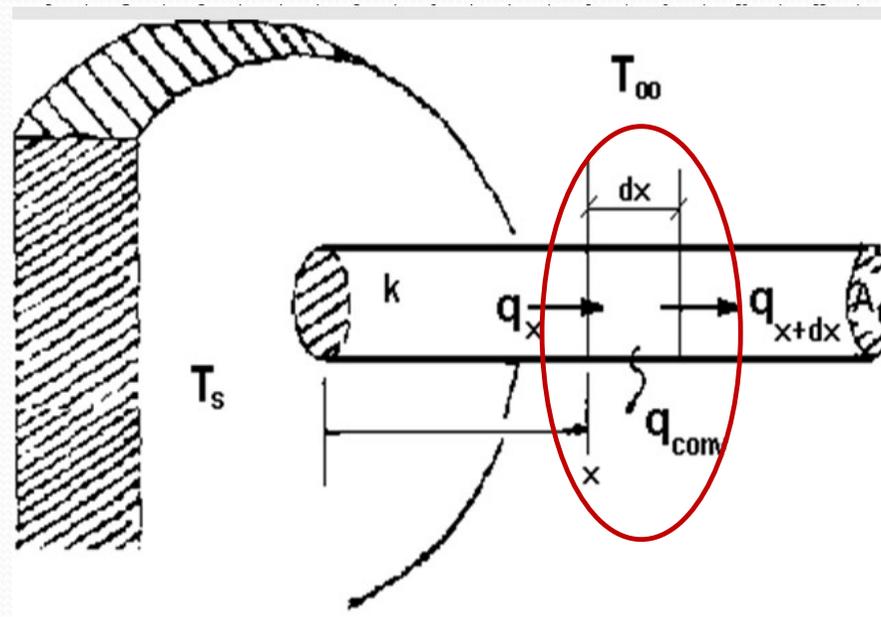
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - ALETAS

- TIPOS DE ALETAS
- *Aleta pino*



FLUXO DE CALOR EM ALETAS DE SEÇÃO UNIFORME

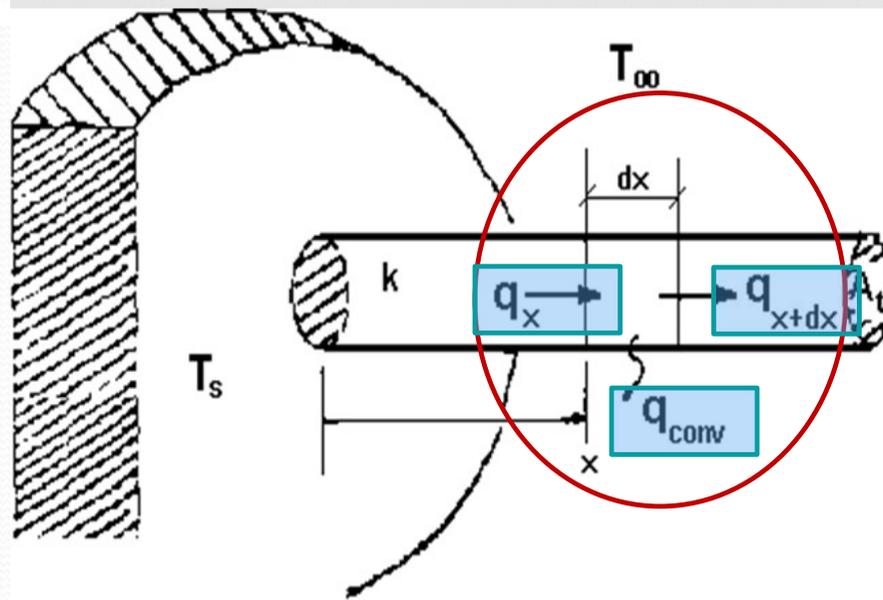
Considerando uma aleta em formato de uma barra (pino) circular, conforme figura, afixada em uma superfície com temperatura T_s e em contato com um fluido com temperatura T_∞ é possível derivar uma equação para a distribuição de temperatura, fazendo um balanço de energia em um elemento diferencial da aleta.



FLUXO DE CALOR EM ALETAS DE SEÇÃO UNIFORME

Sob as condições de regime permanente tem-se:

$$\left[\begin{array}{l} \text{fluxo de calor por condução} \\ \text{para dentro do elemento em } x \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{fluxo de calor por condução para} \\ \text{para fora do elemento em } x + dx \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{fluxo de calor por convecção} \\ \text{da superfície entre } x \text{ e } (x + dx) \end{array} \right]$$



FLUXO DE CALOR EM ALETAS DE SEÇÃO UNIFORME

Sob as condições de regime permanente tem-se:

$$\left[\begin{array}{l} \text{fluxo de calor por condução} \\ \text{para dentro do elemento em } x \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{fluxo de calor por condução para} \\ \text{para fora do elemento em } x + dx \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{fluxo de calor por convecção} \\ \text{da superfície entre } x \text{ e } (x + dx) \end{array} \right]$$

$$\dot{q}_x = \dot{q}_{x+dx} + \dot{q}_{conv}$$

$$-k.A_t \cdot \frac{dT}{dx} = \left[-k.A_t \cdot \frac{dT}{dx} + \frac{d}{dx} \left(-k.A_t \cdot \frac{dT}{dx} \right) dx \right] + h.(P.dx)(T - T_\infty)$$

P é o perímetro da aleta, **At** é a área da seção transversal da aleta e **(P.dx)** a área entre as seções **x** e **(x+dx)** em contato com o fluido. Se **h** e **k** podem ser considerados constantes a equação pode ser simplificada para :

FLUXO DE CALOR EM ALETAS DE SEÇÃO UNIFORME

$$h.P.dx.(T - T_{\infty}) = \frac{d}{dx} \left(-k.A_t \cdot \frac{dT}{dx} \right) dx$$

$$h.P.(T - T_{\infty}) = k.A_t \cdot \frac{d^2 T}{dx^2}$$

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = m^2 \cdot (T - T_{\infty})$$

$$m = \sqrt{\frac{h.P}{k.A_t}}, \quad \text{é o coeficiente da aleta } (m^{-1})$$

FLUXO DE CALOR EM ALETAS DE SEÇÃO UNIFORME

$$\frac{d^2T}{dx^2} = m^2 \cdot (T - T_\infty)$$

Esta é uma equação diferencial linear ordinária de segunda ordem, cuja solução geral é :

$$T - T_\infty = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}$$

C1 e C2 são constantes para serem determinadas através das condições de contorno apropriadas. A primeira das condições de contorno é que a temperatura da base da barra é igual à temperatura da superfície na qual ela está afixada, ou seja : em $x = 0 \rightarrow T = T_s$ e $T_s = C_1 + C_2$

FLUXO DE CALOR EM ALETAS DE SEÇÃO UNIFORME

- Solução:

$$\theta_{(x)} = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}$$

- Determinando as constantes:
- CC1 – Para $x = 0$ $T_{(x)} = T_b = \text{temp. da base.}$

$$\theta_{(b)} = C_1 + C_2$$

FLUXO DE CALOR EM ALETAS DE SEÇÃO UNIFORME

- CC2 – Para $x = L$, tem-se várias condições:

A - Convecção: $-kd\theta / dx \big|_{x=L} = h\theta(L)$

B - Adiabático: $d\theta / dx \big|_{x=L} = 0$

C - Temperatura especificada: $\theta(L) = \theta_L$

D - Aleta Longa ($mL > 2.65$): $\theta(L) = 0$

FLUXO DE CALOR EM ALETAS DE SEÇÃO UNIFORME

Equações:

Tabela1 – Distribuição de temperatura e perda de calor para aletas de seção transversal uniforme.

Case	Tip Condition ($x = L$)	Temperature Distribution θ/θ_b	Fin Heat Transfer Rate q_f
A	Convection heat transfer: $h\theta(L) = -kd\theta/dx _{x=L}$	$\frac{\cosh m(L-x) + (h/mk) \sinh m(L-x)}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$ (3.70)	$M \frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$ (3.72)
B	Adiabatic $d\theta/dx _{x=L} = 0$	$\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL}$ (3.75)	$M \tanh mL$ (3.76)
C	Prescribed temperature: $\theta(L) = \theta_L$	$\frac{(\theta_L/\theta_b) \sinh mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL}$ (3.77)	$M \frac{(\cosh mL - \theta_L/\theta_b)}{\sinh mL}$ (3.78)
D	Infinite fin ($L \rightarrow \infty$): $\theta(L) = 0$	e^{-mx} (3.79)	M (3.80)

$$\theta = T - T_\infty \quad m^2 = hP/kA_c$$

$$\theta_b = \theta(0) = T_b - T_\infty \quad M = \sqrt{hPkA_c} \theta_b$$

FLUXO DE CALOR EM ALETAS DE SEÇÃO UNIFORME

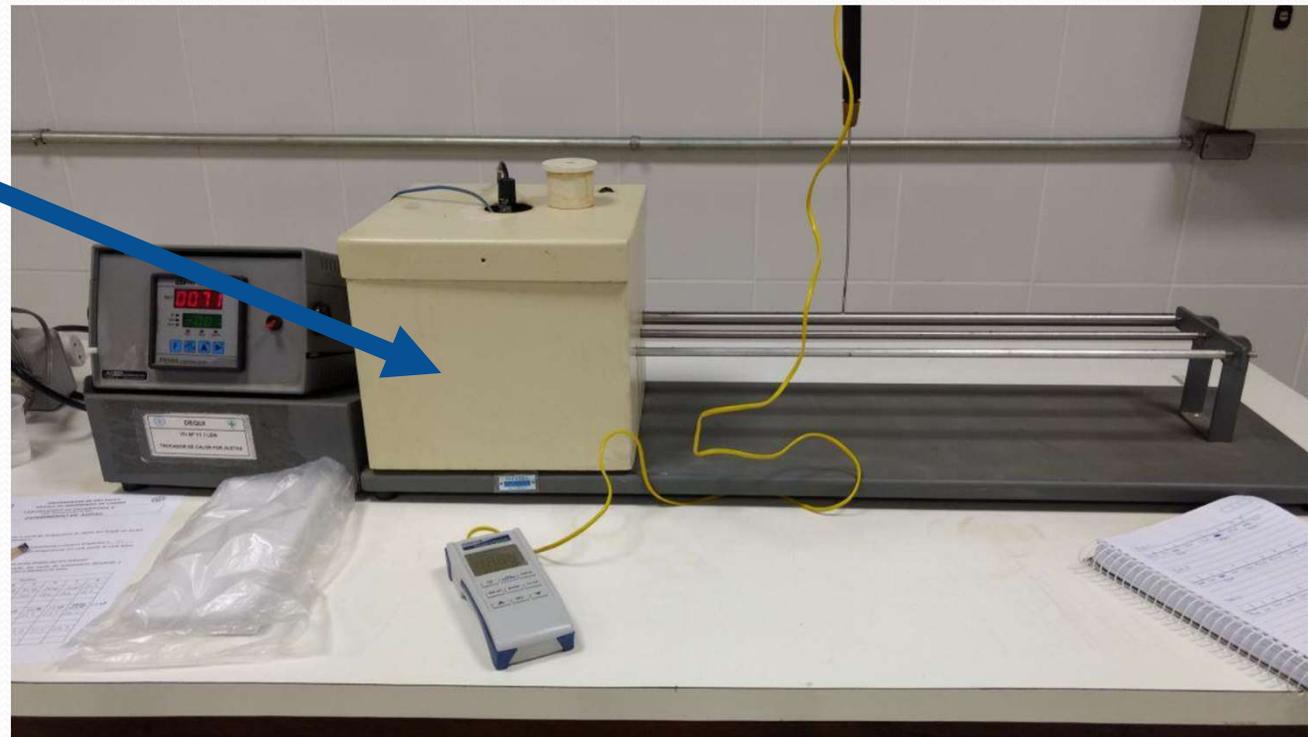
Funções hiperbólicas:

- Seno hiperbólico: $\sinh x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$
- Cosseno hiperbólico: $\cosh x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$
- Tangente hiperbólica: $\tanh x = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Equipamento para determinação do perfil de temperaturas em aletas:

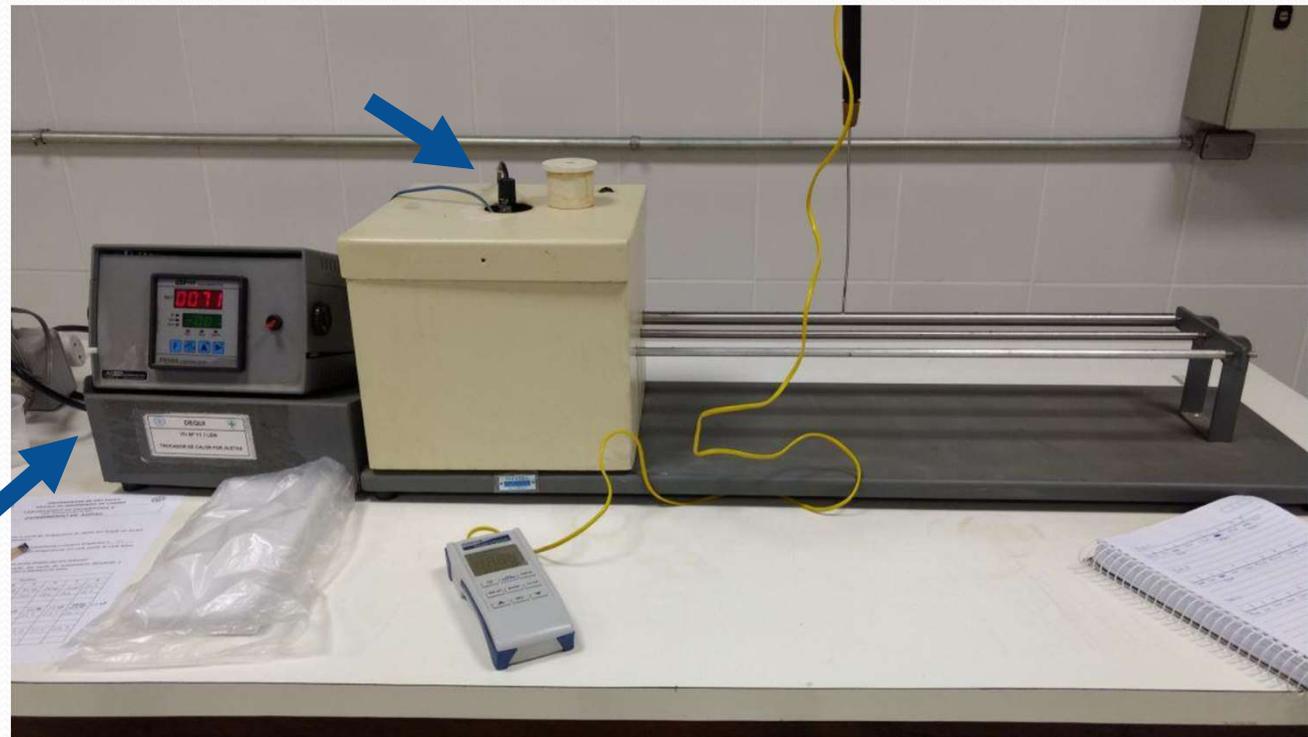
Reservatório com
água aquecida
mantida a $\approx 70^{\circ}\text{C}$



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Equipamento para determinação do perfil de temperaturas em aletas:

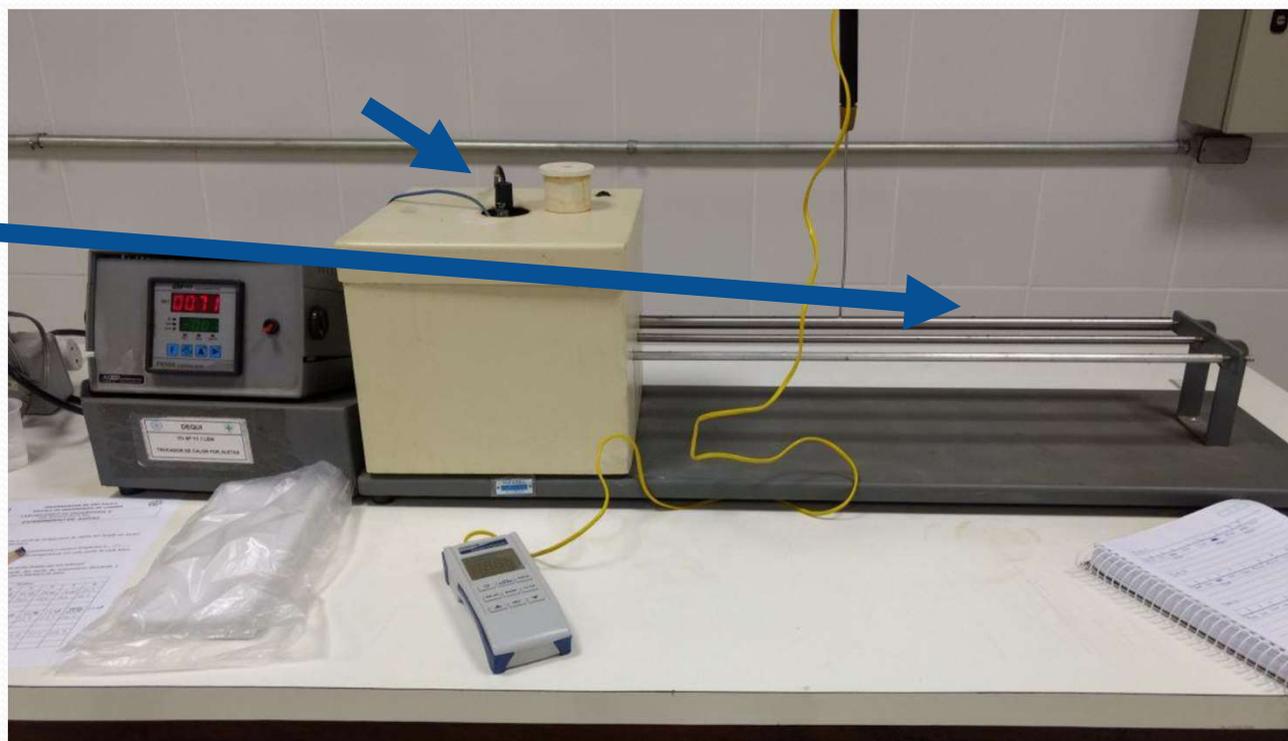
Registrador da temperatura do reservatório – termopar



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Equipamento para determinação do perfil de temperaturas em aletas:

Aletas



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

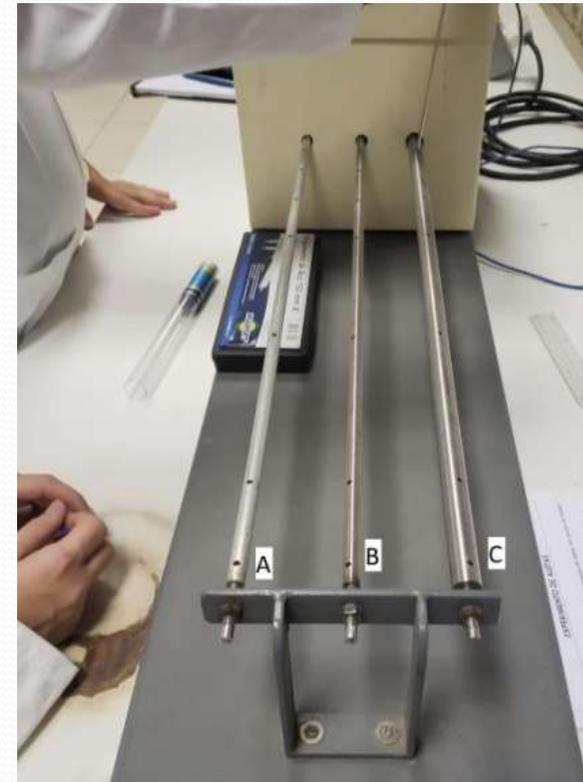
Equipamento para determinação do perfil de temperaturas em aletas:

Aletas:

A. Alumínio – diâmetro 9,6 mm

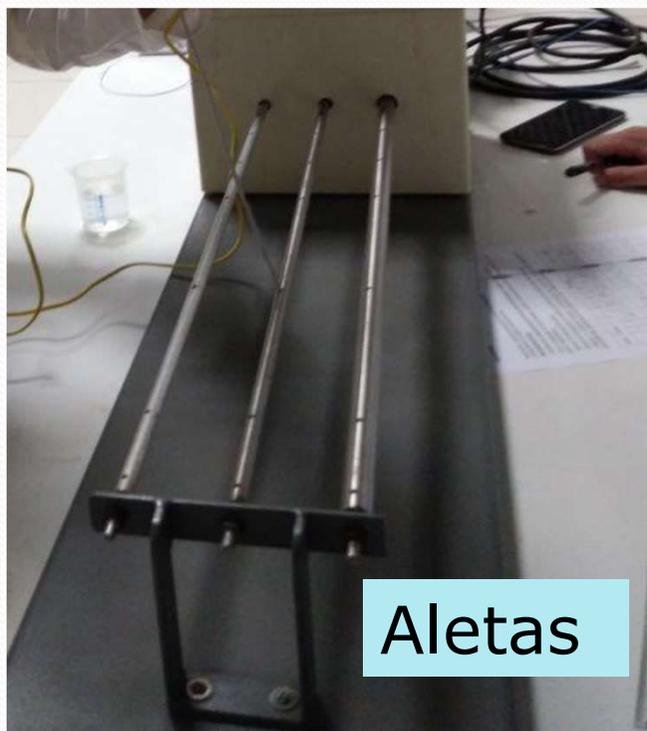
B. Aço inox – diâmetro 9,6 mm

C. Aço inox – diâmetro 15,1 mm

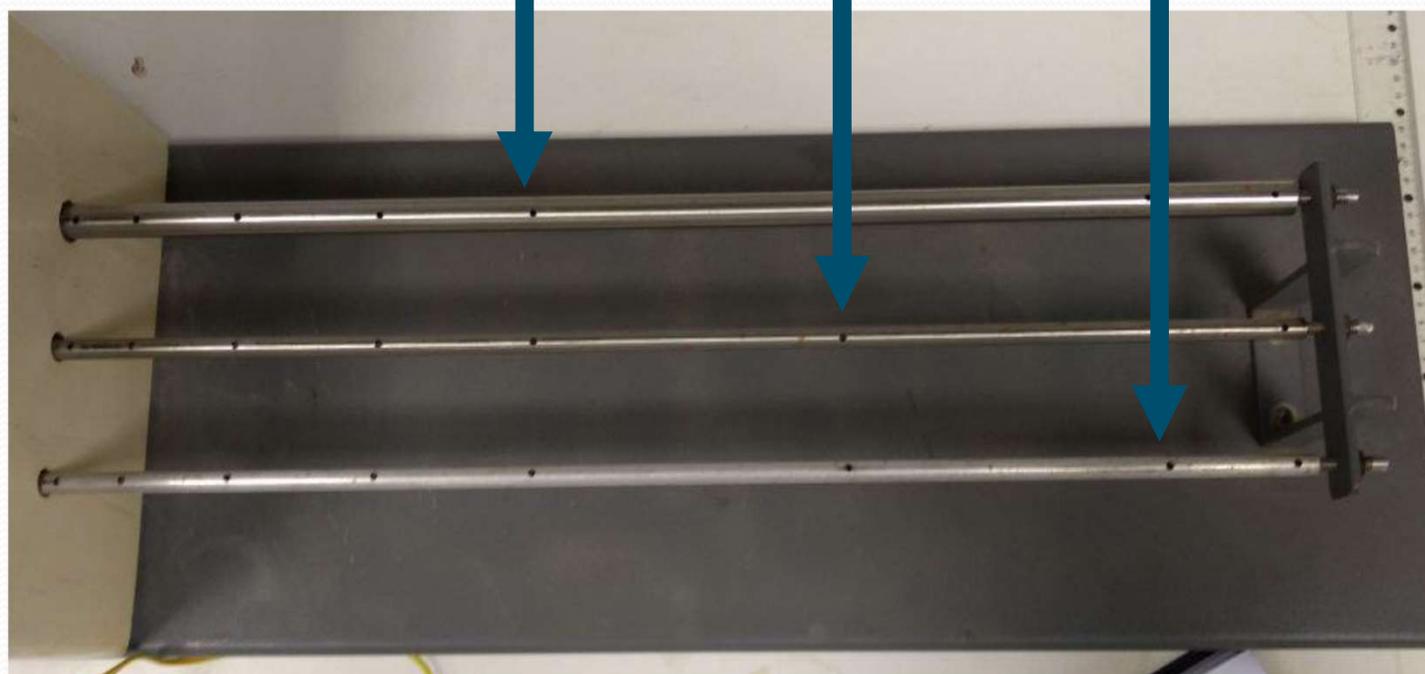


PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Equipamento para determinação do perfil de temperaturas em aletas:



Pontos para medição de tempertura



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

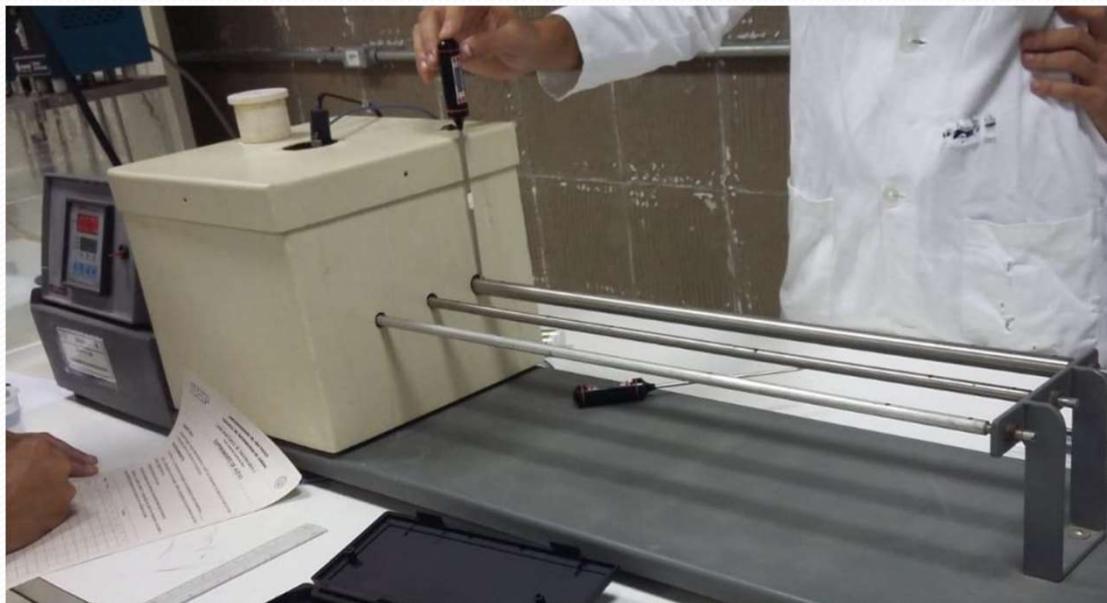
Medições e instrumentos:

- **Temperaturas: termopar**
- **Diâmetro das aletas:
paquímetro**
- **Distâncias entre pontos de
medição de temperatura:
régua**



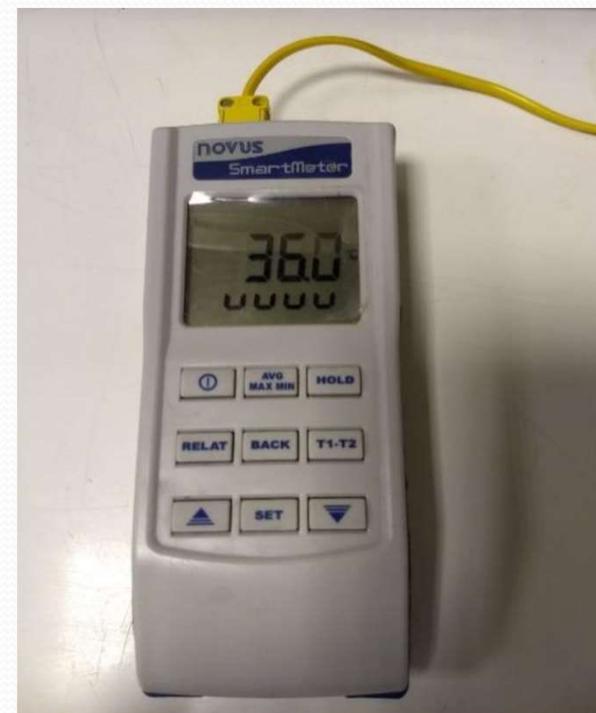
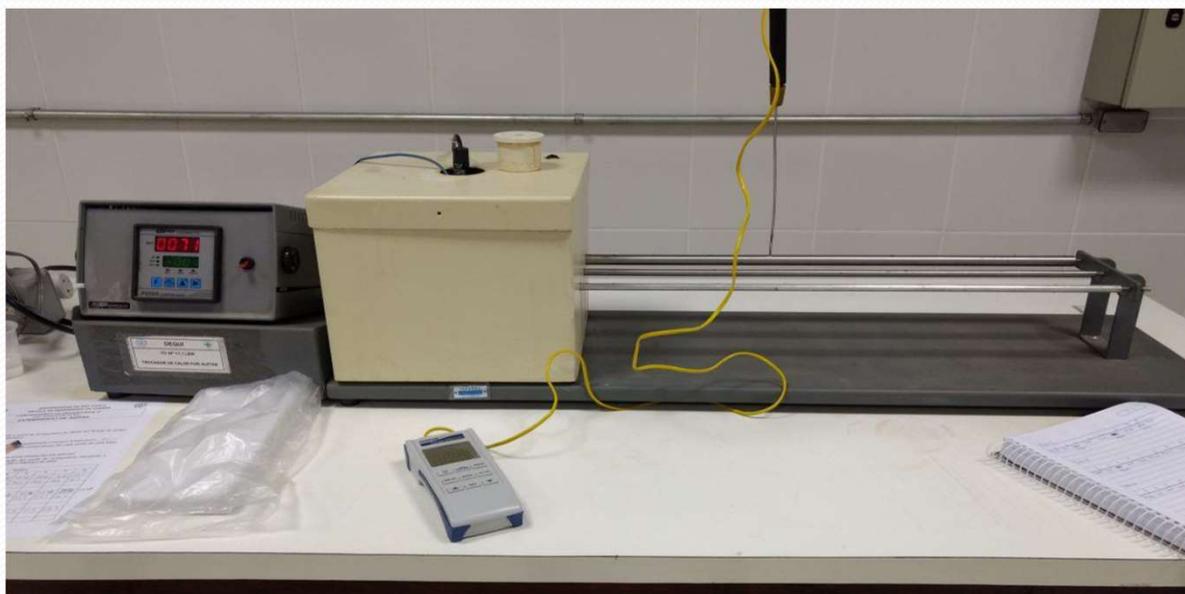
PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Medição de temperaturas: termopares



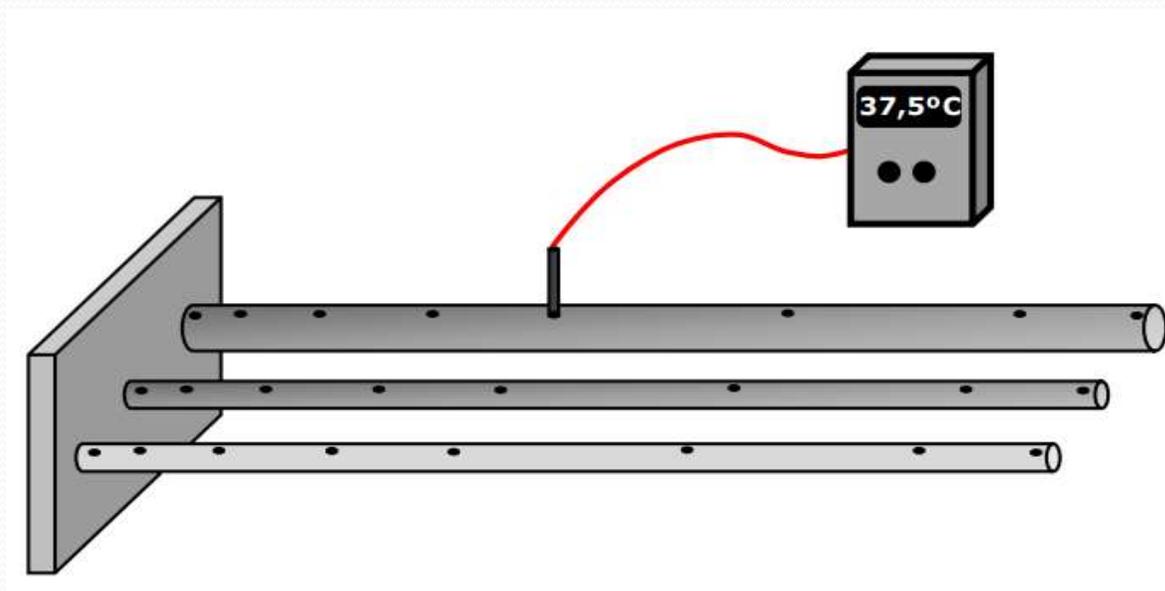
PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Medição de temperaturas: termopares

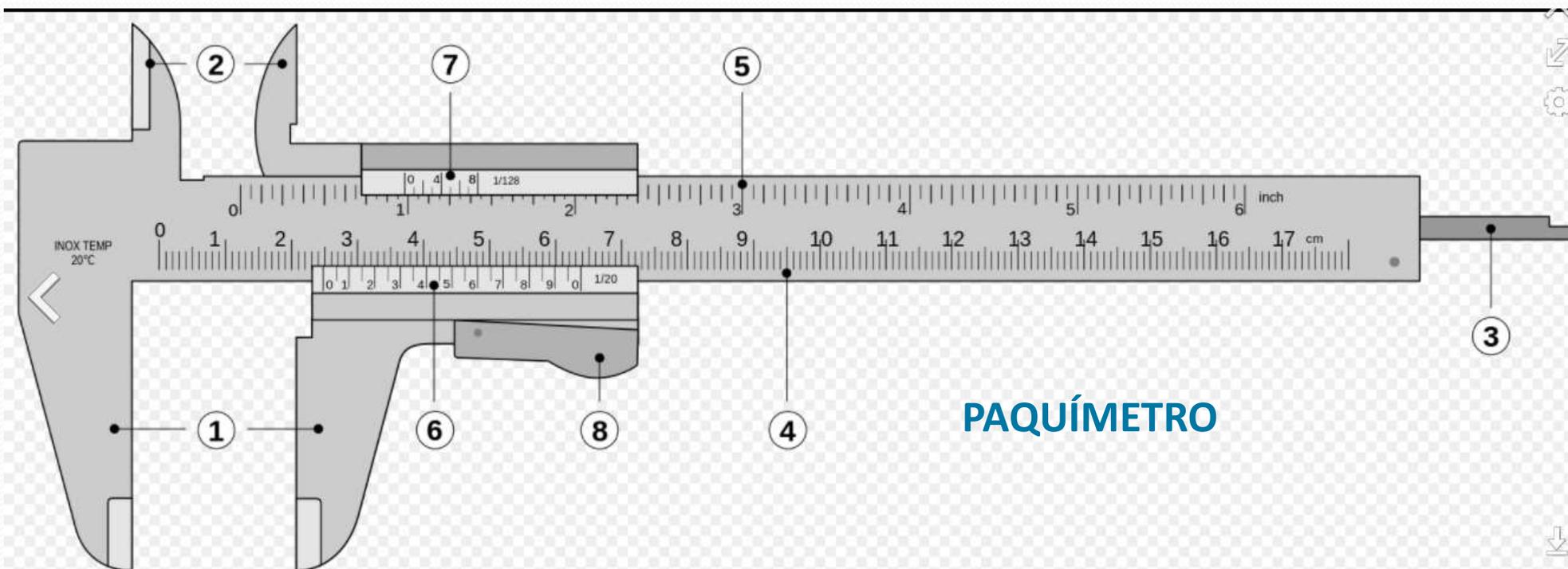


PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Medição de temperaturas: termopares



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

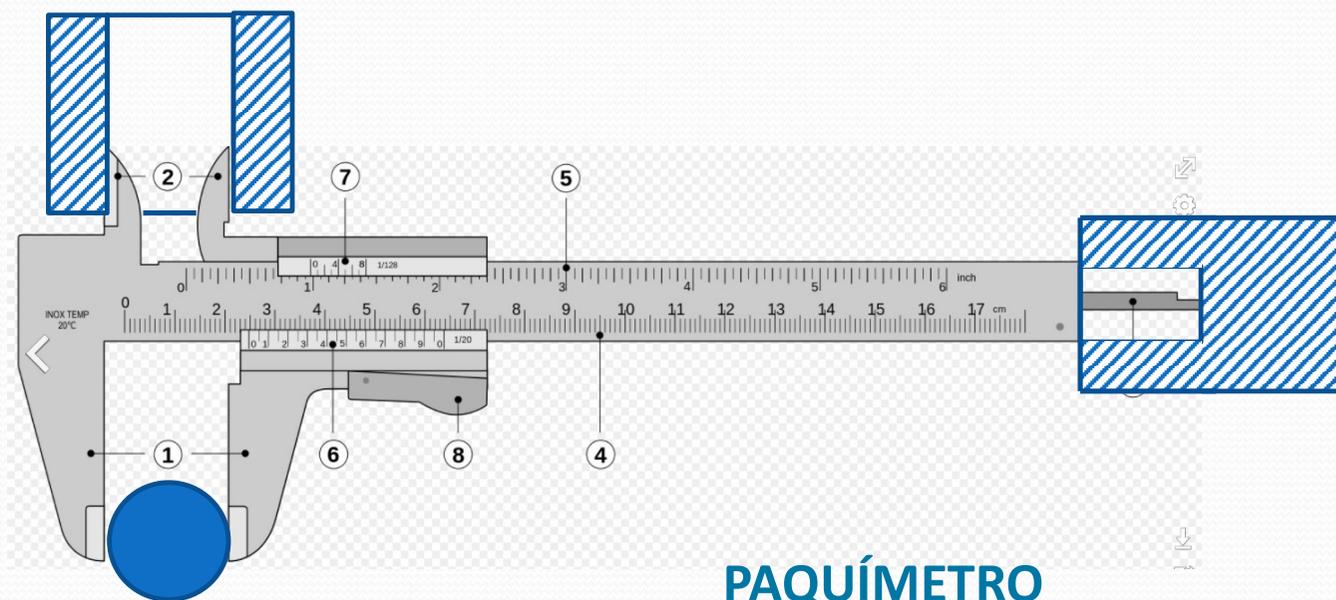


PAQUÍMETRO

1: encostos, 2: orelhas, 3: haste de profundidade, 4: escala inferior (graduada em mm), 5: escala superior (graduada em polegadas), 6: nônio ou vernier inferior (mm), 7: nônio ou vernier superior (polegada), 8: trava.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Medição de diâmetros das aletas: paquímetro



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL



ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA



LABORATÓRIO DE ENGENHARIA II

Prof. Antonio Carlos da Silva

EXPERIMENTO DE ALETAS

OBJETIVO:

Determinar experimentalmente o perfil de temperatura de Aletas em função do tempo, comparando os valores de temperatura

PROCEDIMENTOS:

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

PROCEDIMENTOS:

- Verificar se a temperatura do banho está estabilizada e anotar a temperatura: _____;
- Verificar e anotar a temperatura ambiente: _____;
- Com a utilização de um termopar, medir as temperaturas em cada ponto de cada bloco (aleta) registrando-as;
- Repetir as leituras três vezes;
- Calcular as temperaturas médias em cada ponto (média das três leituras);
- Elaborar o relatório fazendo a comparação dos perfis de temperatura discutindo a associação dos resultados com o material e com o diâmetro da aleta.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Dados simulados

Aleta	temp	Pontos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	39,6	35,3	32,0	28,3	27,1	26,2	25,8	25,7
	2	39,2	34,8	32,5	29,5	28,0	26,7	26,2	26,0
	3	39,6	35,5	32,6	28,5	27,2	26,4	26,0	25,7
	média								
B	1	35,0	32,1	28,2	26,4	26,0	25,7	25,5	25,3
	2	35,4	32,4	28,4	27,6	26,7	26,0	26,0	25,7
	3	34,4	32,1	28,7	27,4	26,2	26,0	26,0	25,6
	média								
C	1	37,7	35,8	32,8	31,1	29,5	27,1	26,2	26,0
	2	38,0	35,2	32,4	29,7	27,8	26,0	25,3	25,1
	3	38,2	35,3	32,1	29,5	27,6	26,0	25,3	25,0
	média								
Distância (mm)									

Temperatura do
banho:
73°C

Temperatura
ambiente:
25,3°C

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com os dados simulados apresentados, elaborar o relatório do experimento apresentando os cálculos e resultados:

- ❑ Médias das temperaturas em cada ponto de cada aleta**
- ❑ Perfis de temperatura (Temperatura x distância do reservatório) para cada aleta**
- ❑ Calcular as temperaturas teóricas**
- ❑ Comparar as temperaturas medidas com as temperaturas teóricas**
- ❑ Fazer uma comparação entre os perfis para aletas de diferentes materiais com mesmo diâmetro e para aletas de mesmo material com diferentes diâmetros**