

Licenciatura em Engenharia Informática

FSIAP – 2020/2021

Relatório Resumo

Expansão térmica e Lei do arrefecimento de Newton

Autores:

[1190402](#) António Fernandes

[1191045](#) Rui Soares

Turma: 2DK **Grupo:** 01

Data: 04/12/2020

Docente: Paulo Fernandes ([PAF](#))

Índice:

Procedimento experimental e dados experimentais obtidos.....	3
Material Necessário:	3
Esquema de Montagem:	3
Descrição do Procedimento:	3
Análise dos resultados.....	4
Exercício 1 e 2.....	4
Exercício 3	5
Exercício 4	6
Exercício 6	8
Coeficiente de expansão linear do aço (valor experimental):	8
Coeficiente de expansão linear do alumínio (valor experimental):	8
Constante de tempo de arrefecimento do aço (valor experimental):	8
Constante de tempo de arrefecimento do alumínio (valor experimental):.....	8
Exercício 7	9
Exercício 8	10
Resposta às questões (colocadas no guião)	11
Questão 1	11
Questão 2	11
Questão 3	12
Comentários ou observações	12
Anexos _Valores Experimentais	13

Procedimento experimental e dados experimentais obtidos

Material Necessário:

- 1 lamparina
- 1 barra alumínio (comprimento = $23,90 \pm 0,05$ cm, diâmetro = $0,618 \pm 0,002$ cm e massa = 19 ± 1 g)
- 1 barra de aço (comprimento = $23,95 \pm 0,05$ cm, diâmetro = $0,618 \pm 0,002$ cm e massa = 55 ± 1 g)
- 1 termopar tipo K e leitor (sensibilidade de $0,1$ °C);
- 1 cronómetro;
- 1 comparador micrométrico (sensibilidade de $0,01$ mm);
- 1 régua graduada, ou fita métrica.

Esquema de Montagem:

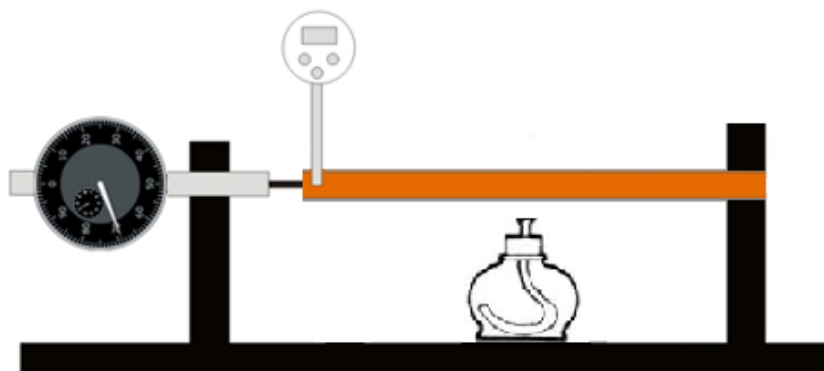


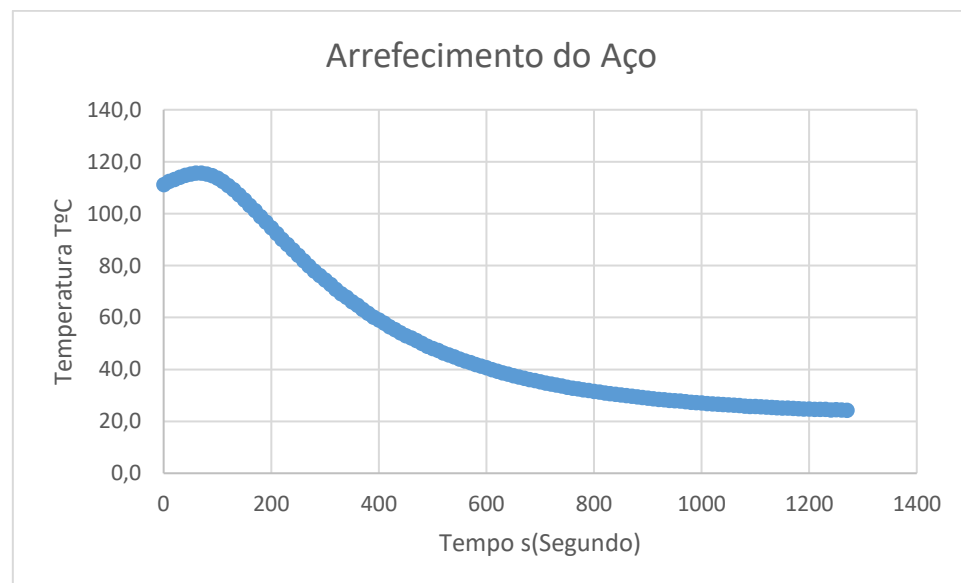
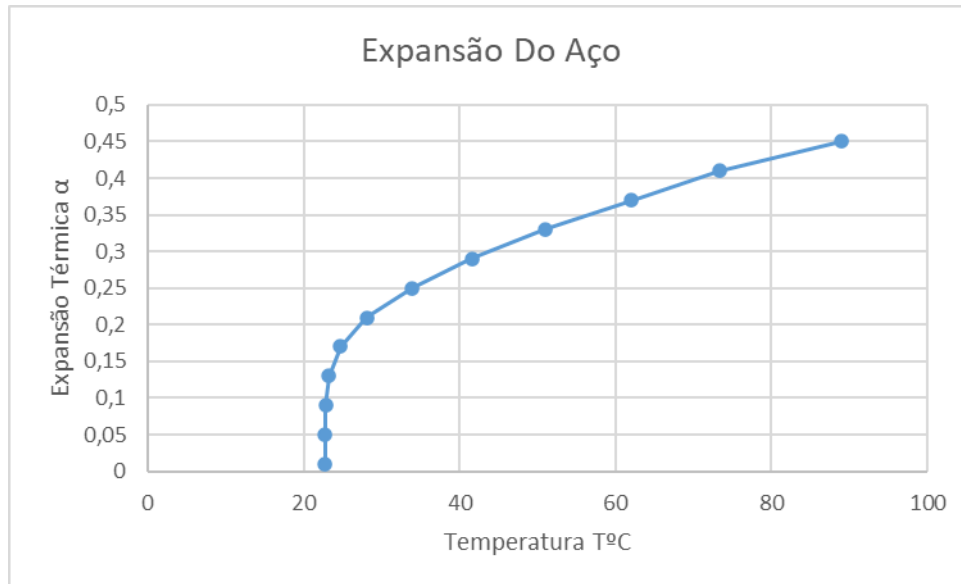
Figura 1- Esquema de Montagem

Descrição do Procedimento:

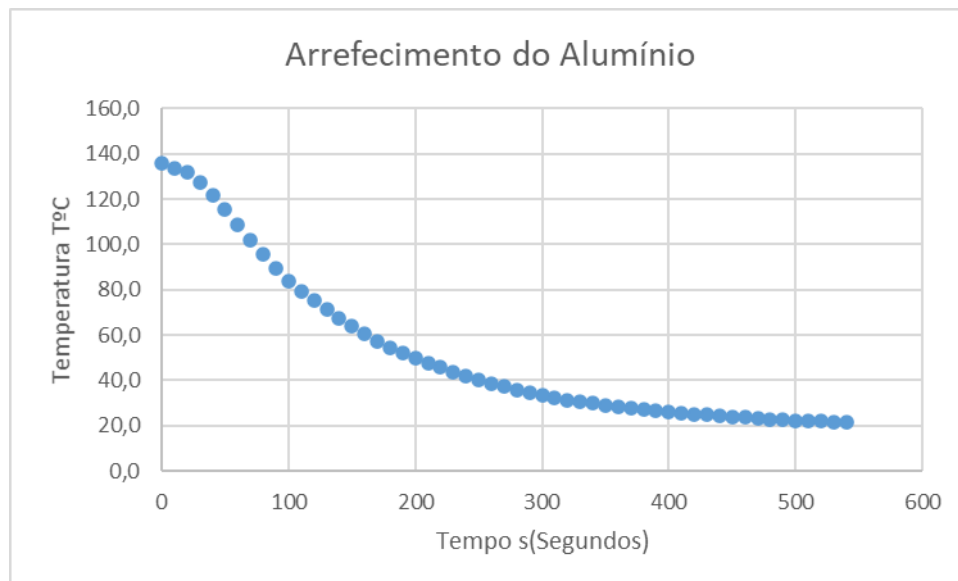
Efetuamos a montagem descrita em cima e posteriormente registamos os valores pedidos que se encontram disponíveis nos [anexos](#) para a barra de aço e posteriormente para a barra de alumínio quer para a expansão térmica, quer para o arrefecimento.

Análise dos resultados

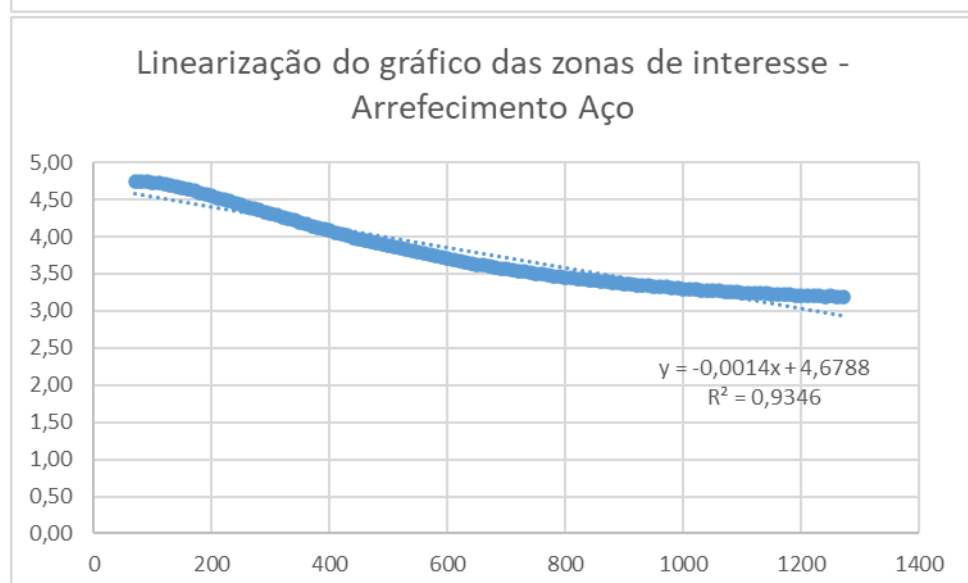
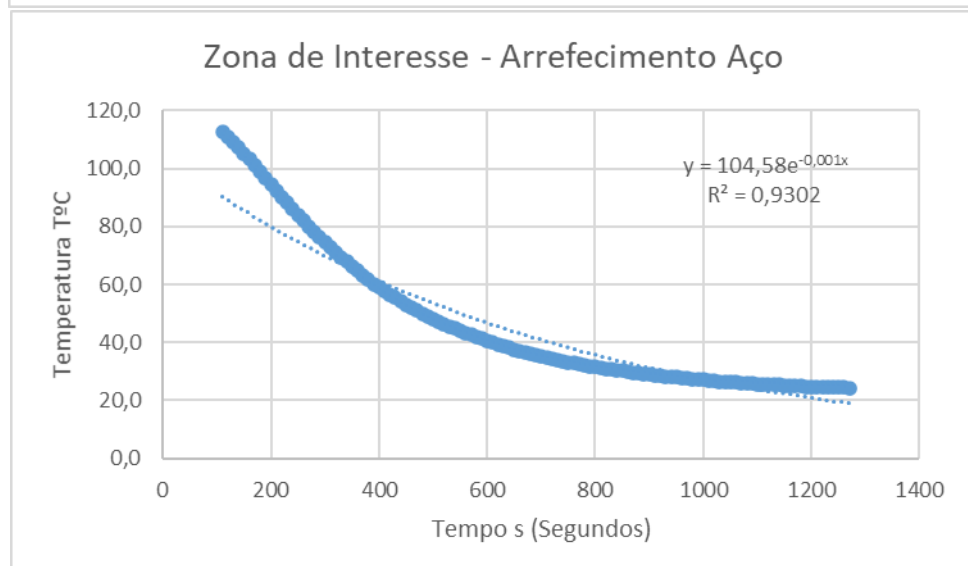
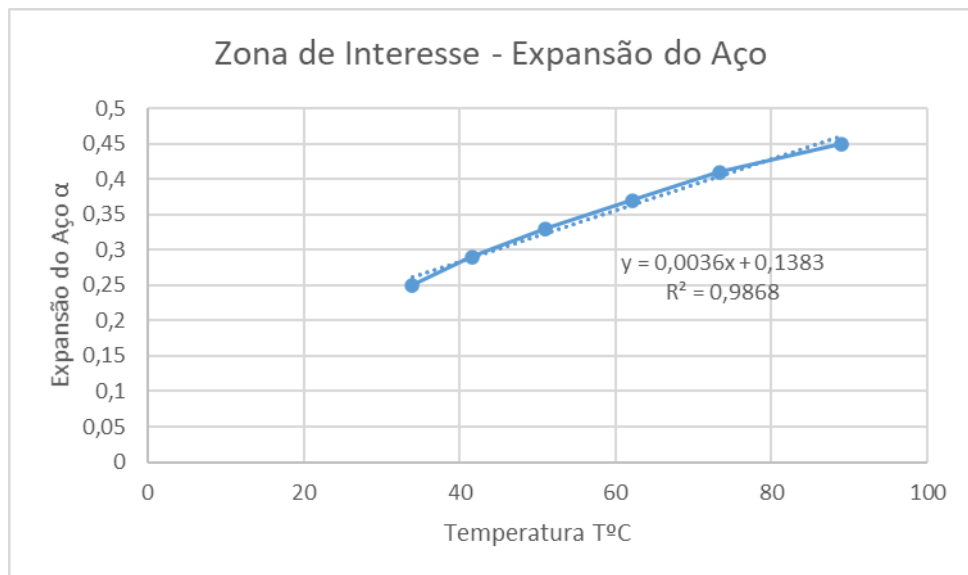
Exercício 1 e 2



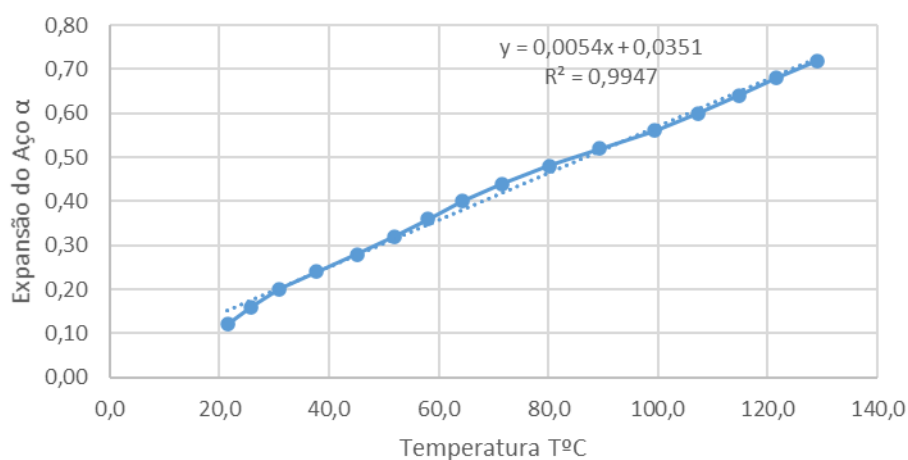
Exercício 3



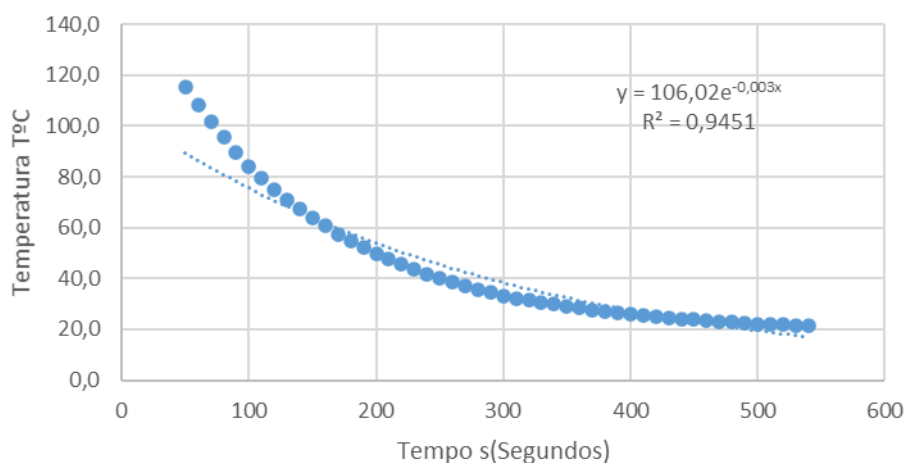
Exercício 4



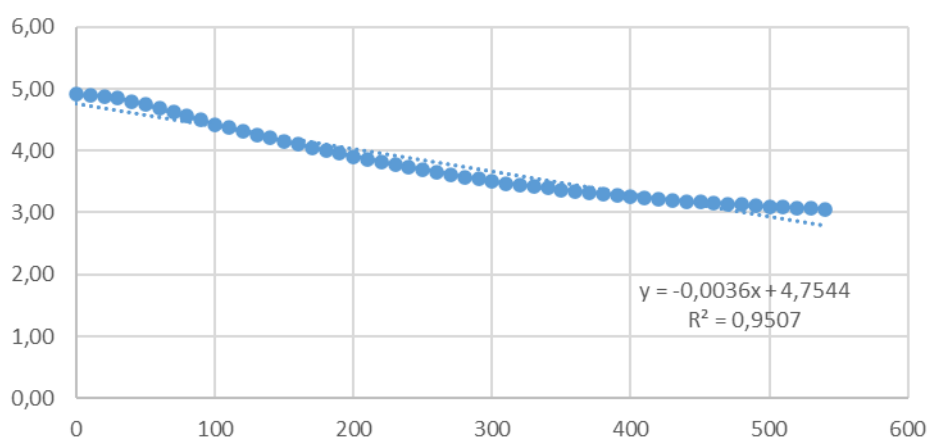
Zona de Interesse - Expansão do Alumínio



Zona de Interesse - Arrefecimento do Alumínio



Linearização do gráfico das zonas de interesse - Arrefecimento Alumínio



Exercício 6

Coeficiente de expansão linear do aço (valor experimental):

Usando a fórmula $\Delta l = \alpha \times l_0 \times \Delta T$ podemos calcular o coeficiente:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \times \Delta T} (=) \alpha = \frac{0,33 - 0,45}{239,5 \times (89 - 51)} (=) \alpha \cong 1,32 \times 10^{-5} K^{-1}$$

Coeficiente de expansão linear do alumínio (valor experimental):

Usando a fórmula $\Delta l = \alpha \times l_0 \times \Delta T$ podemos calcular o coeficiente:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \times \Delta T} (=) \alpha = \frac{0,72 - 0,60}{239,0 \times (129,1 - 107,3)} (=) \alpha \cong 2,30 \times 10^{-5} K^{-1}$$

Constante de tempo de arrefecimento do aço (valor experimental):

Usando a fórmula obtida no gráfico $y = 104,58e^{-0,001x}$ podemos chegar a:

$$\tau = \frac{1}{0,001} (=) \tau \cong 1000s$$

Constante de tempo de arrefecimento do alumínio (valor experimental):

Usando a fórmula obtida no gráfico $y = 106,02e^{-0,003x}$ podemos chegar a:

$$\tau = \frac{1}{0,003} (=) \tau \cong 333,3s$$

Exercício 7

Tabela 1 – Coeficientes de expansão térmica lineares

Material	$\alpha / \times 10^{-5} K^{-1}$
Alumino	2,4
Latão	2,0
Cobre	1,7
Vidro	0,4 – 0,9
Aço	1,2
Quartzo (fundido)	0,04
Invar (liga de ferro-níquel)	0,09

$$\alpha(\text{Aço}) = 1,2 \times 10^{-5} K^{-1}$$

$$\alpha(\text{Alumínio}) = 2,4 \times 10^{-5} K^{-1}$$

Cálculo dos Erros Relativos:

Fórmula geral:

$$\text{Erro Relativo}(\%) = \frac{|\text{Valor Teórico} - \text{Valor Experimental}|}{\text{Valor Teórico}} \times 100$$

$\alpha(\text{Aço})$:

$$\text{Erro Relativo}(\%) = \frac{|1,2 \times 10^{-5} - 1,32 \times 10^{-5}|}{1,2 \times 10^{-5}} \times 100 = 10,0\%$$

$\alpha(\text{Alumínio})$:

$$\text{Erro Relativo}(\%) = \frac{|2,4 \times 10^{-5} - 2,30 \times 10^{-5}|}{2,4 \times 10^{-5}} \times 100 = 4,17 \%$$

Exercício 8

Usando a fórmula $\tau = \frac{m \times c}{h \times A}$ podemos calcular o coeficiente de transferência de calor (aço):

$$A_{cilindro(aço)} = 2 \times \pi \times (0,309 \times 10^{-2})^2 + 2 \times \pi \times (23,95 \times 10^{-2}) \cong 1,505 m^2$$

$$h_{aço} = \frac{m \times c}{\tau \times A} (=) h_{aço} = \frac{55 \times 10^{-3} \times 460}{1000 \times 1,505} (=) h_{aço} = 1,68 \times 10^{-2} W/m^2 \text{ } ^\circ C$$

Usando a fórmula $\tau = \frac{m \times c}{h \times A}$ podemos calcular o coeficiente de transferência de calor (alumínio):

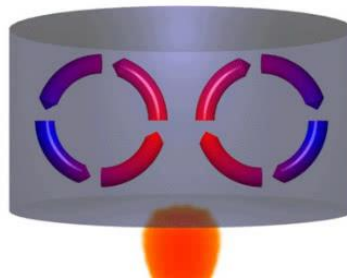
$$A_{cilindro(alumínio)} = 2 \times \pi \times (0,309 \times 10^{-2})^2 + 2 \times \pi \times (23,90 \times 10^{-2}) \cong 1,502 m^2$$

$$h_{alumínio} = \frac{m \times c}{\tau \times A} (=) h_{alumínio} = \frac{19 \times 10^{-3} \times 900}{333,3 \times 1,502} (=) h_{alumínio} = 3,42 \times 10^{-2} W/m^2 \text{ } ^\circ C$$

Resposta às questões (colocadas no guião)

Questão 1

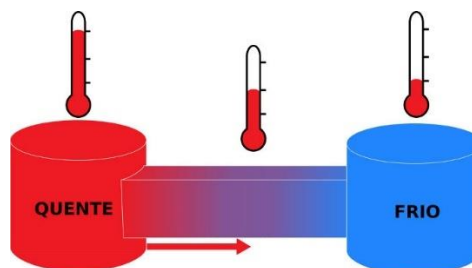
A camada de ar influencia o valor alcançado para a expansão térmica obtida porque, como existe a transferência de calor por convecção, há movimento das partículas (gases especialmente) envolventes de modo a que haja uma demora superior à esperada já que o calor tende a mover-se de forma ascendente, ou seja, tende a subir e o ar frio tende a descer - sentido descendente - como ilustrado no esquema abaixo, havendo uma demora superior à esperada.



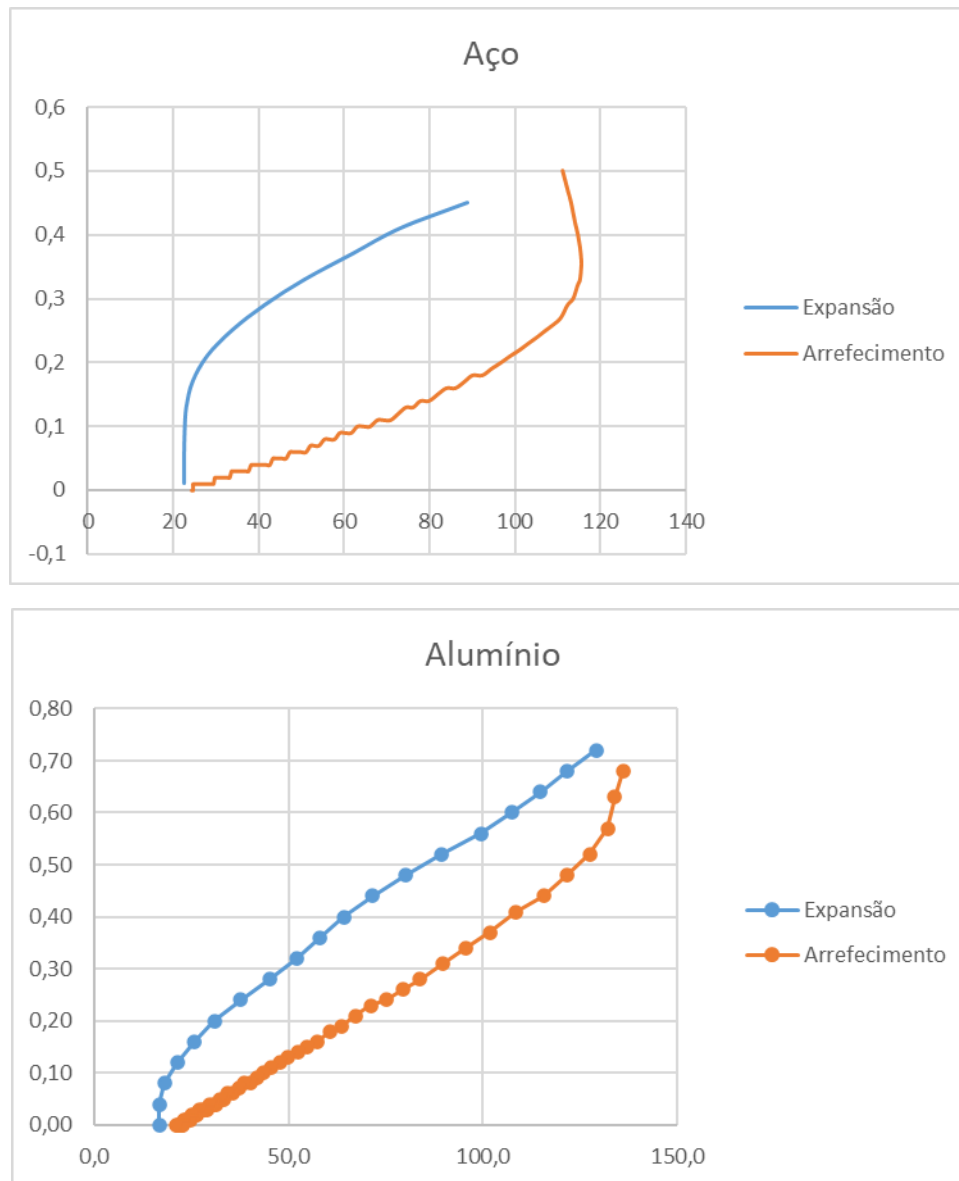
Tudo isto porque, a convecção é a transferência de calor que ocorre em materiais que apresentam diferenças de temperatura. Quando é fornecido calor a um material, formam-se correntes de convecção, que transmitem o calor até que todos os materiais entre em equilíbrio térmico.

Questão 2

O facto de a temperatura continuar a aumentar deve-se à inércia térmica, porque após retirar a fonte de calor durante algum tempo continua a existir fluxo de calor na posição da lamparina, devido às correntes de convecção o calor tende a mover-se para a camada fria, até se atingir o equilíbrio térmico porque é esse o acontecimento imediato, o sistema tende a reagir de forma a atingir o equilíbrio térmico, ou seja o calor move-se para a camada fria até que as temperaturas de ambas estabilizem, sendo então nesse momento a temperatura começa a reduzir.



Questão 3



O material não é isotrópico pelo que apresenta comportamentos diferentes consoante a temperatura, este histerese térmico é representado pelos gráficos acima, tal facto justifica que as curvas não se intersetem.

Comentários ou observações

Como os dados da experiência foram retirados de vídeos fornecidos, pode haver algum erro ao retirar valores uma vez que é possível não termos parado o mesmo para retirar valores em segundos completamente certos. Mesmo assim pelo exercício 7 verificamos que obtivemos um erro relativamente baixo.

Anexos _Valores Experimentais

Barra de Aço			Barra de Alumínio		
Temperatura Ambiente: 22,1 °C			Temperatura Ambiente: 16,8 °C		
Temperatura Inicial: 22,7 °C			Temperatura Inicial: 16,8 °C		
Expansão Térmica:			Expansão Térmica:		
T (°C)	t(s)	α(mm)	T (°C)	t(s)	α(mm)
22,7	0	0,01	16,8	0	0,00
22,7	11	0,05	16,9	7	0,04
22,8	26	0,09	18,2	12	0,08
23,2	41	0,13	21,5	18	0,12
24,7	59	0,17	25,8	23	0,16
28,1	78	0,21	31,0	29	0,20
33,9	101	0,25	37,7	36	0,24
41,6	125	0,29	45,1	43	0,28
51	152	0,33	52,0	50	0,32
62,1	185	0,37	58,1	56	0,36
73,3	222	0,41	64,2	62	0,40
89	283	0,45	71,6	69	0,44
			80,1	77	0,48
			89,4	86	0,52
			99,4	98	0,56
			107,3	109	0,60
			114,8	120	0,64
			121,5	131	0,68
			129,1	142	0,72
Arrefecimento:			Arrefecimento:		
T (°C)	t(s)	α(mm)	T (°C)	t(s)	α(mm)
111,2	0	0,50	135,9	0	0,68
112,4	10	0,47	133,8	10	0,63
113,2	20	0,45	132,1	20	0,57
114,1	30	0,42	127,4	30	0,52
114,8	40	0,40	121,5	40	0,48
115,3	50	0,38	115,5	50	0,44
115,6	60	0,36	108,5	60	0,41
115,6	70	0,35	101,8	70	0,37
115,3	80	0,33	95,7	80	0,34
114,7	90	0,32	89,5	90	0,31
113,7	100	0,30	83,8	100	0,28
112,4	110	0,29	79,3	110	0,26
110,8	120	0,27	75,1	120	0,24
109,2	130	0,26	71,1	130	0,23
107,2	140	0,25	67,2	140	0,21
105,3	150	0,24	63,7	150	0,19
103,2	160	0,23	60,8	160	0,18
101,2	170	0,22	57,4	170	0,16
98,9	180	0,21	54,6	180	0,15
96,8	190	0,20	52,3	190	0,14
94,5	200	0,19	49,9	200	0,13
92,4	210	0,18	47,8	210	0,12
90,1	220	0,18	45,7	220	0,11
88,2	230	0,17	43,7	230	0,10
86,1	240	0,16	41,8	240	0,09
84,0	250	0,16	40,3	250	0,08
81,9	260	0,15	38,6	260	0,08
79,9	270	0,14	37,2	270	0,07
77,9	280	0,14	35,6	280	0,06
76,2	290	0,13	34,5	290	0,06
74,5	300	0,13	33,3	300	0,05
72,7	310	0,12	32,3	310	0,05
70,9	320	0,11	31,4	320	0,04
69,2	330	0,11	30,6	330	0,04
67,8	340	0,11	29,8	340	0,04
66,1	350	0,10	29,0	350	0,03
64,7	360	0,10	28,3	360	0,03
63,1	370	0,10	27,7	370	0,03
61,7	380	0,09	27,2	380	0,03
60,2	390	0,09	26,6	390	0,02
59,0	400	0,09	26,2	400	0,02
57,8	410	0,08	25,6	410	0,02
56,5	420	0,08	25,1	420	0,02
55,4	430	0,08	24,7	430	0,01
54,1	440	0,07	24,2	440	0,01
53,0	450	0,07	23,9	450	0,01
52,1	460	0,07	23,6	460	0,01
51,1	470	0,06	23,2	470	0,01
50,0	480	0,06	22,9	480	0,00
49,0	490	0,06	22,5	490	0,00
48,1	500	0,06	22,2	500	0,00
47,3	510	0,06	22,0	510	0,00
46,4	520	0,05	21,8	520	0,00
45,6	530	0,05	21,5	530	0,00
44,9	540	0,05	21,3	540	0,00
44,0	550	0,05			
43,3	560	0,05			
42,6	570	0,04			
41,9	580	0,04			
41,3	590	0,04			
40,7	600	0,04			
39,9	610	0,04			
39,3	620	0,04			
38,7	630	0,04			
38,2	640	0,04			
37,6	650	0,03			
37,1	660	0,03			
36,6	670	0,03			
36,1	680	0,03			
35,7	690	0,03			
35,2	700	0,03			
34,8	710	0,03			
34,4	720	0,03			
34,0	730	0,03			
33,6	740	0,03			
33,2	750	0,02			
32,8	760	0,02			
32,5	770	0,02			
32,2	780	0,02			
31,9	790	0,02			
31,6	800	0,02			
31,3	810	0,02			
31,0	820	0,02			
30,7	830	0,02			
30,4	840	0,02			
30,2	850	0,02			
29,9	860	0,02			
29,7	870	0,02			
29,4	880	0,01			
29,2	890	0,01			
29,0	900	0,01			
28,7	910	0,01			
28,5	920	0,01			
28,3	930	0,01			
28,1	940	0,01			
28,0	950	0,01			
27,8	960	0,01			
27,6	970	0,01			
27,4	980	0,01			
27,3	990	0,01			
27,1	1000	0,01			
26,9	1010	0,01			
26,8	1020	0,01			
26,6	1030	0,01			
26,5	1040	0,01			
26,4	1050	0,01			
26,2	1060	0,01			
26,1	1070	0,01			
25,9	1080	0,01			
25,8	1090	0,01			
25,7	1100	0,01			
25,6	1110	0,01			
25,5	1120	0,01			
25,4	1130	0,01			
25,3	1140	0,01			
25,2	1150	0,01			
25,1	1160	0,01			
25,0	1170	0,01			
24,9	1180	0,01			
24,8	1190	0,01			
24,8	1200	0,01			
24,7	1210	0,01			
24,6	1220	0,01			
24,6	1230	0,00			
24,4	1240	0,00			
24,5	1250	0,00			
24,4	1260	0,00			
24,3	1270	0,00			