

Licenciatura em Engenharia Informática

FSIAP – 2020/2021

Estrutura do RELATÓRIO RESUMO

Relatório Resumo

*Expansão térmica e Lei
do arrefecimento de
Newton*

Autores:

1190336 Alexandre Rosa

1190452 Bruno Pereira

Turma: 2DM **Grupo:** 02

Data: 26/11/2020

Docente: Lijian Meng

25% - Procedimento experimental e dados experimentais obtidos

No âmbito da unidade curricular de Física Aplicada, realizamos o 4º trabalho laboratorial relacionado com a expansão térmica e lei de arrefecimento de Newton. Para tal, foi utilizada uma lamparina, uma barra de alumínio, uma barra de aço, um termopar tipo K e leitor, um cronómetro, um comparador micrométrico e uma régua graduada.

Os resultados dos procedimentos referidos anteriormente encontram-se nas seguintes tabelas:

Expansão do Alumínio		
Expansão (mm)	Tempo (s)	Temperatura(°C)
0,04	5	16,9
0,08	10	18,2
0,12	16	21,1
0,16	22	25,4
0,2	27	30,4
0,24	34	37,7
0,28	41	44,6
0,32	48	52
0,36	55	58,6
0,4	60	64,7
0,44	68	71,1
0,48	75	80,1
0,52	85	89,4
0,56	98	99,9
0,6	108	107,6
0,64	115	114,8
0,68	126	121,9
0,72	137	129,4

Expansão do Aço		
Expansão (mm)	Tempo (s)	Temperatura(°C)
0,04	8	22,7
0,08	22	22,7
0,12	38	23,1
0,16	55	24,3
0,2	72	26,9
0,24	96	32,6
0,28	119	39,4
0,32	144	48,1
0,36	176	59,6
0,4	211	70,6
0,44	265	85,1
0,48	350	101,7

Arrefecimento do Alumínio		
Tempo (s)	Expansão(mm)	Temperatura(°C)
10	0,63	133,8
20	0,57	132
30	0,52	127,7
40	0,48	121,5
50	0,44	115,2
60	0,4	108,1
70	0,37	101,3
80	0,33	95,7
90	0,31	89,5
100	0,28	83,5
110	0,26	79,3
120	0,24	75,1
130	0,22	70,9
140	0,21	67,2
150	0,19	63,5
160	0,18	60,3
170	0,16	57,4
180	0,15	54,6
190	0,14	52,2
200	0,13	49,7
210	0,12	47,7
220	0,11	45,6
230	0,1	43,6
240	0,09	41,9
250	0,08	40,1
260	0,07	38,6
270	0,07	37,1
280	0,06	35,5
290	0,06	34,4
300	0,05	33,2
310	0,05	32,3
320	0,04	31,3
330	0,04	30,5
340	0,04	29,7
350	0,03	29
360	0,03	28,3
370	0,03	27,6
380	0,03	27,1
390	0,02	26,6
400	0,02	26,1

Arrefecimento do Alumínio		
Tempo (s)	Expansão(mm)	Temperatura(°C)
410	0,02	25,6
420	0,02	25,1
430	0,01	24,7
440	0,01	24,3
450	0,01	23,9
460	0,01	23,5
470	0,01	23,2
480	0	22,8
490	0	22,5
500	0	22,2
510	0	22
520	0	21,8
530	0	21,5
540	0	21,4

Arrefecimento do Aço		
Tempo (s)	Expansão(mm)	Temperatura(°C)
10	0,14	112,4
20	0,13	113,2
30	0,12	114,1
40	0,11	114,8
50	0,11	115,4
60	0,11	115,6
70	0,11	115,6
80	0,1	115,3
90	0,1	114,7
100	0,1	113,7
110	0,09	112,3
120	0,09	110,9
130	0,09	109,1
140	0,08	107,2
150	0,08	105,3
160	0,08	103,2
170	0,07	101,1
180	0,07	99
190	0,07	96,8
200	0,06	94,5
210	0,06	92,4
220	0,06	90,3
230	0,06	88
240	0,06	86
250	0,05	83,9
260	0,05	81,9
270	0,05	79,9
280	0,05	78,1
290	0,05	76,1
300	0,04	74,4
310	0,04	72,6
320	0,04	71
330	0,04	69,3
340	0,04	67,7
350	0,04	66,1
360	0,04	64,5
370	0,04	63,1
380	0,03	61,7
390	0,03	60,2
400	0,03	59

Arrefecimento do Aço		
Tempo (s)	Expansão(mm)	Temperatura(°C)
410	0,03	57,7
420	0,03	56,5
430	0,03	55,3
440	0,03	54,2
450	0,03	53
460	0,03	52,1
470	0,03	51,1
480	0,02	50
490	0,02	49
500	0,02	48
510	0,02	47,2
520	0,02	46,3
530	0,02	45,6
540	0,02	44,9
550	0,02	44
560	0,02	43,3
570	0,02	42,6
580	0,02	42
590	0,02	41,3
600	0,02	40,6
610	0,01	39,9
620	0,01	39,2
630	0,01	38,7
640	0,01	38,1
650	0,01	37,6
660	0,01	37,1
670	0,01	36,6
680	0,01	36,1
690	0,01	35,7
700	0,01	35,2
710	0,01	34,8
720	0,01	34,3
730	0,01	34
740	0,01	33,6
750	0,01	33,2
760	0,01	32,8
770	0,01	32,6
780	0,01	32,2
790	0,01	31,9
800	0,01	31,6

Arrefecimento do Aço		
Tempo (s)	Expansão(mm)	Temperatura(°C)
810	0,01	31,3
820	0,01	31
830	0,01	30,7
840	0,01	30,4
850	0,01	30,1
860	0,01	29,9
870	0,01	29,6
880	0,01	29,4
890	0,01	29,1
900	0,01	29
910	0,01	28,7
920	0,01	28,5
930	0,01	28,3
940	0,01	28,1
950	0,01	27,9
960	0	27,8
970	0	27,6
980	0	27,4
990	0	27,3
1000	0	27,1
1010	0	26,9
1020	0	26,8
1030	0	26,6
1040	0	26,5
1050	0	26,3
1060	0	26,2
1070	0	26
1080	0	25,9
1090	0	25,8
1100	0	25,7
1110	0	25,6
1120	0	25,5
1130	0	25,4
1140	0	25,3
1150	0	25,2
1160	0	25,1
1170	0	25
1180	0	24,9
1190	0	24,8
1200	0	24,8
1210	0	24,7
1220	0	24,6
1230	0	24,6
1240	0	24,5
1250	0	24,4
1260	0	24,3

1./2./3.

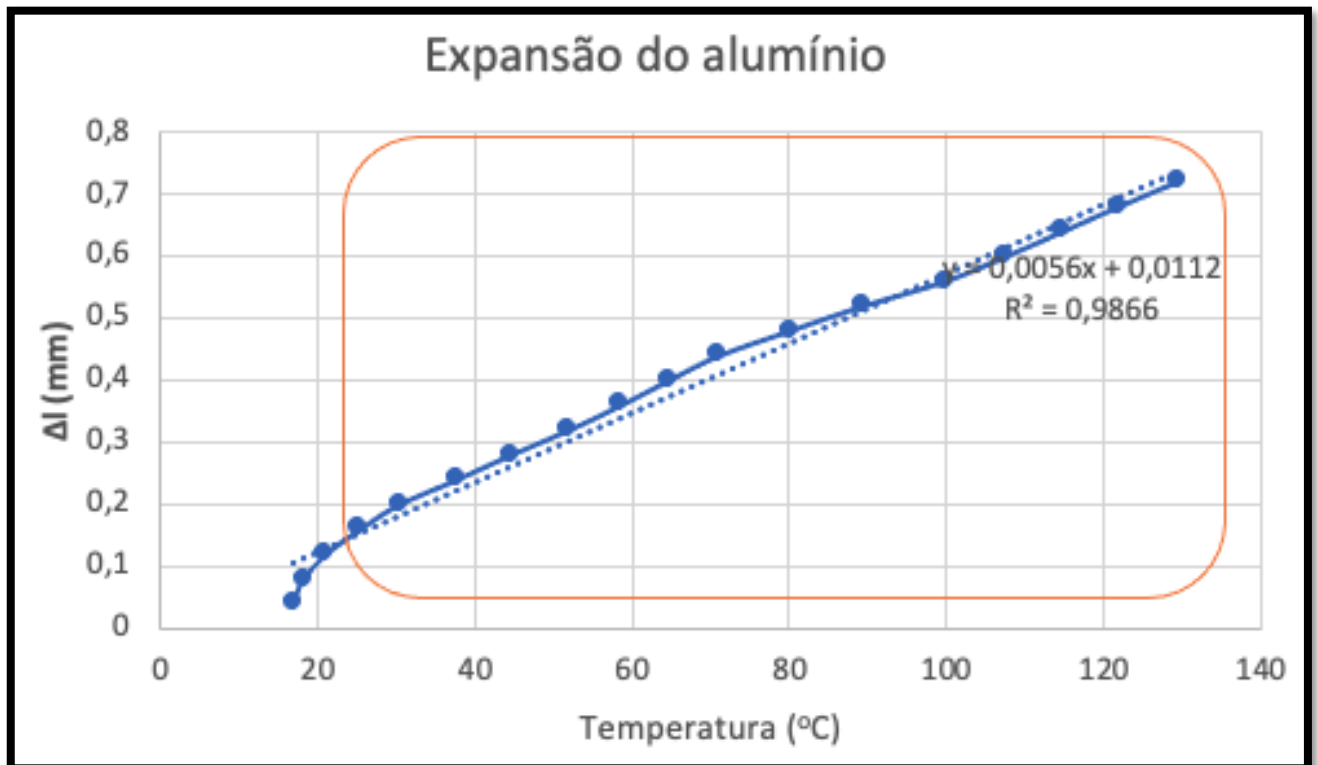


Figura 1 - Expansão do alumínio (valores não ajustados) e respetiva zona de interesse

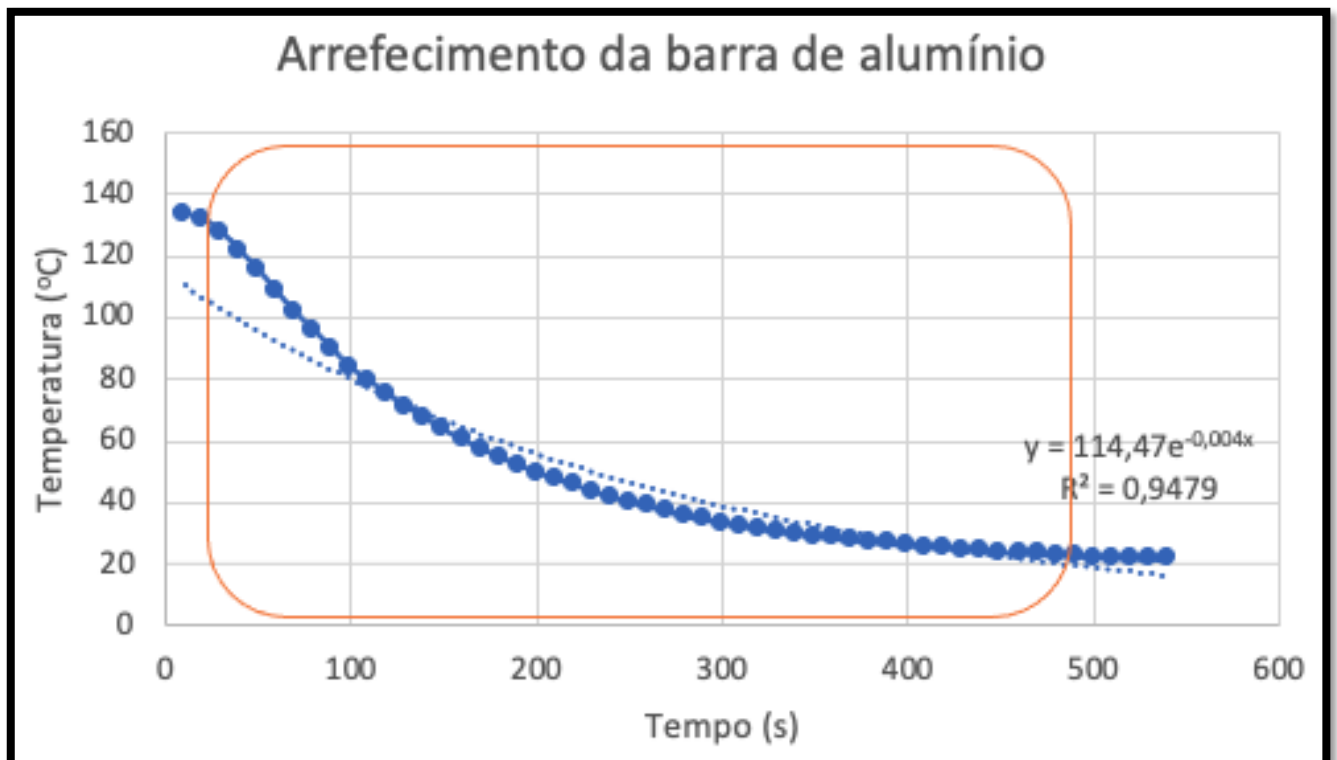


Figura 2 - Arrefecimento do alumínio (valores não ajustados) e respetiva zona de interesse

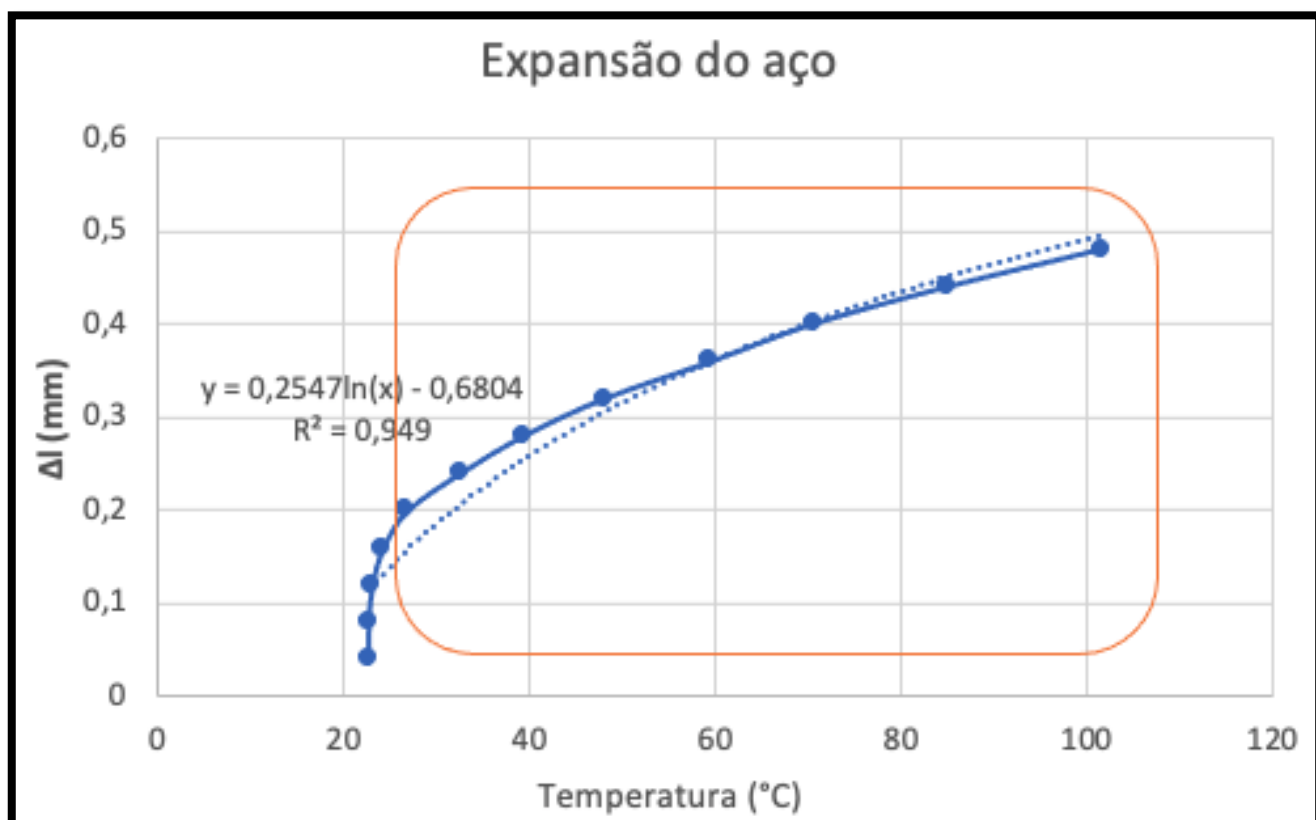


Figura 3 - Expansão do aço (valores não ajustados) e respetiva zona de interesse

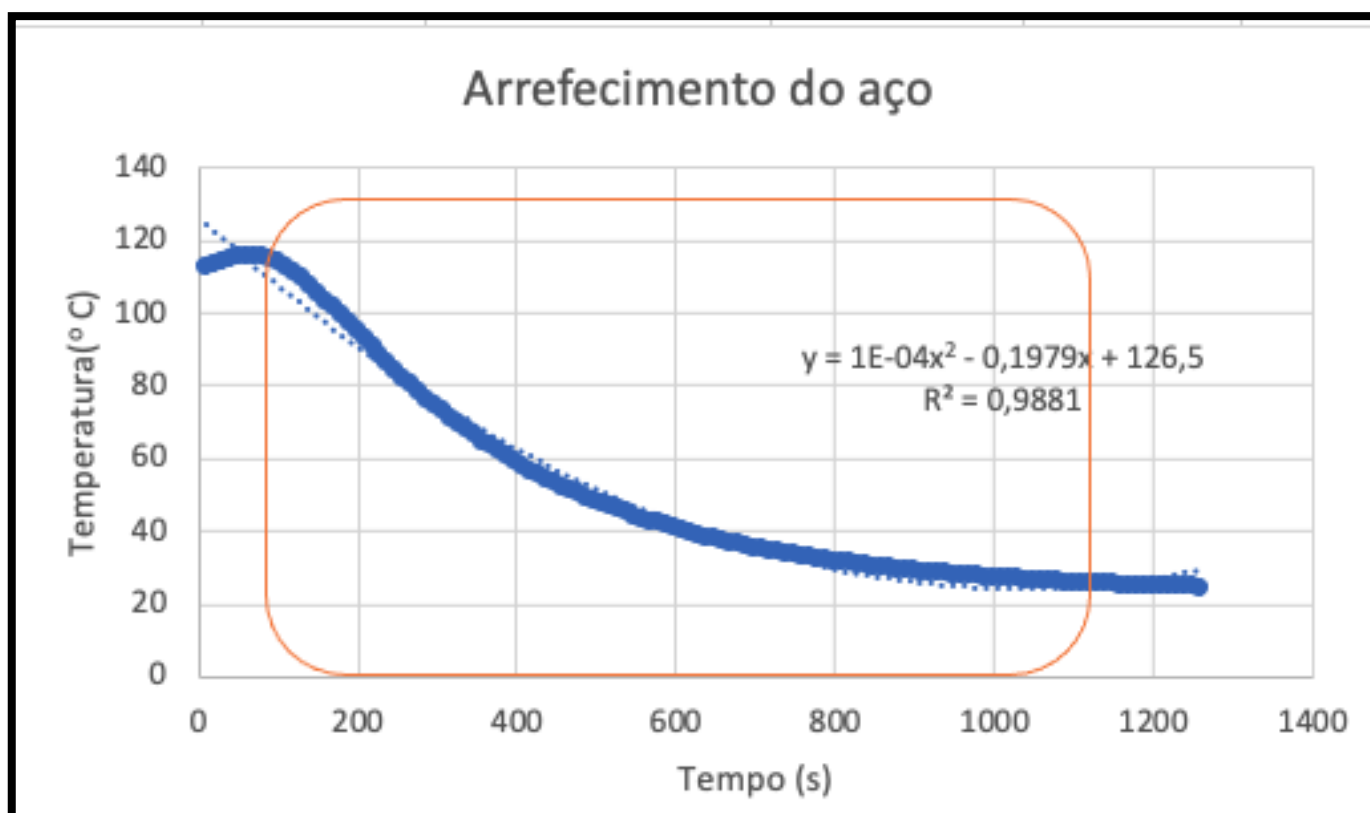


Figura 4 - Arrefecimento do aço (valores não ajustados) e respetiva zona de interesse

4.

Para facilitar o processo de visualização das zonas de interesse dos gráficos, colocamos nos gráficos acima a demarcação das mesmas.

5.

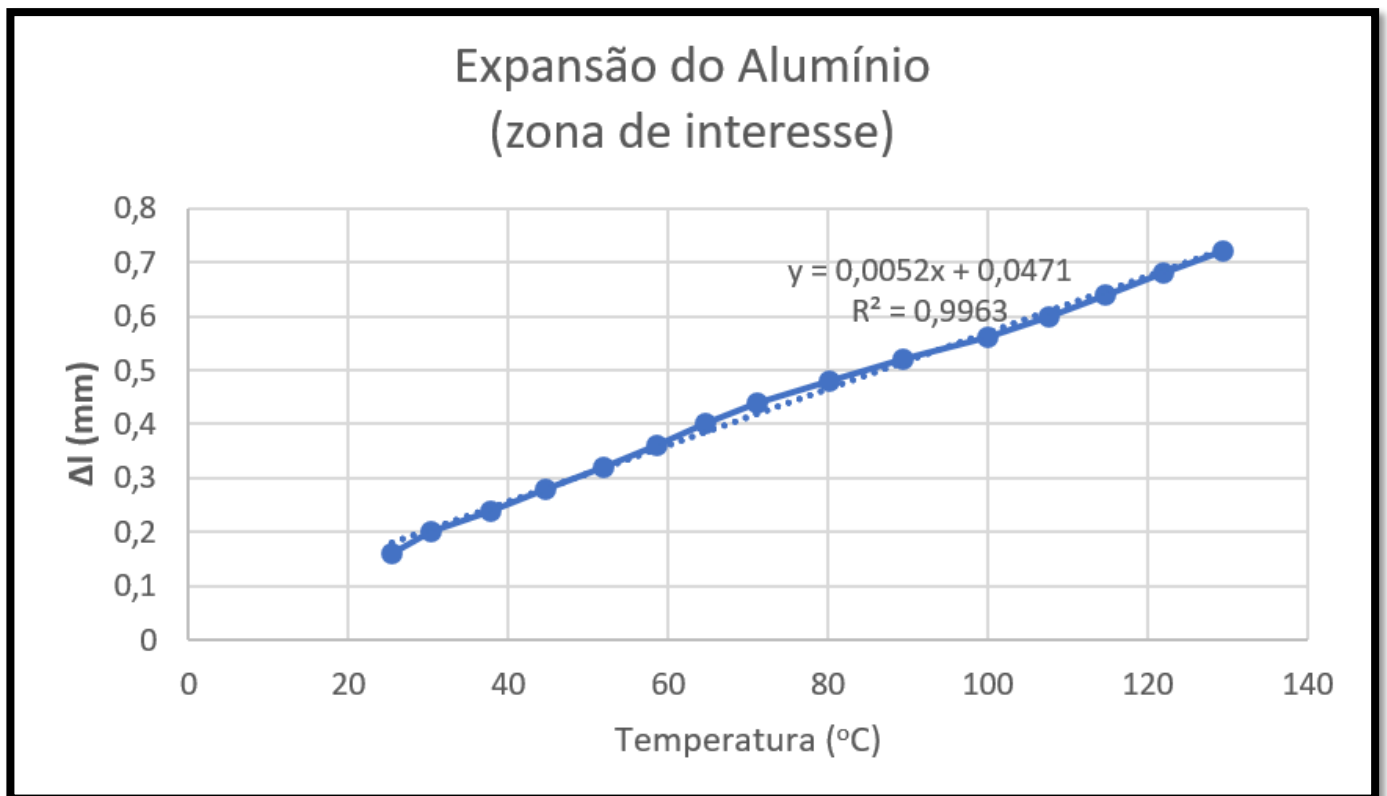


Figura 5 - Expansão do alumínio com os respectivos valores ajustados (ajustados a partir da zona de interesse)

Arrefecimento da barra de alumínio (zona de interesse)

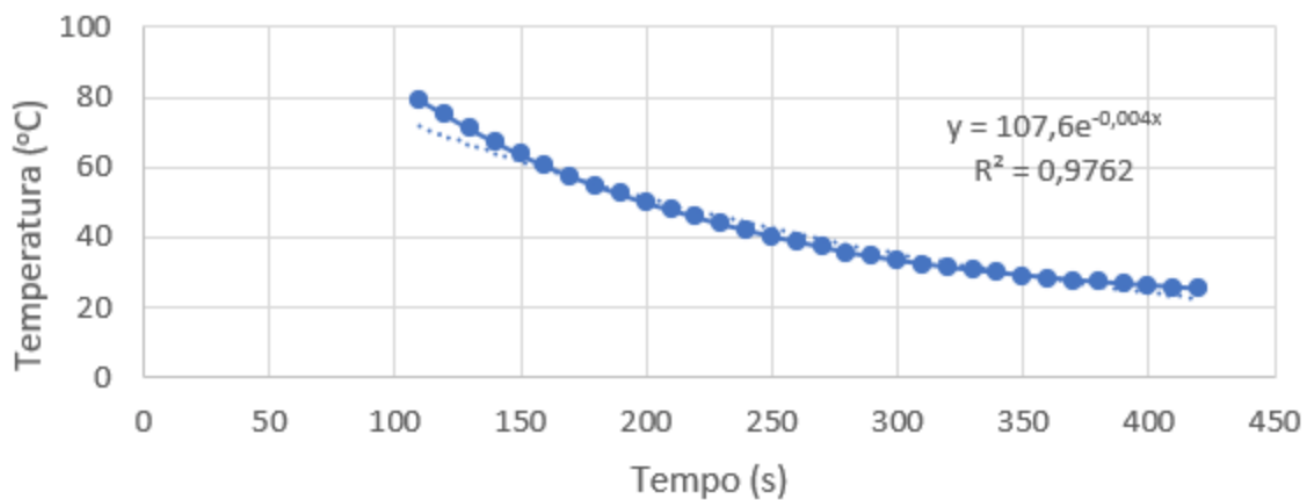


Figura 6 - Arrefecimento do alumínio com os respetivos valores ajustados (ajustados a partir da zona de interesse)

Expansão do aço (zona de interesse)

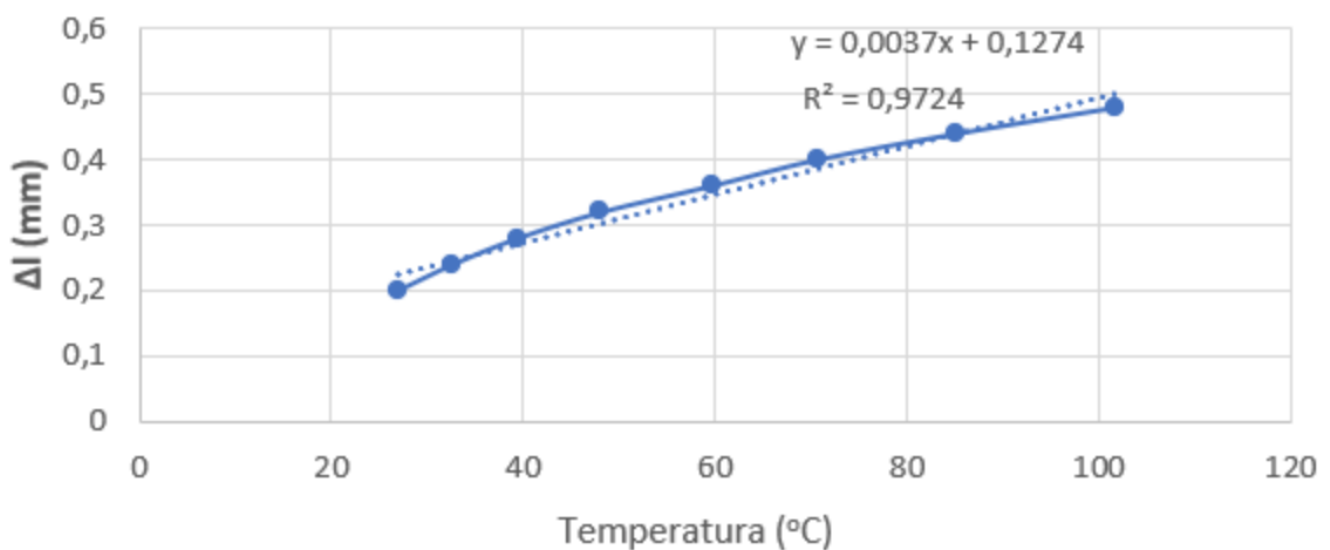


Figura 7 - Expansão do aço com os respetivos valores ajustados (ajustados a partir da zona de interesse)

Arrefecimento do aço (zona de interesse)

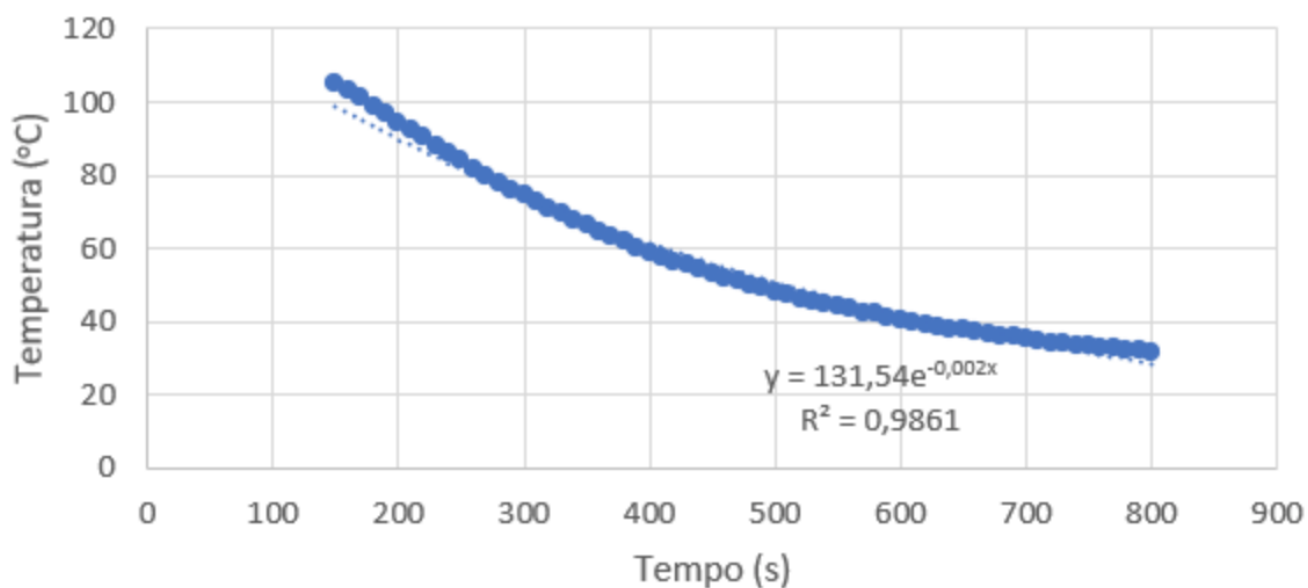


Figura 8 – Arrefecimento do aço com os respetivos valores ajustados (ajustados a partir da zona de interesse)

6.

• Expansão do alumínio
declive = $m = \frac{\Delta L}{\Delta T}$

$$\Delta L = \alpha_{\text{alum}} \cdot L_0 \cdot \Delta T \Rightarrow \alpha_{\text{alum}} = \frac{\Delta L / \Delta T}{L_0} \Rightarrow \alpha_{\text{alum}} = \frac{m}{L_0} \quad (\text{cm})$$

$$\Rightarrow \alpha_{\text{alum}} = \frac{0,0052}{239} \Rightarrow \boxed{\alpha_{\text{alum}} = 2,18 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}}$$

• Expansão do aço

$$\alpha_{\text{aço}} = \frac{m}{L_0} \Rightarrow \alpha_{\text{aço}} = \frac{0,0037}{239,5} \Rightarrow \boxed{\alpha_{\text{aço}} = 1,54 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}}$$

$$T - T_a = (T_i - T_a) e^{-t/\tau} \Leftrightarrow \frac{T - T_a}{T_i - T_a} = e^{-t/\tau} \Leftrightarrow -\frac{t}{\tau} = \ln\left(\frac{T - T_a}{T_i - T_a}\right) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow t = \tau \cdot \left(-\ln\left(\frac{T - T_a}{T_i - T_a}\right)\right)$$

\downarrow
 y

\downarrow
 K

\downarrow
 x

$y = -Kx$
 $K = \tau$

• Aquecimento do alumínio

$$y = 107,6 e^{-0,004x} \Leftrightarrow e^{-0,004x} = \frac{y}{107,6} \Leftrightarrow -0,004x = \ln\left(\frac{y}{107,6}\right) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow x = \frac{1}{0,004} \cdot \left(-\ln\left(\frac{y}{107,6}\right)\right)$$

\downarrow
 K

$$K = \boxed{\tau_{\text{alum}} = \frac{1}{0,004} = 250 \text{ s}}$$

• Aquecimento do aço

$$y = 131,54 e^{-0,002x} \Leftrightarrow e^{-0,002x} = \frac{y}{131,54} \Leftrightarrow -0,002x = \ln\left(\frac{y}{131,54}\right) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow x = \frac{1}{0,002} \cdot \left(-\ln\left(\frac{y}{131,54}\right)\right)$$

\downarrow
 K

$$K = \boxed{\tau_{\text{aço}} = \frac{1}{0,002} = 500 \text{ s}}$$

7.

2. Erro relativo dos α :

Alumínio

$$\frac{|2,18 \times 10^{-5} - 2,40 \times 10^{-5}|}{2,40 \times 10^{-5}} \times 100 = 9,17\%$$

Aço

$$\frac{|1,54 \times 10^{-5} - 1,2 \times 10^{-5}|}{1,2 \times 10^{-5}} \times 100 = 28,3\%$$

8.

$C_{\text{alum}} = 900 \text{ J/Kg K}$
 $C_{\text{aço}} = 460 \text{ J/Kg K}$

$A_{\text{alum}} = 2\pi r(r+h) =$
 (cilindro)
 $= 2\pi \frac{0,618}{2} \left(\frac{0,618}{2} + 23,9 \right)$
 $= 47 \text{ cm}^2 = 47 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$A_{\text{aço}} = 47,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
 (cilindro)

Pela equação 11:

$$\tau = \frac{m \cdot c}{h \cdot A} \Leftrightarrow h = \frac{m \cdot c}{\tau \cdot A}$$

• Aquecimento do alumínio

$$h_{\text{alum}} = \frac{19 \times 10^{-3} \cdot 900}{250 \cdot 47 \times 10^{-4}} = \frac{17,1}{1,175} \Rightarrow h_{\text{alum}} = 14,55 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

• Aquecimento do aço

$$h_{\text{aço}} = \frac{55 \times 10^{-3} \cdot 460}{500 \cdot 47,1 \times 10^{-4}} = \frac{25,3}{2,355} \Rightarrow h_{\text{aço}} = 10,74 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

25% - Resposta às questões (colocadas no guião)

Questão 1 – A camada de ar envolvente às barras influencia a expansão máxima obtida, pois como a barra não está num ambiente isolado, está constantemente a perder/transitar energia para a camada de ar envolvente devido a esta estar a uma temperatura mais baixa. Posto isto, quanto menor for a temperatura da camada de ar envolvente maior será a energia que transita da barra para mesma, afetando assim a expansão máxima.

Questão 2 – O ligeiro aumento da temperatura deve-se à condutividade térmica do aço que é 52 W/m K, isto é, a sua capacidade de propagar energia térmica é relativamente baixa.

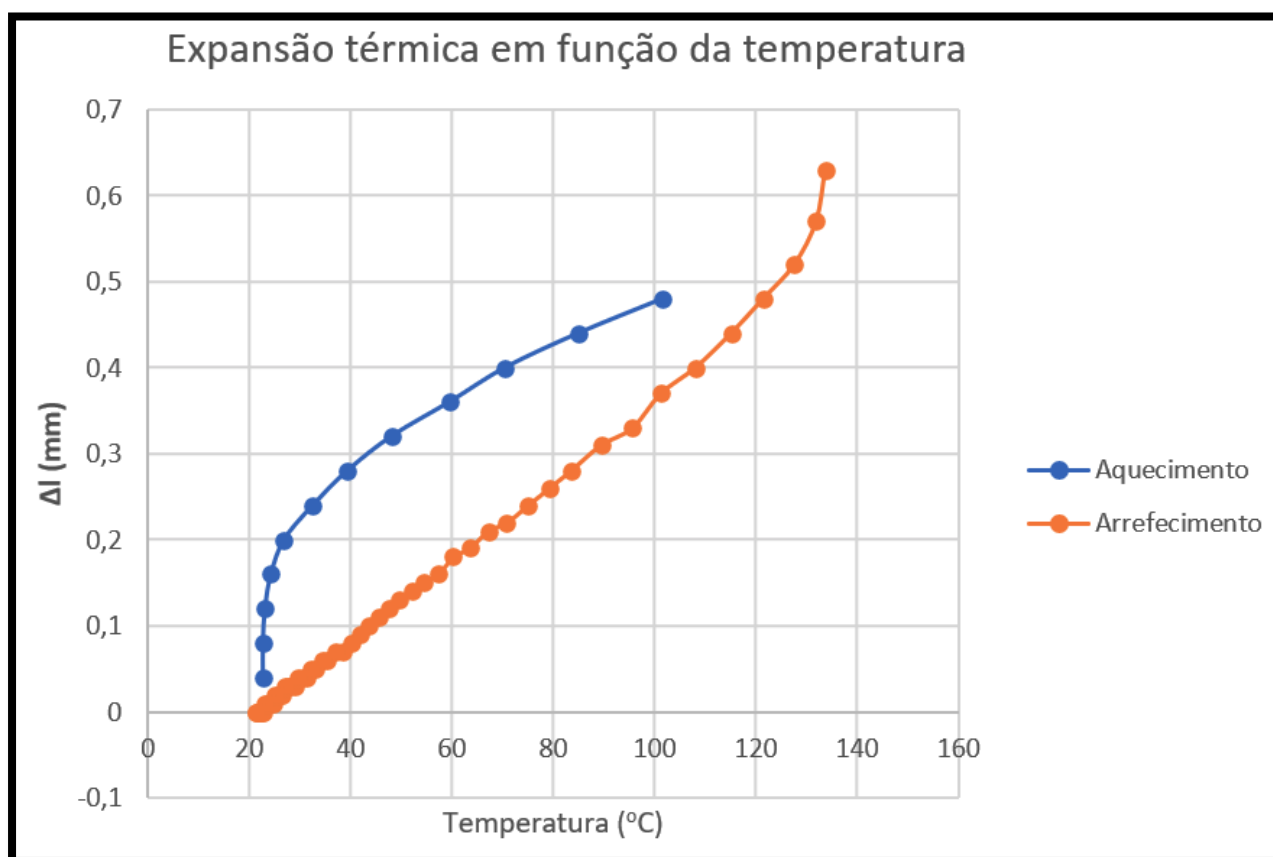
O local que está em contacto com a chama, está a receber energia térmica, energia esta que demora algum tempo a propagar-se até às extremidades da barra (local onde está ligado o termopar), o que faz com que mesmo depois de tirar a chama, a energia ainda se propague até à extremidade da barra daí o aumento da temperatura nos instantes iniciais após retirarmos a lamparina.

Questão 3 – As duas curvas não se sobrepõem, uma vez que o aquecimento e o arrefecimento têm processos diferentes, isto é, o aquecimento dá-se por condução e o arrefecimento por convecção.

No processo de aquecimento (condução), existe contacto direto entre a chama e as moléculas do metal, que por este ser um sólido, estão mais juntas umas das outras, o que faz com que o calor seja transmitido mais rapidamente entre elas.

No processo de arrefecimento (convecção), há transferência de energia térmica para as moléculas de ar, que por ser um fluido, estão muito separadas entre si e movem-se livremente, o que faz com que o calor seja transmitido a uma velocidade mais lenta entre as partículas.

Em suma, como o calor é transmitido mais rapidamente por condução, num mesmo intervalo de tempo a expansão no aquecimento será sempre superior relativamente ao arrefecimento e as linhas dos gráficos não se tocam.



10% - Comentários ou observações

Achamos importante referir pequenas imprecisões nas medições quer de temperatura, quer de expansão ou mesmo de tempo que podem estar ligeiramente diferentes, pois são valores que estão constantemente a mudar (não é fácil a olho humano detetar e apontar os valores dessas variáveis nos instantes exatos).

No ponto 7, os valores tabelados para o coeficiente de expansão linear do aço e do alumínio foram obtidos através da tabela que se encontra na página 2 do enunciado deste mesmo trabalho.

No ponto 8, na pesquisa da capacidade térmica mássica dos dois materiais (alumínio e aço) foi utilizado o link numerado na bibliografia com o número 1, assim como na questão 2 foi utilizada também a tabela encontrada no link com o número 2 na bibliografia, de modo a para obter a condutividade térmica do aço.

De realçar também a utilização de 3 algarismos significativos nos cálculos dos coeficientes de expansão linear e das constantes de tempo de arrefecimento.

Bibliografia

[1] <http://www.fq.pt/images/tabelas/capacidades-termicas-massicas.pdf>

[2] <http://www.protolab.com.br/Tabela-Conductividade-Material-Construcao.htm>