

Lab 1.19

Trabalho 1B - Verificação experimental da lei de Newton do aquecimento e estudo da solidificação da parafina

Salomé Coimbra's Gomes, Grupo 6, PL6

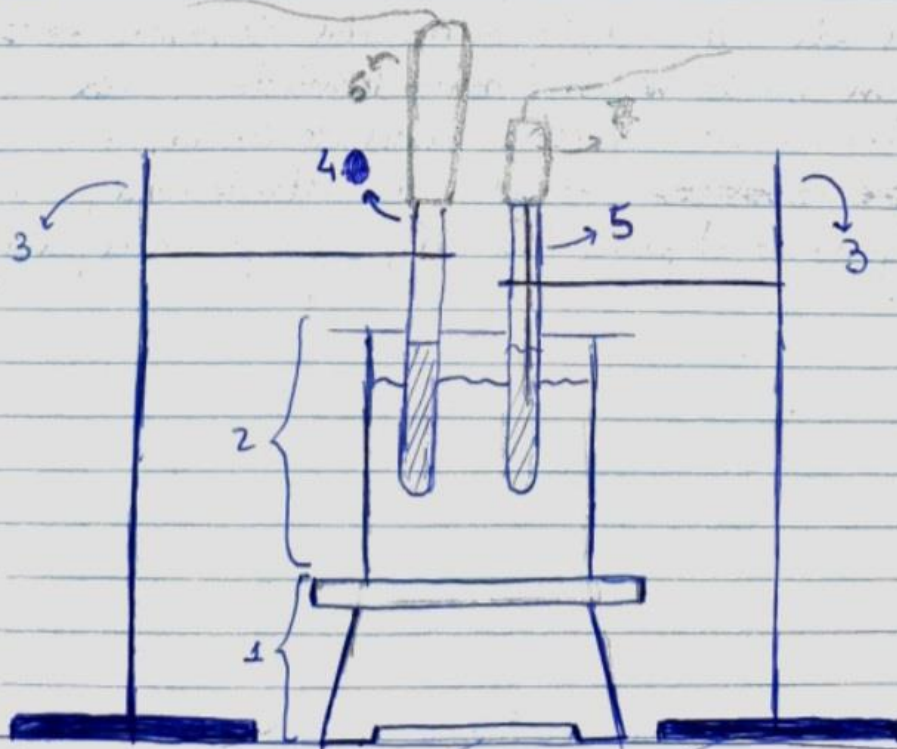
16/5/2022

Objetivos

- Verificação experimental da lei de Newton que rege a variação da temperatura de um corpo em aquecimento na atmosfera
- Determinação da temperatura da transição de fase líquido/sólido da parafina
- Parametrização da experiência
- Introdução à aquisição automática de dados

Montagem experimental

- É a mesma para as 2 experiências, que são realizadas em conjunto



- 1 - aquecedor de disco
- 2 - garrafa de vidro com água, ~~apertada~~ tapada com uma tampa com 2 orifícios
- 3 - suportes
- 4 - tubo de ensaio com parafina
- 5 - tubo de ensaio com água

~~6 - sensor de temperatura~~

~~Para além do material~~

~~• o sensor de temperatura 6 deve ser ligado ao computador com medidor de temperatura~~

6 - termopar (que será ligado a um medidor digital de temperatura)

7 - termómetro digital (ligado à interface com o computador, na porta DIN1)

• Em cima da bancada está colocada uma placa divisora / isoladora. ~~De um lado~~ da placa é colocada a montagem ~~esquematizada~~ esquematizada acima. ~~Do outro lado da placa~~ encontra-se a interface sensor/computador, com outro ~~termómetro~~ termómetro digital ligado na porta DIN2, para medir a temperatura ambiente

• Para além do material já referido, são necessários ~~linhas~~ linhas de proteção e um recipiente para ~~transportar~~ transportar água

Cuidados:

~~• ligar o sistema a montagem~~

• garantir que o sistema de aquecimento não afeta o registo dos dados, através da disposição correta dos elementos ~~da~~

~~da~~ da montagem na bancada (nomeadamente a placa divisora)

• preparar o sistema de aquisição antes de iniciar o registo

• ~~registar o instante correspondente~~ registrar o instante correspondente ao início do registo $\theta(t)$ para a água e para a parafina

Procedimento experimental

Experimental

Experiência 1 → verificação experimental da Lei de Newton

~~Antes da montagem do experimento, a massa da água não foi medida por~~

- 1) ☒ ~~Proceder à montagem experimental descrita anteriormente~~
- 2) ☒ Aquecer, simultaneamente, a água e a parafina, com ajuda do disco de aquecimento
~~até atingir o ponto de aquecimento da parafina~~
- 3) ☒ Quando for atingida uma temperatura de 100°C , remover os tubos de ensaio ~~do~~ do gobelé e colocá-los de forma a que o termómetro que mede a temperatura ambiente fique à mesma distância dos 2 (aproximadamente), mas suficientemente afastado para que as suas medições não sejam ~~afetadas~~ muito afetadas pelo calor irradiado pelos tubos.
- 4) ☒ Registrar dados experimentais com o software "LoggerPro"
 - interruptor da interface de aquisição no 1
 - verificar que o cabo do termómetro da água está ligado ao sensor de temperatura
 - abrir o ficheiro do logger pelo "temperaturas"
 - escolher parâmetros: "data collection" → "mode" → "sampling"
 - as colunas devem registar tempo e temperaturas (água e t. ambiente)
 - "collect" → registo de dados $\theta(t)$ durante o aquecimento da água (intervalos de tempo de 10 s) até ao fim da experiência da parafina
 - "stop" → "file" → "export data" → anotar o nome do ficheiro
 - abrir ficheiro com Microsoft Word e formatá-lo

Experiência 2 → estudo do fenómeno fusão - solidificação

→ Como são feitas em simultâneo, os pontos 1), 2) e 3) são coincidentes

- 4) ☒ ~~Registrar manualmente~~ Registrar manualmente valores de temperatura e ~~o~~ respetivo instante ($\theta(t)$); registar observações relevantes
- 5) ☒ Registrar o instante indicado no computador após retirar ~~o~~ tubo de ensaio com parafina do gobelé

6) ☒ Registrar dados de tempo e temperatura de 10s em 10s ou 20s em 20s até $\sim 45^\circ\text{C}$

Cuidados:

~~_____~~
• A ponta do sensor de temperatura deve encontrar-se no centro da amostra, em cada tubo de ensaio

16/05
map. tab. e
graf. PC

Registro em aula

Começamos por realizar a montagem esquematizada, ~~com o nível da água no gobelet superior ao nível das amostras dentro dos tubos de ensaio~~

A parafina começou a fundir, ficando transparente. Fundiu de fora para dentro

Certificamo-nos de que os sensores de temperatura não se encontravam encostados às paredes dos tubos de ensaio

~~20,500~~ Quando utilizamos o tubo de ensaio com parafina fina do gobelet, no loggerPro, registava ~~20,50~~
 $t = (20,500 \pm 0,001) \text{ min}$

Por volta de $t = 360 \text{ s}$ (medido no cronómetro) a parafina começou a solidificar ~~por fora~~ (solidificou em direção ao centro)

~~Em $t = 540 \text{ s}$ encontrava-se no estado sólido~~

$t = 740 \text{ s}$

Em ~~740 s~~, encontrava-se no estado sólido.

Os valores de $\theta(t)$ foram registados, durante cerca de ~~35 min~~
35 min, num documento Excel

16/05
graf. PC

Análise de dados

Experiência 11

Na tabela 1, encontram-se os dados recolhidos com o software "LoggerPro", bem como os valores de $\theta - \theta_a$ em °C. Os valores de $\ln(\theta - \theta_a)$ foram calculados apenas para a fase de arrefecimento (a partir dos 1240,00 s, aproximadamente). Calculou-se também $u(\ln(\theta - \theta_a))$, pelo método de propagação de incertezas:

$$u(\ln(\theta - \theta_a)) = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln(\theta - \theta_a)}{\partial \theta} u(\theta)\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln(\theta - \theta_a)}{\partial \theta_a} u(\theta_a)\right)^2}$$

$$= \frac{1}{\theta - \theta_a} \sqrt{u(\theta)^2 + u(\theta_a)^2}$$

De notar que, como θ_a variou ao longo da experiência, o valor usado é correspondente à média de todos os valores, que é de: $\theta_a = (24,048 \pm 0,255)^\circ\text{C}$.

A incerteza de $(\theta - \theta_a)$ é, portanto;

$$u(\theta - \theta_a) = \sqrt{u(\theta)^2 + u(\theta_a)^2} = 0,255^\circ\text{C}$$

t/min	t/s	$\theta/^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$	$\theta_a/^\circ\text{C}$	$\theta - \theta_a/^\circ\text{C} \pm 0.255^\circ\text{C}$
0.000	0.00	26.416608810	23.645	2.771
0.167	10.00	28.166837692	23.718	4.448
0.333	20.00	29.114879608	23.718	5.397
0.500	30.00	29.989994049	23.718	6.272
0.667	40.00	30.719257355	23.645	7.074
0.833	50.00	31.740224838	23.645	8.095
1.000	60.00	31.521446228	23.718	7.803
1.167	70.00	31.813150406	23.791	8.022
1.333	80.00	32.469486237	23.645	8.824
1.500	90.00	32.688266754	23.645	9.043
1.667	100.00	31.740224838	24.958	6.782
1.833	110.00	33.344600677	23.645	9.699
2.000	120.00	32.542411804	23.791	8.751
2.167	130.00	33.855087280	23.791	10.064
2.333	140.00	34.000938416	23.791	10.210
2.500	150.00	34.657276154	23.718	10.939
2.667	160.00	34.584346771	24.010	10.574
2.833	170.00	34.584346771	23.791	10.793
3.000	180.00	34.948978424	23.791	11.158
3.167	190.00	35.386535645	23.937	11.449
3.333	200.00	35.678241730	23.791	11.887
3.500	210.00	36.042873383	23.791	12.252
3.667	220.00	36.261650085	23.791	12.470
3.833	230.00	36.845062256	23.864	12.981
4.000	240.00	37.501396179	23.864	13.637
4.167	250.00	37.647251129	23.791	13.856
4.333	260.00	38.084808350	23.645	14.439
4.500	270.00	38.741146088	23.791	14.950
4.667	280.00	39.251628876	23.791	15.460
4.833	290.00	39.616260529	23.937	15.679
5.000	300.00	40.053817749	24.521	15.533
5.167	310.00	40.272594452	23.937	16.335
5.333	320.00	41.074783325	23.937	17.138
5.500	330.00	42.095752716	23.500	18.596
5.667	340.00	42.168678284	23.937	18.232
5.833	350.00	42.679161072	23.937	18.742
6.000	360.00	43.335498810	24.010	19.325
6.167	370.00	43.554275513	23.864	19.690
6.333	380.00	44.648170471	23.937	20.711

6.500	390.00	45.377433777	24.010	21.367
6.667	400.00	45.742065430	24.010	21.732
6.833	410.00	46.398399353	23.937	22.461
7.000	420.00	47.929851532	24.229	23.701
7.167	430.00	47.565219879	23.937	23.628
7.333	440.00	48.294483185	24.010	24.284
7.500	450.00	49.023746490	24.010	25.014
7.667	460.00	49.753005981	24.302	25.451
7.833	470.00	50.992752075	24.739	26.253
8.000	480.00	51.357383728	24.885	26.472
8.167	490.00	52.378353119	23.718	28.660
8.333	500.00	52.815910339	24.448	28.368
8.500	510.00	54.347362518	24.010	30.337
8.667	520.00	54.274433136	24.010	30.264
8.833	530.00	54.930770874	23.937	30.994
9.000	540.00	55.587108612	24.010	31.577
9.167	550.00	56.170516968	23.937	32.233
9.333	560.00	57.191486359	24.375	32.817
9.500	570.00	57.993675232	24.083	33.911
9.667	580.00	58.795864105	24.083	34.713
9.833	590.00	59.816829681	23.864	35.953
10.000	600.00	60.910724640	24.229	36.682
10.167	610.00	60.910724640	24.010	36.901
10.333	620.00	61.858764648	24.010	37.849
10.500	630.00	62.588027954	23.791	38.797
10.667	640.00	63.244361877	24.083	39.161
10.833	650.00	63.681919098	24.083	39.599
11.000	660.00	64.338256836	24.083	40.255
11.167	670.00	65.359222412	24.010	41.349
11.333	680.00	66.088485718	24.010	42.078
11.500	690.00	66.963600159	23.937	43.026
11.667	700.00	67.692863464	24.083	43.610
11.833	710.00	68.495056152	23.281	45.214
12.000	720.00	68.713829041	24.083	44.631
12.167	730.00	69.880653381	24.010	45.871
12.333	740.00	70.755767822	24.083	46.673
12.500	750.00	71.339179993	24.156	47.183
12.667	760.00	72.141365051	24.083	48.058
12.833	770.00	73.016479492	23.937	49.079
13.000	780.00	74.183303833	24.375	49.809
13.167	790.00	74.329154968	24.083	50.246
13.333	800.00	75.423049927	24.302	51.121
13.500	810.00	76.079383850	24.156	51.923

13.667	820.00	76.881568909	24.083	52.799
13.833	830.00	77.683761597	24.156	53.528
14.000	840.00	78.413024902	24.156	54.257
14.167	850.00	79.506919861	24.229	55.278
14.333	860.00	79.652770996	24.083	55.570
14.500	870.00	79.579841614	24.010	55.570
14.667	880.00	81.111297607	24.229	56.882
14.833	890.00	81.840553284	24.156	57.685
15.000	900.00	82.423965454	24.156	58.268
15.167	910.00	82.861526489	24.083	58.779
15.333	920.00	83.590789795	24.083	59.508
15.500	930.00	84.465904236	24.156	60.310
15.667	940.00	84.903457642	24.156	60.748
15.833	950.00	85.851501465	24.229	61.623
16.000	960.00	86.216133118	24.229	61.987
16.167	970.00	86.726615906	24.156	62.571
16.333	980.00	87.382949829	24.156	63.227
16.500	990.00	88.476844788	24.156	64.321
16.667	1000.00	88.841476440	23.281	65.561
16.833	1010.00	89.935371399	24.156	65.779
17.000	1020.00	90.737556458	24.229	66.509
17.167	1030.00	91.904380798	23.572	68.332
17.333	1040.00	91.904380798	24.010	67.894
17.500	1050.00	92.560714722	24.302	68.259
17.667	1060.00	93.362907410	24.083	69.280
17.833	1070.00	94.092163086	24.229	69.863
18.000	1080.00	94.894355774	24.156	70.738
18.167	1090.00	95.550689697	24.010	71.541
18.333	1100.00	96.717514038	24.229	72.489
18.500	1110.00	97.738479614	24.083	73.656
18.667	1120.00	98.176033020	24.010	74.166
18.833	1130.00	97.592628479	23.791	73.801
19.000	1140.00	99.342857361	24.156	75.187
19.167	1150.00	99.342857361	24.156	75.187
19.333	1160.00	99.634559631	24.083	75.552
19.500	1170.00	99.999191284	24.156	75.843
19.667	1180.00	100.436752319	24.156	76.281
19.833	1190.00	100.072120667	23.791	76.281
20.000	1200.00	100.436752319	24.156	76.281
20.167	1210.00	100.217971802	23.864	76.354
20.333	1220.00	100.436752319	24.156	76.281

20.500	1230.00	100.072120667	24.156	75.916	$\ln(\theta-\theta_s)$	$u(\ln(\theta-\theta_s))$
20.667	1240.00	99.342857361	24.156	75.187	4.320	1.33002E-20
20.833	1250.00	98.030181885	24.302	73.728	4.300	1.35633E-20
21.000	1260.00	97.446777344	24.156	73.291	4.294	1.36443E-20
21.167	1270.00	95.915321350	24.593	71.322	4.267	1.40209E-20
21.333	1280.00	95.696540833	24.083	71.614	4.271	1.39638E-20
21.500	1290.00	95.258987427	24.083	71.176	4.265	1.40497E-20
21.667	1300.00	94.529724121	24.083	70.447	4.255	1.41951E-20
21.833	1310.00	93.362907410	24.375	68.988	4.234	1.44952E-20
22.000	1320.00	92.998275757	24.229	68.769	4.231	1.45413E-20
22.167	1330.00	92.487785339	24.229	68.259	4.223	1.46501E-20
22.333	1340.00	91.758529663	24.156	67.603	4.214	1.47923E-20
22.500	1350.00	91.029266357	24.156	66.873	4.203	1.49536E-20
22.667	1360.00	90.154151917	24.156	65.998	4.190	1.51519E-20
22.833	1370.00	89.935371399	24.083	65.852	4.187	1.51855E-20
23.000	1380.00	89.133178711	24.156	64.977	4.174	1.539E-20
23.167	1390.00	88.695625305	24.229	64.467	4.166	1.55119E-20
23.333	1400.00	88.112213135	24.010	64.102	4.160	1.56001E-20
23.500	1410.00	87.528800964	24.156	63.373	4.149	1.57796E-20
23.667	1420.00	86.799545288	22.916	63.883	4.157	1.56535E-20
23.833	1430.00	86.289054871	23.937	62.352	4.133	1.6038E-20
24.000	1440.00	85.851501465	24.156	61.696	4.122	1.62086E-20
24.167	1450.00	85.268089294	24.156	61.112	4.113	1.63633E-20
24.333	1460.00	84.757606506	24.229	60.529	4.103	1.65211E-20
24.500	1470.00	84.101272583	24.156	59.945	4.093	1.66819E-20
24.667	1480.00	83.736640930	24.156	59.581	4.087	1.67839E-20
24.833	1490.00	82.788597107	23.937	58.851	4.075	1.69919E-20
25.000	1500.00	82.642745972	24.083	58.560	4.070	1.70766E-20
25.167	1510.00	82.278114319	24.083	58.195	4.064	1.71836E-20
25.333	1520.00	81.621780396	24.156	57.466	4.051	1.74016E-20
25.500	1530.00	81.111297607	24.156	56.955	4.042	1.75576E-20
25.667	1540.00	80.527885437	24.229	56.299	4.031	1.77623E-20
25.833	1550.00	80.163253784	23.427	56.737	4.038	1.76253E-20
26.000	1560.00	79.798622131	24.083	55.716	4.020	1.79483E-20
26.167	1570.00	79.069358826	24.229	54.841	4.004	1.82347E-20
26.333	1580.00	78.704727173	24.156	54.549	3.999	1.83322E-20
26.500	1590.00	78.267173767	24.229	54.038	3.990	1.85054E-20
26.667	1600.00	77.829612732	24.156	53.674	3.983	1.86311E-20
26.833	1610.00	77.173278809	23.135	54.038	3.990	1.85054E-20
27.000	1620.00	77.537910461	24.156	53.382	3.977	1.87329E-20
27.167	1630.00	76.808647156	24.156	52.653	3.964	1.89924E-20
27.333	1640.00	76.735717773	24.010	52.726	3.965	1.89661E-20
27.500	1650.00	76.152305603	24.156	51.996	3.951	1.92321E-20
27.667	1660.00	75.350120544	24.083	51.267	3.937	1.95057E-20
27.833	1670.00	74.985488892	24.010	50.975	3.931	1.96173E-20
28.000	1680.00	74.475006104	24.083	50.392	3.920	1.98444E-20
28.167	1690.00	73.891593933	23.937	49.954	3.911	2.00182E-20
28.333	1700.00	73.818672180	24.156	49.663	3.905	2.01358E-20
28.500	1710.00	73.526962280	24.083	49.444	3.901	2.02249E-20
28.667	1720.00	73.745742798	24.229	49.517	3.902	2.01951E-20
28.833	1730.00	72.651847839	24.083	48.569	3.883	2.05893E-20
29.000	1740.00	72.505996704	24.156	48.350	3.878	2.06825E-20
29.167	1750.00	71.922584534	24.083	47.840	3.868	2.09032E-20
29.333	1760.00	71.557952881	23.718	47.840	3.868	2.09032E-20
29.500	1770.00	71.193321228	24.229	46.965	3.849	2.12927E-20
29.667	1780.00	70.901618958	24.010	46.892	3.848	2.13258E-20
29.833	1790.00	70.464065552	23.937	46.527	3.840	2.14929E-20
30.000	1800.00	70.245285034	24.083	46.162	3.832	2.16627E-20
30.167	1810.00	70.026504517	24.083	45.944	3.827	2.17658E-20
30.333	1820.00	69.661872864	24.156	45.506	3.818	2.19751E-20
30.500	1830.00	69.005538940	24.083	44.923	3.805	2.22605E-20
30.667	1840.00	68.786758423	24.083	44.704	3.800	2.23695E-20
30.833	1850.00	68.276275635	25.031	43.245	3.767	2.31239E-20
31.000	1860.00	67.984573364	24.010	43.975	3.784	2.27404E-20
31.167	1870.00	68.567977905	24.010	44.558	3.797	2.24427E-20
31.333	1880.00	67.328231812	23.937	43.391	3.770	2.30462E-20
31.500	1890.00	66.963600159	24.010	42.954	3.760	2.3281E-20
31.667	1900.00	66.744819641	23.718	43.026	3.762	2.32415E-20
31.833	1910.00	66.088485718	24.302	41.787	3.733	2.3931E-20
32.000	1920.00	66.234336853	24.083	42.151	3.741	2.3724E-20
32.167	1930.00	65.578002930	24.010	41.568	3.727	2.4057E-20
32.333	1940.00	64.629959106	25.396	39.234	3.670	2.54879E-20
32.500	1950.00	65.067520142	24.156	40.912	3.711	2.44429E-20
32.667	1960.00	64.629959106	24.010	40.620	3.704	2.46618E-20
32.833	1970.00	64.338256836	23.937	40.401	3.699	2.47518E-20
33.000	1980.00	64.046554565	24.083	39.964	3.688	2.50228E-20
33.167	1990.00	64.119476318	24.010	40.109	3.692	2.49318E-20
33.333	2000.00	63.463142395	24.010	39.453	3.675	2.53466E-20
33.500	2010.00	63.317291260	24.010	39.307	3.671	2.54406E-20
33.667	2020.00	63.098510742	24.010	39.088	3.666	2.5583E-20
33.833	2030.00	62.879734039	24.229	38.651	3.655	2.58726E-20
34.000	2040.00	61.858764648	24.448	37.411	3.622	2.673E-20
34.167	2050.00	62.442173004	23.937	38.505	3.651	2.59706E-20
34.333	2060.00	62.004615784	24.010	37.995	3.637	2.63195E-20
34.500	2070.00	61.712913513	24.010	37.703	3.630	2.65232E-20
34.667	2080.00	61.567058563	24.010	37.557	3.626	2.6662E-20
34.833	2090.00	60.400238037	23.937	36.463	3.596	2.7425E-20
35.000	2100.00	60.983650208	24.010	36.974	3.610	2.70463E-20
35.167	2110.00	60.473167419	23.937	36.536	3.598	2.73702E-20
35.333	2120.00	60.327312469	23.500	36.828	3.606	2.71534E-20
35.500	2130.00	60.181461334	23.354	36.828	3.606	2.71534E-20
35.667	2140.00	59.889755249	23.281	36.609	3.600	2.7315E-20
35.833	2150.00	59.525123596	24.448	35.078	3.558	2.85083E-20
36.000	2160.00	59.233421326	23.500	35.734	3.576	2.79847E-20
36.167	2170.00	59.014640808	24.010	35.005	3.555	2.85677E-20
36.333	2180.00	58.795864105	23.937	34.859	3.551	2.86872E-20
36.500	2190.00	58.504158020	23.937	34.567	3.543	2.89293E-20
36.667	2200.00	58.358303070	23.937	34.421	3.539	2.90519E-20
36.833	2210.00	57.993675232	24.083	33.911	3.524	2.94892E-20
37.000	2220.00	57.847820282	23.208	34.640	3.545	2.88684E-20

37.167	2230.00	57.629043579	24.229	33.400	3.509	2.99399E-20
37.333	2240.00	57.993675232	23.864	34.129	3.530	2.93002E-20
37.500	2250.00	58.212451935	23.645	34.567	3.543	2.89293E-20
37.667	2260.00	57.337337494	24.083	33.254	3.504	3.00712E-20
37.833	2270.00	57.629043579	23.937	33.692	3.517	2.96807E-20
38.000	2280.00	56.753929138	23.937	32.817	3.491	3.04722E-20
38.167	2290.00	56.462223053	23.937	32.525	3.482	3.07455E-20
38.333	2300.00	56.170516968	23.937	32.233	3.473	3.10237E-20
38.500	2310.00	56.024665833	24.302	31.723	3.457	3.15229E-20
38.667	2320.00	55.514183044	23.864	31.650	3.455	3.15956E-20
38.833	2330.00	55.149551392	23.791	31.358	3.445	3.18895E-20
39.000	2340.00	55.222476959	25.250	29.973	3.400	3.36337E-20
39.167	2350.00	54.857845306	24.958	29.900	3.398	3.34451E-20
39.333	2360.00	54.420288086	23.500	30.921	3.431	3.23408E-20
39.500	2370.00	54.566139221	24.156	30.410	3.415	3.28837E-20
39.667	2380.00	54.493213654	23.937	30.556	3.420	3.27267E-20
39.833	2390.00	54.347362518	23.791	30.556	3.420	3.27267E-20
40.000	2400.00	54.055656433	23.937	30.119	3.405	3.32021E-20
40.167	2410.00	54.128582001	24.229	29.900	3.398	3.34451E-20
40.333	2420.00	54.201507568	24.229	29.973	3.400	3.33637E-20
40.500	2430.00	53.545173645	23.937	29.608	3.388	3.37746E-20
40.667	2440.00	53.399318695	23.937	29.462	3.383	3.39418E-20
40.833	2450.00	53.836875916	23.281	30.556	3.420	3.27267E-20
41.000	2460.00	52.961761475	24.083	28.879	3.363	3.46275E-20
41.167	2470.00	52.815910339	23.937	28.879	3.363	3.46275E-20
41.333	2480.00	52.524204254	23.864	28.660	3.356	3.48918E-20
41.500	2490.00	52.232498169	24.010	28.222	3.340	3.54328E-20
41.667	2500.00	52.232498169	24.010	28.222	3.340	3.54328E-20
41.833	2510.00	51.794940948	24.010	27.785	3.324	3.59908E-20
42.000	2520.00	51.722015381	24.083	27.639	3.319	3.61807E-20
42.167	2530.00	51.722015381	24.010	27.712	3.322	3.60855E-20
42.333	2540.00	51.138607025	24.083	27.056	3.298	3.69609E-20
42.500	2550.00	51.211532593	24.010	27.201	3.303	3.67627E-20
42.667	2560.00	51.138607025	23.791	27.347	3.309	3.65666E-20
42.833	2570.00	50.992752073	23.645	27.347	3.309	3.65666E-20
43.000	2580.00	50.115325953	23.281	27.931	3.330	3.58028E-20
43.167	2590.00	50.555194855	23.864	26.691	3.284	3.74658E-20
43.333	2600.00	50.919826508	23.718	27.201	3.303	3.67627E-20
43.500	2610.00	50.36418152	23.864	26.472	3.276	3.77754E-20
43.667	2620.00	49.89860931	23.937	25.962	3.257	3.85182E-20
43.833	2630.00	49.89860931	23.937	25.962	3.257	3.85182E-20
44.000	2640.00	49.607154846	23.937	25.670	3.245	3.89559E-20
44.167	2650.00	49.388378143	23.572	25.816	3.251	3.87358E-20
44.333	2660.00	49.169597626	23.864	25.305	3.231	3.95172E-20
44.500	2670.00	49.096672058	24.010	25.087	3.222	3.98619E-20
44.667	2680.00	49.096672058	23.937	25.160	3.225	3.97463E-20
44.833	2690.00	49.534229279	24.010	25.524	3.240	3.91785E-20
45.000	2700.00	48.659114838	24.593	24.066	3.181	4.1553E-20
45.167	2710.00	48.367408752	23.937	24.430	3.196	4.09328E-20
45.333	2720.00	48.367408752	23.864	24.503	3.199	4.0811E-20
45.500	2730.00	48.221557617	23.937	24.284	3.190	4.11786E-20
45.667	2740.00	48.075702667	24.083	23.993	3.178	4.16793E-20
45.833	2750.00	47.784000397	23.937	23.877	3.172	4.19342E-20
46.000	2760.00	47.711071014	23.937	23.774	3.169	4.20628E-20
46.167	2770.00	47.784000397	23.937	23.847	3.172	4.19342E-20
46.333	2780.00	47.492294312	23.864	23.628	3.162	4.23225E-20
46.500	2790.00	47.346443176	23.864	23.482	3.156	4.25853E-20
46.667	2800.00	47.273513794	23.864	23.409	3.153	4.2718E-20
46.833	2810.00	47.127662659	24.302	22.826	3.128	4.38099E-20
47.000	2820.00	46.908882141	23.864	23.045	3.137	4.33939E-20
47.167	2830.00	46.690105438	23.864	22.826	3.128	4.38099E-20
47.333	2840.00	46.968181523	24.083	22.894	3.131	4.36703E-20
47.500	2850.00	46.471324921	23.937	22.534	3.115	4.4377E-20
47.667	2860.00	46.398399353	23.937	22.461	3.112	4.45211E-20
47.833	2870.00	46.255248218	23.645	22.607	3.118	4.42338E-20
48.000	2880.00	46.106697083	23.864	22.243	3.102	4.4959E-20
48.167	2890.00	46.033767700	23.937	22.097	3.095	4.52557E-20
48.333	2900.00	45.814990997	23.864	21.951	3.089	4.55564E-20
48.500	2910.00	45.596210480	23.937	21.659	3.075	4.617E-20
48.667	2920.00	45.596210480	23.718	21.878	3.085	4.57083E-20
48.833	2930.00	45.304508209	23.718	21.586	3.072	4.6326E-20
49.000	2940.00	45.231578827	23.864	21.367	3.062	4.68003E-20
49.167	2950.00	44.66947174	23.937	20.930	3.041	4.7787E-20
49.333	2960.00	44.939876556	23.937	21.003	3.045	4.76128E-20
49.500	2970.00	44.721096039	23.937	20.784	3.034	4.8114E-20
49.667	2980.00	44.721096039	23.937	20.784	3.034	4.8114E-20
49.833	2990.00	45.085727692	23.937	21.149	3.052	4.72844E-20
50.000	3000.00	44.356464386	23.937	20.419	3.016	4.89732E-20
50.167	3010.00	44.210613251	23.937	20.273	3.009	4.93255E-20
50.333	3020.00	44.356464386	23.937	20.419	3.016	4.89732E-20
50.500	3030.00	44.064762115	23.864	20.201	3.006	4.95035E-20
50.667	3040.00	43.918907160	23.937	19.982	2.995	5.00456E-20
50.833	3050.00	43.773056030	23.937	19.836	2.987	5.04135E-20
51.000	3060.00	43.481349945	24.010	19.491	2.969	5.13576E-20
51.167	3070.00	43.627201080	23.718	19.909	2.991	5.02289E-20
51.333	3080.00	43.408424377	23.864	19.544	2.973	5.1166E-20
51.500	3090.00	43.335498810	23.864	19.471	2.968	5.13576E-20
51.667	3100.00	43.189643860	23.937	19.253	2.959	5.19412E-20
51.833	3110.00	43.043792725	23.864	19.180	2.954	5.21387E-20
52.000	3120.00	42.970867157	23.937	19.034	2.946	5.25383E-20
52.167	3130.00	42.679161072	23.864	18.815	2.935	5.31492E-20
52.333	3140.00	42.606235504	23.645	18.961	2.942	5.27403E-20
52.500	3150.00	42.606235504	23.937	18.669	2.927	5.35644E-20
52.667	3160.00	43.262573242	23.354	19.909	2.991	5.02289E-20
52.833	3170.00	42.460384369	24.229	18.232	2.903	5.48499E-20
53.000	3180.00	42.387454987	23.864	18.523	2.919	5.39862E-20
53.167	3190.00	42.241603851	23.937	18.304	2.907	5.46314E-20
53.333	3200.00	41.804046631	23.864	17.940	2.887	5.57418E-20
53.500	3210.00	42.09575216	23.500	18.596	2.923	5.37744E-20
53.667	3220.00	41.876972718	24.010	17.867	2.883	5.59693E-20

53.833	3230.00	41.804046631	23.500	18.304	2.907	5.46314E-20
54.000	3240.00	41.731121063	23.937	17.794	2.879	5.61987E-20
54.167	3250.00	41.585266113	23.864	17.721	2.875	5.643E-20
54.333	3260.00	41.439414978	23.864	17.575	2.866	5.68983E-20
54.500	3270.00	41.293563843	24.010	17.284	2.850	5.78586E-20
54.667	3280.00	41.293563843	23.864	17.429	2.858	5.73744E-20
54.833	3290.00	40.710151672	24.083	16.627	2.811	6.01425E-20
55.000	3300.00	41.074783325	23.864	17.211	2.846	5.81037E-20
55.167	3310.00	40.928932190	24.375	16.554	2.807	6.04074E-20
55.333	3320.00	40.928932190	23.718	17.211	2.846	5.81037E-20
55.500	3330.00	40.856006622	23.937	16.919	2.828	5.91055E-20
55.667	3340.00	40.564300537	23.864	16.700	2.815	5.98798E-20
55.833	3350.00	40.564300537	23.937	16.627	2.811	6.01425E-20
56.000	3360.00	40.199668884	24.083	16.117	2.780	6.20474E-20
56.167	3370.00	40.345520020	23.791	16.554	2.807	6.04074E-20
56.333	3380.00	38.668216705	23.937	14.731	2.690	6.78836E-20
56.500	3390.00	40.126743317	24.593	15.533	2.743	6.43779E-20
56.667	3400.00	39.830537231	23.864	15.971	2.771	6.26141E-20
56.833	3410.00	39.907962799	23.791	16.117	2.780	6.20474E-20
57.000	3420.00	39.980892181	23.791	16.190	2.784	6.17679E-20
57.167	3430.00	39.762111664	23.718	16.044	2.775	6.23295E-20
57.333	3440.00	39.616260529	23.791	15.825	2.762	6.31912E-20
57.500	3450.00	39.689186096	23.718	15.971	2.771	6.26141E-20
57.667	3460.00	39.543311146	23.791	15.752	2.757	6.34837E-20
57.833	3470.00	39.470405579	23.791	15.679	2.752	6.3779E-20
58.000	3480.00	39.543311146	23.718	15.825	2.762	6.31912E-20
58.167	3490.00	39.397480011	25.031	14.366	2.665	6.96065E-20
58.333	3500.00	39.543311146	23.937	15.606	2.748	6.4077E-20
58.500	3510.00	39.324554443	23.791	15.533	2.743	6.43779E-20
58.667	3520.00	39.178703308	23.791	15.387	2.734	6.49881E-20
58.833	3530.00	39.105773926	23.791	15.315	2.729	6.52975E-20
59.000	3540.00	38.959922791	23.864	15.096	2.714	6.62439E-20
59.167	3550.00	38.86697223	23.864	15.023	2.710	6.65655E-20
59.333	3560.00	38.814071655	23.864	14.950	2.705	6.68902E-20
59.500	3570.00	38.668216705	23.937	14.731	2.690	6.78836E-20
59.667	3580.00	38.595291138	23.937	14.658	2.685	6.82213E-20
59.833	3590.00	38.959922791	23.937	15.023	2.710	6.65655E-20
60.000	3600.00	38.084808350	24.083	14.002	2.639	7.14192E-20
60.167	3610.00	38.303585052	23.937	14.366	2.665	6.96065E-20
60.333	3620.00	38.084808350	23.937	14.148	2.650	7.06829E-20
60.500	3630.00	38.011882782	23.791	14.221	2.655	7.03204E-20
60.667	3640.00	38.084808350	23.864	14.221	2.655	7.03204E-20
60.833	3650.00	37.938957214	23.791	14.148	2.650	7.06829E-20
61.000	3660.00	38.011882782	24.010	14.002	2.639	7.14192E-20
61.167	3670.00	37.866027832	24.010	13.856	2.629	7.2171E-20
61.333	3680.00	37.793102264	24.010	13.783	2.623	7.25528E-20
61.500	3690.00	38.376514435	23.864	14.512	2.675	6.89069E-20
61.667	3700.00	37.720176697	24.010	13.710	2.618	7.29387E-20
61.833	3710.00	37.574325562	24.229	13.346	2.591	7.49316E-20
62.000	3720.00	37.428470612	23.937	13.491	2.602	7.41215E-20
62.167	3730.00	37.428470612	24.229	13.200	2.580	7.57596E-20
62.333	3740.00	37.209693909	24.010	13.200	2.580	7.57596E-20
62.500	3750.00	37.574325562	24.083	13.491	2.602	7.41215E-20
62.667	3760.00	37.063838959	24.010	13.054	2.569	7.66061E-20
62.833	3770.00	37.063838959	23.937	13.127	2.575	7.61805E-20
63.000	3780.00	38.814071655	24.083	14.731	2.690	6.78836E-20
63.167	3790.00	36.917987823	24.010	12.908	2.558	7.74717E-20
63.333	3800.00	36.845062256	24.083	12.762	2.546	7.8357E-20
63.500	3810.00	36.772136688	24.156	12.616	2.535	7.92629E-20
63.667	3820.00	36.772136688	24.375	12.397	2.517	8.06617E-20
63.833	3830.00	36.626281738	24.083	12.543	2.529	7.97237E-20
64.000	3840.00	35.969947815	24.229	11.741	2.463	8.51707E-20
64.167	3850.00	36.626281738	24.083	12.543	2.529	7.97237E-20
64.333	3860.00	36.480430603	24.521	11.960	2.482	8.36127E-20
64.500	3870.00	36.334579468	24.083	12.252	2.506	8.16219E-20
64.667	3880.00	36.407505035	24.083	12.325	2.512	8.11380E-20
64.833	3890.00	36.261650085	24.010	12.252	2.506	8.16219E-20
65.000	3900.00	36.334579468	24.156	12.179	2.500	8.21107E-20
65.167	3910.00	36.188724518	24.083	12.106	2.494	8.26053E-20
65.333	3920.00	36.188724518	24.156	12.033	2.488	8.3106E-20
65.500	3930.00	36.115798950	24.083	12.033	2.488	8.3106E-20
65.667	3940.00	35.897022247	24.083	11.814	2.469	8.46449E-20
65.833	3950.00	35.824092865	24.229	11.595	2.451	8.6242E-20
66.000	3960.00	35.897022247	24.739	11.158	2.412	8.96241E-20
66.167	3970.00	35.75167297	24.083	11.668	2.457	8.5703E-20
66.333	3980.00	36.261650085	24.156	11.206	2.494	8.26053E-20
66.500	3990.00	35.605316162	24.083	11.522	2.444	8.6787E-20
66.667	4000.00	35.459461212	24.083	11.376	2.432	8.79005E-20
66.833	4010.00	35.459461212	24.156	11.304	2.425	8.84677E-20
67.000	4020.00	35.386535645	24.156	11.231	2.419	8.90421E-20
67.167	4030.00	35.313610077	24.083	11.231	2.419	8.90421E-20
67.333	4040.00	35.386535645	24.375	11.012	2.399	9.08112E-20
67.500	4050.00	35.313610077	23.718	11.595	2.451	8.6242E-20
67.667	4060.00	35.240684509	24.083	11.158	2.412	8.96241E-20
67.833	4070.00	35.313610077	24.083	11.231	2.419	8.90421E-20
68.000	4080.00	35.167758942	24.083	11.085	2.406	9.02137E-20
68.167	4090.00	35.021903992	24.010	11.012	2.399	9.08112E-20
68.333	4100.00	35.386535645	24.083	11.304	2.425	8.84677E-20
68.500	4110.00	34.948978424	24.156	10.793	2.379	9.26519E-20
68.667	4120.00	34.876052856	24.010	10.866	2.386	9.20301E-20
68.833	4130.00	34.803127289	24.083	10.720	2.372	9.32822E-20
69.000	4140.00	34.948978424	24.083	10.866	2.386	9.20301E-20
69.167	4150.00	34.730201721	24.083	10.647	2.365	9.39211E-20
69.333	4160.00	34.584346771	24.083	10.501	2.352	9.52256E-20
69.500	4170.00	34.948978424	24.229	10.720	2.372	9.32822E-20
69.667	4180.00	34.803127289	23.937	10.866	2.386	9.20301E-20
69.833	4190.00	34.584346771	24.083	10.501	2.352	9.52256E-20
70.000	4200.00	34.511421204	24.083	10.428	2.345	9.58915E-20
70.167	4210.00	34.438495636	24.083	10.356	2.338	9.65668E-20
70.333	4220.00	34.438495636	24.156	10.283	2.330	9.72517E-20
70.500	4230.00	34.803127289	24.156	10.647	2.365	9.39211E-20
70.667	4240.00	34.29644501	24.083	10.210	2.323	9.79463E-20
70.833	4250.00	34.073863983	24.083	9.991	2.302	1.00091E-19
71.000	4260.00	34.146789551	24.156	9.991	2.302	1.00091E-19
71.167	4270.00	34.146789551	24.083	10.064	2.309	9.93658E-20
71.333	4280.00	34.000938416	24.229	9.772	2.280	1.02332E-19
71.500	4290.00	33.928012848	24.010	9.918	2.294	1.00827E-19
71.667	4300.00	33.855087280	23.937	9.918	2.294	1.00827E-19
71.833	4310.00	33.855087280	23.937	9.918	2.294	1.00827E-19
72.000	4320.00	33.417526245	24.229	9.189	2.218	1.08829E-19
72.167	4330.00	33.855087280	24.083	9.772	2.280	1.02332E-19
72.333	4340.00	33.782157898	24.083	9.699	2.272	1.03101E-19
72.500	4350.00	33.709232330	24.010	9.699	2.272	1.03101E-19
72.667	4360.00	33.636306763	24.229	9.407	2.242	1.06298E-19
72.833	4370.00	33.636306763	24.083	9.407	2.242	1.06298E-19
73.000	4380.00	33.490455627	24.083	9.407	2.242	1.06298E-19
73.167	4390.00	33.490455627	24.229	9.262	2.226	1.07972E-19
73.333	4400.00	33.417526245	24.375	9.043	2.202	1.10585E-19
73.500	4410.00	33.709232330	24.083	9.626	2.264	1.03882E-19
73.667	4420.00	33.271675110	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
73.833	4430.00	32.979969025	23.864	9.116	2.210	1.097E-19
74.000	4440.00	32.979969025	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
74.167	4450.00	32.979969025	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
74.333	4460.00	32.979969025	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
74.500	4470.00	32.979969025	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
74.667	4480.00	32.979969025	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
74.833	4490.00	32.979969025	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
75.000	4500.00	32.979969025	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
75.167	4510.00	32.979969025	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
75.333	4520.00	32.979969025	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
75.500	4530.00	32.979969025	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
75.667	4540.00	32.979969025	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
75.833	4550.00	32.979969025	24.083	9.189	2.218	1.08829E-19
76.000	4560.00	32.9799				

~~No gráfico 1, podemos ver os valores de θ e θ_a em função do tempo.~~
 Podemos ver no gráfico 1, em que estão representados estes valores, que a água foi aquecida até $t = 1200,00\text{ s}$. Depois de ser utilizada do ~~gobele~~ ~~gobele~~ goble é ocorreu o seu arrefecimento, ~~até~~ para $t > 1240\text{ s}$. No gráfico 2, estão representados os pontos que dizem respeito a este ~~arrefecimento~~ período de arrefecimento ~~em função do tempo~~.

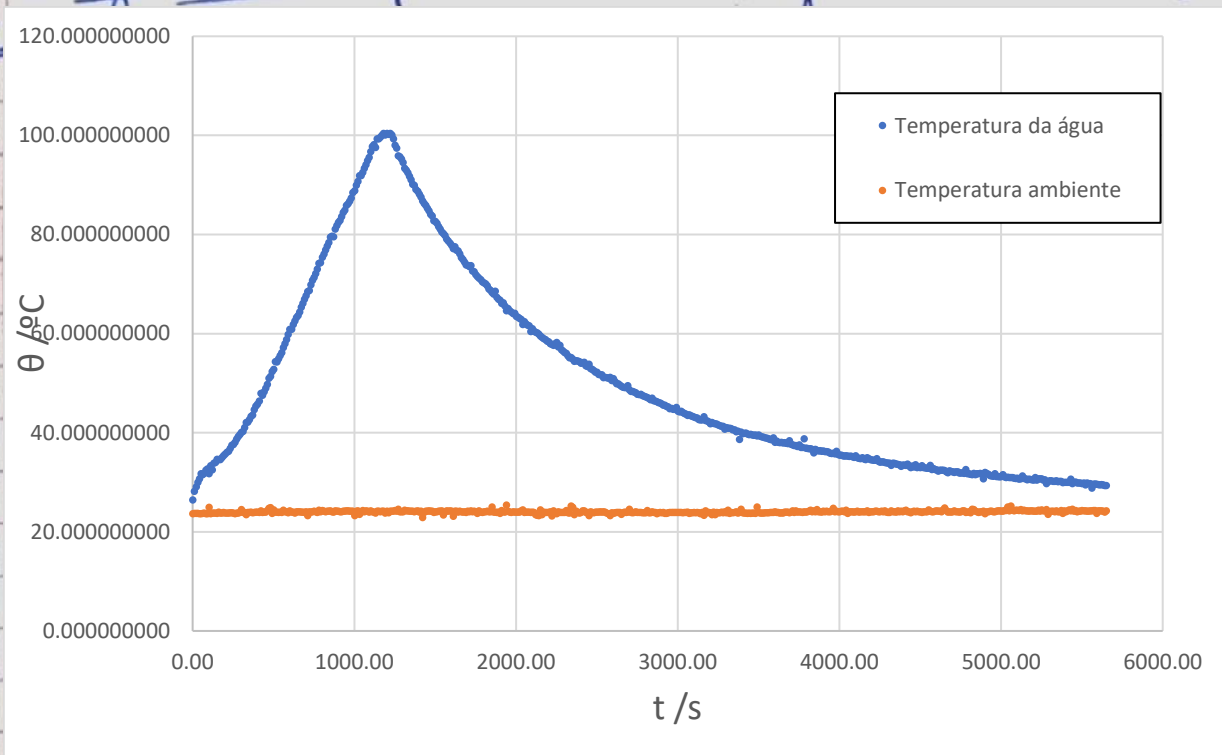


Gráfico 1

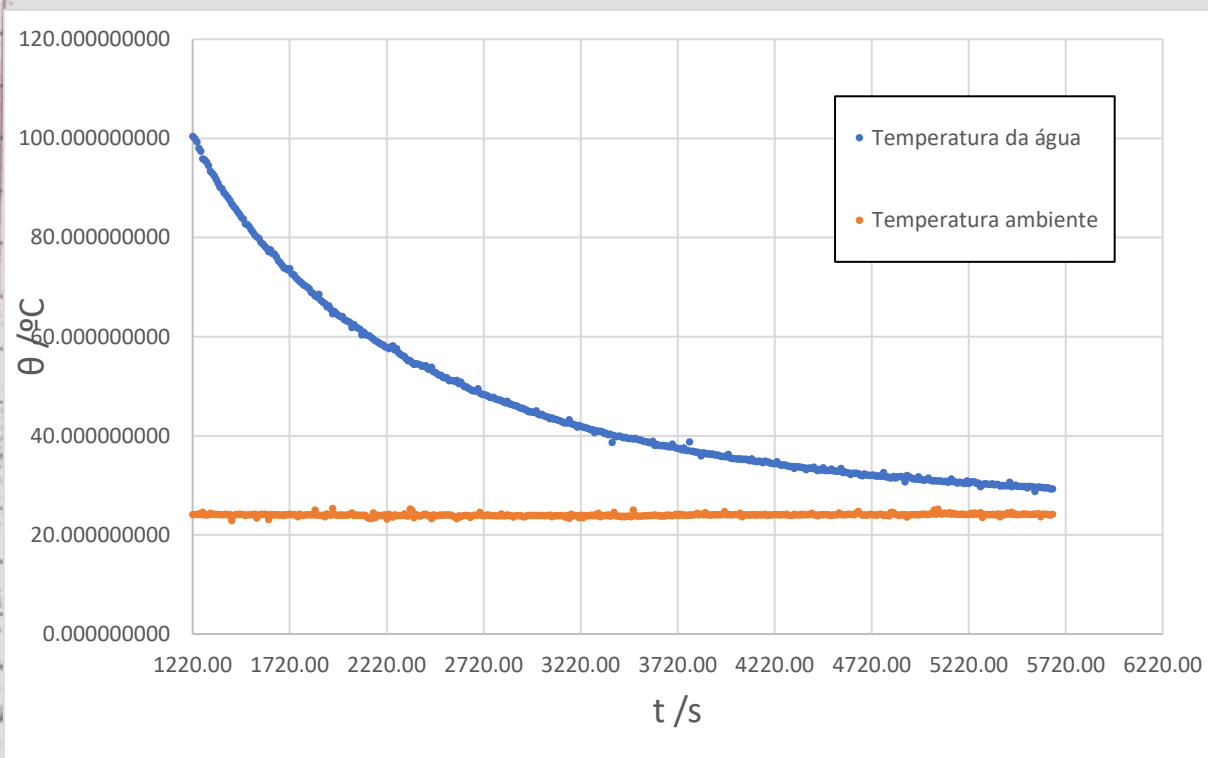


Gráfico 2

Como previsto pela lei do arrefecimento de Newton, este gráfico tem tendência exponencial, pelo que se procedeu à linearização da equação desta lei:

$$\begin{aligned}\theta(t) &= \theta_a + (\theta_i - \theta_a)e^{-\frac{t}{\tau}} \\ \Rightarrow \theta(t) - \theta_a &= (\theta_i - \theta_a)e^{-\frac{t}{\tau}} \\ \therefore \ln(\theta(t) - \theta_a) &= -\frac{1}{\tau}t + \ln(\theta_i - \theta_a)\end{aligned}$$

Assim, representando $\ln(\theta(t) - \theta_a)$ em função de t e calculando os parâmetros de ajuste linear, o declive da reta obtida é $-1/\tau$ e a ordenada na origem é $\ln(\theta_i - \theta_a)$.

Logo, temos:

$$m = -\frac{1}{\tau} \Rightarrow \tau = -\frac{1}{m} \Rightarrow u(\tau) = \frac{1}{m^2} u(m)$$

$$\ln(\theta_i - \theta_a) = b \Rightarrow \theta_i - \theta_a = e^b \Rightarrow u(\theta_i - \theta_a) = e^b u(b)$$

Posto isto, procedeu-se a uma primeira tentativa de ajuste representada no gráfico 3:

1.º ajuste linear

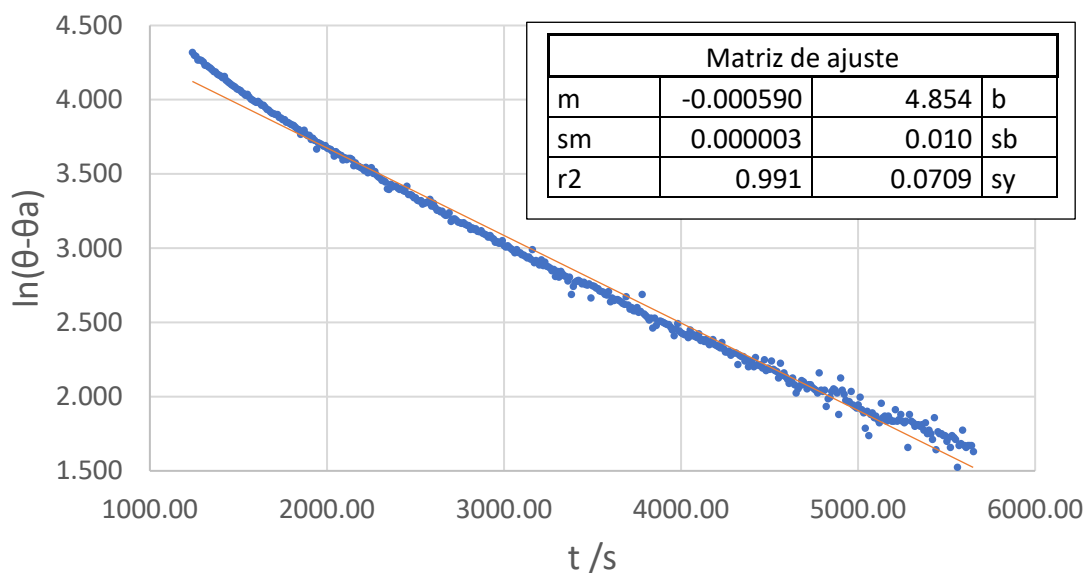


Gráfico 3

No entanto, o gráfico de resíduos obtido com este primeiro ajuste ~~tem uma~~ (gráfico 4) tem uma clara tendência parabólica, principalmente nos pontos iniciais, pelo que se procedeu a uma 2.ª tentativa de ajuste, para ~~o~~

$t \geq 3010,00$ s, que está representada no gráfico 5.

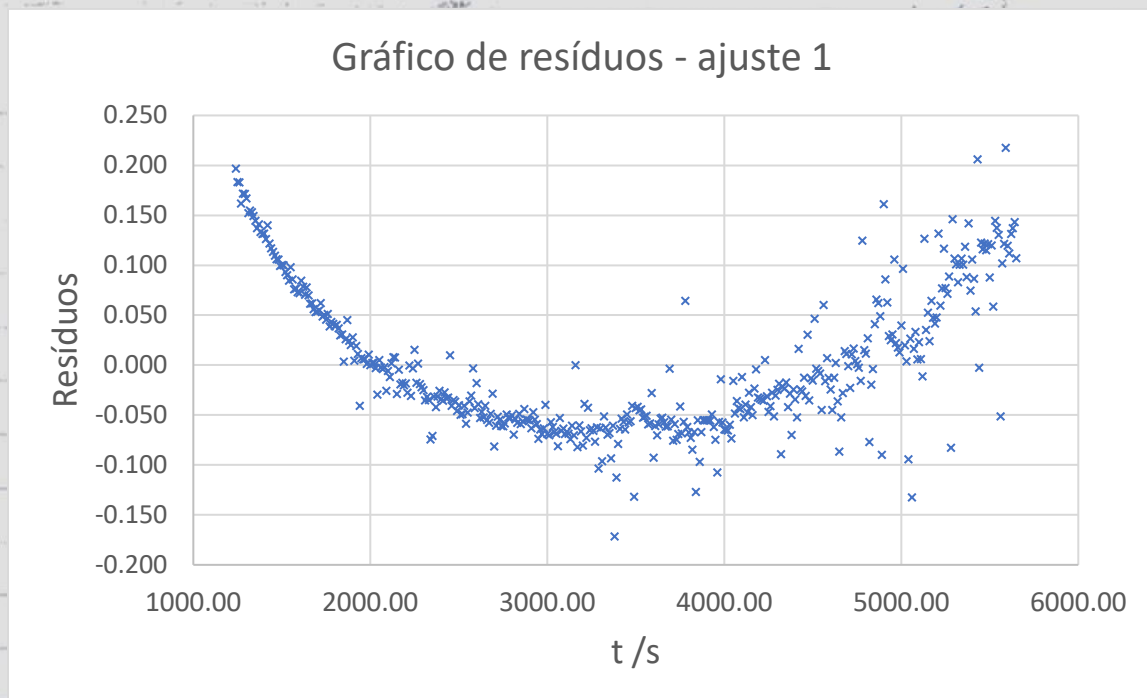


Gráfico 4

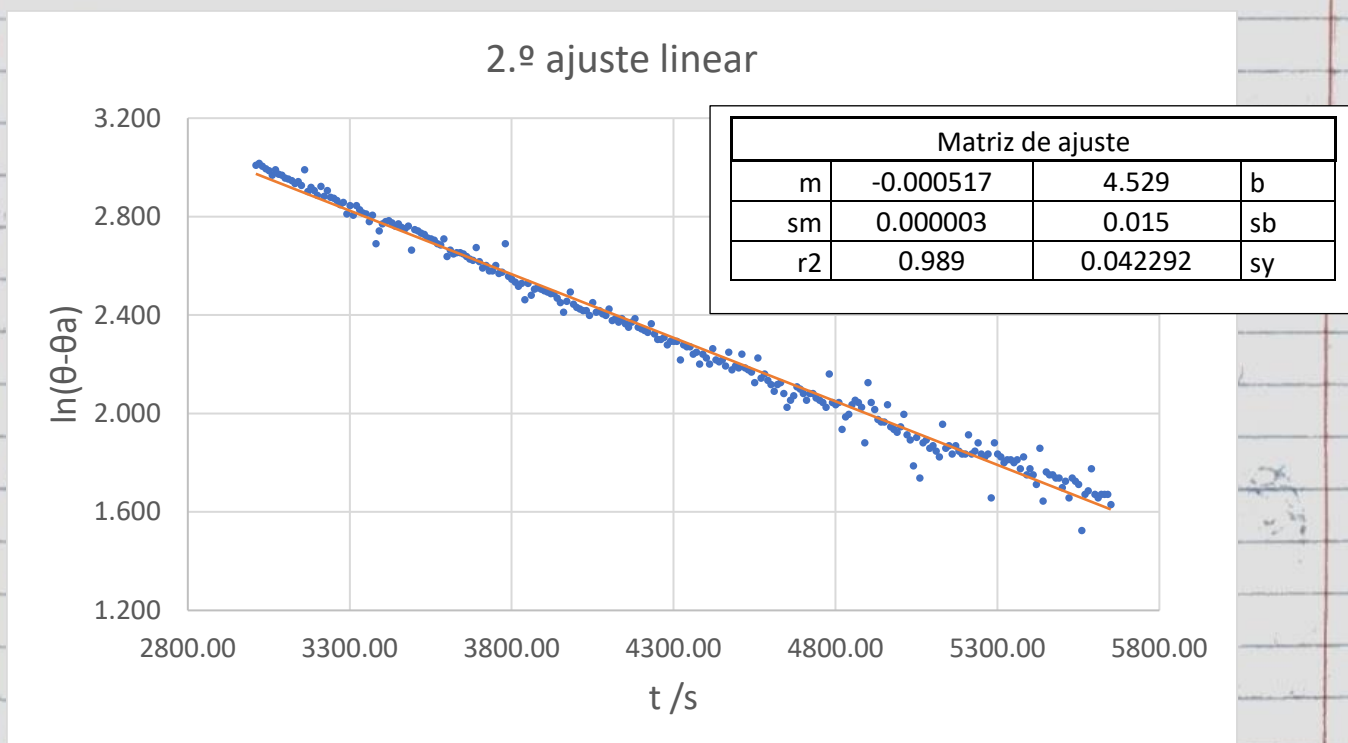


Gráfico 5 → as bandas de incerteza não se encontram representadas porque não acrescentam informação relevante e tornam a leitura do gráfico.

Os resíduos para este segundo ajuste, representados no gráfico 6, parecem ser ~~aleatórios~~ aleatórios. Para além disso, o valor de r^2 é elevado (0,989), pelo que este parece ser um ajuste adequado.

Gráfico de resíduos - ajuste 2

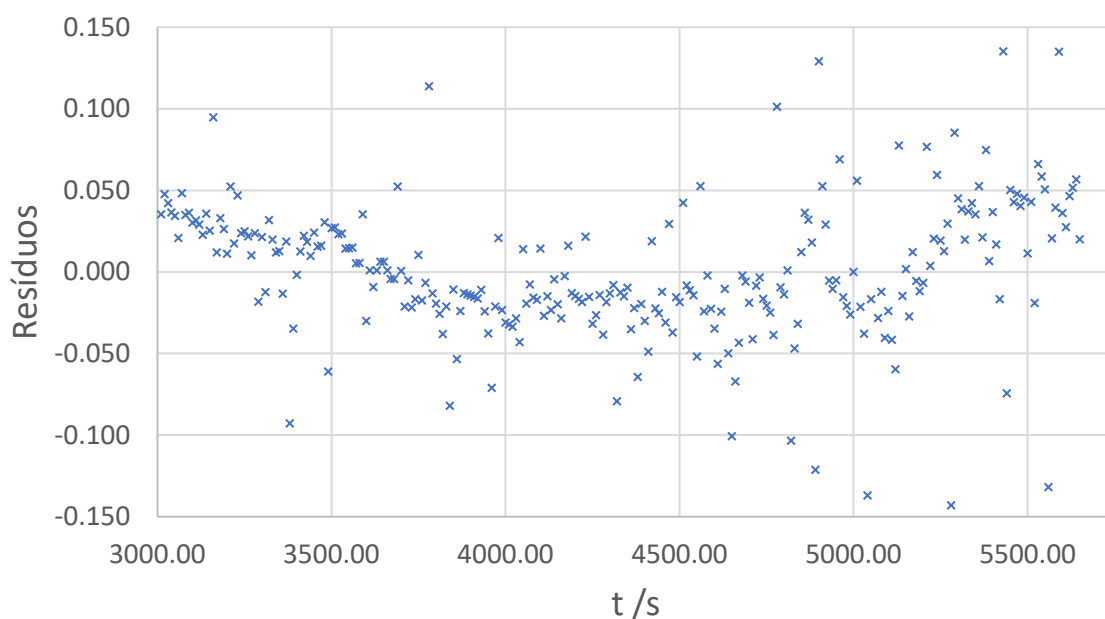


Gráfico 6

Utilizando os ~~parâmetros~~ parâmetros deste segundo ajuste, obtemos:

$$\tau = (1935,94 \pm 12,73) \text{ s} = (32,27 \pm 0,21) \text{ min}$$

$$\theta_i - \theta_a = (92,65 \pm 1,38)^\circ\text{C}$$

~~Como a massa de água utilizada não foi medida, não foi possível comparar o valor obtido para o tempo de relaxação da água com outros grupos, já que este depende da massa de água utilizada.~~

Não foi possível comparar o valor obtido para o tempo de relaxação da água com outros grupos, já que este depende da massa de água utilizada, $\left(\tau = \frac{mc}{\lambda}\right)$, que não foi medida.

Experiência 2

~~No gráfico 7, encontram-se representados os valores de $(\theta - \theta_a)$ em função de t , obtidos para a parafina.~~

~~As curvas de incerteza não foram representadas, já que não são visíveis a esta escala.~~

Para o valor de θ_a , nesta segunda parte da experiência, utilizou-se a média dos valores obtidos pelo software "loggerpro" apenas durante o período de tempo em que se registraram os valores de $\theta(t)$ para a parafina ($1230,00 \text{ s} \leq t \leq 3320,00 \text{ s}$). Obteve-se $\theta_a = (23,989 \pm 0,536)^\circ\text{C}$.
Portanto, $u(\theta - \theta_a) = 0,536^\circ\text{C}$

No gráfico 7, ~~encontra-se~~ encontram-se representados os valores de $(\theta - \theta_a)$ em função de t , obtidos para a parafina. As curvas de incerteza não foram representadas, já que não são visíveis a esta escala.

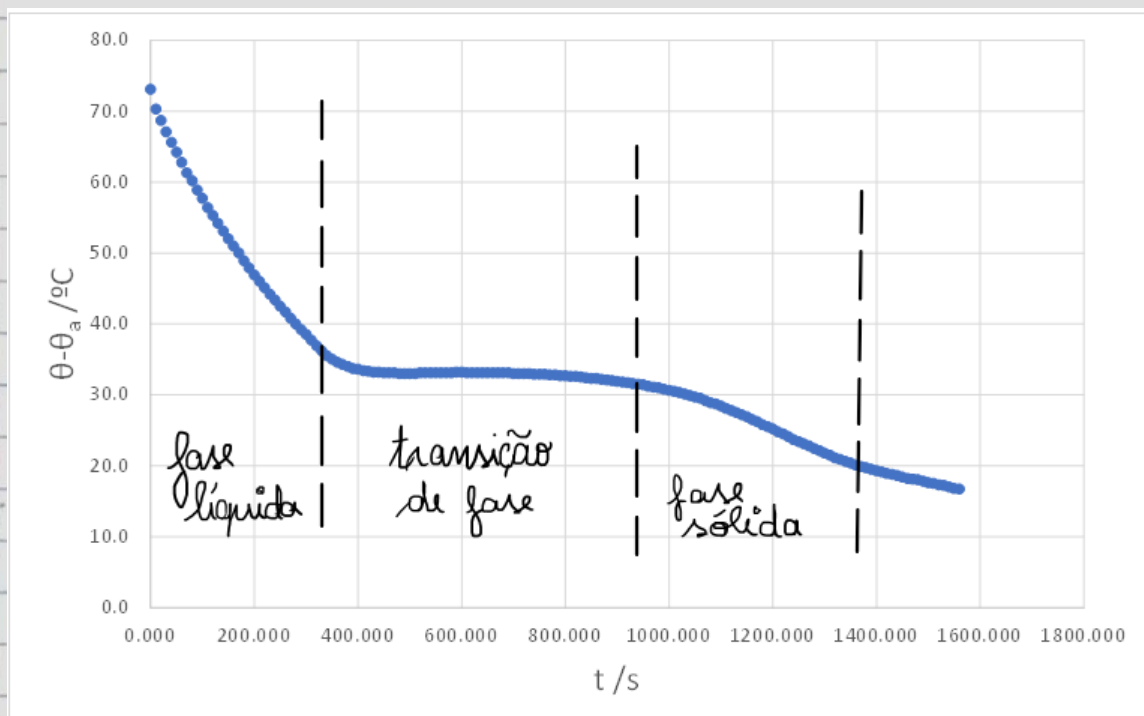


Gráfico 7

Neste gráfico, são claramente visíveis 3 partes:

- 1.^a ~~parte~~ ^{parte}: A parafina encontra-se no estado líquido, pelo que a sua temperatura desce exponencialmente
- 2.^a ~~parte~~ ^{parte}: A parafina está a solidificar, pelo que a sua temperatura se mantém ~~aproximadamente~~ ^{aproximadamente}

constante, com pequenas oscilações

→ 3.ª ~~parte~~ ^{parte}: A parafina está ~~completamente~~ completamente solidificada, pelo que a sua temperatura volta a descer de forma exponencial

Os dados ~~obtidos~~ recolhidos estão apresentados na tabela 2, estando sublinhados a amarelo aqueles que vamos utilizar, que dizem respeito à mudança de estado (2ª parte)

$t/s \pm 0.001s$	$\theta / ^\circ C \pm 0.1^\circ C$	$\theta - \theta_a / ^\circ C \pm 0.5^\circ C$
0.000	97.1	73.1
10.000	94.3	70.3
20.000	92.7	68.7
30.000	91.1	67.1
40.000	89.6	65.6
50.000	88.2	64.2
60.000	86.8	62.8
70.000	85.3	61.3
80.000	84.2	60.2
90.000	82.9	58.9
100.000	81.7	57.7
110.000	80.4	56.4
120.000	79.3	55.3
130.000	78.2	54.2
140.000	77.1	53.1
150.000	76.0	52.0
160.000	75.0	51.0
170.000	74.0	50.0
180.000	72.9	48.9
190.000	71.9	47.9
200.000	70.9	46.9
210.000	70.0	46.0
220.000	69.1	45.1
230.000	68.2	44.2
240.000	67.4	43.4
250.000	66.5	42.5
260.000	65.7	41.7
270.000	64.8	40.8
280.000	64.0	40.0
290.000	63.2	39.2
300.000	62.5	38.5
310.000	61.7	37.7
320.000	60.9	36.9
330.000	60.2	36.2
340.000	59.5	35.5
350.000	59.0	35.0
360.000	58.6	34.6
370.000	58.3	34.3
380.000	58.0	34.0
390.000	57.7	33.7
400.000	57.6	33.6
410.000	57.4	33.4
420.000	57.3	33.3
430.000	57.2	33.2
440.000	57.2	33.2
450.000	57.1	33.1
460.000	57.1	33.1
470.000	57.1	33.1
480.000	57.0	33.0
490.000	57.0	33.0
500.000	57.0	33.0
510.000	57.0	33.0
520.000	57.1	33.1
530.000	57.1	33.1
540.000	57.1	33.1
550.000	57.1	33.1

560.000	57.1	33.1
570.000	57.1	33.1
580.000	57.1	33.1
590.000	57.2	33.2
600.000	57.2	33.2
610.000	57.1	33.1
620.000	57.1	33.1
630.000	57.1	33.1
640.000	57.1	33.1
650.000	57.1	33.1
660.000	57.1	33.1
670.000	57.1	33.1
680.000	57.1	33.1
690.000	57.1	33.1
700.000	57.0	33.0
710.000	57.0	33.0
720.000	57.0	33.0
730.000	57.0	33.0
740.000	56.9	32.9
750.000	56.9	32.9
760.000	56.9	32.9
770.000	56.8	32.8
780.000	56.8	32.8
790.000	56.7	32.7
800.000	56.7	32.7
810.000	56.6	32.6
820.000	56.6	32.6
830.000	56.5	32.5
840.000	56.4	32.4
850.000	56.3	32.3
860.000	56.3	32.3
870.000	56.2	32.2
880.000	56.1	32.1
890.000	56.0	32.0
900.000	55.9	31.9
910.000	55.8	31.8
920.000	55.7	31.7
930.000	55.6	31.6
940.000	55.5	31.5
950.000	55.4	31.4
960.000	55.2	31.2
970.000	55.1	31.1
980.000	55.0	31.0
990.000	54.8	30.8
1000.000	54.6	30.6
1010.000	54.5	30.5
1020.000	54.3	30.3
1030.000	54.1	30.1
1040.000	53.9	29.9
1050.000	53.7	29.7
1060.000	53.5	29.5
1070.000	53.2	29.2
1080.000	52.9	28.9
1090.000	52.7	28.7
1100.000	52.4	28.4
1110.000	52.1	28.1
1120.000	51.8	27.8

1130.000	51.5	27.5
1140.000	51.2	27.2
1150.000	50.9	26.9
1160.000	50.5	26.5
1170.000	50.2	26.2
1180.000	49.8	25.8
1190.000	49.5	25.5
1200.000	49.2	25.2
1210.000	48.8	24.8
1220.000	48.5	24.5
1230.000	48.1	24.1
1240.000	47.7	23.7
1250.000	47.4	23.4
1260.000	47.1	23.1
1270.000	46.8	22.8
1280.000	46.4	22.4
1290.000	46.1	22.1
1300.000	45.8	21.8
1310.000	45.5	21.5
1320.000	45.1	21.1
1330.000	44.9	20.9
1340.000	44.6	20.6
1350.000	44.4	20.4
1360.000	44.1	20.1
1370.000	43.9	19.9
1380.000	43.7	19.7
1390.000	43.5	19.5
1400.000	43.3	19.3
1410.000	43.1	19.1
1420.000	42.9	18.9
1430.000	42.8	18.8
1440.000	42.6	18.6
1450.000	42.4	18.4
1460.000	42.2	18.2
1470.000	42.1	18.1
1480.000	42.0	18.0
1490.000	41.8	17.8
1500.000	41.6	17.6
1510.000	41.5	17.5
1520.000	41.3	17.3
1530.000	41.2	17.2
1540.000	41.0	17.0
1550.000	40.8	16.8
1560.000	40.7	16.7
1570.000	40.5	16.5
1580.000	40.4	16.4
1590.000	40.3	16.3
1600.000	40.1	16.1
1610.000	40.0	16.0
1620.000	39.8	15.8
1630.000	39.7	15.7
1640.000	39.5	15.5
1650.000	39.4	15.4
1660.000	39.2	15.2
1670.000	39.1	15.1
1680.000	39.0	15.0

~~Atividade~~

~~Atividade~~

~~Para calcular com valor~~

Para estimar ~~o~~ o valor da temperatura de solidificação da parafina^(θ_f), realizamos a média aritmética dos valores selecionados. Podemos ainda calcular ~~o desvio padrão~~ ~~a variância da média~~ o respetivo desvio padrão e a incerteza da média:

$$\bar{\theta}_f = 57,1^\circ\text{C}$$

$$s(\theta_f) = 0,05^\circ\text{C}$$

$$u(\bar{\theta}_f) = 0,2^\circ\text{C}$$

Logo, o valor obtido experimentalmente para a temperatura de fusão da parafina foi $\theta_f = (57,1 \pm 0,2)^\circ\text{C}$.

~~Considerando que o intervalo de referência para esta temperatura é de 56,9 a 57,3°C, o erro percentual será, no máximo:~~

$$E_{\%}(\theta_f) = \frac{|56,9 - 57,1|}{57} \times 100 = 1,88\%$$

Considerando como valor de referência para esta temperatura ~~330,0 K~~ $330,0\text{ K} = 57,85^\circ\text{C}$, podemos calcular o erro percentual do valor obtido experimentalmente:

$$E_{\%}(\theta_f) = \frac{|57,85 - 57,1|}{57,85} \times 100 = 1,30\%$$

Este erro tem um valor bastante baixo, mas o valor tido como referência não se encontra no intervalo previsto experimentalmente ($56,9^\circ\text{C}$ a $57,3^\circ\text{C}$), o que se pode dever, por exemplo, a impurezas da parafina utilizada.

Conclusão:

- Foi verificada a Lei do Arrefecimento de Newton, tanto para a água como para a parafina, já que, para um mesmo estado físico, a sua temperatura desceu exponencialmente

~~Para o tempo de relaxação da água, obtive experimentalmente a temperatura obtida para este valor de $(32,7 \pm 0,21)$ min. O valor obtido experimentalmente para a temperatura de transição de fase líquida / gasosa da parafina foi de $(57,1 \pm 0,2)^{\circ}\text{C}$, com um erro de $1,30\%$ que se pode dever, por exemplo, a impurezas na parafina.~~

em

- Para o tempo de relaxação da água, obtive-se experimentalmente o valor de $(32,7 \pm 0,21)$ min. Como este valor depende da massa de água utilizada, que não foi medida, não foi possível compará-lo com os valores obtidos por outros grupos.

- O valor obtido experimentalmente para a temperatura de transição de fase líquida / gasosa da parafina foi de $(57,1 \pm 0,2)^{\circ}\text{C}$, com um erro de $1,30\%$ que se ~~deve~~ pode dever, por exemplo, a impurezas na parafina.