

Experimento 8 – Determinação do coeficiente de dilatação linear de sólidos

1. Introdução

Os efeitos mais comuns das variações de temperatura são as alterações nas dimensões e as mudanças de estado de agregação da matéria. Os sólidos e os líquidos se expandem para o crescer da temperatura, mas numa razão consideravelmente menor que os gases.

Tipicamente, uma variação de um grau de temperatura produz uma variação da ordem de uma parte em 10^5 no comprimento de uma peça sólida, enquanto que o volume de um gás aumenta de cerca de uma parte em 300 para cada grau de acréscimo da temperatura. Isto não representa uma mudança grande, mas a relativa incompressibilidade dos sólidos (bem como dos líquidos) faz com que esta pequena variação se manifeste como forças consideráveis, desde que o material esteja acondicionado convenientemente.

Num sólido, os átomos que formam a rede cristalina estão em permanente movimento vibratório com amplitude da ordem de 10^{-9} cm e frequência de cerca de 10^{13} Hz. Aumentando-se a temperatura do corpo e pressão a que está sujeito, a amplitude das vibrações atômicas e a distância média entre os átomos aumentam. Em escalas macroscópica, esse aumento de temperatura produz um aumento nas dimensões do corpo. Nem todos os materiais tem esse tipo de comportamento, ele é típico dos metais.

Quando uma vareta de comprimento L_0 é aquecida por meio de uma variação de temperatura ΔT , o seu comprimento aumenta de uma quantidade ΔL . A observação mostra que para uma faixa ampla de sólidos, nas temperaturas dentro da gama das experiências diárias, a expansão relativa $\Delta L/L_0$ é quase perfeitamente proporcional a ΔT .

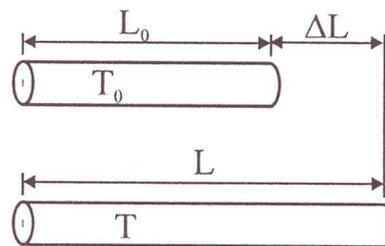


Figura 1 - Desenho esquemático da dilatação de uma vareta sob variação de temperatura.

Esta relação pode ser escrita na forma de uma equação como:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

onde α é uma constante de proporcionalidade.

$$\text{ou } \Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad \text{ou } L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad \text{onde } \Delta T = T - T_0$$

Considerando-se uma variação infinitesimal de temperatura dT , em vez de uma variação finita ΔT , o acréscimo no comprimento da barra será uma quantidade infinitesimal dL . Neste caso a equação assume a forma:

$$\frac{dL}{L_0} = \alpha \cdot dT \quad \text{ou} \quad \alpha = \frac{1}{L_0} \frac{dL}{dT} \quad (2)$$

Esta equação pode ser considerada como a definição de α , que é chamada de **coeficiente de dilatação linear**.

Observando a Tabela 1, nota-se que alguns pontos se tornam evidentes. Primeiro e mais surpreendente é a pequena amplitude da faixa de variação do coeficiente de dilatação linear de material para material. Os metais geralmente possuem valores de α relativamente menores, e os não metais possuem valores maiores. Os polímeros (borracha dura) tendem a valores de α mais altos, mas a madeira constitui uma exceção dessa afirmação geral. Finalmente, as substâncias anisotrópicas (como a calcita) possuem valores diferentes de α conforme a direção estudada.

TABELA 1 - Valores aproximados do coeficiente de dilatação linear de vários materiais.

Material	Temperatura (K)	$\alpha \times 10^{-6} (K^{-1})$
Aço	313	10,5
Alumínio	293	25,5
Latão	293	19
Cobre	298 - 373	16,8
Borracha dura	298 - 373	84,2
Calcita	273 - 358	
Paralela ao eixo do cristal		25,1
Perpendicular ao eixo do cristal		5,6
Gelo		51
Invar	293	0,9
Carbono	293	
Diamante		1,2
Grafita		7,9
Madeira	275 - 307	
No sentido das fibras		2,5 - 6,6
Contra as fibras		26 - 54
Quartzo (fundido)	273 - 303	0,42
Vidro	300 (aprox.)	
Ordinário		8,5
Pirex		3,2

Material	T (293 K)	$\beta \times 10^{-6} (K^{-1})$
Acetona		1500
Álcool etílico		1100
Etanol (álcool de cana)		1120
Ar		3670
Bromo		1132
Glicerina		505
Mercúrio		181,9
Água (a 20 °C)		207

Fonte: EISBERG, R. M. & LERNER, L. S. (1983) e TIPLER, P.(1994)

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

O equipamento de expansão térmica que se utilizará inclui:

- Uma base de expansão com aproximadamente 70 cm
- Um relógio comparador de precisão 0,01 mm
- Um termistor (100 k Ω)
- Três tubos de metal de 15,875 mm (5/8") de diâmetro externo.
 - Aço $\alpha_{Aço} = (11,3 \text{ a } 13,5) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 - Cobre (99,5% Cu; 0,5% Te) $\alpha_{Cu} = 17,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 - Alumínio (98,9% Al; 0,7% Mg; 0,4% Si) $\alpha_{Al} = 23,4 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Conectores e 6,35 mm (1/4") de diâmetro externo
- Uma espuma isolante para evitar a perda de energia térmica no ponto de conexão do termistor
- Tubo termoplástico com 6,35 mm (1/4") de diâmetro interno
- Um gerador de vapor
- Um ohmímetro digital para medir a resistência do termistor
- Fios com conectores tipo banana
- Objeto para elevar a extremidade da base de expansão (aproximadamente 5 cm)
- Recipiente para coletar a água condensada no tubo, Trena e Luvas.

2.2. Métodos

1. Meça L_0 , o comprimento do tubo de cobre a temperatura ambiente. Meça da borda interna do pino de aço inox em uma extremidade até o lado interno do braço de apoio da ponta do relógio comparador que está fixado no tubo. Ver Fig. 2.

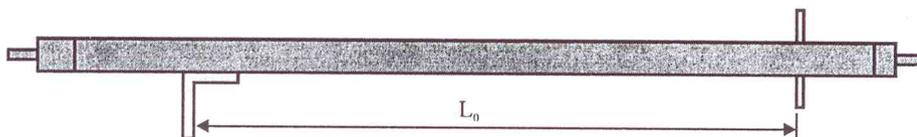


Figura 2 – Referências para medida do comprimento do tubo, L_0 , na temperatura ambiente

2. Monte o tubo de cobre na base de expansão como se mostra na Fig. 3. O pino de aço inox deve ser encaixado na fenda sobre o apoio. Empurre a extremidade do relógio comparador para encaixar o braço do tubo. Aperte o parafuso para fixar o pino de aço para evitar que o tubo se mova ao longo do comprimento.

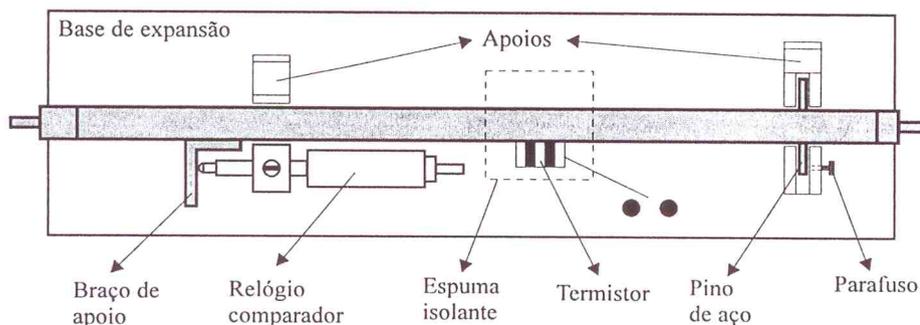


Figura 3 – Montagem do tubo e do relógio comparador sobre a base de expansão

3. Use o parafuso para fixar o termistor no furo do meio do tubo de cobre. A ponta deverá estar alinhada com o eixo do tubo, como mostra a Fig. 3, tal que exista o máximo contato entre a ponta e o tubo.
4. Coloque a espuma isolante sobre o termistor como mostra a Fig. 3. **Não abra exageradamente a fenda da espuma para não rompê-la.**
5. Conecte os terminais do ohmímetro com conectores de pino banana rotulados como THERMISTOR no centro da base de expansão. Coloque a escala do ohmímetro em 200 k Ω . Ligue o ohmímetro.
6. Deixe o sistema estabilizar e anote na Tabela 1, R_{TA} , a resistência do termistor a temperatura ambiente.
7. Use o tubo termoplástico para conectar o gerador de vapor a extremidade do tubo de cobre. Conecte-o na extremidade mais afastada do relógio comparador. Observe a Fig. 4.
8. Use um bloco de madeira para elevar a extremidade da base de expansão onde entra o vapor no tubo – uns poucos centímetros é suficiente. Isto permitirá que a água condensada no tubo possa ser drenada. Coloque um recipiente na outra extremidade do tubo para captar a água drenada.
9. Girar o disco da escala do relógio comparador para alinhar o ponto zero com a agulha indicadora (ponteiro). Quando o tubo expandir, o ponteiro moverá no sentido anti-horário. Cada incremento no relógio comparador é equivalente a 0,01 mm de expansão do tubo.
10. Ligue o gerador de vapor e avance o reostato para a posição 8. Quando o vapor começar a fluir, observe o relógio comparador e o ohmímetro.

Notas sobre o procedimento

Se você deixar passar muito tempo antes de medir a variação do comprimento, o relógio comparador absorverá calor, e sua medida decrescerá. O termistor leva mais tempo para atingir o equilíbrio térmico do que o tubo, entretanto, você pode deixar um pouco mais de tempo para sua temperatura estabilizar. Para obter melhores resultados, apesar destes problemas, *anote a máxima variação no comprimento* mostrado no relógio comparador e *a mínima resistência observada no ohmímetro*.

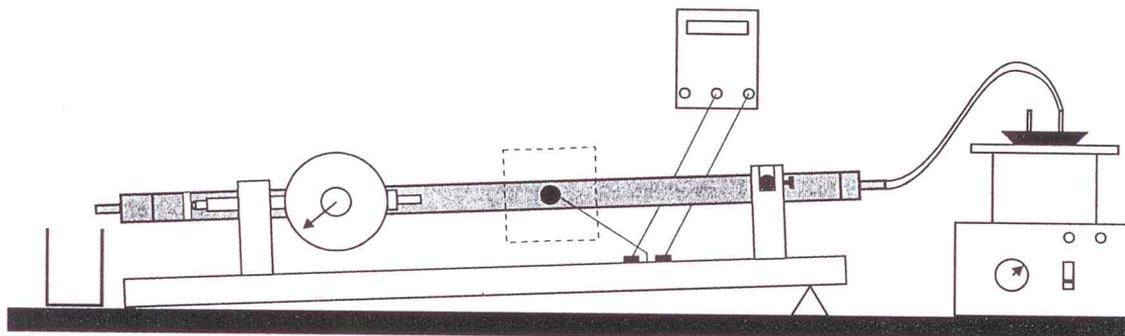


Figura 4 – Desenho esquemático da montagem final para o experimento de dilatação de sólidos

11. Repetir o experimento para os tubos de Aço e o Alumínio. Quando trocar os tubos tomar cuidado para não puxar os fios ligados aos terminais do termistor. A porca de ser completamente removida antes do termistor ser retirado da barra.

3. Dados e Cálculos

Tabela 1 – Dados obtidos e calculados

	Dados				Cálculos		
	L (mm)	R _{TA} (Ω)	ΔL (mm)	R _{aquec.} (Ω)	T _{TA} (°C)	T _{aquec.} (°C)	ΔT (°C)
Cobre							
Aço							
Alumínio							

1. Utilize a Tabela de Conversão a seguir para converter as medidas da resistência do termistor em medidas de temperatura. Anote estes resultados na Tabela 1.
2. Calcular $\Delta T = T_{\text{aquec.}} - T_{\text{TA}}$. Anote este resultado.
3. Usando a equação $\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$, calcular o coeficiente de dilatação linear para o cobre, aço e alumínio. Calcule o erro percentual.

$\alpha_{\text{Cu}} =$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	E (%) =
$\alpha_{\text{Aço}} =$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	E (%) =
$\alpha_{\text{Al}} =$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	E (%) =

TABELA DE CONVERSÃO PARA O TERMISTOR

TEMPERATURA VERSUS RESISTÊNCIA

R (Ω)	T ($^{\circ}\text{C}$)						
351.020	0	95.447	26	30.976	52	11.625	78
332.640	1	91.126	27	29.756	53	11.223	79
315.320	2	87.022	28	28.590	54	10.837	80
298.990	3	83.124	29	27.475	55	10.467	81
283.600	4	79.422	30	26.409	56	10.110	82
269.080	5	75.903	31	25.390	57	9.767,2	83
255.380	6	72.560	32	24.415	58	9.437,7	84
242.460	7	69.380	33	23.483	59	9.120,8	85
230.260	8	66.356	34	22.590	60	8.816,0	86
218.730	9	63.480	35	21.736	61	8.522,7	87
207.850	10	60.743	36	20.919	62	8.240,6	88
197.560	11	58.138	37	20.136	63	7.969,1	89
187.840	12	55.658	38	19.386	64	7.707,7	90
178.650	13	53.297	39	18.668	65	7.456,2	91
169.950	14	51.048	40	17.980	66	7.214,0	92
161.730	15	48.905	41	17.321	67	6.980,6	93
153.950	16	46.863	42	16.689	68	6.755,9	94
146.580	17	44.917	43	16.083	69	6.539,4	95
139.610	18	43.062	44	15.502	70	6.330,8	96
133.000	19	41.292	45	14.945	71	6.129,8	97
126.740	20	39.605	46	14.410	72	5.936,1	98
120.810	21	37.995	47	13.897	73	5.749,3	99
115.190	22	36.458	48	13.405	74	5.569,3	100
109.850	23	34.991	49	12.932	75		
104.800	24	33.591	50	12.479	76		
100.000	25	32.253	51	12.043	77		

xaj/04