

## DILATAÇÃO TÉRMICA

### **META**

Fazer com que o estudante comece a pensar no ensino de ciências como algo “orgânico” que está em profunda transformação. Fazer com que os alunos percebam, através de um texto básico complementado com atividades lúdicas, *applets* de ensino, vídeos, que o conceito de dilatação térmica pode ser apreendido de forma simples e divertida.

### **OBJETIVOS**

Ao final desta aula, o aluno deverá:

deverem estar ciente das novas possibilidades e dos desafios que envolvem o ensino de ciências geral. Também devem ter compreendido que as ciências naturais estão baseadas na experimentação e que esta é feita de ensaios, experiências e medidas e que estas levam a compreensão e matematização de conceitos físicos (naturais em geral).

### **PRÉ-REQUISITO**

Os alunos deverão ter cursado psicologia da educação física A e B.

### INTRODUÇÃO

Esse capítulo, ao contrário dos outros, não vai ser acompanhado de uma leitura de um artigo sobre alguma técnica de ensino. Pois, o tópico de dilatação térmica é o que contém maior variedade de experimentos caseiros (de baixo custo) e todos merecem a nossa atenção. Alguns são de caráter puramente qualitativos e outros permitem se fazer um estudo mais quantitativo. A maioria dos experimentos propostos aqui foram retirados integralmente ou adaptados do *site* do professor Luiz Ferraz Netto (projeto feira de ciências), que é referência na língua portuguesa quando o assunto é ludotecas. Nota: Não precisa fazer todos.

Do ponto de vista matemático esse capítulo é um dos mais fáceis de ser ensinado, pois seu desenvolvimento só depende do conhecimento da equação da reta e do binômio de Newton. A passagem da dilatação superficial e volumétrica é um tópico que deve ser bem explorado como exemplo de generalização de uma aproximação inicial: Caso linear para volumétrico.

### DILATAÇÃO TÉRMICA

Dilatação térmica é o fenômeno natural que quando um sólido é aquecido este se expande ou se contrai. É verificado experimentalmente para a maioria dos materiais que a quantidade de expansão para certos intervalos de temperatura é linearmente proporcional à variação da temperatura. Pode ocorrer em alguns casos do sólido contrair quando dizemos que a variação é negativa.

Do ponto de vista da teoria atômica da matéria podemos explicar este fenômeno da seguinte forma: Quando aumentamos a temperatura de um corpo (sólido ou líquido), aumentamos a agitação das partículas que o formam. Em geral, isso faz crescer não só a amplitude da vibração das moléculas, mas também a distância média entre elas, resultando em aumento nas dimensões do corpo. Esse aumento é chamado dilatação térmica. Da mesma forma, a diminuição da temperatura geralmente acarreta a redução das dimensões do corpo (contração térmica) [Souza e Aguiar].

Como fazemos geralmente em física, comecemos estudando o caso particular da dilatação linear, isto é, tomemos um material cuja dimensão comprimento é muito maior que as demais. Ou seja, a dilatação da largura e a altura podem ser desprezadas ou negligenciadas.

Dilatação Linear: Suponha que tenhamos um bastão de comprimento  $L$  e temperatura  $T$ . Suponha também que a temperatura varie de  $\Delta T$ . Para  $\Delta T$  pequeno a mudança no comprimento do bastão é

$$\Delta L/L = a\Delta T \quad [4.6]$$

Ou  $L = L_0 (1 - \alpha(T-T_0))$  onde  $\alpha$  possui unidades do inverso de temperatura (análise dimensional).

Nota: A constante  $\alpha$  contém toda informação sobre a constituição do material.

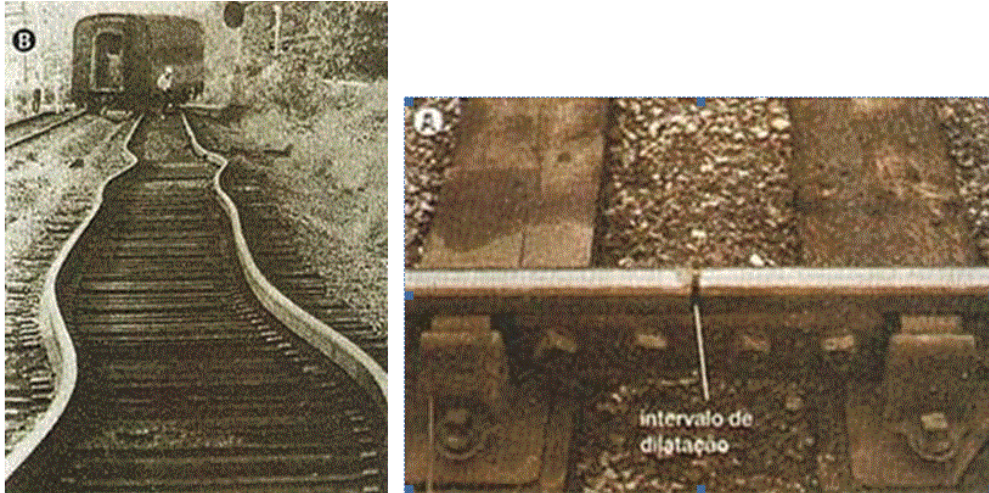


Figura 1. Junta de dilatação numa estrada de ferro. Fonte figuras do MEC

É por essa razão que a construção de pontes, edifícios e estradas de ferro, por exemplo, utilizam “folgas”, chamadas de juntas de dilatação (veja a figura 1). As juntas previnem trincas e rupturas causadas pela dilatação térmica dos materiais de construção. Agora tomemos o caso real de dilatação térmica, isto é, analisemos o que ocorre com todas as dimensões do material.

Dilatação Volumétrica: Vamos supor agora que tenhamos um cubo de lado com comprimento  $L$ , em vez do bastão. Se cada lado do cubo se expande de  $\Delta L$ , o volume do cubo expandido é dado por

$$\begin{aligned} V' &= (L + \Delta L)^3 \\ &= L^3 + 3L^2\Delta L + 3L(\Delta L)^2 + (\Delta L)^3 \\ &= V(1 + 3\Delta L/L + \dots) \\ &\sim V(1 + 3a\Delta T) \end{aligned} \quad [4.7]$$

Onde usou-se o fato experimental de que  $\Delta L$  é muito menor que  $L$ , ou seja  $\Delta L/L$  é muito pequeno e pode ser desprezado. De modo que a mudança de volume é dada por

$$\Delta V/V = 3 a\Delta T \quad [4.8]$$

Logo, o coeficiente de expansão volumétrica é 3 vezes maior do que o coeficiente de expansão linear. Denotamos esse coeficiente por  $\beta$ , observando que  $\beta = 3\alpha$ .  $\beta$  é dado para alguns materiais na tabela abaixo.

Coeficiente de expansão volumétrica (por °C)

Alumínio	$23 \times 10^{-6}$
Cobre	$17 \times 10^{-6}$
Vidro (comum)	$9 \times 10^{-6}$
Vidro (Pirex)	$3.2 \times 10^{-6}$
Ferro	$11 \times 10^{-6}$
Gelo	$51 \times 10^{-6}$

Em geral, costuma-se definir os coeficientes de expansão térmica e volumétrica por unidade de comprimento e de volume, respectivamente. Ou seja,

$$\alpha = (1/L)(dL/dT) \quad [4.9]$$

$$\beta = (1/V)(dV/dT) \quad [4.10]$$

onde  $d = \lim_{\Delta \rightarrow 0}$  (limite em que a variação de temperatura vai a zero).

O coeficiente de dilatação de um corpo pode depender da temperatura – os valores apresentados na tabela 2.1 são os encontrados a temperaturas próximas do ambiente. A figura 2 mostra como o coeficiente de dilatação do cobre varia com a temperatura [Nix 1941].

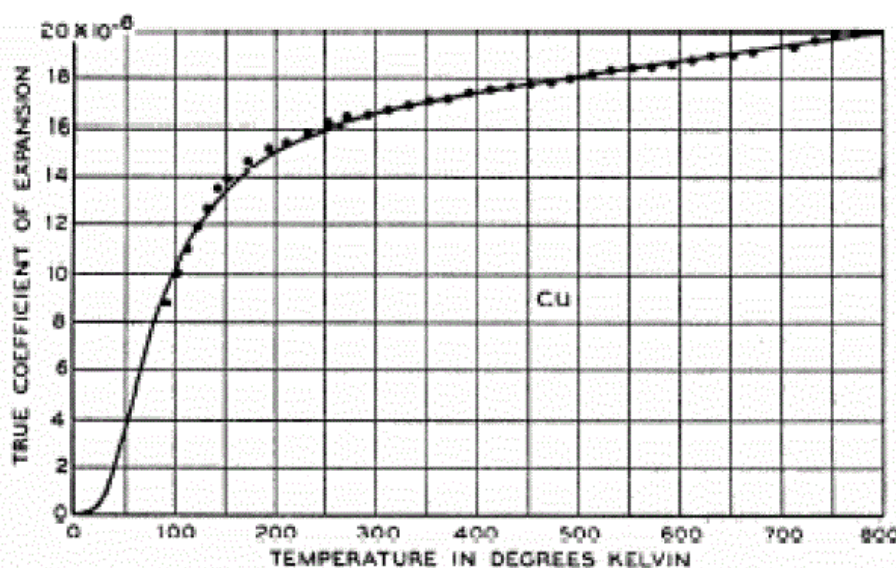
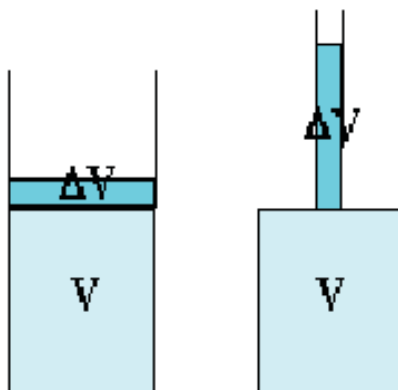


Figura 2. – Coeficiente de dilatação térmica do cobre em função da temperatura.

O coeficiente de expansão térmica de um gás (a pressão constante) pode ser deduzido usando a equação de gás ideal  $PV=NR\Delta T$ . Dela obtemos que  $P\Delta V=NR\Delta T$ . Logo,  $\beta=(1/V)(\Delta V/\Delta T)$ , ou seja,  $\beta=1/T$ .

Suponha que você tenha 1 litro = 1000 cm<sup>3</sup> de um líquido com  $\beta = 10^{-4}$  em um recipiente com área no fundo de  $A = 100$  cm<sup>2</sup>. A altura do líquido é 10 cm (Volume = área x altura). Se você aumentar a temperatura do líquido de 20 °C, teremos que  $\Delta V = \beta V \Delta T = 10^{-4} \cdot 1000 \text{ cm}^3 \cdot 20 = 2 \text{ cm}^3$ . A mudança na altura é  $\Delta h = \Delta V / A = 2 \text{ cm}^3 / 100 \text{ cm}^2 = 0.02 \text{ cm} = 0.2 \text{ mm}$ .

Se, no entanto, você puser uma conexão num recipiente de altura 10 cm ligada a um tubo capilar por um orifício de 1 cm<sup>2</sup>, o líquido subirá muito mais, pois  $\Delta h = \Delta V / A = 2 \text{ cm}^3 / 1 \text{ cm}^2 = 2 \text{ cm}$ . Você acabou de construir um termômetro. Basta colocar uma escala e calibrá-lo.



## ATIVIDADES

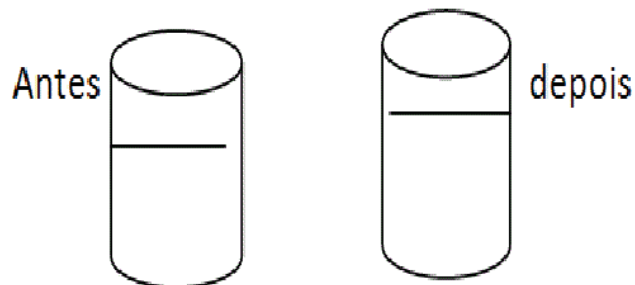
1. Faça uma análise dos vídeos aulas abaixo, dando muita atenção se eles satisfazem a proposta de serem materiais complementares ou se eles podem substituir as aulas presenciais.



## VÍDEOS AULAS

1. Vídeo aula do Professor Wanis Rocha - <http://www.youtube.com/watch?v=J9IbPWwlHro>
2. Vídeo aula CEDERJ UFRJ- [http://www.youtube.com/watch?v=jf0V\\_WgBem4](http://www.youtube.com/watch?v=jf0V_WgBem4)
3. seimaisfisica - Termologia - Parte 4 - Calor e Dilatação Linear - <http://www.youtube.com/watch?v=ZxRWss34GPo&feature=related>
4. Novo Telecurso - Ensino Médio - Física - Aula 22 (1 de 2) - <http://www.youtube.com/watch?v=fKpt8KreWnI&feature=related>

1. Coloque uma certa quantidade de água em um vidrinho e marque com uma caneta a altura que este alcançou. Depois coloque-o no congelador e verifique que a marca d'água ficou abaixo da altura do gelo.



Você será capaz de calcular a diferença de densidade água e do gelo por esta experiência?

Resp – Se tivermos uma balança de cozinha podemos.  $\rho = m/V$ .

2. Mais uma demonstração da dilatação térmica [Souza]

Vamos apresentar nesta seção mais uma demonstração sobre dilatação térmica. Sua montagem é muito simples, mais até que aquelas mostradas na seção anterior.

O experimento está esquematizado na figura 3. Uma barra metálica, cuja expansão térmica desejamos estudar, é apoiada sobre dois suportes. Uma das extremidades da barra está fixa, enquanto a outra pode rolar livremente sobre um alfinete. Nesse alfinete está preso um canudinho de refrigerante, que atua como um ponteiro. A barra é aquecida por uma vela, e a expansão resultante faz com que o alfinete e o ponteiro girem. Essa rotação pode ser facilmente observada, como veremos a seguir.

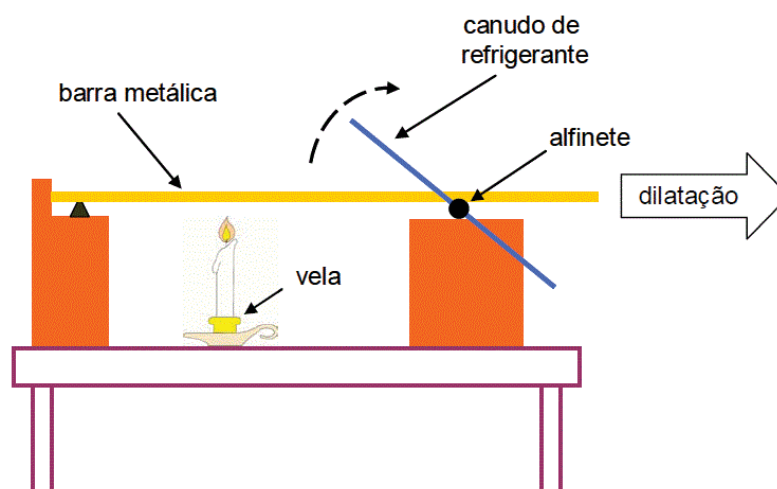


Figura 3. – Demonstração da dilatação térmica de uma barra.

## MONTAGEM DA DEMONSTRAÇÃO

A demonstração usa apenas materiais de fácil aquisição, listados a seguir:

1. Barra de alumínio de aproximadamente um metro
2. Transferidor
3. Suportes
4. Canudinho de refrigerante
5. Alfinete
6. Cola plástica
7. Velas

O primeiro suporte deve ter um ressalto, de modo a fixar uma extremidade da barra, fazendo com que a expansão se dê em apenas um sentido. No segundo suporte, onde ficará o alfinete, é colado um transferidor que servirá para medir a rotação do canudinho. A parte superior desse suporte deve ser bem plana, para que o alfinete role sobre ela sem encontrar obstáculos. Pode-se fazer isso colando sobre o suporte uma pequena lâmina de vidro.

A montagem completa da demonstração está mostrada na figura 4. A barra utilizada tem cerca de 1 m e é feita de alumínio. Note que três velas foram usadas, e um suporte extra foi colocado sob a barra.



Figura 4. – Montagem da Demonstração.

## RESULTADOS

As fotos na figura 5 mostram posições sucessivas do ponteiro-canudinho durante o aquecimento da barra de alumínio. Pode-se notar claramente a rotação gerada pela dilatação da barra.

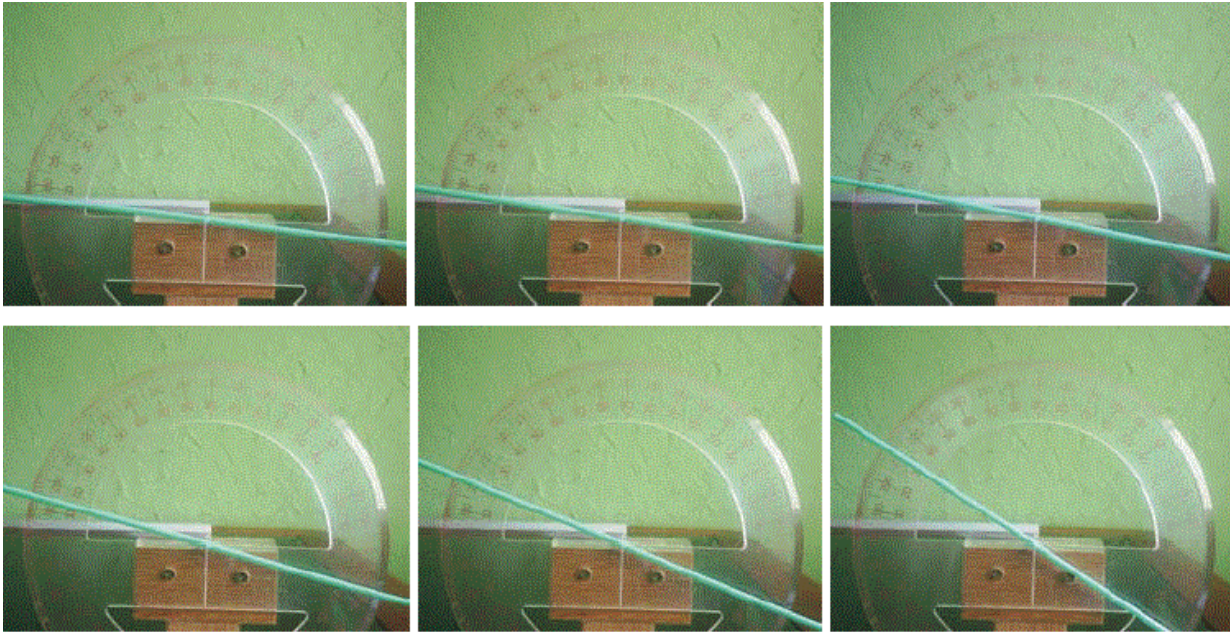


Figura 5. Observação da dilatação térmica de uma barra de alumínio através da rotação de um canudinho.

A relação entre o ângulo  $\theta$  de rotação do ponteiro e a dilatação  $\Delta L$  da barra é dada por

$$\Delta L = 2R\theta$$

onde  $R$  é o raio do alfinete. A demonstração desse resultado pode ser vista na figura 6. Com a expansão, o alfinete desloca-se  $R\theta$  e a extremidade da barra fica a  $R\theta$  à sua frente – a soma dessas distâncias é igual à dilatação  $\Delta L$ .

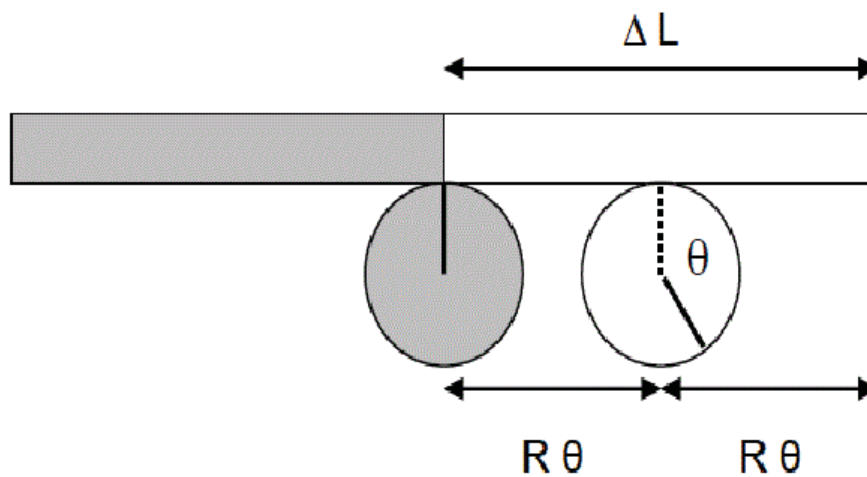


Figura 6. - Deslocamento da barra e do alfinete durante a dilatação térmica.



O diâmetro de um alfinete utilizado na demonstração é 0,6 mm. Como o ponteiro girou cerca 114 graus (ver a última foto da figura 8), a expansão da barra foi de aproximadamente 1,19 mm. Usando o coeficiente de expansão linear do alumínio dado na tabela 2.1,  $\alpha = 2,4 \times 10^{-5}$ , isso correspondente a um aumento de cerca de 50 °C na temperatura média da barra.

## DILATAÇÃO DOS SÓLIDOS I (DETERMINAÇÃO DE $\alpha$ ) [NETTO]

### Objetivos

- Observar que o aquecimento de um sólido provoca um aumento em suas dimensões.
- Medir o aumento no comprimento de um sólido em forma de barra ou tubo.
- Determinar o valor do coeficiente de dilatação linear dos sólidos.
- Concluir que, a materiais diferentes correspondem coeficientes de dilatação diferentes .

### Pré-requisito

Assumir como verdadeira a expressão  $L^2 = L^1(1 + \alpha \cdot \Delta t)$  para a dilatação linear de sólidos.

### Material

- 2 lamparinas a álcool ou outra fonte de calor para ferver água;
- 1 tubo de alumínio de 50 cm de comprimento e 0,84 cm de diâmetro externo;
- 1 tubo de alumínio de 50 cm de comprimento e 0,70 cm de diâmetro externo;
- 1 tubo de latão de 50 cm de comprimento e 0,70 cm de diâmetro externo;
- 1 tubo de látex de 50 cm de comprimento e 0,70 cm de diâmetro;
- 1 tubo de vidro de 10 cm de comprimento e 0,70 cm de diâmetro;
- 1 tubo de ensaio de 25 mm x 200 mm;
- 1 rolha de borracha para fechar o tubo de ensaio, com um furo central de  $\sim 0,90$  cm;
- 1 transferidor de papel ou plástico;
- 1 lâmina para microscópio;
- 10 percevejos;
- 1 ponteiro (Veja Orientação para o professor);
- 1 termômetro de mercúrio (-10 a 110°C) (Veja Orientação para o professor);
- 1 prendedor de roupa, de madeira;
- 1 suporte universal para laboratório;
- 1 garra com presilha;
- 1 anel elástico para dinheiro;
- 1 régua;
- 1 prancha de madeira de 50 cm x 10 cm;

### ORIENTAÇÃO PARA O PROFESSOR

Embora de execução bastante simples, essa atividade exige que a Escola tenha o material relacionado; caso contrário, o professor (ou grupo de alunos) deverá acompanhar as sugestões seguintes para a sua obtenção:

Nota: É obrigação do professor de Ciências (Física, Química, Biologia) cobrar da Direção da Escola a presença do material mínimo indispensável para a elaboração dos trabalhos experimentais.

1. Tubo de alumínio - Pode ser obtido a partir de varetas de antenas externas para televisores. Elas darão bons resultados mesmo que suas dimensões não sejam exatamente as especificadas na lista acima.
2. Tubos de outros materiais - Experimente verificar em casas de ferragens e de refrigeração. Se sua aquisição não for possível, o professor deverá limitar-se aos três primeiros objetivos, para o alumínio.
3. Ponteiro do pirômetro - Pode ser construído a partir de 8 cm de fio de cobre (o fio #10 tem 2,6 mm de diâmetro e o #12 tem 2,0 mm) ou de qualquer pedaço de arame com cerca de 2 mm de diâmetro, colando-se (uma gota de superbonder) um cartão recortado em forma de agulha em seu extremo, conforme se ilustra na fig. abaixo.



A determinação do diâmetro desse ponteiro deve ser feita pelos alunos, conforme o item 16 dos Procedimentos.

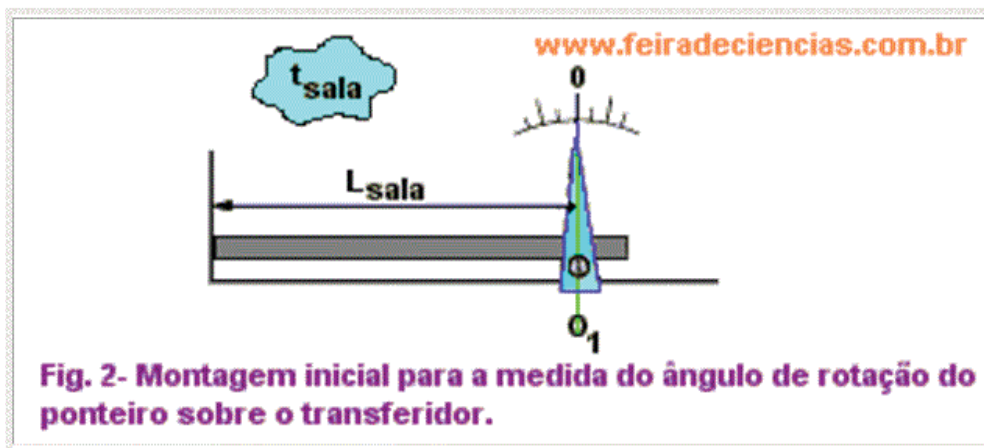
4. Termômetro - Servirá para determinar a temperatura inicial do experimento e a temperatura do vapor d'água. Esta última poderá ser determinada apenas uma vez pelo professor ou por um grupo de alunos, e seu valor deve ser então transmitido à classe, para adotá-lo em seus cálculos. Dessa maneira, cada grupo de alunos necessitará de apenas um termômetro. Caso a Escola não disponha de termômetros em número suficiente para todos os grupos, o professor poderá determinar a temperatura ambiente (aproximada) no laboratório, com o termômetro disponível, e assumi-la como sendo a inicial. Essa 'técnica', embora introduza erro, permitirá o cálculo da dilatação ( $\Delta L$ ) e do coeficiente de dilatação linear ( $\alpha$ ), dentro da ordem de grandeza esperada.
5. Transferidor - Os alunos poderão desenhá-lo em papel, trazendo-o pronto para a aula prática ou, então, poderão utilizar um transferidor de plástico.

## OBSERVAÇÃO

A maioria dos materiais sofrem variações em suas dimensões, quando submetidos a variações de temperatura. Alguns se dilatam quando aquecidos (maioria), ao passo que outros se contraem (por exemplo, a borracha).

Nesta Atividade você irá observar variações no comprimento de tubos metálicos, quando aquecidos, e irá determinar o valor do coeficiente de dilatação linear do material de que é feito cada tubo.

A variação no comprimento do tubo utilizado, quando submetido à diferença de temperatura da ordem de 100 °C, é apenas uma fração do milímetro, sendo portanto de difícil observação e medida. Devemos recorrer, portanto, a um artifício bastante simples (amplificador de deslocamento) para tornar essa dilatação observável. Para entender todo o processo aqui utilizado, admita que o tubo esteja rigidamente preso por um de seus extremos, estando o outro extremo apoiado sobre um cilindro que pode girar quando “empurrado” pelo tubo, ao dilatar-se. Um ponteiro preso ao cilindro indica, sobre uma escala, de que ângulo este girou. Isso ilustramos na figura abaixo.



Inicialmente, à temperatura ambiente  $t_{sala}$ , o comprimento do tubo é  $L_{sala}$ , a indicação do ponteiro deve estar ajustada em zero no transferidor e a parte inferior do cilindro deve estar apoiada sobre o ponto  $O_1$ .

Em seguida, o tubo é aquecido até a temperatura  $t_{vapor}$ , dilatando-se e provocando a rotação do cilindro que irá deslocar-se de  $O_1$  para  $O_2$  (translação do eixo geométrico do ponteiro) e cujo ponteiro indicará um ângulo  $\theta$  (rotação do ponteiro ao redor do eixo geométrico). Ilustramos isso na figura da página seguinte.

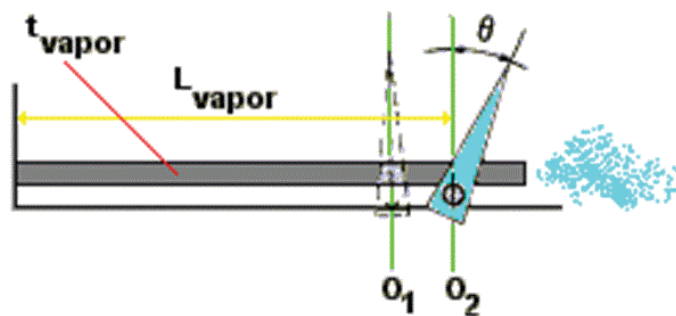


Figura 3. medida de partes da dilatação total pelo deslocamento e pelo ângulo descrito pelo ponteiro.

A dilatação total do tubo será igual ao valor do perímetro desenvolvido pelo cilindro, quando sofre uma rotação de um ângulo  $\theta$  mais uma translação igual à distância entre  $O_1$  e  $O_2$ . O valor dessa dilatação será então:

$$\Delta L = 2 \cdot \left( \frac{2\pi r \theta}{360^\circ} \right) = \frac{2\pi D \theta}{360^\circ} = \frac{\pi D \theta}{180^\circ}$$

Nessa expressão,  $\theta$  é o ângulo, em graus, indicado pelo ponteiro e  $r$  e  $D$  são o raio e o diâmetro do ponteiro, respectivamente. Podemos, então, explicitar o coeficiente de dilatação linear  $\alpha$ , a partir da expressão:

$$L_{\text{vapor}} = L_{\text{sala}} (1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad \text{OU} \quad L_{\text{vapor}} - L_{\text{sala}} = L_{\text{sala}} \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

donde :

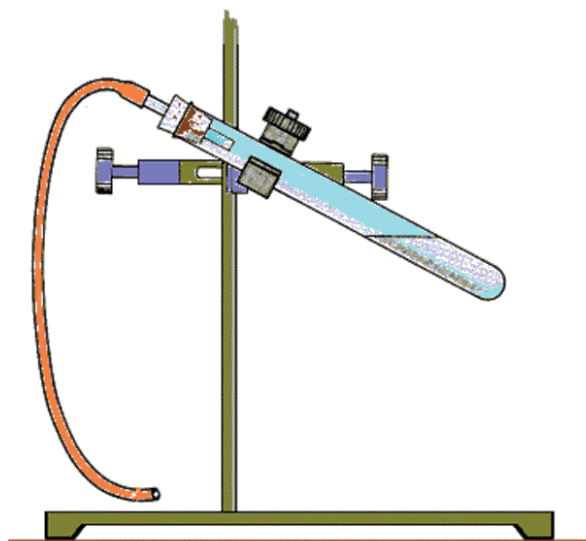
$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_{\text{sala}} \cdot \Delta t}$$

substituindo - se  $\Delta L$  pelo valor obtido anteriormente :

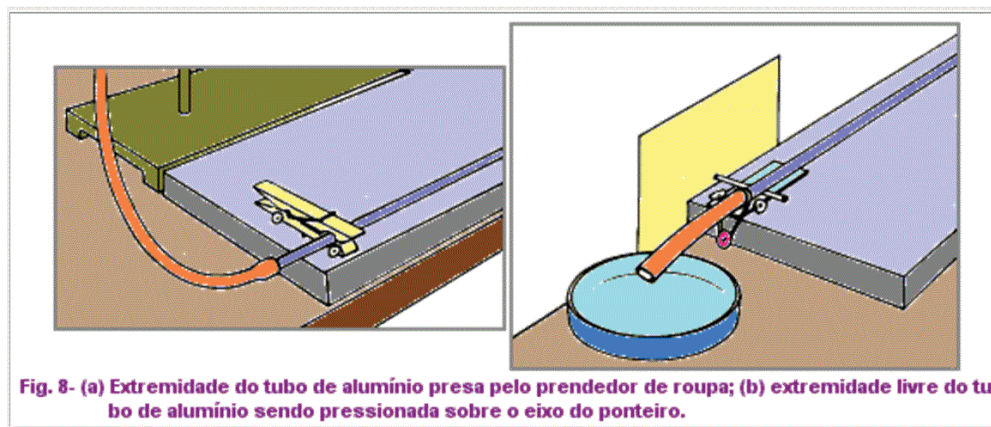
$$\alpha = \frac{\frac{\pi D \theta}{180^\circ}}{L_{\text{sala}} \cdot \Delta t} \quad \text{OU} \quad \alpha = \frac{\pi D \theta}{180^\circ \cdot L_{\text{sala}} \cdot \Delta t}$$

#### Procedimento

1. Você poderá fazer uma montagem como a da figura 6. Observe-a cuidadosamente e acompanhe os seguintes passos de instruções:
2. Coloque o tubo de vidro na garra forrada de cortiça e, após preencher 3/4 de volume do tubo com água, feche-o bem com a rolha de 1 orifício, prenda-o no suporte de laboratório, mantendo-o com uma inclinação de 30º com a horizontal, aproximadamente, como ilustramos na figura da página seguinte.

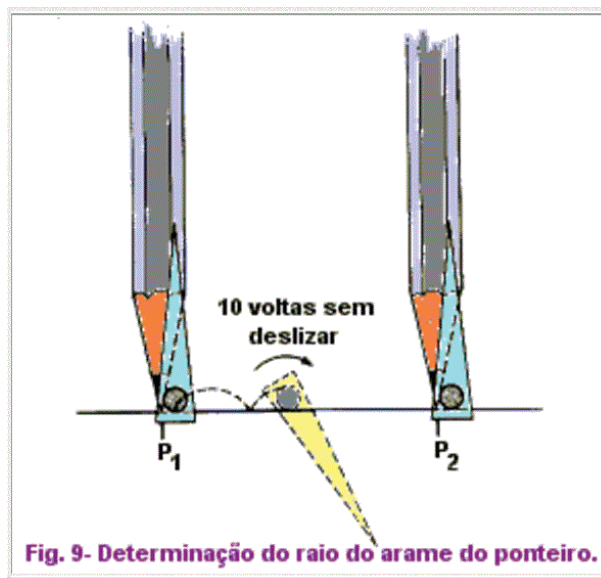


3. Coloque a prancha de madeira sobre a mesa e fixe o prendedor de roupas, com percevejos, em seu extremo, conforme a figura 8(a).
4. Fixe a lâmina de vidro, com percevejo, ao extremo da tábua, conforme se ilustra na figura 8(b) abaixo.



5. Conecte um extremo do tubo de látex ao tubo de ensaio e o outro extremo ao tubo de alumínio.
6. Prenda o extremo do tubo de alumínio ao prendedor de roupa, fixando-o bem (figura 8a). Apóie o extremo livre do tubo de alumínio sobre a lâmina de vidro. Veja esse detalhe na figura 8(b) abaixo.
7. Faça um furo no centro do transferidor de papel para permitir a passagem do eixo do ponteiro. Recorte esse transferidor de papel de modo que seu centro de gravidade fique abaixo do eixo do ponteiro, desse modo, enquanto o transferidor acompanha o ponteiro em sua translação, manterá sempre vertical o traço zero de referência. No Procedimento 20 faremos um comentário sobre isso.

8. Introduza o ponteiro pelo furo do transferidor, apoiando-o sobre a lâmina de vidro e mantendo-o sob o extremo do tubo metálico.
  9. Mantenha o tubo metálico ligeiramente pressionado contra o eixo do ponteiro, utilizando para isso um elástico e percevejo, conforme se vê na figura 8(b). Ajuste o ponteiro, de modo a indicar zero grau no transferidor.
  10. Meça e anote o comprimento  $L_{sala}$  compreendido entre a parte fixa do tubo de alumínio e o eixo do ponteiro.
  11. Peça orientação ao seu professor para determinar a temperatura inicial do sistema e a temperatura do vapor. Anote essas temperaturas.
  12. Prepare duas lamparinas a álcool, coloque-as sob o tubo de ensaio e acenda-as.
  13. Aguarde a água entrar em ebulição e observe o movimento do ponteiro. Anote o máximo ângulo  $\theta$  indicado.
  14. Repita todos os itens anteriores, utilizando tubos metálicos de outros materiais e de outros diâmetros, fornecidos pelo seu professor.
  15. Coloque o ponteiro sobre uma folha de papel e faça-o dar 10 voltas completas sem deslizar.
- Veja figura 9 abaixo. Determine o valor da distância  $P_1P_2$  correspondente a essas 10 voltas.



16. Calcule e anote o valor do raio do ponteiro, lembrando que a distância  $P_1P_2$  corresponde a 10 voltas do ponteiro e deve ser igual a 10 vezes o perímetro do ponteiro, ou seja:

$$P_1P_2 = 10 \times 2\pi \cdot r \implies r = (P_1P_2)/(20\pi)$$

Cálculos

17. Com os dados coletados, calcule o valor da dilatação  $\Delta L$  para cada tubo metálico.

18. Calcule o valor do coeficiente de dilatação linear de cada material disponível.

#### Perguntas

19. O valor da dilatação linear depende das dimensões do tubo? E o coeficiente de dilatação linear?

20. Que modificações deveriam ser introduzidas na determinação da dilatação linear sofrida pelo tubo, se o eixo do ponteiro girasse sobre o seu eixo geométrico (sobre o eixo geométrico do cilindro do ponteiro), ao invés de rolar sobre a placa de vidro, como na técnica indicada em 7?

#### Respostas e Comentários

Item 17 - Os resultados desse item dependem essencialmente do equipamento utilizado (tubo e ponteiro) e da diferença de temperatura atingida.

Item 18 - Os valores teóricos estão tabelados a seguir. O valor experimental depende do cuidado de cada grupo e da precisão do equipamento utilizado. É aceitável um resultado com a ordem de grandeza  $10^{-6}$ . Uma média de todos os grupos mostrará que o coeficiente do alumínio é maior que o do latão e o do latão é maior que o do cobre.

Metal	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
Alumínio	$25 \cdot 10^{-6}$
Latão	$19 \cdot 10^{-6}$
Cobre	$17 \cdot 10^{-6}$
Ferro	$12 \cdot 10^{-6}$

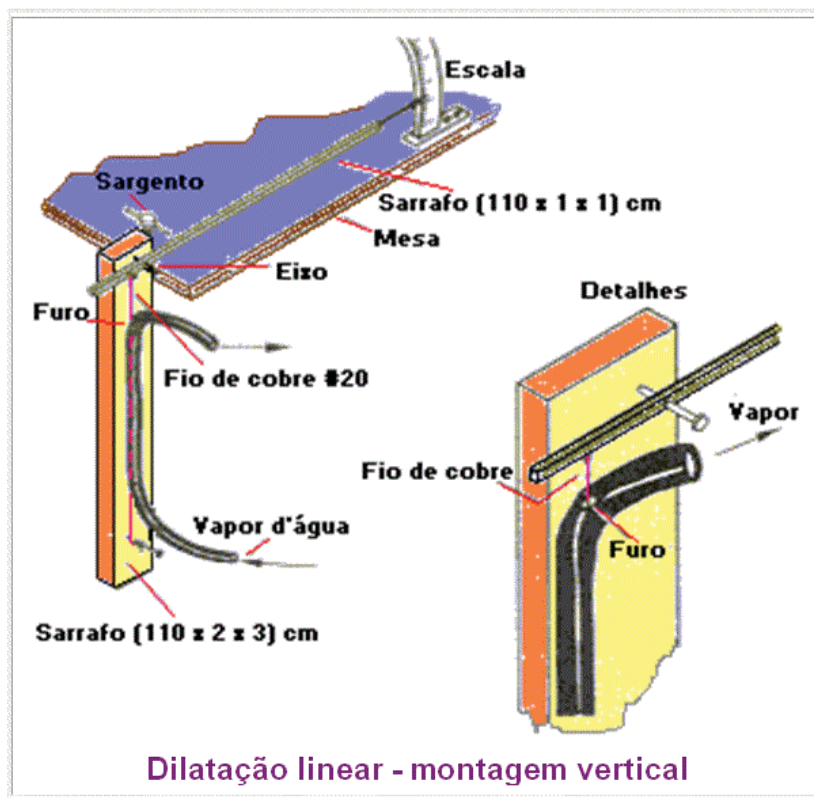
Item 19 - Um tubo muito longo sofre uma maior dilatação, em valor absoluto, do que um curto, sendo do mesmo material. O coeficiente de dilatação depende apenas do material de que é feito o corpo em questão.

Item 20 - Deveria ser considerado o perímetro correspondente a um ângulo  $\theta$  apenas uma vez (e não multiplicado por 2 como o fizemos). Porém, como a dilatação depende somente da diferença de temperatura, para um mesmo corpo, seu valor ( $\Delta L$ ) seria o mesmo, o que leva a concluir que o ângulo  $\theta$ , agora, deve ter o dobro do valor anterior. Em outras palavras: se o ponteiro girar e transladar o  $\Delta L$  será igual ao dobro do perímetro correspondente ao deslocamento angular  $\theta$  e se o ponteiro apenas girar (não transladar) o mesmo  $\Delta L$  será igual a apenas uma vez o deslocamento angular  $\theta'$  (acontece, porém, que esse  $\theta'$  será o dobro do anterior  $\theta$ ).

## DILATAÇÃO LINEAR II [NETTO]

### Apresentação

Essa montagem, na vertical, dispensa o tubo metálico, substituindo-o por um fio de cobre que passa por dentro do tubo de borracha, ao longo do qual passa o vapor de água. O longo ponteiro articulado permite fácil visualização do fenômeno da dilatação.

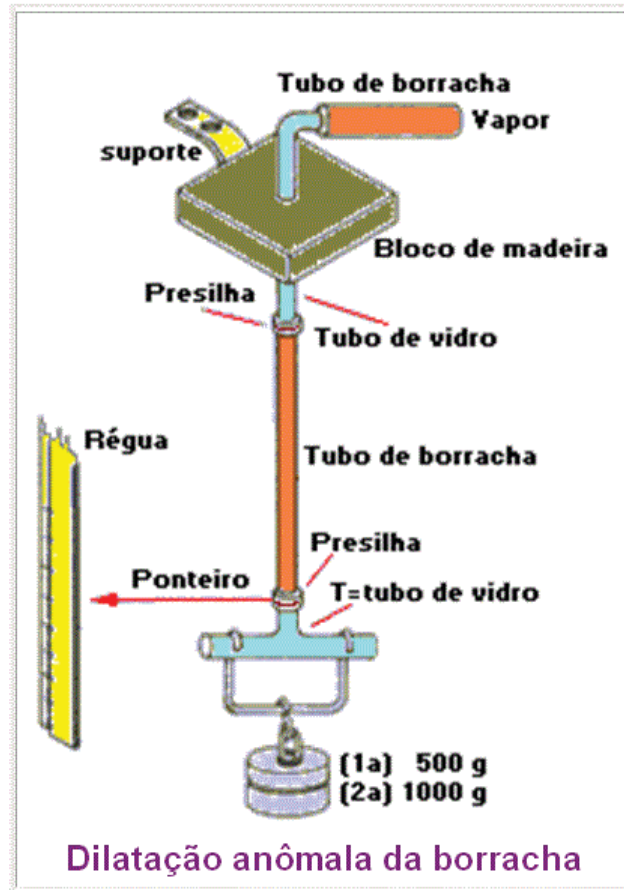


## DILATAÇÃO LINEAR III (DILATAÇÃO ANÔMALA DA BORRACHA) [NETTO]

### Apresentação

Esse projeto destaca o coeficiente de dilatação linear “negativo” de uma substância, ou seja, quando aquecido o material encolhe, em lugar de esticar. A borracha é um exemplar dessa exceção no fenômeno da dilatação. O barro comum é outro desses contra-exemplos. Nessa mesma Sala temos um projeto especial sobre a dilatação anômala da borracha.





## DILATAÇÃO DOS SÓLIDOS II (APLICAÇÕES DO PAR BIMETÁLICO) [NETTO]

### Objetivos

- Observar que o aquecimento/resfriamento de um par bimetálico provoca uma alteração na sua forma.
- Explicar o funcionamento do par bimetálico.
- Indicar algumas aplicações práticas para o par bimetálico.

### Pré-requisitos

Conhecimento básico sobre dilatação térmica de um sólido.

### Material

- 1 par bimetálico (modelo didático ou equivalente);
- 1 fonte de calor (fósforo, vela, lamparina etc.); pedras de gelo;
- 2 lâmpadas de lanterna para 3 V;
- 2 pilhas comuns de lanterna;
- Fios de ligação (cabinho #22);
- 1 suporte universal para laboratório;
- Garras tipo jacaré;
- 1 *starter* para lâmpada fluorescente (de 15, 20 ou 40W).

## ORIENTAÇÃO SOBRE A ATIVIDADE

Dividimos esta atividade em duas partes. A primeira é uma experiência qualitativa muito simples, com um roteiro de discussão. Para efetuar-la, o aluno deve ter apenas uma noção básica do que seja o fenômeno de dilatação térmica, ou seja, saber que, (a) de modo geral, uma certa substância se expande ao ser aquecida e se contrai ao ser resfriada; (b) tendo cada material um certo coeficiente de dilatação, que indica o quanto ele se expande ou se contrai, ao sofrer uma variação unitária de temperatura. Com base nisso, o aluno irá observar e explicar o que ocorre com um par bimetálico ao ser aquecido e resfriado. É importante que nas duas situações os alunos observem o par, até atingir a forma curva (modelo didático).

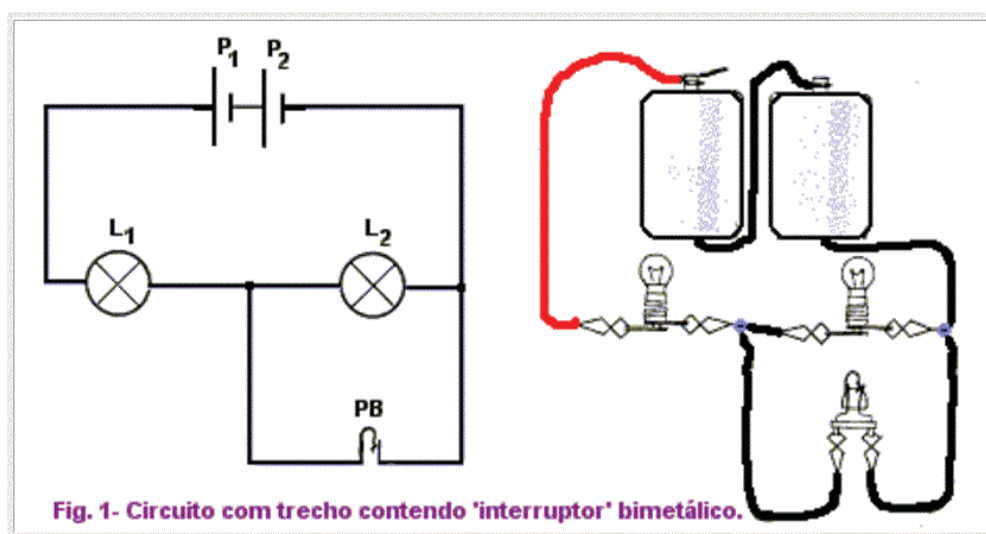
A segunda constitui-se na montagem e observação de um circuito elétrico simples onde se utiliza um par bimetálico. Por envolver algumas noções de circuitos elétricos, sugerimos que o professor faça a montagem em classe, explicando aos alunos cada etapa.

O principal objetivo desta segunda parte é levar os alunos a terem uma idéia de como podemos utilizar um par bimetálico como sensor de temperatura. É interessante que eles próprios tentem também imaginar outras aplicações práticas para o par.

Sugerimos, a seguir (figura 1), um circuito elétrico. Cabe ao professor optar por montá-lo ou não como, também, procurar outras idéias.

### O interruptor térmico

Podemos montar vários circuitos elétricos, utilizando um par bimetálico para fazê-lo funcionar como um interruptor térmico; um sensor de temperaturas. Sugerimos um circuito que consideramos o mais simples, para que o aluno possa entender o que ocorre.



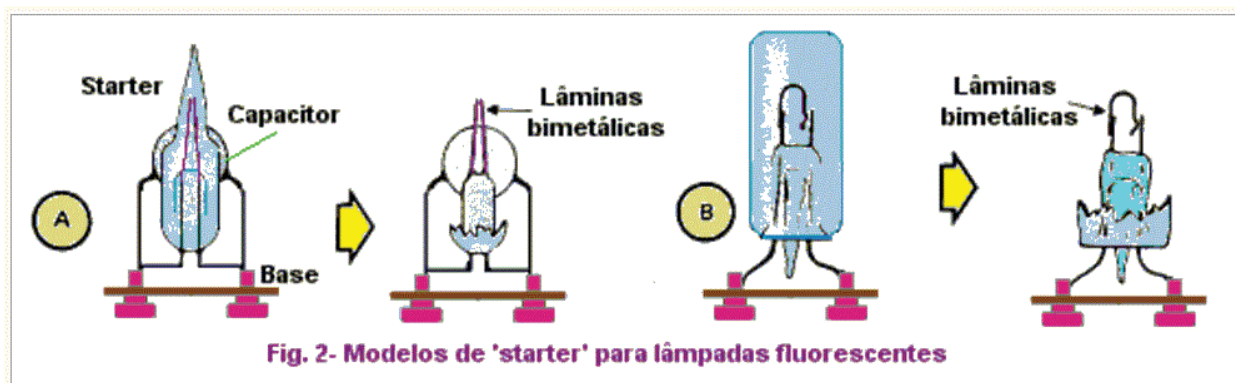
Nesse circuito P1 e P2 são pilhas comuns de lanternas de 1,5V cada, ligadas em série, de modo que a tensão total disponível é de 3,0 V. L1 e L2 são lâmpadas (para lanternas de 2 pilhas) associadas em série e PB é um *starter* para lâmpada fluorescente (qualquer modelo), normalmente constituído por um ou dois pares bimetálicos.

O professor deverá acompanhar as instruções dos itens 1 a 7 para a construção e demonstração do interruptor térmico.

1. Montar o circuito só com as duas pilhas e as duas lâmpadas em série, sem o par bimetálico.
2. Dar uma noção do que ocorre nesse circuito; por exemplo, "a pilha fornece energia que é transportada por certas partículas até as lâmpadas; daí o brilho das mesmas". A 'profundidade' das explicações ficará ao cargo do professor, na dependência do nível escolar da classe. A única observação, para a qual alertamos, é não usar termos populares, tais como, 'voltagem' e 'amperagem' em lugar de 'diferença de potencial' e 'intensidade de corrente elétrica'.

Ainda, algo assim, poderão ser acrescentados nessas noções:

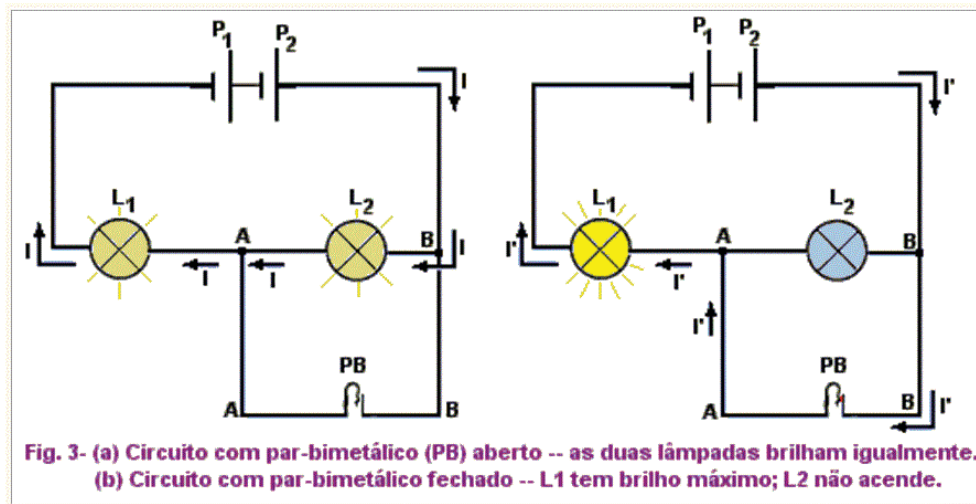
- Quanto mais pilhas, mais energia e, portanto, maior o brilho [use inicialmente uma pilha e depois, duas].
  - Como há 2 lâmpadas iguais, a energia das pilhas é dividida em duas: metade para cada lâmpada.
  - Para a energia ser transportada para as lâmpadas, precisamos ter um circuito fechado. Se abrirmos esse circuito, em algum ponto, as lâmpadas se apagam.
3. Quebrar a ampola de vidro do *starter* para a lâmpada fluorescente (use um pano para envolvê-lo e bata com um martelo) e observá-lo atentamente. Ele é constituído normalmente de um (B) ou dois (A) pares bimetálicos, como mostramos na figura abaixo.



4. Verificar que, ao se aquecer (com a chama de uma lamparina) o *starter*, as lâminas se unem e ao se resfriar, elas se separam (em alguns casos é preciso, com um alicate de ponta fina, torcer o condutor fixo para o lado de dentro ficando o par bimetálico para o lado de fora do conjunto).

5. Ligar o *starter* em paralelo com uma das lâmpadas (optamos pela L2). Use fios dotados de jacarés.
6. Verificar e explicar o que ocorre com o brilho da lâmpada quando o *starter* for aquecido, através da chama de um fósforo ou da lamparina.

Quando as lâminas estão separadas, não há passagem de corrente elétrica pelo par (PB), pois o trecho de circuito AB, onde se encontra o PB, está aberto. As duas lâmpadas brilham como antes de ligarmos o par no circuito, como se ilustra na figura 3a abaixo.



Ao aquecermos o *starter*, as lâminas se juntam e fecham o circuito no trecho AB que contém PB. Como ele tem resistência muito pequena (praticamente, zero), quase toda corrente elétrica ( $I'$ ) passa pelo par PB e não pela lâmpada L2. L2 se apaga e L1 brilha mais, pois agora a corrente que passa por L1 ( $I'$ ) é maior que antes ( $I$ ), uma vez que L2 não consome energia das pilhas. Ilustramos isso na figura 3b.

7. Aquecer (por meio de um fósforo) e resfriar (soprando) o par PB várias vezes e observar, em seguida, que a lâmpada L2 se acende e apaga enquanto L1 aumenta e diminui o brilho. Veja pergunta sobre 'Alarme de incêndio' (Proced. 9)

## EXPLICANDO O FUNCIONAMENTO DO BIMETAL

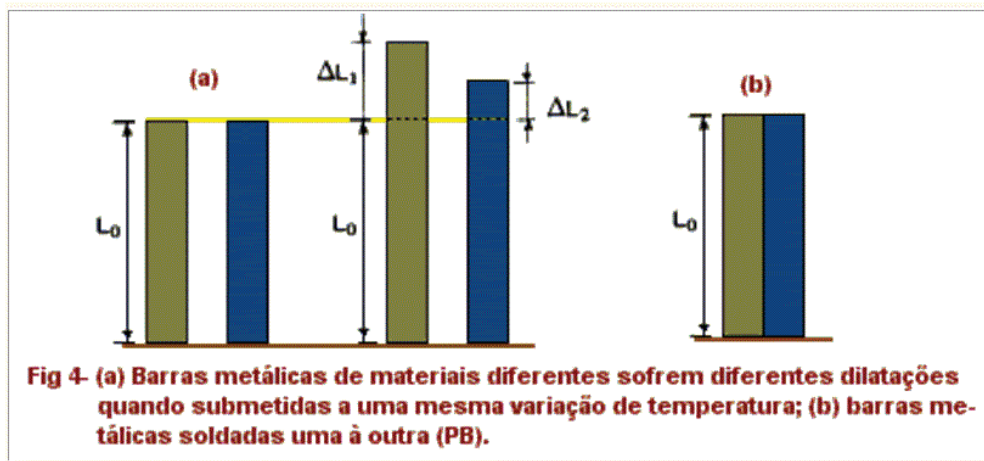
Você já deve ter observado e estudado o que ocorre quando aquecemos e resfriamos uma substância. No primeiro caso, há uma expansão da mesma e no segundo, uma contração. Habitualmente se usa o termo 'dilatação' quando se refere apenas à expansão; não deve ser assim, o termo dilatação deve se referir tanto à expansão como a contração. Ocorre 'dilatação' quando a substância sofre uma variação de temperatura.

Você também já deve ter constatado que cada objeto sofre uma dada dilatação, quando sujeito à uma determinada variação de temperatura,

cujo valor depende essencialmente de suas dimensões e do coeficiente de dilatação do material de que é feito o objeto. Este coeficiente é uma característica da substância.

Imagine, por exemplo, a seguinte situação:

Duas barras de metais diferentes, de mesmo comprimento inicial, são aquecidas simultaneamente por uma mesma fonte de calor. Se o material de que é feita a barra A tem coeficiente de dilatação linear maior do que o da barra B, verificaremos que A se dilata mais do que B, conforme ilustramos na figura 4<sup>a</sup> abaixo.



Imagine agora que soldamos essas duas barras, uma sobre a outra, tal como mostra a figura 4b acima. O que você espera que ocorra ao aquecermos esse conjunto?

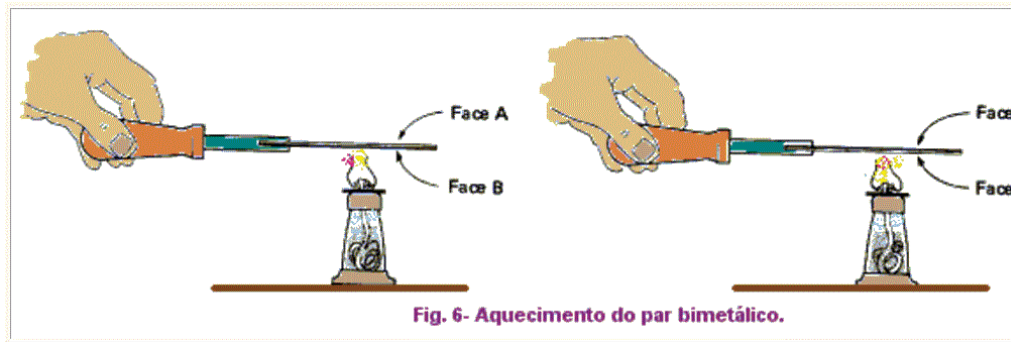
É justamente isso que você irá observar nesta atividade.

A esse conjunto de duas lâminas de materiais diferentes, unidas uma sobre a outra, damos o nome de par bimetálico. Você irá aquecer e resfriar um par bimetálico tal como o da figura abaixo (modelo didático) e observar o que ocorre.



Procedimento - Parte A

1. Faça uma marca qualquer em um dos lados do par bimetálico, para identificar suas faces.
2. Aqueça o par, por meio de uma fonte de calor, em duas posições, tal como mostra a figura abaixo.



Descreva o que ocorre com o par em cada situação e procure explicar o porquê.

3. Com base no que você observou em (2), identifique a lâmina que mais se dilatou ao ser aquecida.

4. Coloque agora o par em contato com o gelo: do mesmo modo que em (2), uma vez cada face.

Descreva o que você observou.

5. Com base no que você observou em (4), identifique a lâmina que mais se contraiu ao ser resfriada.

6. Compare o comportamento do par nas situações (2) e (4), de aquecimento e resfriamento.

Explique a diferença.

7. Identifique a lâmina que possui maior coeficiente de dilatação.

8. Procure imaginar algumas aplicações práticas para o par bimetálico.

9. Como você poderia montar um circuito de alarme contra o fogo, utilizando um par bimetálico?

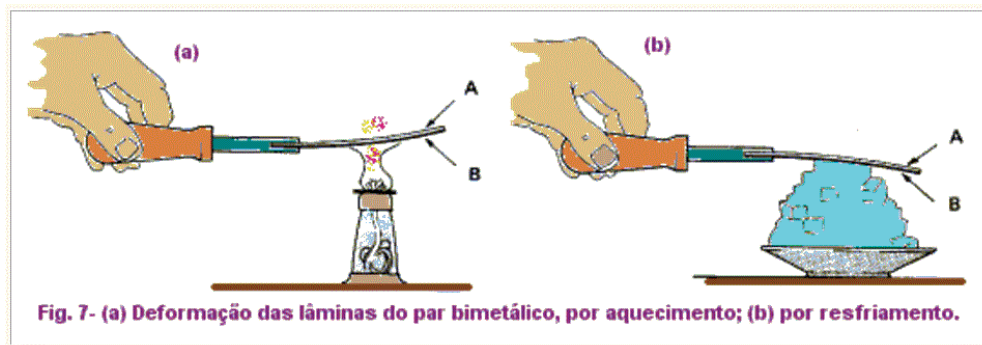
Desenhe esse circuito e descreva seu funcionamento.

Procedimento - Parte B

Efetue com este par uma aplicação. Para isso, peça orientação ao seu professor... ou, invente à vontade!

Comentários

Itens 2 e 3 - A figura 7a abaixo ilustra o que ocorre com o par bimetálico, quando aquecido. O material de que é feita a lâmina B tem maior coeficiente de dilatação do que o da lâmina A e, portanto, dilata-se mais.



Itens 4 e 5 - A figura 7b acima ilustra o que ocorre quando o par bimetálico é resfriado. A lâmina B se contrai mais do que a A, o que confirma que o coeficiente de dilatação de B é maior que o de A.

Item 6 - Estando o par sem deformação (lâminas planas) à temperatura ambiente, ele se curvará num sentido, quando aquecido acima da temperatura ambiente e se curvará no sentido oposto, quando resfriado abaixo da temperatura ambiente.

Item 7 - Veja as respostas dos itens 2 e 5.

Item 8 - Algumas aplicações para o par bimetálico: termostatos para geladeiras; ferro automático de passar roupa; alarmes contra incêndio; termômetros para altas temperaturas etc.

Item 9 - O mesmo circuito da figura 3a. Quando a fonte de calor é mantida junto ao par bimetálico, uma das lâmpadas permanecerá acesa e a outra apagada. Uma das lâmpadas pode ser indicadora da situação normal e a outra, da situação de incêndio.

## DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS [NETTO]

### Objetivos

- Observar que o aquecimento de um líquido provoca um aumento em seu volume.
- Calcular experimentalmente o coeficiente de dilatação volumétrica de um líquido.
- Concluir que, a diferentes líquidos, correspondem coeficientes de dilatação diferentes.

### Pré-requisitos

Os alunos deverão reconhecer a expressão:  $V = V_0(1 + \gamma \cdot \Delta t)$ .

### Material

- 1 termômetro (-10 a 110 °C);
- 1 béquer de 1000 ml ou recipiente para banho-maria;
- 1 seringa de injeção sem o êmbolo, de 3 ml, (com agulha);
- 1 tubo de ensaio de 25 mm x 200 mm ou recipiente de vidro de aproximadamente 100 ml, com rolha de borracha (vidro de remédio, garrafinha etc.);
- 1 bico de Bunsen, lamparina a álcool ou ebulidor elétrico;
- 1 tripé para tela de amianto, com tela de (18 x 18) cm;
- Água, álcool e glicerina em volume igual ao do recipiente de vidro;
- 1 folha de papel milimetrado ou quadriculado;
- 1 proveta de 100 ml ou outro recipiente graduado.

### Orientação para o professor

Nesta experiência, os alunos deverão obter os coeficientes de dilatação térmica de três líquidos: água, álcool e glicerina. Será apresentado um equipamento bastante simples que facilita a medição da variação do

volume do líquido, ao ser aquecido. Os alunos deverão encher totalmente o recipiente de vidro, uma vez com cada líquido. Desse modo, o volume inicial do líquido corresponde ao volume do recipiente. Os acréscimos nesse volume, correspondentes a cada variação de 5 °C na temperatura, deverão ser medidos com uma seringa de injeção interligada ao recipiente, por meio de sua agulha.

É importante que a água e o álcool sejam aquecidos no intervalo de 30 a 50 °C, pois fora dessa faixa de temperaturas esses líquidos apresentarão problemas (o coeficiente de dilatação da água varia conforme a faixa de temperatura; o álcool, a partir de um certo ponto, se volatiliza; a glicerina, entretanto, poderá ser aquecida até 70 °C sem apresentar anormalidades).

Com os dados obtidos, os alunos deverão construir gráficos do volume do líquido em função da temperatura, os quais devem resultar aproximadamente lineares, dentro do intervalo de temperatura indicado. Para a obtenção do coeficiente de dilatação do líquido através desses gráficos, é preciso traçar as retas médias e calcular seus coeficientes angulares.

A experiência pode ser feita em menor intervalo de tempo, se os alunos forem agrupados em 3, de tal modo que cada um deles faça as medidas para um dos líquidos e, em conjunto, façam a análise dos três líquidos, podendo comparar os resultados.

Se o professor considerar complexo o procedimento proposto, uma outra alternativa é medir apenas o volume inicial e final do líquido correspondentes às temperaturas de 30 e 50 °C, respectivamente e, através da relação  $\Delta V / (V_0 \cdot \Delta t)$  calcular o coeficiente de dilatação do líquido.

### Introdução

Neste experimento, você poderá observar a dilatação ( $\Delta V$ ) de três líquidos ao serem aquecidos ( $\Delta t$ ), bem como, calcular seus respectivos coeficientes de dilatação ( $\Delta$ ).

A dilatação dos líquidos, apesar de maior que a dos sólidos (cerca de 10 vezes), também é pequena em confronto com o volume total ensaiado, de modo que, para podermos observá-la e mediá-la, temos de usar processos de amplificação.

Nesta experiência, o líquido será colocado em um recipiente de vidro (cuja dilatação própria iremos desprezar) e interligado a um tubo mais fino (no caso, uma seringa de injeção). Ao aquecer-se, o líquido se dilata e um pequeno acréscimo no seu volume elevará sensivelmente a altura do mesmo no tubo mais fino (seringa). Isso facilitará a medida da variação do volume do líquido em função do aumento de temperatura.

Esse procedimento será feito para três líquidos diferentes, de modo que você poderá comparar a dilatação térmica dos três.

Você fará leituras do volume do líquido, na seringa de injeção, a cada variação de temperatura 5 °C e construirá gráficos do volume em função da temperatura.

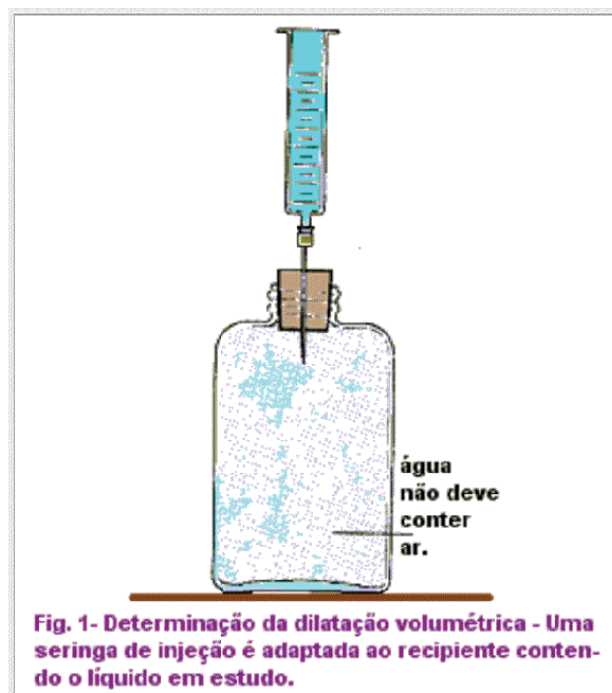
Conhecendo-se a relação:  $V = V_0(1 + \gamma \cdot \Delta t)$ , você poderá calcular os



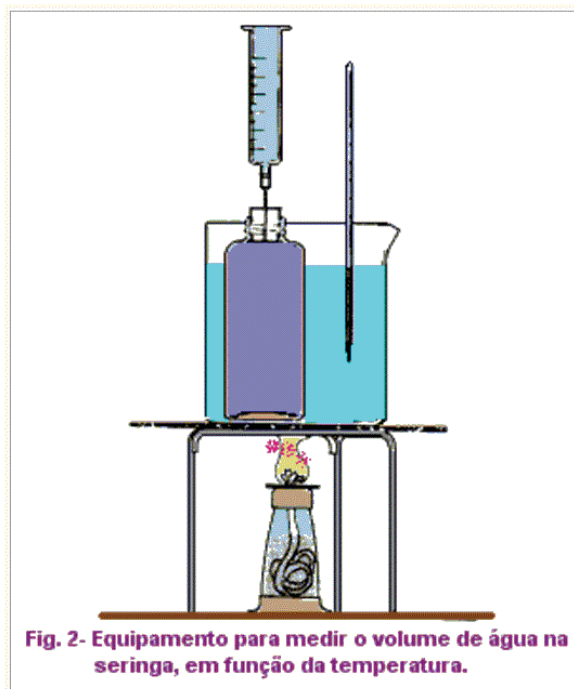
coeficientes de dilatação  $\gamma$  dos líquidos, a partir dos gráficos.

#### Procedimentos

1. Encha o recipiente de vidro com água até a boca, despeje-a em seguida em uma proveta (ou qualquer outro recipiente graduado) e meça o volume de água:  $V_0$ .
2. Introduza a agulha da seringa através de uma rolha que tenha um tamanho adequado para fechar o recipiente de vidro. Siga ilustração da figura abaixo.



3. Encha novamente o recipiente de vidro com água até a boca. Cuidado para não deixar bolhas de ar.
4. Feche o recipiente com a rolha, tomando cuidado para que não fique qualquer bolha de ar dentro do vidro.
5. Coloque o equipamento, montado acima, no interior de um béquer contendo água até a boca do recipiente de vidro (sem cobrir a rolha), conforme a figura Abaixo.



6. Mergulhe o termômetro na água do béquer.
7. Aqueça o conjunto desde 30 (ou ambiente) até 50 °C, anotando o volume do líquido marcado na escala da seringa, de 5 em 5 °C.
8. Repita o procedimento (2 a 6), utilizando o álcool e em seguida a glicerina. No caso da glicerina, o aquecimento deverá ser feito desde 30 até 70°C.
9. Organize os dados obtidos, como sugerido na Tabela I.

Temperatura $t$ (°C)	Volume na seringa $V$ (ml)		
	Água	Álcool	Glicerina
30			
35			
40			
-			
-			
-			
65			
70			

10. Construa um gráfico do volume ( $V$ ) em função da temperatura ( $t$ ), para cada um dos três líquidos (traçando as retas médias pelos pontos obtidos).
11. Com base nesses gráficos, você pode verificar qual dos três líquidos tem maior e qual tem menor coeficiente de dilatação? Como?
12. Qual a relação algébrica entre o coeficiente angular de uma reta obtida e o coeficiente de dilatação do líquido correspondente?

13. Utilizando esta relação, calcule o coeficiente de dilatação térmica de cada um dos líquidos, a partir dos coeficientes angulares das retas.
14. Qual a relação entre os três coeficientes de dilatação?

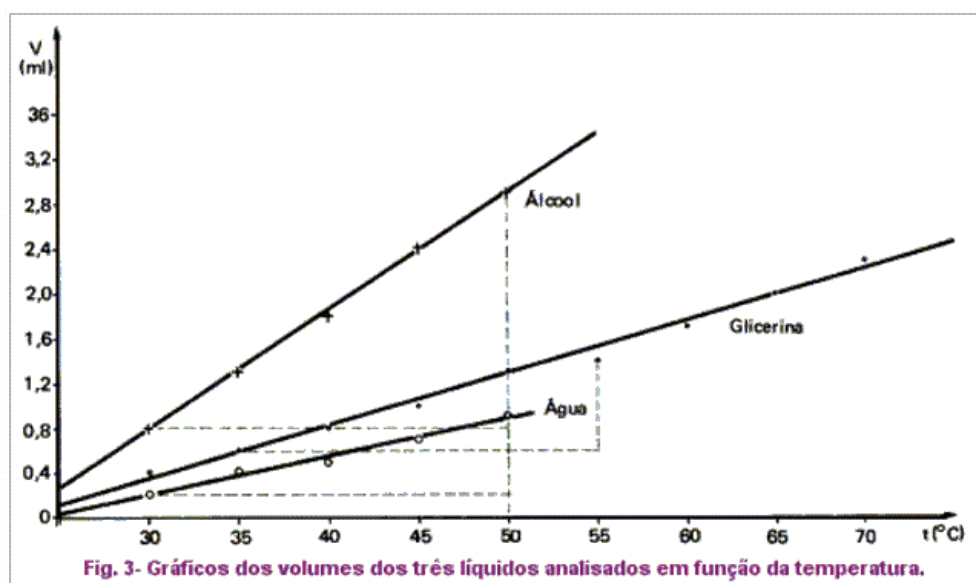
## Comentários

Item 9. Os resultados obtidos, com nossos dados, estão apresentados na tabela II.

Dados utilizados: Volume inicial:  $V_0 = 113$  ml; Seringa de vidro de 3 ml  
Tabela II

Temperatura $t$ (oC)	Volume na seringa $V$ (ml)		
	Água	Álcool	Glicerina
30	0,2	0,8	0,4
35	0,4	1,3	0,6
40	0,5	1,8	0,8
45	0,7	2,4	1,0
50	0,9	2,9	1,3
55	-	-	1,4
60	-	-	1,7
65	-	-	2,0
70	-	-	2,3

Item 10 - Gráficos correspondentes à tabela II.



Nos intervalos de temperatura considerados, os gráficos devem ser aproximadamente lineares, podendo-se traçar retas médias pelos pontos obtidos.

Itens 11 e 12 - Sendo  $a$  o coeficiente angular da reta, temos:  $a = \Delta V / \Delta t$  e como o coeficiente de dilatação do líquido  $\gamma$  é dado por:  $\gamma = \Delta V / (V_0 \cdot \Delta t)$ , segue-se que:  $\gamma = a / V_0$ .

O líquido cuja reta tiver maior inclinação tem maior coeficiente de dilatação, pois maior inclinação significa maior variação no volume para uma mesma variação de temperatura, ou seja, maior dilatação.

O coeficiente de dilatação é igual ao coeficiente angular da reta, dividido pelo volume inicial do líquido.

Item 13 - Dos gráficos que apresentamos, obtemos os seguintes resultados:

Líquido	Coeficiente angular da reta: $a = \Delta V / \Delta t$ (ml/°C)	Coeficiente de dilatação: $\gamma = a / V_0$ (°C <sup>-1</sup> )
Água	0,035	$31 \cdot 10^{-5}$
Glicerina	0,046	$41 \cdot 10^{-5}$
Álcool	0,11	$97 \cdot 10^{-5}$

Item 14 - Dos resultados obtidos acima:  $\gamma_{\text{álcool}} / \gamma_{\text{água}} = 3,1$ ;  $\gamma_{\text{glicerina}} / \gamma_{\text{água}} = 1,3$ , resultados entre 2,5 e 4,0 para a razão  $\gamma_{\text{álcool}} / \gamma_{\text{água}}$  e entre 1,0 e 1,5 para a razão  $\gamma_{\text{glicerina}} / \gamma_{\text{água}}$  são aceitáveis neste experimento.

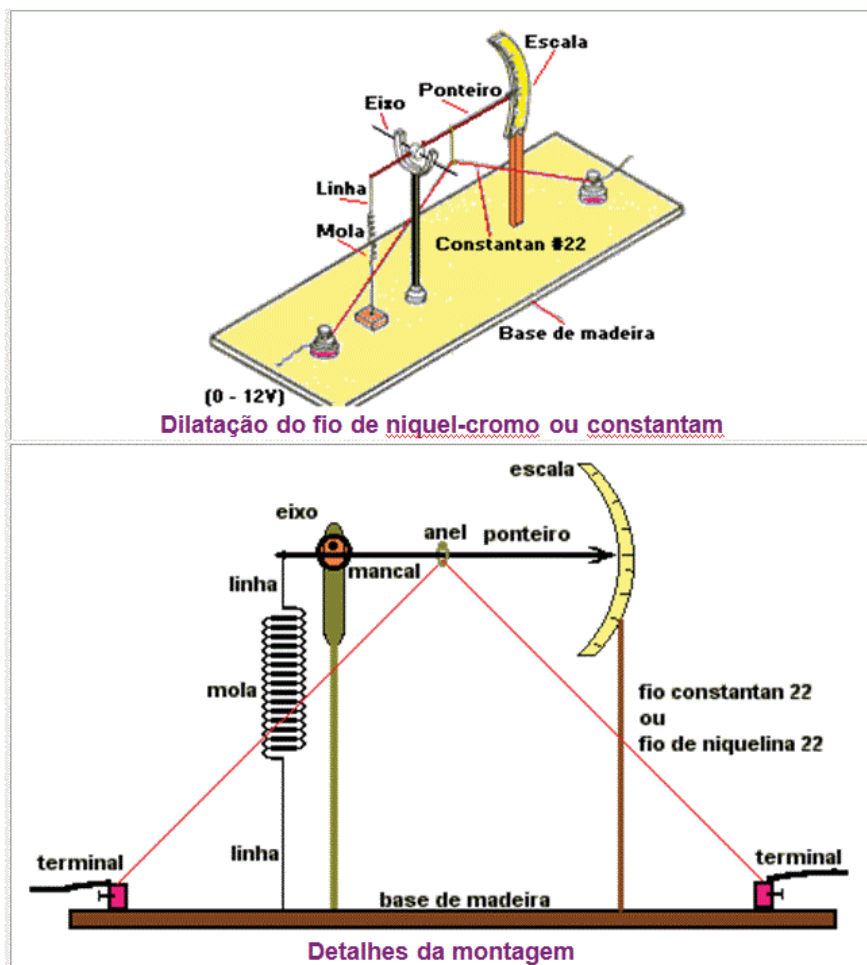
Valores de tabelas técnicas:  $\gamma_{\text{álcool}} = 110 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $\gamma_{\text{água}} = 30 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  e  $\gamma_{\text{glicerina}} = 50 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

### DILATAÇÃO POR EFEITO JOULE [NETTO]

#### Apresentação

De montagem extremamente simples, o projeto evidencia, mediante o deslocamento de um ponteiro ao longo de um quadrante graduado, o fenômeno da dilatação linear do fio metálico aquecido.

A fonte de calor, no caso, é a conversão da energia elétrica em térmica (efeito *Joule*), no próprio fio no qual se pesquisa a dilatação. Uma fonte de alimentação ajustável de 0 a 12 VCC ou mesmo um transformador para 6,3VAC servem para o experimento.



## COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Os alunos e futuros professores devem ter sentido dificuldade em fazer todos os experimentos. Isso é normal já que temos muitas formas de se medir a temperatura e nem todos tem facilidade em manusear ou adquirir alguns dos materiais.

Estes devem, através de vídeo aulas, ter percebido que mesmo alguns projetos sérios não conseguem se afastar do conceito das aulas teóricas baseadas na exposição de conceitos e na resolução de exercícios.

### CONCLUSÃO

Mostramos através de um texto simples complementado com alguns experimentos de baixo custo que o conceito de dilatação térmica, pode ser ensinado de forma lúdica e menos teórica. Também ficou claro que terminologia é um tema que envolve muitos fatos (experiências) corriqueiros e cotidianos e que podemos torná-lo um tema mais atraente e menos decorativo para os alunos.

Deve ter ficado claro para o futuro professor que existem muitos conceitos e paradigmas envolvidos nas explicações dos fenômenos termodinâmicos. Que podemos usar um ou mais destes ao explicar estes.

Estes devem ter ficado cientes que existem diversos materiais de apoio ao ensino de física, como ludotecas e vídeos aulas, que podem ser usados como reforço no aprendizado.



### RESUMO

Apresentamos aqui um texto simples sobre dilatação térmica. Complementamos este com alguns experimentos de baixo custo elaborados por nós mesmos e por outros retirados de diversos *sites* de ensino – principalmente do *site* feira de ciências. Mostramos que existem vários vídeos aulas, alguns feitos de forma profissional, que devem ser sugeridas aos seus futuros alunos.

### REFERÊNCIAS

- SOUZA e AGUIAR. Monografia de conclusão de curso. UFRJ. 2007 <http://omnis.if.ufrj.br/~carlos/inic/luizfernando/monografiaLuizFernando.pdf>
- LUIZ F. Neto. Feira de Ciências - [www.feiradeciencias.com.br](http://www.feiradeciencias.com.br)
- HALLIDAY, D., Resnick, R., Walker, J.; **Física**, Vol. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1996
- TIPLER, P.A.; **Física** (Para Cientistas e Engenheiros), Vol.2 , Gravitação **Ondas e Termodinâmica**, 3a Ed., Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995.