

Lei do Resfriamento de Newton

IF/UnB - Física 2 Experimental

Objetivos: Determinar experimentalmente a lei de resfriamento, a partir de análise gráfica.

MATERIAIS

- 1 béquer de 250 mL,
- 1 sensor termopar envolto em um cilindro de nylon,
- 1 computador com placa de aquisição DrDac,
- 1 conjunto com manta aquecedora, balão volumétrico e uma luva,
- Gelo.

INTRODUÇÃO TEÓRICA

Um corpo com temperatura ligeiramente superior a temperatura ambiente tem seu resfriamento descrito de forma satisfatória a partir da lei de resfriamento de Newton, onde se afirma que a taxa de resfriamento é proporcional à diferença de temperatura entre o sistema e o meio ambiente, que é considerado um banho térmico. Assim, se T é a temperatura do objeto e T_a é a temperatura ambiente, a taxa de resfriamento, $\frac{dT}{dt}$, do objeto em função do tempo t é dada por

$$\frac{dT}{dt} = -b(T - T_a), \quad (1)$$

onde b é o coeficiente de transferência térmica entre o objeto e o meio ambiente.

Como consequência, se T_0 é a temperatura inicial do objeto, podemos escrever a expressão que indica a variação da temperatura do objeto em função do tempo transcorrido na forma

$$T(t) - T_a = (T_0 - T_a)e^{-bt}, \quad (2)$$

$\tau = 1/b$ é a constante de tempo, tal que a temperatura inicial do corpo se reduza em aproximadamente 37% ($= 1/e$). O coeficiente de transferência térmica, b , é diretamente proporcional a área de contato do objeto com o ambiente e a condutividade térmica do material, e inversamente proporcional a distância entre o objeto e o meio externo e o calor específico do objeto.

FAZENDO O AJUSTE NO GRACE OU QTIPLLOT

O resfriamento do corpo ocorre após início da medida, pois o mesmo foi colocado na água depois de ter sido averiguado que a temperatura do corpo estava estável. Então a primeira etapa é selecionar o conjunto de dados para o ajuste. Seria impossível, utilizando apenas uma função exponencial, ajustar todo o conjunto de dados desde o tempo zero do experimento.

Para fazer isso no Grace vá em **Edit** → **Regions** → **Define**. Na janela que abrir, **Define region** numera a região e em **Region type** escolhe-se a maneira como a região será definida, aqui assumida como 0. A forma mais simples é escolher a opção **Right of line** e traçar uma reta que divida os dados a partir do momento em que efetivamente há resfriamento e/ou aquecimento, como pode ser visto na Figura 1.

Pode-se agora fazer o ajuste da curva. Escolha **Data** → **Transformations** → **Non-linear curve fitting** e aparecerá a tela da Figura 2.

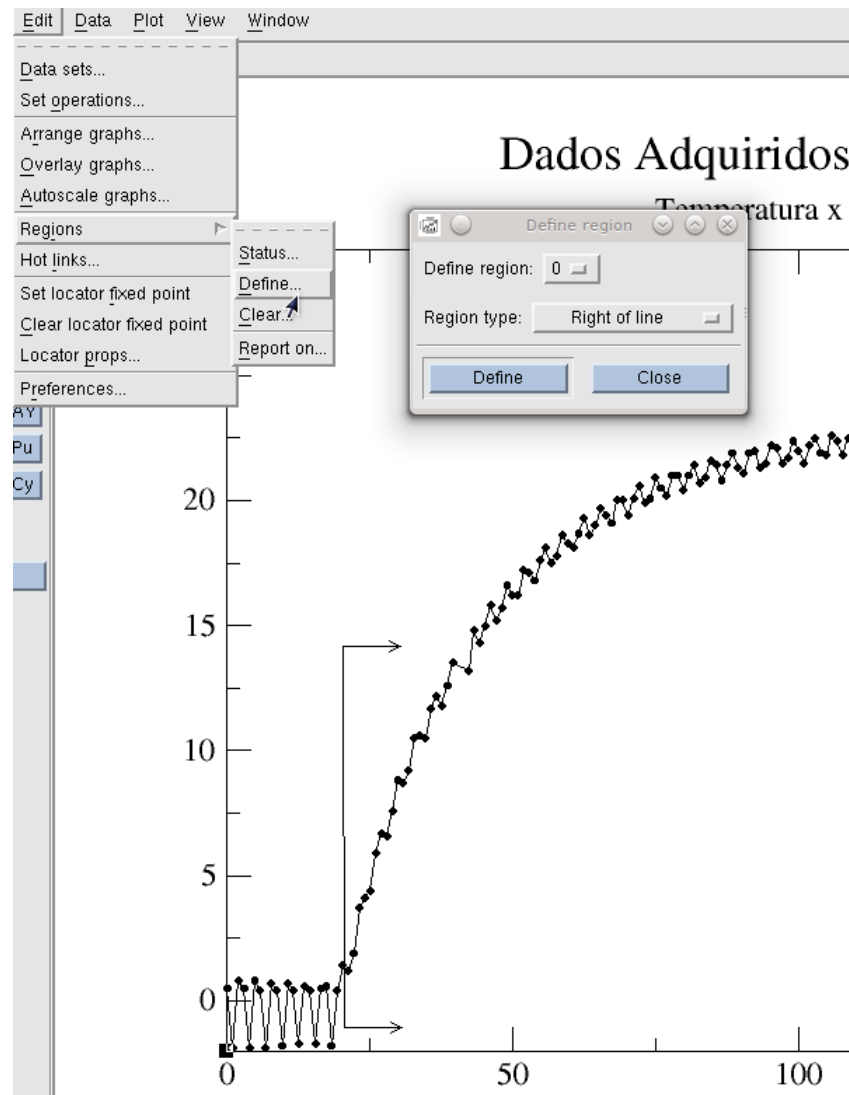


Figura 1.

A curva a ser ajustada é

$$y = a0 + (a1 - a0) * \exp(-a2 * (x - a3)), \quad (3)$$

onde $a0 = T_a$, $a1 = T_0$, $a2 = b = 1/\tau$, e $a3$ é o momento onde começou o resfriamento do sensor. Para restringir o ajuste à região pré-determinada clique em **Advanced** → **Source data fitting** → **Restriction** e escolha a região 0. Volte para a opção **Main**, observe os dados do gráfico para dar a estimativa inicial dos parâmetros e clique em **Apply** para obter o ajuste.

Como alternativa o ajuste pode ser feito pelo *QtiPlot*. Após a aquisição dos dados vá em **Data** → **Export** → **ASCII** para salvar os dados como arquivo de texto. Salve o arquivo nos seus documentos e substitua os pontos por vírgulas. Abra o *QtiPlot* e importe os dados, marcando que os dados estão separados por um espaço. Delete os dados referentes ao período anterior ao início do resfriamento. Gere o gráfico dos pontos clicando com o botão direito na coluna associada a temperatura. Clique com o botão direito no gráfico gerado e escolha **Analisar** → **Ajuste por decaimento exponencial** → **Primeira ordem**, como na Figura 3. Por esse método o *QtiPlot* faz o ajuste com uma curva do tipo

$$y = y0 + A * \exp(-x/t), \quad (4)$$

portanto atente-se a diferença de significado físico das constantes fornecidas com as que são dadas pelo ajuste no *Grace*.

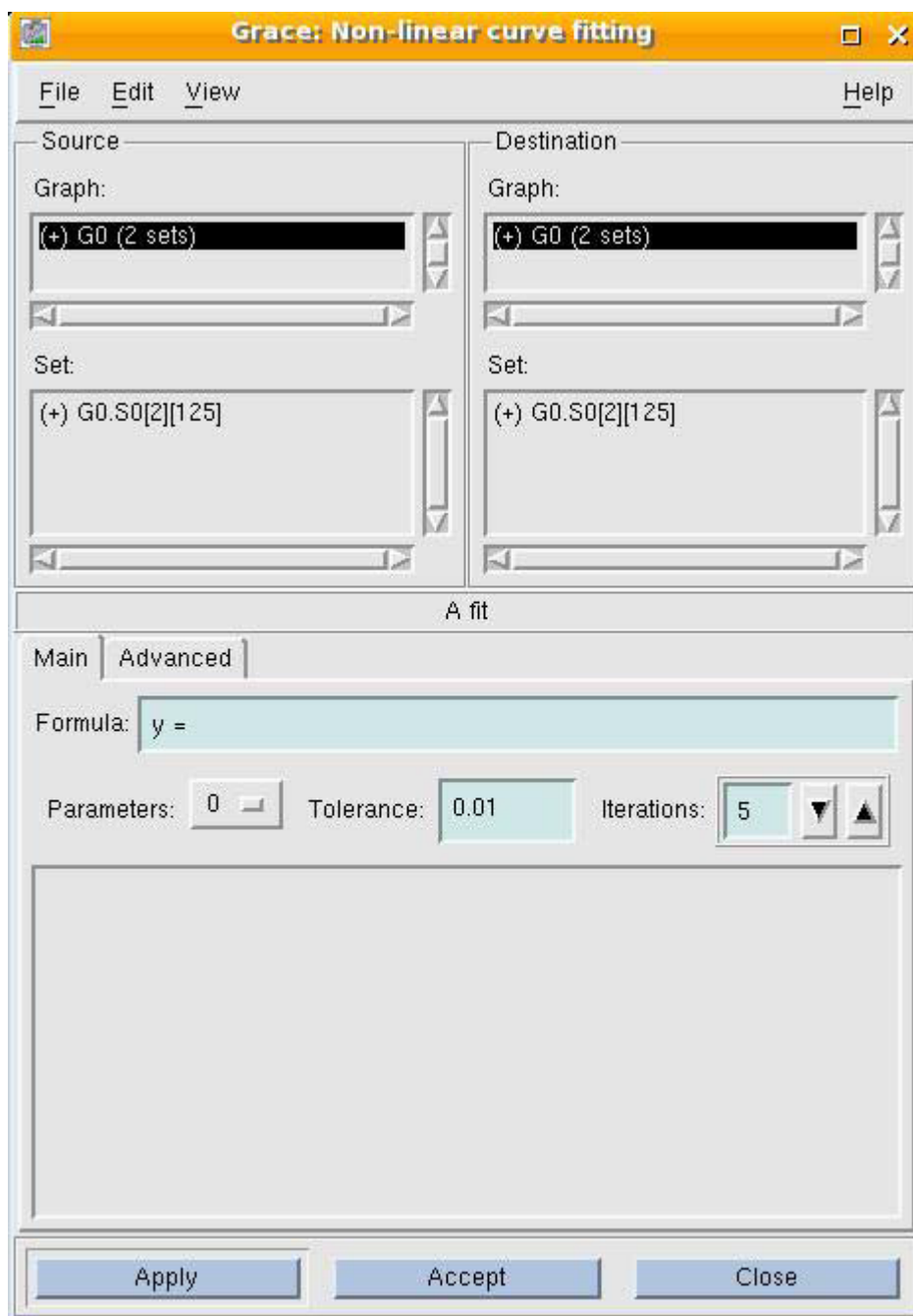


Figura 2.

PROCEDIMENTOS

1. Estudo da constante de resfriamento do termômetro em função da condutividade térmica do ambiente.
 - (a) Encha o balão volumétrico com água até que a altura preenchida seja de pelo menos 5 cm. Coloque então o balão na manta aquecedora.
 - (b) **Somente ligue a manta aquecedora após colocar o balão volumétrico preenchido de água.** Ligar a manta sozinha ou apenas com o balão sem água pode causar queimaduras durante o manuseio, além de estragar o equipamento.
 - (c) Prepare um bquer cheio de gelo com água e aguarde até que ambos atinjam a temperatura desejada.

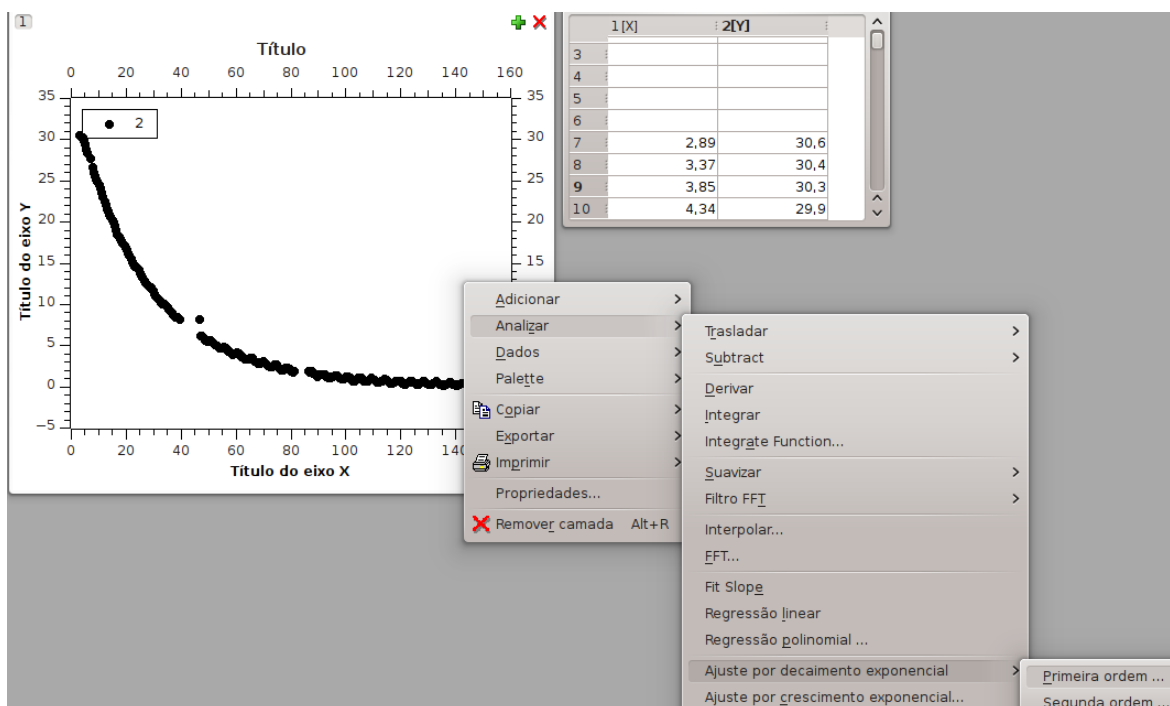


Figura 3.

- (d) Deixe o sensor dentro do balão com água quente até que ele atinja o equilíbrio térmico. Programe o DrDaq para fazer aquisições com intervalo de 1s durante 150s. Inicie a aquisição e transfira o sensor para o béquer com gelo.
 - (e) Use o *Grace*, *QtiPlot* ou outro programa de sua preferência para fazer o ajuste e obter o coeficiente de transferência térmica.
 - (f) Coloque novamente o sensor na água quente e aguarde o equilíbrio térmico. Repita a aquisição, desta vez deixando o sensor se resfriar em contato com o ar. Faça o ajuste e compare as constantes obtidas.
2. Estudo da constante de resfriamento do termômetro em função da agitação da água.
 - (a) Deixe o sensor dentro do balão com água quente até que ele atinja o equilíbrio térmico. Inicie a aquisição e transfira o sensor para o béquer com gelo, certificando-se de não mexer no sensor. Faça o ajuste e registre os dados.
 - (b) Coloque novamente o sensor na água quente. Repita a aquisição, desta vez agite a mistura de água com gelo dentro do béquer com o próprio sensor, até o fim da aquisição. Faça o ajuste e compare as constantes obtidas. Como se dá, fisicamente, o efeito da agitação na constante de resfriamento?
 3. Estudo da constante de resfriamento do termômetro em relação à diferença inicial de temperatura entre os dois corpos.
 - (a) Deixe o sensor dentro da água quente até que ele atinja o equilíbrio térmico. Inicie a aquisição e transfira o sensor para o béquer com gelo, certificando-se de não mexer no sensor. Faça o ajuste e registre os dados.
 - (b) Descarte na pia metade da água com gelo e preencha o resto do béquer com água da torneira. Faça a aquisição e o ajuste para obter a constante de resfriamento.
 - (c) Descarte toda a água do béquer e preencha-o todo com água da torneira. Repita a aquisição e o ajuste.
 - (d) Faça uma análise da constante de tempo. O resultado da constante de resfriamento depende da diferença de temperatura?

BIBLIOGRAFIA

- Halliday, D. & Resnick, R. Fundamentos de Física – 2 - Gravitação, Ondas e Termodinâmica, LTC.
 - Nussenzweig, H. M. Curso de Física Básica – 2 – Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor. Editora Edgard Blücher LTDA.
-