



Universidade Federal do ABC

BCJ0205 - Fenômenos Térmicos

Exp 2 - Calibração de um Termistor

Professor: _____ Data: ____/____/2019
Turma: _____ Turno (D/N): _____ Campus (SA/SB): _____
Nome: _____ RA: _____
Nome: _____ RA: _____
Nome: _____ RA: _____
Nome: _____ RA: _____
Nome: _____ RA: _____
Nome: _____ RA: _____

1 Objetivos

Neste experimento, iremos caracterizar e calibrar um termistor. O processo de calibração consiste em fazer medições da variável dependente da temperatura para diversos valores bem conhecidos de temperatura, que são medidos por meio de um termômetro de referência devidamente calibrado.

2 Introdução

Quando dois corpos (A e B), com temperaturas diferentes, são colocados em contato térmico, ocorre transferência de calor do objeto mais quente para o mais frio, até ambos atingirem a mesma temperatura, ou seja, alcançarem o **equilíbrio térmico**.

O fato de que variáveis macroscópicas características do sistema permaneçam constantes no equilíbrio não significa que as condições sejam estáticas do ponto de vista microscópico. Assim, num gás em equilíbrio térmico, as moléculas encontram-se constantemente em movimento desordenado (agitação térmica). A termodinâmica (clássica) sempre trata de sistemas em equilíbrio térmico. Atualmente, muitas pesquisas científicas lidam com a descrição de sistemas fora do equilíbrio.

O conceito de temperatura está associado a uma propriedade comum de sistemas em equilíbrio. A sensação subjetiva de temperatura não fornece um método confiável de aferição. Para definir de forma objetiva o conceito de temperatura precisamos examinar mais detalhadamente as propriedades do equilíbrio térmico. Isto nos leva a um fato, que muitas vezes é enunciado como a **Lei Zero da Termodinâmica (ou lei do Equilíbrio)**: **Se os corpos A e B estiverem separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, então A e B estão em equilíbrio térmico entre si.**

É graças à lei zero da termodinâmica que podemos medir a temperatura com o auxílio de um termômetro. Para saber se dois sistemas A e B tem a mesma temperatura, não é preciso colocá-los em contato térmico: basta verificar se ambos estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, que

é o “termômetro”: a lei zero garante então que A e B também estão em equilíbrio térmico um com o outro.

Para a medida precisa de temperatura utilizamos instrumentos nos quais alguma grandeza física específica tem sua magnitude modificada com a variação de temperatura. Quando possível, buscamos sistemas em que essa dependência seja linear. Entre os diversos elementos para medida de temperatura temos termômetros dos mais variados tipos, termopares, termistores, etc.

Um termômetro bastante usado é o de mercúrio que consiste de um tubo capilar de vidro fechado e evacuado, com um bulbo numa extremidade contendo mercúrio, que é a substância termométrica. O volume V do mercúrio é medido por intermédio do comprimento da coluna líquida. A definição da escala Celsius (a mais utilizada no Brasil e no mundo) de temperatura foi associada com a escolha dos pontos fixos correspondentes a fusão do gelo ($T_C = 0^\circ\text{C}$) e a da água em ebulição a pressão de 1 atmosfera ($T_C = 100^\circ\text{C}$). A calibração da escala é feita considerando que o comprimento da coluna de mercúrio e a temperatura guardam entre si uma relação linear. Assim:

$$T_C = \frac{l - l_0}{l_{100} - l_0} \times 100 (^\circ\text{C})$$

Podemos também definir uma escala absoluta baseada no modelo do gás ideal, a escala Kelvin, que se relaciona à Celsius por: $T_C = T - 273,15$. A escala Kelvin é a adotada pelo SI para medida de temperatura. O zero da escala absoluta é a menor temperatura na qual poderia ser obtida uma substância (nesta temperatura uma molécula estaria “efetivamente” num estado de movimento nulo).

Apesar do termômetro de mercúrio ser um instrumento de medida muito comum, nem sempre é o equipamento mais adequado e/ou conveniente. Muitas vezes, desejamos um sistema de medida que permita a medição numa faixa mais ampla de temperaturas e apresente facilidade de leitura e de monitoramento a distância, bem como fácil adaptação em sistemas de controle e alarme. Neste caso, componentes eletrônicos (como o termistor) são uma boa escolha.

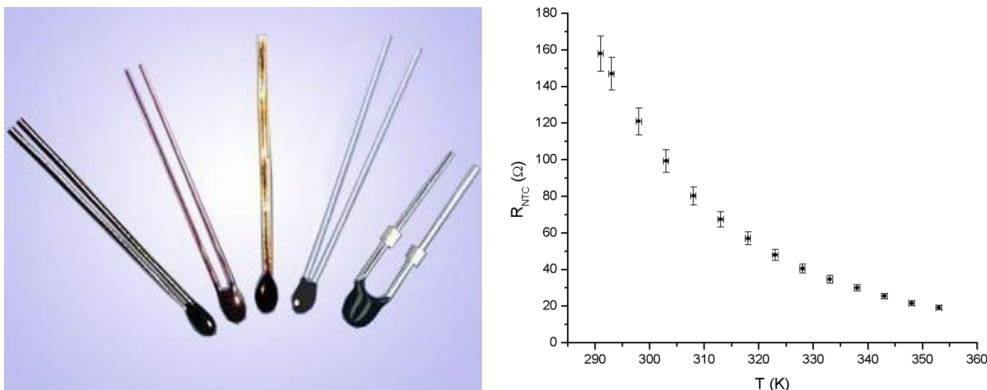


Figura 1: À esquerda, a aparência externa de alguns termistores. À direita, uma curva característica para um termistor (NTC). [figuras extraídas da Ref. 3]

O termistor (ver figura 1 esquerda) é basicamente um resistor construído para ter grande variação da sua resistência com a temperatura. Eles podem ser divididos em:

- Termistores com **Coefficiente de Temperatura Negativo** (NTC – *Negative Temperature Coefficient*): exibem diminuição da resistência elétrica quando submetidos a um aumento em temperatura;
- Termistores com **Coefficiente de Temperatura Positivo** (PTC – *Positive Temperature Coefficient*): exibem aumento da resistência elétrica quando submetidos a um aumento em temperatura;

Os termistores são capazes de operar em faixas de temperatura entre -100°C e 600°C . Devido às suas características muito previsíveis e à excelente estabilidade, eles são recomendados para medida e controle de temperatura em quase qualquer equipamento eletrônico. Obviamente, a calibração da curva resistência elétrica versus temperatura (ver figura 1 direita) é fundamental para o uso do termistor, ainda mais que, quase sempre, a curva de resposta não é linear para uma faixa muito extensa em temperaturas. Além disso, as curvas características podem ser fortemente influenciadas pelas condições de dissipação de potência do componente, bem como pelas condições do ambiente.

Como observado pelo gráfico da figura 1 à direita, o termistor tem uma curva característica não linear. Contudo, podemos escrever uma linearização para o comportamento do termistor e apresentar a temperatura por meio da função:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln \left(\frac{R}{R_0} \right) \quad (1)$$

Na equação acima, R e R_0 são valores de resistência em Ohms, T é a temperatura em Kelvin (K). Note que, $\ln(x)$ é a representação do logaritmo natural, que é o logaritmo de base e , onde e é um número irracional aproximadamente 2,718281828459045... (chamado Número de Euler). Portanto, o logaritmo natural é a função inversa da exponencial.

3 Procedimento experimental

3.1 Materiais

- Termômetro de referência (termômetro de mercúrio ou termopar aferido);
- Béquer ou outro recipiente equivalente;
- Chapa de aquecimento;
- Água (a diversas temperaturas) e gelo;
- Termistor (elemento a ser calibrado);
- Multímetro;
- Pares de cabos ‘jacaré-banana’.

3.1.1 Precisão de instrumentos digitais

Se o termômetro possui uma escala graduada, o valor da incerteza instrumental é metade da menor divisão da escala. Para equipamentos eletrônicos, como o caso do multímetro, a definição da incerteza não é tão direta. Muitos acreditam que devido a natureza da tela digital apresentar números exatos, em comparação com uma leitura analógica (onde o valor é estimado), que um medidor digital não tem um erro associado.

Em um equipamento eletrônico, além do erro associado a leitura do valor, temos um erro associado ao circuito, em específico o conversor analógico-digital. Para ajudar a entender o valor de uma medida em um equipamento eletrônico, os fabricantes apresentam a precisão no seguinte formato:

Precisão da medida: \pm (% do valor apresentado + um número vezes o menor dígito)

Como exemplo, na tabela 1 temos as precisões do multímetro Minipa (ET-2075B) quando for utilizado para medir temperatura ou resistência. Imagine que medimos uma resistência, resultando $R = 46,8 \Omega$ na tela. Teremos um segundo multímetro Minipa (ET-1953) indicado na tabela 2. No manual (e na tabela1), nesta faixa temos a precisão de $\pm (0,8\% + 5D)$. Portanto o erro desta medida é de,

$$\sigma_R = 46,8 \times \frac{0,8}{100} + 5 \times 0,1 \approx 0,9 \Omega$$

A precisão da medida registrada depende muito do instrumento digital utilizado. Nem sempre o modelo do multímetro disponível no laboratório é aquele citado no texto do roteiro. Portanto, na aula, verifique qual o modelo e confirme com seu professor e/ou técnico, qual a incerteza adequada a ser calculada para o multímetro que o seu grupo estiver usando.

Faixa	Precisão	Resolução
400 Ω	$\pm (0,8\% + 5D)$	0,1 Ω
4 k Ω	$\pm (0,8\% + 4D)$	1 Ω
40 k Ω		10 Ω
400 k Ω		100 Ω
4 M Ω		1 k Ω
40 M Ω	$\pm (1,2\% + 5D)$	10 k Ω

Faixa	Precisão	Resolução
-20°C ~ 1000°C	$\pm (1,0\% + 5D) < 300^\circ\text{C}$	1°C
	$\pm (1,5\% + 15D) \geq 301^\circ\text{C}$	
-4°F ~ 1832°F	$\pm (1,0\% + 5D) < 572^\circ\text{C}$	1°F
	$\pm (1,5\% + 15D) \geq 573^\circ\text{F}$	

Tabela 1: Tabela de precisão do multímetro **Minipa ET-2075B** na modalidade de resistência e temperatura quando usando com um termopar tipo K.

Faixa	Precisão	Resolução
400 Ω	$\pm (1,2\% + 4D)$	0,1 Ω
4 k Ω		1 Ω
40 k Ω		10 Ω
400 k Ω		100 Ω
4 M Ω		1 k Ω
20 M Ω	$\pm (3\% + 5D)$	10 k Ω

Faixa	Precisão	Resolução
-20°C ~ 750°C	$\pm (1,0\% + 4D) < 400^\circ\text{C}$	1°C
	$\pm (3\% + 10D) \geq 400^\circ\text{C}$	
-4°F ~ 1400°F	$\pm (1\% + 4D) < 750^\circ\text{C}$	1°F
	$\pm (3\% + 10D) \geq 750^\circ\text{F}$	

Tabela 2: Tabela de precisão do multímetro **Minipa ET-1953** na modalidade de resistência e temperatura quando usando com um termopar tipo K.

3.2 Métodos

1. Inicialmente, conecte o termistor ao multímetro por meio das garras jacarés e ajuste a escala adequada para leitura da resistência. Faça uma leitura da resistência do termistor para a temperatura da sala (que será considerada a temperatura ambiente). Anote os valores correspondentes de resistência e de temperaturas com as incertezas associadas no item 1 das respostas. **Para a função de medir a temperatura com um termopar vamos adotar uma incerteza de 1°C.**
2. Em um béquer com água fervente, meça a temperatura com o termômetro e também a resistência elétrica obtida com o termistor. Anote o valor de temperatura e a resistência com suas respectivas incertezas na tabela 1. [Obs: Lembre-se de colocar o termistor e de obter a leitura de temperatura na mesma região para evitar possíveis variações de temperatura entre dois pontos distintos da água].
3. Variando a temperatura da água adicionando água fria ou gelo (ou outro método que considere mais adequado), meça a temperatura de equilíbrio com o termômetro e com o termistor de modo a obter temperaturas no intervalo mais amplo que for possível. Meça pontos bem espaçados para preencher a tabela 1 com 10 medidas.

4 Resultados e Discussões

1. (20 pontos) Preencha com os valores correspondentes da temperatura e resistência do termistor na tabela 3 com os seus respectivos erros.

1. _____

2. (5 pontos) O que pode ser dito sobre o tipo de termistor: é um NTC ou um PTC? Justifique a sua resposta.

2. _____

Medida	T(°C)	T(K)	σ_T (°C ou K)	R(k Ω)	σ_R (k Ω)
ambiente					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Tabela 3: Dados de temperatura do termômetro de referência e resistência do termistor. [Use T(Kelvin) = T(Celsius) + 273]

3. (5 pontos) Na equação 1 se a temperatura (T) fosse em Celsius a linearização proposta não iria funcionar, por quê? Na mesma equação, A e B são constantes de proporcionalidades adequadamente ajustadas. Quais devem ser as unidades de A e B para que a equação esteja dimensionalmente correta?

3. _____

4. (10 pontos) Observe que a equação 1 pode ser identificada com uma equação de reta do tipo $y = a + bx$. Escreva qual a correspondência direta entre cada uma das grandezas da equação 1 e os parâmetros a e b e as variáveis y e x da reta.

4. _____

5. (15 pontos) Usando os dados da tabela 3 calcule as novas variáveis para a linearização dos dados na tabela 4.¹

5. _____

Medida	$\ln(R/R_0)$	$\sigma_{\ln(R/R_0)}$	$1/T \text{ (K}^{-1}\text{)}$	$\sigma_{1/T} \text{ (K}^{-1}\text{)}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Tabela 4: Dados de temperatura do termômetro de referência e resistência do termistor. [Use $T(\text{Kelvin}) = T(\text{Celsius}) + 273$]

6. (20 pontos) No espaço destinado à figura 2 faça um gráfico de acordo com a linearização na equação 1, utilizando os valores da tabela 4.

6. _____

7. (15 pontos) A partir da reta obtida na figura 2 e da equação 1, determine o valor dos parâmetros A e B . Escreva a expressão de temperatura em função da resistência com os valores numéricos encontrados e as respectivas unidades.

¹Embora a escolha de R_0 seja arbitrária, por conveniência, adote o valor de R à temperatura ambiente.

7. _____

8. (10 pontos) Meça a temperatura de um dos integrantes do seu grupo utilizando a sua calibração do termistor e o termômetro. Utilize a expressão obtida na questão anterior para determinar o valor da temperatura (em °C) de seu colega através da resistência obtida no termistor. Este valor está compatível com a medida feita com o termômetro? O valor obtido corresponde ao esperado para a temperatura do corpo humano? Você considera que a sua calibração do termistor está adequada? Justifique suas respostas.

8. _____

Pontos

Questão	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Pontos:	20	5	5	10	15	20	15	10	100
Notas:									

Referências

- [1] H. Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica - 2, Editora Edgard Blücher (1996)
- [2] A. A. Campos, E. S. Alves, N. L. Speziali, Física experimental básica na Universidade, Ed. UFMG (2008).
- [3] https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:NTC_resistance-temperature_curve.png, último acesso em 03/02/2017
- [4] R.A Serway, J.W. Jewett Jr., Princípios de Física - vol. 2, Cengage Learning (2004)

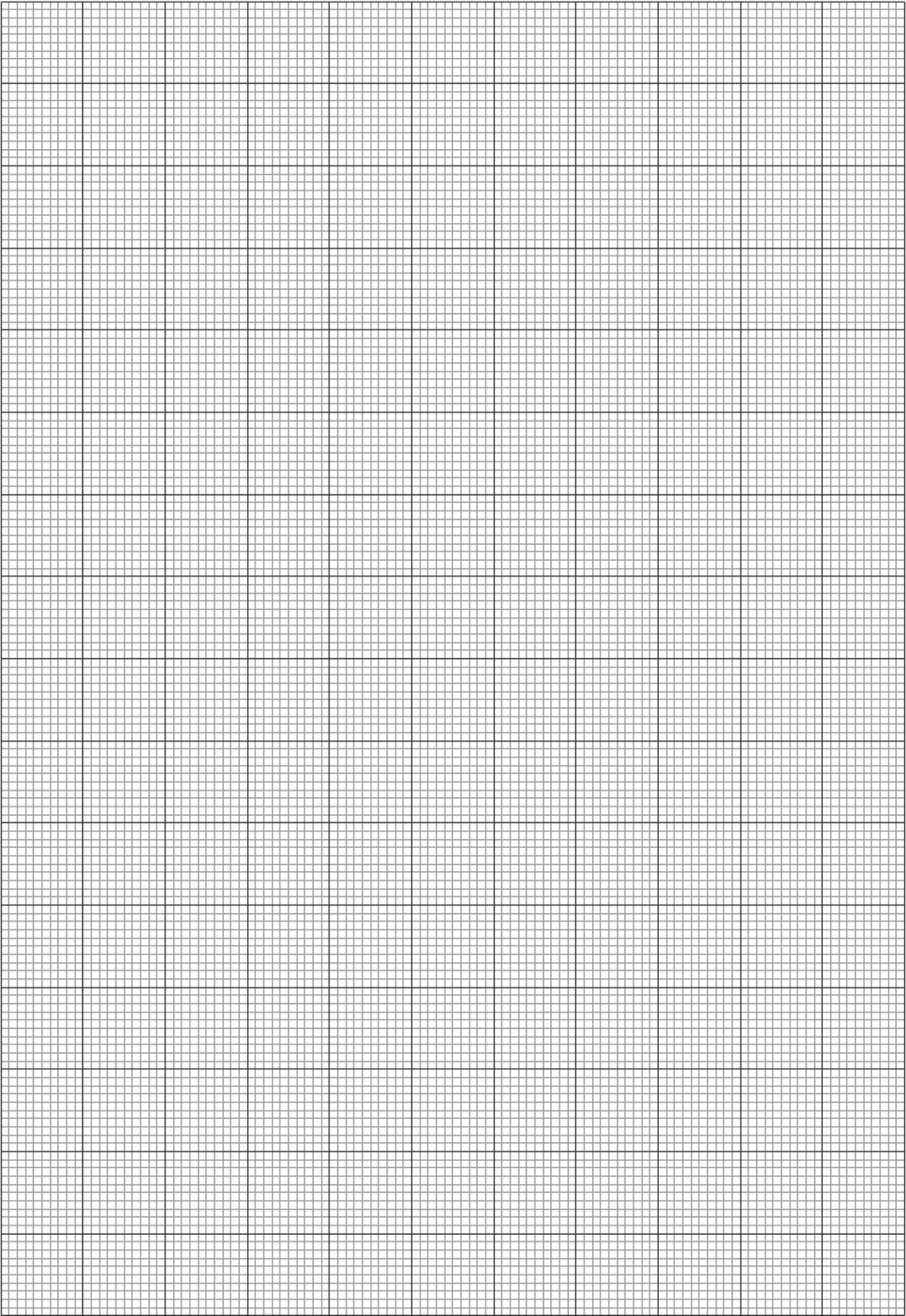


Figura 2: -----