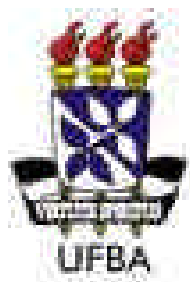


UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE FÍSICA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO



FIS 123 - FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL III / LABORATÓRIO

PROF.: *Ruivaldo Regis Sobral*

Turma: Teórica/ Prática T: P:19

Data: 08/03/2002

Equipe: *Adriano L. do Valle*

**RESISTÊNCIAS NÃO LINEARES POR EFEITO DE TEMPERATURA
(RELATÓRIO / EXPERIÊNCIA 4)**

I - OBJETIVO

- ✓ “Mostrar o efeito da temperatura sobre um resistor metálico (lâmpada incandescente) e em um semiconductor (termistor – NTC)”.
- ✓ Levantar a curva característica da lâmpada e do termistor.
- ✓ Interpretar a não linearidade das características.

II - PARTE TEÓRICA

Para melhor entendimento desse experimento admitimos como pré-requisito, os conceitos listados abaixo:

CONDUÇÃO ELÉTRICA NOS METAIS;

CONDUÇÃO ELÉTRICA NOS SEMICONDUTORES;

COEFICIENTE DE TEMPERATURA DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA.

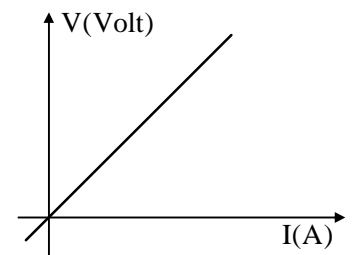
III - TEORIA DE MEDIDA:

Curva característica de um Elemento Resistivo Ôhmico.

O comportamento elétrico de um elemento de circuito pode ser representado pela equação de estado que liga a ddp ‘a qual é submetido o elemento ‘a corrente I que o atravessa. Este comportamento pode ser também representado pela curva que se chama *curva característica do elemento*. Um elemento Ôhmico, apresenta uma relação linear entre V e I .

$$V = R \times I$$

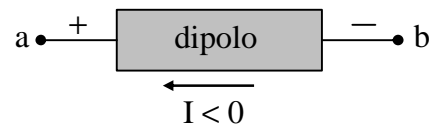
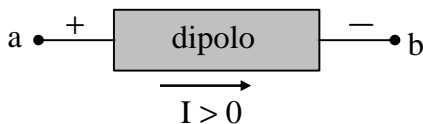
Onde R é a resistência, em conseqüência, a característica é uma reta



Dipolos.

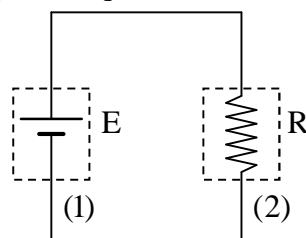
Um elemento de circuito que possua dois terminais é chamado de dipolo.

Convenção: Para uma dada diferença de potencial nos extremos de um dipolo orienta-se uma seta do lado negativo para o lado positivo, temos $V = V_a - V_b$, é assim considerado positivo e a corrente I é também considerada positiva, quando esta entra pelo terminal positivo.



Dipolos Ativos e Dipolos Passivos.

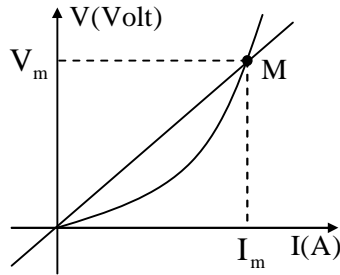
Nos circuitos elétricos de corrente contínua, um dipolo é ativo se ele fornece energia ao resto do circuito onde está inserido. Um dipolo é dito passivo quando recebe energia do resto do circuito.



(1) dipolo ativo (2) dipolo passivo

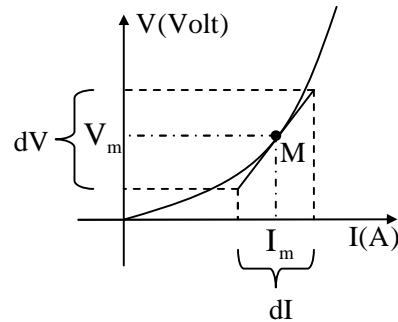
Dipolos não lineares

A curva característica de um elemento resistivo não linear não é uma reta. Podemos definir para cada ponto **M** da curva característica, uma **resistência estática** e uma **resistência diferencial**.



$$R_e = \frac{V_m}{I_m}, \text{ em Ohm}$$

$R_e =$ inclinação de OM

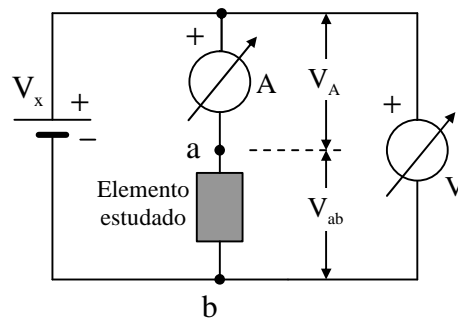


$$R_d = \frac{dV}{dI}, \text{ em Ohm}$$

$R_d =$ inclinação da tangente 'a curva no ponto M.

Levantamento de uma curva característica.

Para levantarmos a curva característica de um elemento temos que inseri-lo dentro de um circuito onde possamos fazer variar a corrente I que o atravessa e medir a ddp para cada valor de I .



Observe que a ddp medida pelo voltmímetro é $V = V_A + V_{ab}$ e não a ddp $V = V_{ab}$ que aparece nos terminais do elemento a ser estudado.

Para conseguir o valor de V_{ab} no elemento, fazemos:

$$V_{ab} = V - R_A \cdot I$$

Neste experimento vamos construir a curva característica de uma lâmpada incandescente e de um termistor. Esses dois elementos são dipolos passivos e não lineares.

IV - PARTE EXPERIMENTAL

LISTA DE MATERIAL

- fonte de tensão;
- voltímetro;
- medidor multi-escalas usado como miliamperímetro;
- reostato;
- termistor (NTC)
- lâmpada comum (piloto);
- placa de ligação;
- chave liga-desliga;
- fios

LÂMPADA

O efeito do acréscimo da resistência de um fio metálico com a temperatura é aproveitado em inúmeros dispositivos, como termômetro de fio de platina ou lâmpada incandescente comum.

A lâmpada que estudaremos é constituída por um filamento de uma liga de tungstênio, em forma de mola, para obter a rigidez, estabilidade mecânica e comprimento suficiente. O filamento é colocado numa ampola de vidro contendo um gás inerte ‘a baixa pressão (Argônio ou Kriptônio).

TERMISTOR

Um termistor NTC (Negative Temperature Coeficiente – coeficiente de temperatura negativo) é constituído por um disco de semiconductor. Um contato elétrico em cada face do disco permite ligar um fio de conexão (terminal). Já sabemos que um aumento de temperatura do semiconductor tem como consequência uma diminuição da resistência.

Os termistores apresentam grande sensibilidade em função da temperatura e por isso servem como elementos termo sensíveis em vários aparelhos de medida.

i - Vantagens

De baixo custo, alta sensibilidade, volume reduzido e de boa rigidez mecânica, eles permitem medir várias grandezas físicas, fornecendo a informação na forma de grandeza elétrica, fácil para teleprocessar.

ii - Inconvenientes

Devido ao fato de serem sensíveis á variação de temperatura ambiente, é preciso, em alguns casos, uma compensação em temperatura. Apesar de sua alta sensibilidade, eles possuem instabilidade com o envelhecimento e histerese.

IV.1 - Determinação da resistência interna R_A do Miliamperímetro.

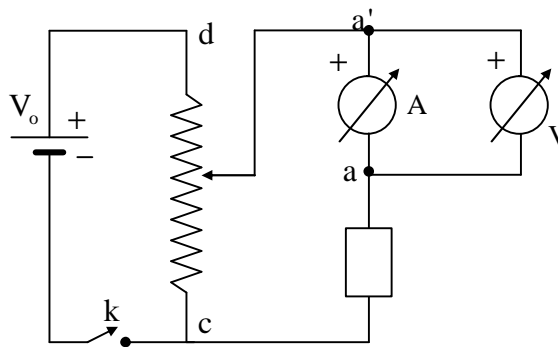
Montamos o circuito abaixo.

V_o = fonte de tensão

A = Miliamperímetro

V = voltímetro

K = chave liga-desliga



Ajustamos o calibre do miliamperímetro para 2,5 mA, 25 mA e 250 mA sucessivamente, em seguida ajustamos o reostato de forma a obtermos estes valores (I) no miliamperímetro, anotando as tensões correspondentes ($V_{a'a}$), lidas no voltímetro.

A resistência do amperímetro será dada por $R_A = \frac{V_{a'a}}{I}$

I (mA)	V (Volt)	R_A (Ω)
2,5	0,26	104 ± 2
25	0,28	$11,2 \pm 0,4$
250	0,50	$2,00 \pm 0,04$

CÁLCULOS

Cálculo do desvio absoluto da resistência interna do miliamperímetro

$$\Delta R_A = \left| \frac{\partial R_A}{\partial V} \right| \cdot \Delta V + \left| \frac{\partial R_A}{\partial I} \right| \cdot \Delta I = \frac{1}{I} \cdot \Delta V + \frac{V}{I^2} \cdot \Delta I$$

Para calibre 2,5 mA no amperímetro $\Delta I = 0,025$ mA e $\Delta V = 0,005$ V

$$\Delta R_A = \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,005 + \frac{0,26}{(2,5 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 0,025 \cdot 10^{-3} = 0,2 + 1,04 = 1,24 = 2 \Omega$$

Para calibre 25 mA $\Delta I = 0,25$ mA e $\Delta V = 0,005$ V

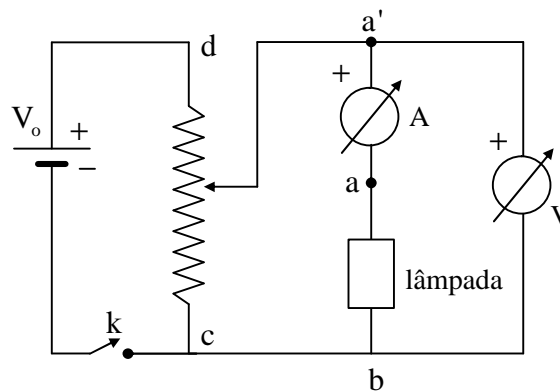
$$\Delta R_A = \frac{1}{25 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,005 + \frac{0,28}{(25 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} = 0,2 + 0,112 = 0,312 = 0,4 \Omega$$

Para calibre 250 mA $\Delta I = 2,5$ mA e $\Delta V = 0,005$ V

$$\Delta R_A = \frac{1}{250 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,005 + \frac{0,5}{(250 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 0,02 + 0,02 = 0,04 \Omega$$

IV.2 - Característica $V(I)$ da lâmpada.

Montamos o circuito abaixo.



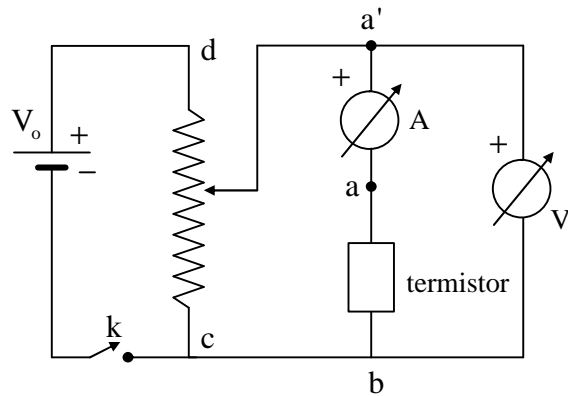
A seguir, usando apenas o calibre de 250 mA e o voltímetro na escala de maior sensibilidade compatível com a medida. Construimos uma tabela $V \times I$.

$\Delta I = 2,5 \text{ mA}$

I (mA)	V (Volt)	
10	0,065	$\Delta V = 0,005 \text{ V}$
20	0,110	
30	0,160	
40	0,230	$\Delta V = 0,025 \text{ V}$ Fundo de escala 2,5 V
50	0,420	
60	0,600	
70	0,750	Lâmpada acesa
75	0,950	
80	1,100	
85	1,200	
90	1,300	
95	1,460	
100	1,600	
105	1,750	
110	1,920	
115	2,050	
120	2,200	
125	2,350	
130	2,500	
135	2,805	$\Delta V = 0,1 \text{ V}$
140	3,000	
150	3,400	
160	3,800	
170	4,200	
180	4,700	
190	5,200	
200	5,600	
210	6,000	
220	6,400	
230	6,900	
240	7,300	

IV.3 - Característica $V(I)$ da Termistor.

No circuito anterior substituímos a lâmpada pelo termistor. Montamos o circuito abaixo.



A seguir, usando o calibre do amperímetro (25 mA e 250 mA) e o voltímetro na escala de maior sensibilidade ($V = 2,5 \text{ V}$ e $V = 10 \text{ V}$) compatível com a medida. Construímos uma tabela $V \times I$.

$$\Delta I = 2,5 \text{ mA}$$

V(Volt)	I(mA)	Fundo de escala		Divisivo avaliado	
		Volt.	Amp.	Volt.	Amp.
1,25	5,0	2,5 V	25 mA	0,025 V	0,25 mA
2,20	10,0	10 V	250 mA	0,1 V	
3,0	15,0				
3,4	20,0				
3,6	25			2,5 mA	
3,7	30				
3,8	35				
3,8	40				
3,8	45				
3,8	50				
3,7	55				
3,7	60				
3,7	65				
3,7	70				

IV.4 - Influência da temperatura.

Utilizando o amperímetro e o voltímetro nas escalas de maior sensibilidade

	Fundo de escala	Desvio Avaliado
Amperímetro	2,5 mA	0,025 mA
Voltímetro	2,5 V	0,005 V

Ajustamos a posição do cursor do reostato de maneira a obter no amperímetro uma corrente de 1,5 mA. Fizemos as leituras:

$$I_0 = 1,5 \text{ mA} \rightarrow I = 1,56 \text{ mA}$$

$$V = 0,60 \text{ V}$$

Aquecemos o termistor usando uma fonte de calor (segurando o termistor com os dedos) e observamos que a corrente e a tensão aumentaram. Neste caso cedemos energia térmica para o sistema.

Utilizando o amperímetro e o voltímetro nas escalas.

	Fundo de escala	Desvio Avaliado
Amperímetro	250 mA	2,5 mA
Voltímetro	10 V	0,02 V

Agora, variando novamente a posição do cursor do reostato, ajustamos uma corrente de aproximadamente 50 mA no amperímetro. Fizemos as leituras:

$$I_0 = 50 \text{ mA} \rightarrow I = 38 \text{ mA}$$

$$V = 3,6 \text{ V}$$

Aquecemos o termistor usando uma fonte de calor (segurando o termistor com os dedos) e observamos que a corrente e a tensão diminuíram. Neste caso retiramos energia térmica para o sistema.

CONCLUSÃO

A partir dos dados coletados, vamos traçar os gráficos que relacionam a tensão e a corrente no condutor, e a partir do gráfico vamos determinar a resistência do condutor. Esperamos uma relação do tipo:

$$V = V_{ab} + R_A \cdot I$$

$$V = R \cdot I + R_A \cdot I$$

$$V = (R + R_A) \cdot I \quad \text{e a resistência da lâmpada será dada por: } R = \frac{V}{I} - R_A$$

Característica da Lâmpada

i	I(A)	V(volt)	V _A (Volt)	V _L (Volt)	R _L (Ohm)
1	0,010	0,065	0,020	0,045	4,50
2	0,020	0,110	0,040	0,070	3,50
3	0,030	0,160	0,060	0,100	3,33
4	0,040	0,230	0,080	0,150	3,75
5	0,050	0,420	0,100	0,320	6,40
6	0,060	0,600	0,120	0,480	8,00
7	0,070	0,750	0,140	0,610	8,71
8	0,075	0,950	0,150	0,800	10,67
9	0,080	1,100	0,160	0,940	11,75
10	0,085	1,200	0,170	1,030	12,12
11	0,090	1,300	0,180	1,120	12,44
12	0,095	1,460	0,190	1,270	13,37
13	0,100	1,600	0,200	1,400	14,00
14	0,105	1,750	0,210	1,540	14,67
15	0,110	1,920	0,220	1,700	15,45
16	0,115	2,050	0,230	1,820	15,83
17	0,120	2,200	0,240	1,960	16,33
18	0,125	2,350	0,250	2,100	16,80
19	0,130	2,500	0,260	2,240	17,23
20	0,135	2,805	0,270	2,535	18,78
21	0,140	3,000	0,280	2,720	19,43
22	0,150	3,400	0,300	3,100	20,67
23	0,160	3,800	0,320	3,480	21,75
24	0,170	4,200	0,340	3,860	22,71
25	0,180	4,700	0,360	4,340	24,11
26	0,190	5,200	0,380	4,820	25,37
27	0,200	5,600	0,400	5,200	26,00
28	0,210	6,000	0,420	5,580	26,57
29	0,220	6,400	0,440	5,960	27,09
30	0,230	6,900	0,460	6,440	28,00
31	0,240	7,300	0,480	6,820	28,42

$$R_A = 2 \Omega \text{ (para calibre de 250 mA)}$$

$$V_A = R_A \cdot I$$

$$V_L = V - R_A \cdot I$$

$$R_L = \frac{V_L}{I} \text{ (resistência estática)}$$

Característica do Termistor

A partir dos dados coletados, vamos traçar os gráficos que relacionam a tensão e a corrente no condutor, e a partir do gráfico vamos determinar a resistência do condutor. Esperamos uma relação do tipo:

$$V = V_{ab} + R_A \cdot I$$

$$V = R \cdot I + R_A \cdot I$$

$$V = (R + R_A) \cdot I \quad \text{e a resistência do termistor será dada por: } R_T = \frac{V}{I} - R_A$$

i	I(A)	V(volt)	V _A (Volt)	V _T (volt)	R _T (Ohm)
1	0,005	1,250	0,01	1,240	248
2	0,010	2,200	0,02	2,180	218
3	0,015	2,000	0,03	1,970	131
4	0,020	3,400	0,04	3,360	168
5	0,020	3,600	0,04	3,560	178
6	0,030	3,700	0,06	3,640	121
7	0,035	3,800	0,07	3,730	107
8	0,040	3,800	0,08	3,720	93
9	0,045	3,800	0,09	3,710	82
10	0,050	3,800	0,1	3,700	74
11	0,055	3,700	0,11	3,590	65
12	0,060	3,700	0,12	3,580	60
13	0,065	3,700	0,13	3,570	55
14	0,070	3,700	0,14	3,560	51

$$R_A = 2 \Omega \text{ (para calibre de 250 mA)}$$

$$V_A = R_A \cdot I$$

$$V_T = V - R_A \cdot I$$

$$R_T = \frac{V_L}{I} \text{ (resistência estática)}$$

- ✓ A mudança do fundo de escala do amperímetro para uma tensão constante $V = R \cdot I$. Quando variamos o fundo de escala do amperímetro alteramos a sua resistência interna, variando a corrente no circuito aumentando o aquecimento da resistência do circuito (lâmpada ou termistor), o que faz com que seu valor varie para mais ou para menos. Nesse processo a tensão permanece a mesma. Tal conclusão está de acordo com a lei de Ohm:

$$V = \uparrow R \cdot I \downarrow$$

$$V = \downarrow R \cdot I \uparrow$$

