

Universidade Paulista - UNIP  
Instituto de Ciência Exatas e Tecnológicas  
Curso de Engenharia Elétrica – Modalidade  
Eletrônica

Instrumentação e Controle

# TERMORESISTENCIAS

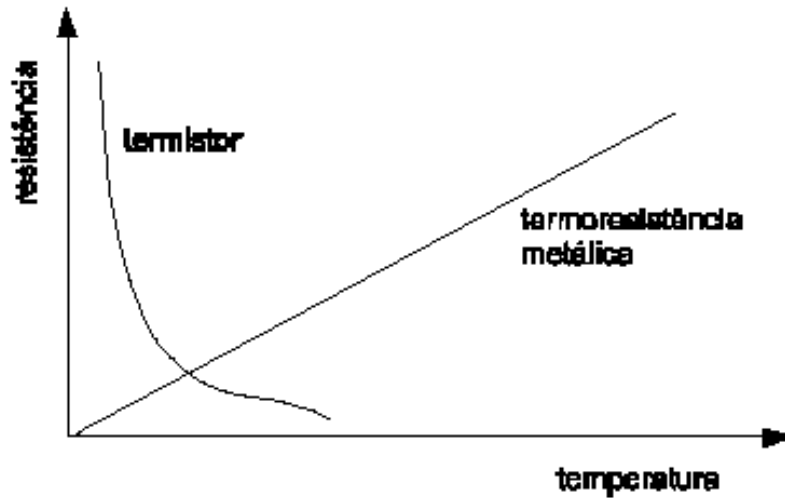
## 1.0– TERMORESISTENCIAS

### 1.1– Introdução

No mesmo ano que Thomas Seebeck descobriu a termoeletricidade, 1821, Sir Hurmphrey Davy anunciou que a resistividade dos metais apresentavam uma marcante dependência com a temperatura. Quinze anos mais tarde Sir William Siemens apresentou a platina como elemento sensor em um termômetro de resistência. Sua escolha mostrou-se acertada, visto que atualmente um termômetro de resistência de platina é utilizado como padrão de interpolação entre  $-180^{\circ}\text{C}$  e  $630^{\circ}\text{C}$ .

Termoresistencia, ou termômetros de resistência, são nomes genéricos para sensores que variam sua resistência elétrica com a temperatura. Os materiais de uso prático recaem em duas classes principais: condutores e semicondutores. Os materiais condutores aparecem primeiro, e historicamente são chamados de termômetros de resistência ou termoresistencias. Os tipos de semicondutores apareceram mais recentemente e receberam o nome de termistores. A diferença básica é a forma de variação da resistência elétrica com a temperatura. Nos metais a resistência aumenta quase linearmente com a temperatura

enquanto que nos semicondutores ela varia de maneira não linear de forma positiva ou negativa.



## 1.2 – Termoresistencias Metálicas

Termoresistencias metálicas são construídas a partir de fios ou filmes de platina, cobre, níquel e tungstênio para aplicações a alta temperatura. A variação da resistência elétrica de materiais metálicos pode ser representada por uma equação da forma.

$$R = R_0 (1 + a_1.T + a_2.T^2 + a_3.T^3 + \dots + a_n.T^n)$$

Onde  $R_0$  = resistência a  $T=0^\circ\text{C}$

A termoresistencia mais comum é a base de um fio de platina chamada PT100. Esse nome é devido ao fato que ela apresenta uma resistência de  $100\Omega$  a  $0^\circ\text{C}$ . Entre  $0$  e  $100^\circ\text{C}$  a variação pode ser considerada linear, com  $a=0.00385\Omega/\Omega/\text{K}$ .

## 1.3 – Termistores

Os primeiros tipos de sensores de temperatura de resistência de semicondutores foram feitos de óxido de manganês, níquel, mólidos e misturados em proporções apropriadas e prensados numa forma

desejada. A esta mistura foi dado o nome de termistor. Comparados com sensores do tipo condutor (que tem coeficiente de temperatura positivo e pequeno), os termistores tem um coeficiente muito grande, podendo ser negativo (dito NTC, *Negative Temperature Dependence*) ou positivo (PTC – *Positive Temperature Dependence*). Enquanto alguns condutores (cobre, platina) são bastante lineares, os termistores são altamente não lineares. Sua relação resistência é geralmente da forma:

$$R = R_0 e^{\beta(1/T - 1/T_0)}$$

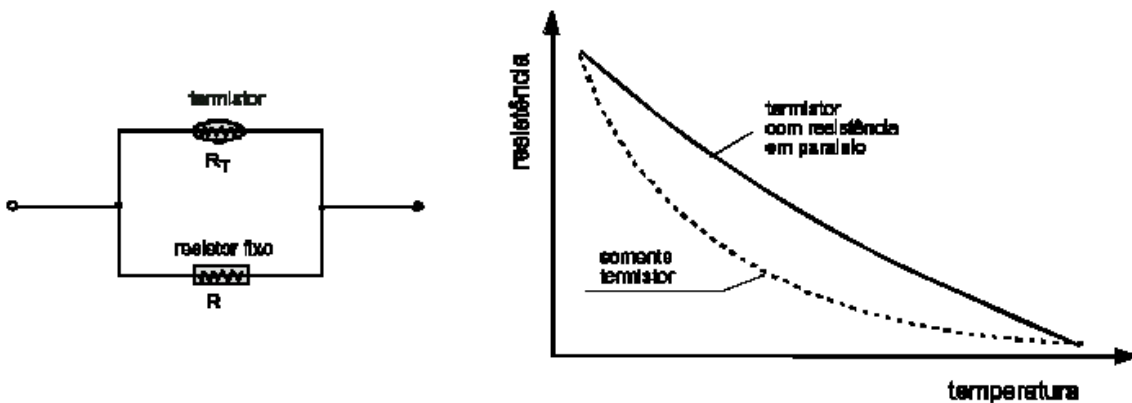
onde:  $R$  = resistência na temperatura  $T$  ( $\Omega$ ),

$R_0$  = resistência na temperatura  $T_0$  ( $\Omega$ ),

$\beta$  = constante característica do material (K),

$T, T_0$  = temperaturas absolutas (K)

A temperatura de referência  $T_0$  é geralmente tomada como 298 K (25°C) e a constante  $\beta = -4.0$  para um NTC. Isso implica num coeficiente de temperatura de  $-0.0450$  comparado com  $+0.0038$  para a platina. Uma técnica para reduzir a não linearidade de um termistor consiste em deriva-lo com um resistor comum, conforme mostrado na figura à seguir.



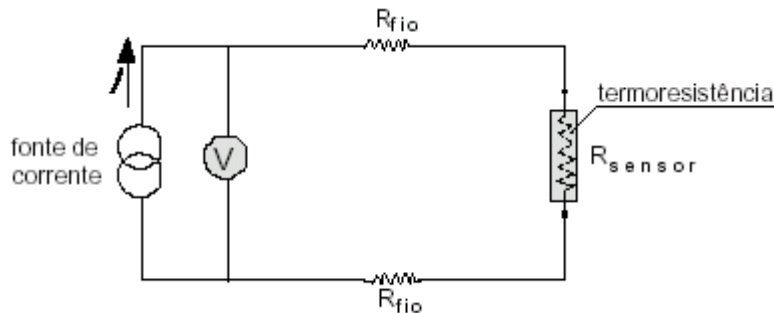
Nesta figura vemos a linearização de um termistor

## 1.4 – Métodos de Medição

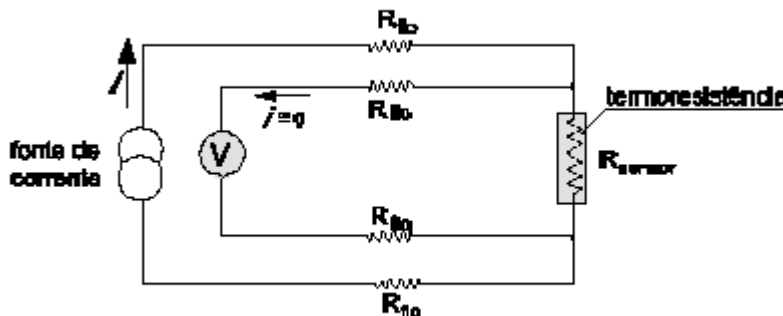
### 1.4.1 – Fonte de Corrente

Trata-se da técnica aparentemente mais simples, mas que na verdade exige uma fonte de corrente constante. Ela é dividida em duas configurações básicas:

a) Medição a dois fios – Conhecendo a intensidade da corrente, a resistência do sensor ( $R_{\text{sensor}}$ ) é obtida através da medição da queda de tensão. Contudo nesse método o sinal é influenciado por variações da resistência elétrica do cabo (representado por  $R_{\text{fio}}$ ), especialmente se ele é longo e sujeito a variações de temperatura.



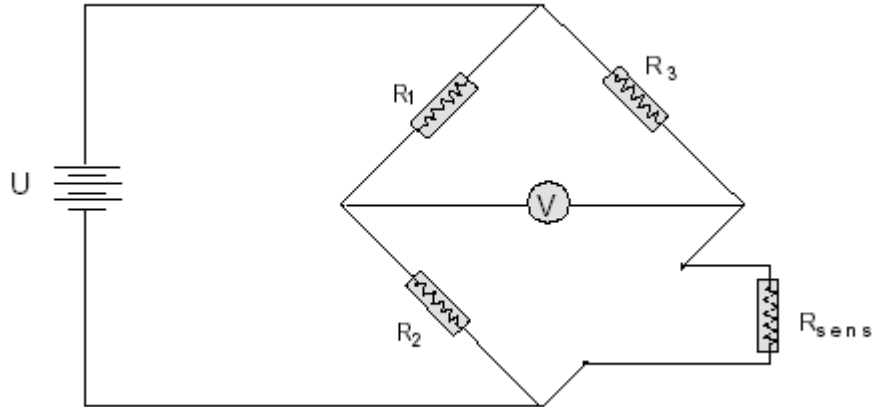
b) Medição a quatro fios - Nesse tipo de ligação o efeito da variação da resistência elétrica do cabo é compensado. A queda de tensão é medida junto ao sensor através de dois fios complementares. Como a corrente que circula pelo voltímetro é praticamente nula, não ocorre, então, queda de tensão nesses fios. A desvantagem desse sistema é a necessidade do cabo conter 4 fios, aumentando o custo e a possibilidade de falhas por mal contato por exemplo.



### 1.4.2 – Ponte de Wheatstone

É a técnica mais utilizada pois necessita apenas de uma fonte de tensão, que é mais simples que uma fonte de corrente.

a) Ligação a dois fios – A tensão de saída (V) da ponte depende da relação entre os resistores e da tensão de alimentação (U), conforme explicitado em termos de V ou de R<sub>sensor</sub>.



$$V = U \left( \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} - \frac{1}{1 + \frac{R_3}{R_{sensor}}} \right); \quad R_{sensor} = \frac{R_3 - \frac{R_3 V}{U} \left( \frac{R_1}{R_2} + 1 \right)}{\frac{R_1}{R_3} + V \left( \frac{R_1}{R_3} + 1 \right)}$$

Essa configuração apresenta uma não linearidade do sinal de saída (V) em função de R<sub>sensor</sub>. Uma das formas de minimizar esse efeito consiste em utilizar valores elevados da relação R<sub>sensor</sub>/ R<sub>3</sub> e R<sub>2</sub>/R<sub>1</sub> além de operar com a ponte próxima da condição balanceada isto é:

$$\frac{R_{sensor}}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$$

A forma clássica de operação da ponte de Wheatstone elimina o problema da não linearidade. Consiste em ajustar o valor do resistor R<sub>3</sub> de forma que o sinal de saída (V) seja sempre nulo.

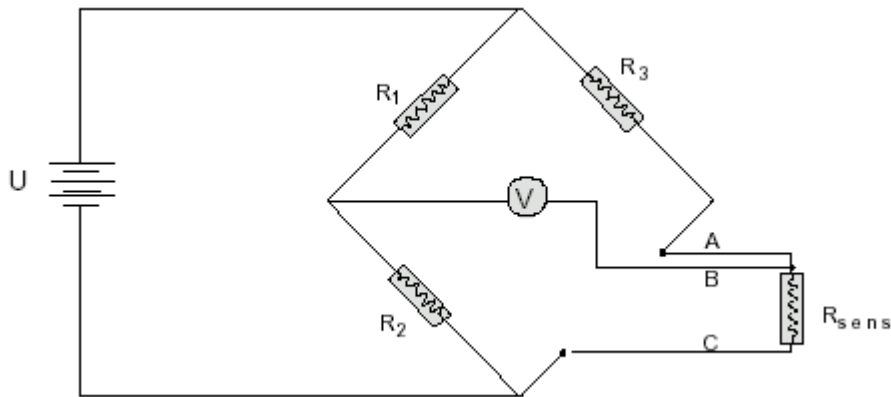
Nessas condições tem-se:

$$R_{sensor} = R_3 \frac{R_2}{R_1}$$

O inconveniente do modo de operação balanceado é a necessidade de ajuste do resistor R<sub>3</sub>, dificultando operação automatizada.

A ligação a dois fios apresenta ainda outro inconveniente: a variação da resistência elétrica dos cabos de ligação do sensor influencia o sinal da medição (fenômeno idêntico ao apresentado no item anterior). A forma de minimizar esse problema é apresentada a seguir.

**b) Ligação a 3 fios** – Nesse caso a efeito da variação da resistência do cabo adicional, conforme mostrado na figura abaixo:

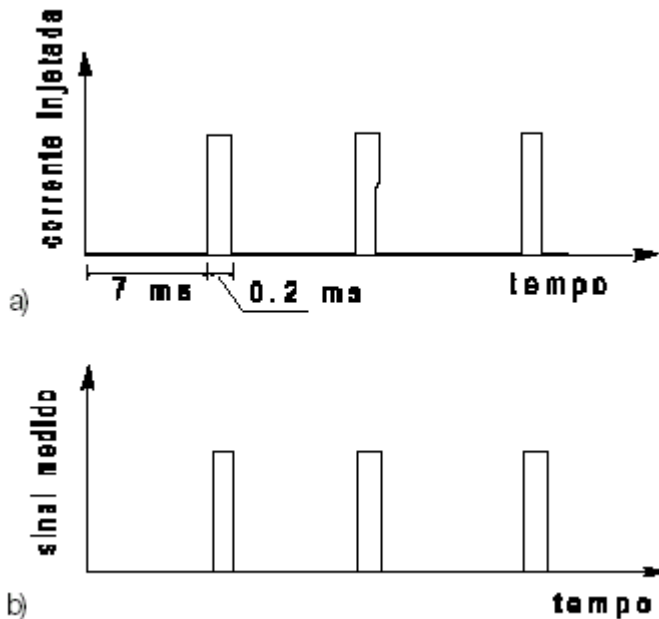


Com a ponte próxima de uma condição balanceada o efeito da variação da resistência elétrica do cabo A é minimizado pela variação do cabo C. A corrente que circula pelo cabo B é próxima de zero (devido a alta impedância do voltímetro) não ocorrendo, então, queda de tensão parasita.

### 1.4.3 – Auto-aquecimento

Pode se dizer que esse é o problema mais grave dos termistores. A circulação de uma corrente elétrica pelo sensor causa, por efeito Joule, uma elevação de sua temperatura gerando uma erro de medição. O erro torna-se crítico em medição em gases, a baixas velocidades, podendo chegar a  $2^{\circ}\text{C}$ .

A forma de minimizar esse fenômeno é alimentar o sistema com corrente pulsada, conforme mostrado na figura abaixo. Logicamente esse artifício requer um tratamento mais apurado, necessitando de um circuito eletrônico de geração de pulsos e linearização do sinal.



### Minimização do efeito de auto-aquecimento

- a) corrente injetada
- b) sinal detectado

### 1.5 – Questionário

- 1) Qual a definição de TERMORESISTENCIA?
- 2) O que são termistores?
- 3) Qual a principal diferença entre termistores e termoresistores?
- 4) Descreva os métodos utilizados para a medição com sensores termoresistivos, vantagens e desvantagens?
- 5) Na utilização de medidor com ponte de Wheatstone como se resolve o problema da linearização?
- 6) Como se pode resolver o problema de aquecimento do sensor, e por consequência a variação em suas medidas quando uma corrente é aplicada continuamente no mesmo?

