

Materiais Elétricos e Magnéticos para Engenharia

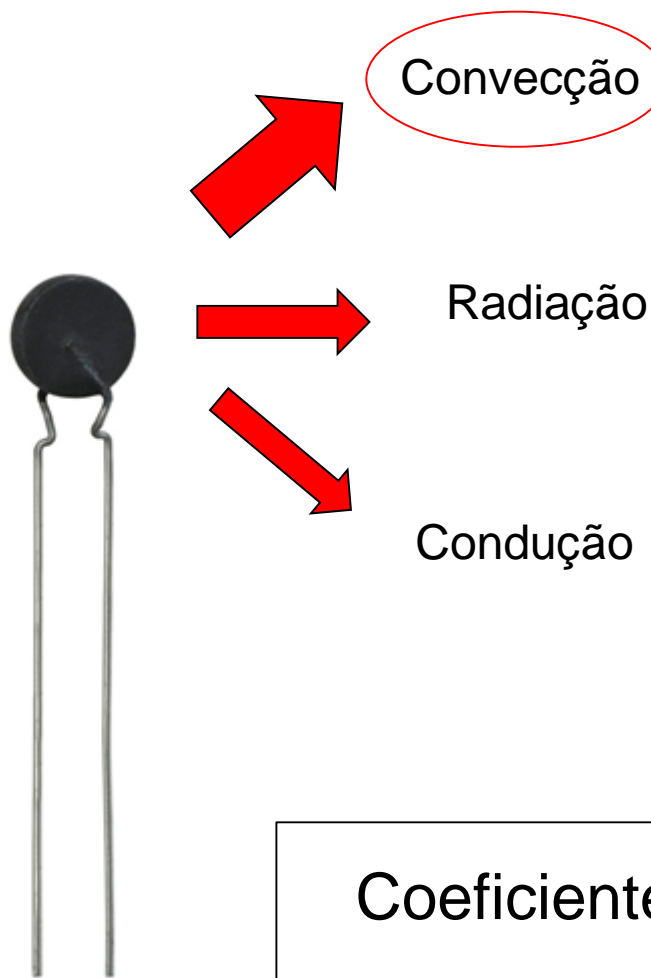
Professor: Marcus V. Batistuta

Laboratório #3
Termistores

1º Semestre de 2018

FGA - Universidade de Brasília

Modelo para o Termistor



Convecção



$$P_T = K[T(R) - T_0]$$

$$P_E = IV$$

Equilíbrio Térmico
(alto-aquecimento)

$$P_E = P_T$$

$$I^2 R = K[T(R) - T_0]$$

Coeficiente Térmico

$$\alpha_T = \frac{1}{R(T)} \left. \frac{dR}{dT} \right|_T$$

$$T_0 = T(R) - \frac{I^2 R}{K}$$

(ar parado)

Resistivities and Temperature Coefficients of Resistivity for Various Materials

Material	Resistivity ^a ($\Omega \cdot \text{m}$)	Temperature Coefficient α [$(^\circ\text{C})^{-1}$]
Silver	1.59×10^{-8}	3.8×10^{-3}
Copper	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Gold	2.44×10^{-8}	3.4×10^{-3}
Aluminum	2.82×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Tungsten	5.6×10^{-8}	4.5×10^{-3}
Iron	10×10^{-8}	5.0×10^{-3}
Platinum	11×10^{-8}	3.92×10^{-3}
Lead	22×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Nichrome ^b	1.50×10^{-6}	0.4×10^{-3}
Carbon	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-3}
Germanium	0.46	-48×10^{-3}
Silicon	640	-75×10^{-3}
Glass	10^{10} to 10^{14}	
Hard rubber	$\sim 10^{13}$	
Sulfur	10^{15}	
Quartz (fused)	75×10^{16}	

^aAll values are at 20°C.

^bNichrome is a nickel–chromium alloy commonly used in heating elements.

Termistores PTC

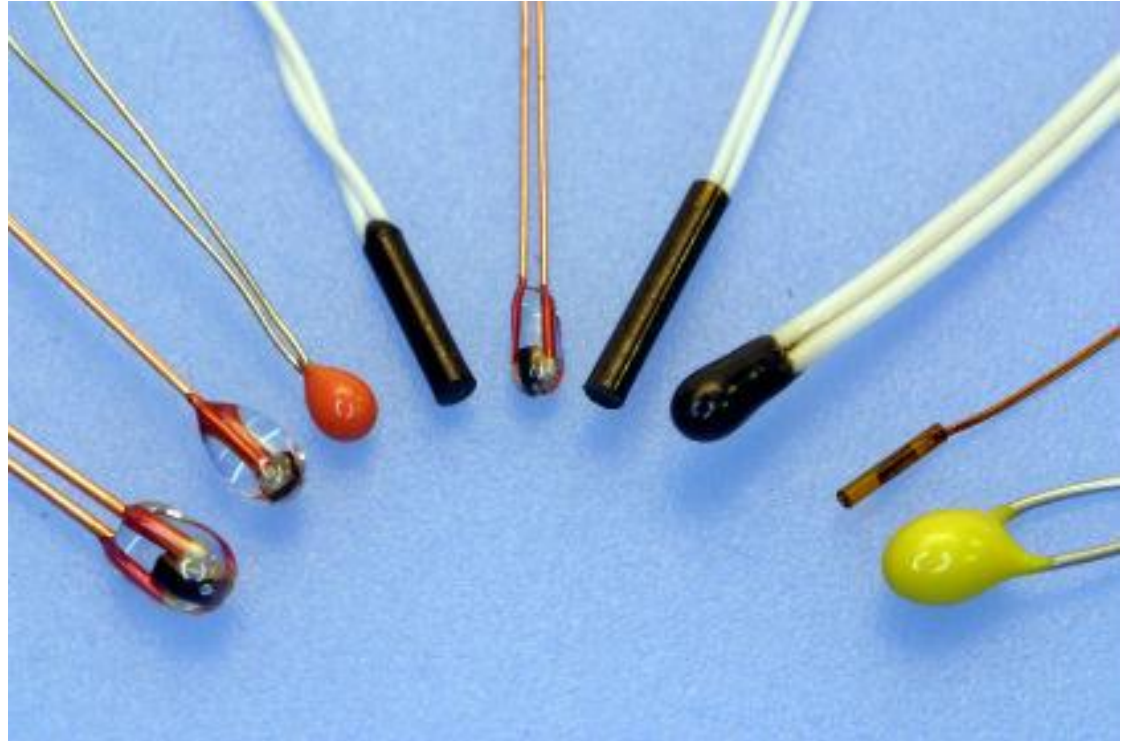


Termistores PTC são feitos de Materiais Cerâmicos ou Compósitos Plásticos

Cerâmica Policristalina Dopada contendo Titanato de Bário (BaTiO_3), ou ainda variações com misturas de Titanatos de Bário, Chumbo, Estrôncio com a adição de Ítrio, Manganês, Tântalo e Sílica..

Compósito Plástico contendo Partículas ou Grãos de Carbono ou Metais

Termistores NTC

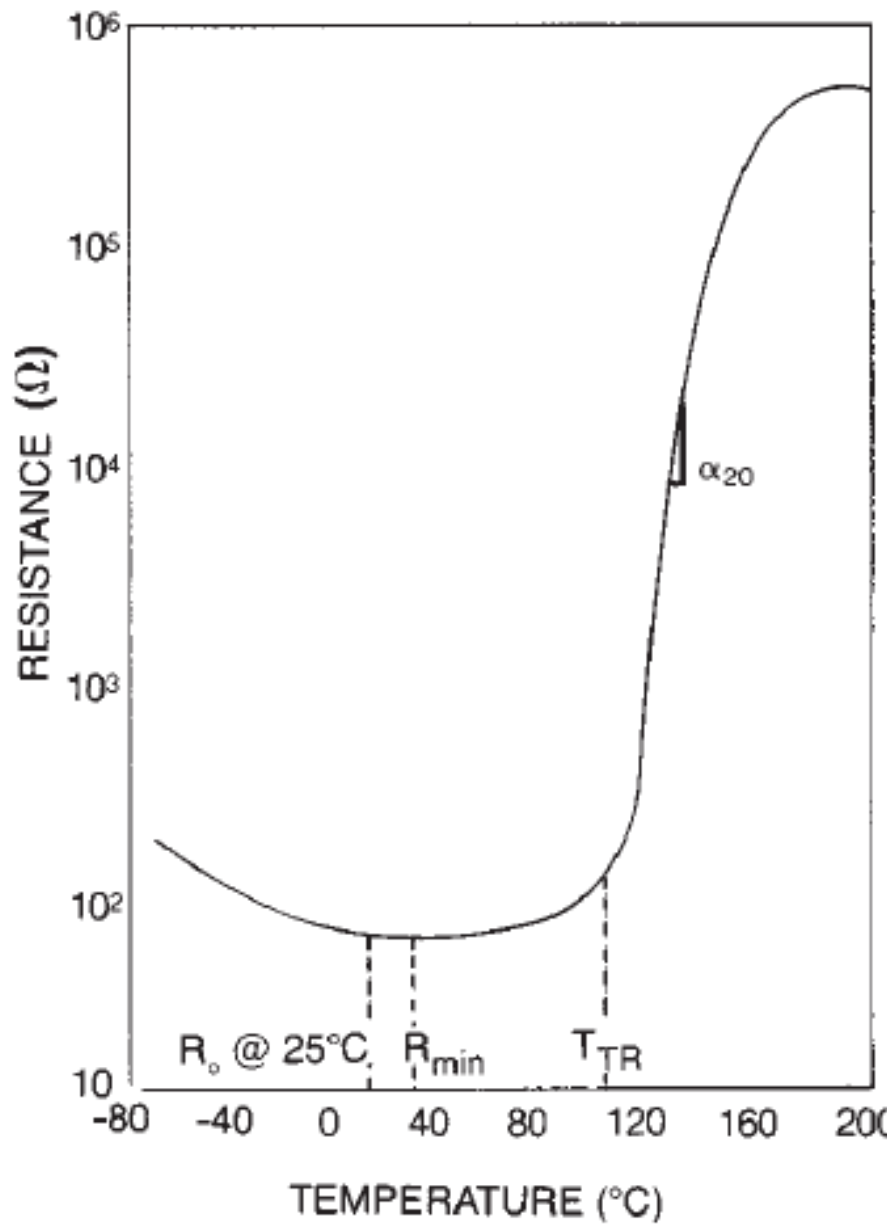


Termistores NTC são feitos de Óxidos Metálicos Sinterizados Dopados Semicondutores.

Óxido Férrico (Fe_2O_3) dopado com Titânio (Ti) [tipo- n]

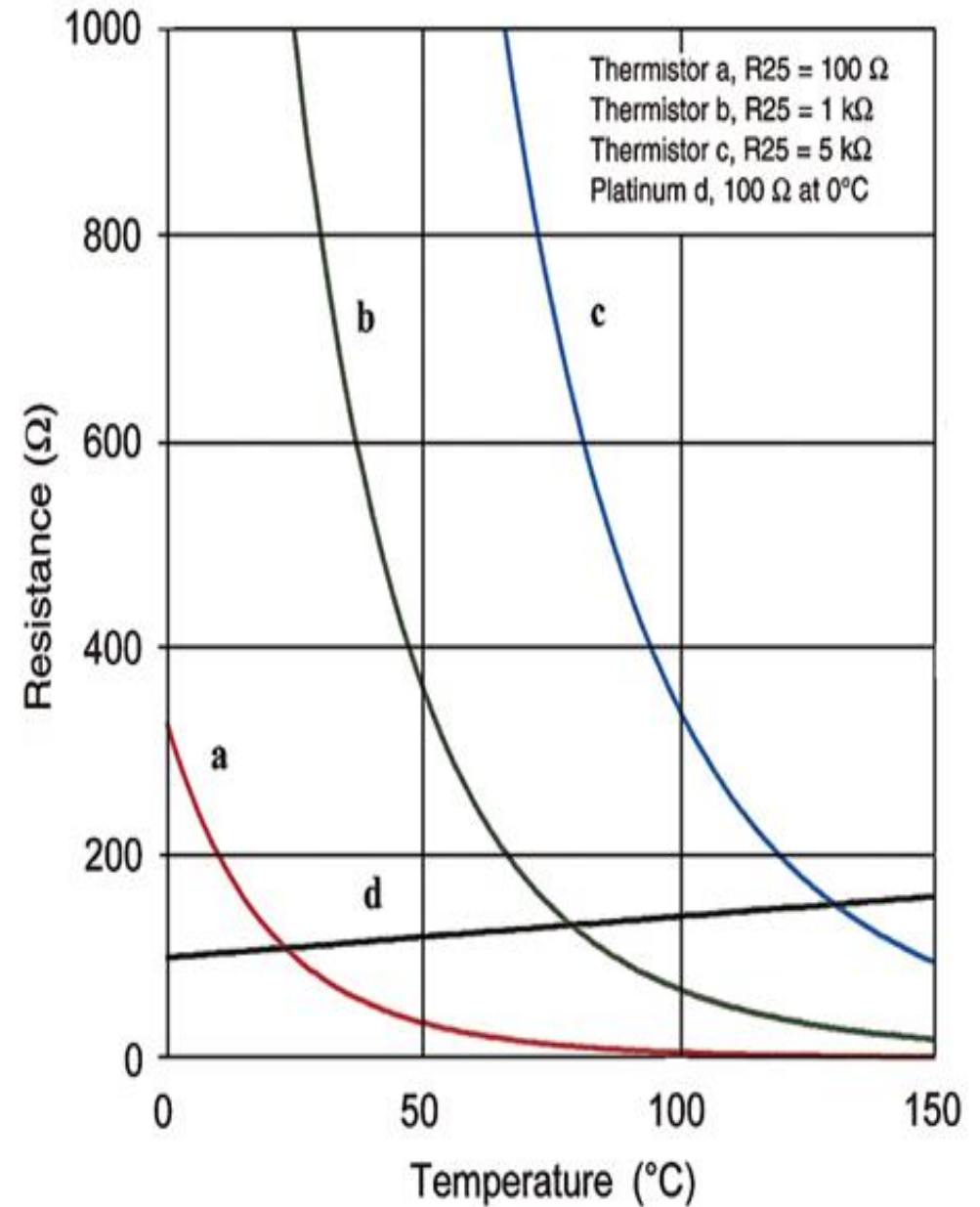
Óxido de Nickel (NiO) dopado com Lítio (Li) [tipo- p]

PTC



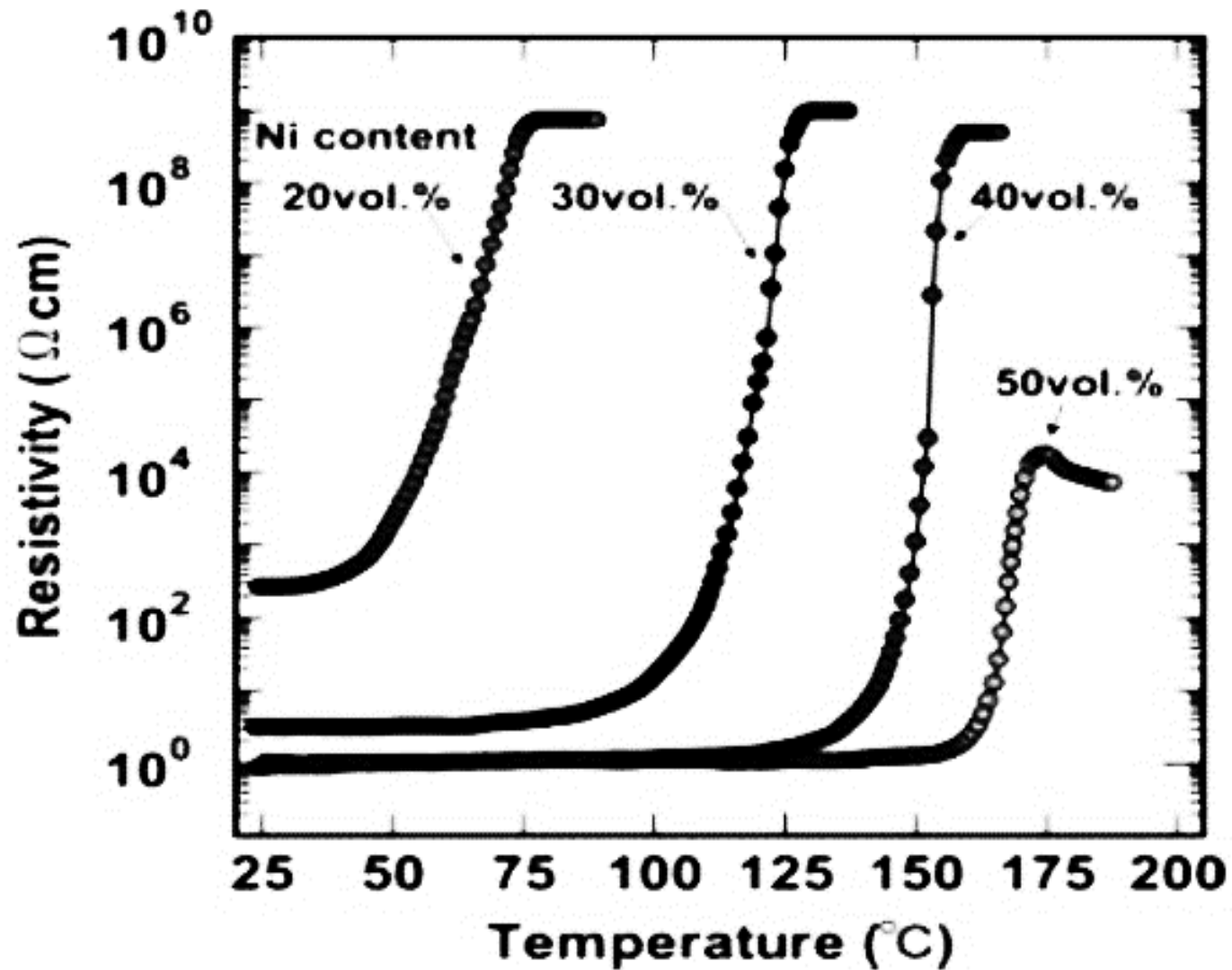
Cerâmico (Titanato de Bário)

NTC



Fe_2O_3 Dopado

Termistores PTC de Compósitos Plásticos



Grãos de Níquel em Fluoreto de Polivinilideno

Modelo Alfa de Termistor PTC

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{T_2 - T_1}$$

Onde:

R_1 = Resistência em T_1 [Ohms]

R_2 = Resistência em T_2 [Ohms]

T_1 = Temperatura-1 [K]

T_2 = Temperatura-2 [K]

Modelo Beta de Termistor NTC

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{R_{T1}}{R_{T2}}\right)}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}$$

Onde:

R_{T1} = Resistência em T_1 [Ohms]

R_{T2} = Resistência em T_2 [Ohms]

T_1 = Temperatura-1 [K]

T_2 = Temperatura-2 [K]

Modelo do NTC: Equação de Steinhart-Hart

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \left(\frac{R}{R_0} \right)$$

$$T_0 \text{ (25 °C = 298.15 K)}$$

$$R = R_0 e^{-B \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)}$$

$$R = r_{\infty} e^{B/T} \quad r_{\infty} = R_0 e^{-B/T_0}$$

Modelo do PTC

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{T_2 - T_1} \quad \longrightarrow \quad R_2 = R_1 \cdot e^{\alpha \cdot (T_2 - T_1)}$$

$$R(T) = R_0 e^{\alpha(T - T_0)}$$

$$T = \frac{1}{\alpha} \ln\left[\frac{R(T)}{R_0}\right] + T_0$$

Válido para a região abrupta da curva.

Modelo Dinâmico dos Termistores

$$P = V \times I = \frac{dH}{dt} = K[T(R) - T_0] + C_T \frac{dT(R)}{dt}$$

C_T – Capacidade Calorífica [Joule / K]

H – Calor [Joules]

P – Potência Elétrica

V – Tensão [volts]

I – Corrente [amps]

K – Constante de Dissipação de Calor
por Convecção Natural [W / K]

Desafio: Modelo Dinâmico $I(t)$ vs. $V(t)$ do Termistor NTC para Grandes Sinais

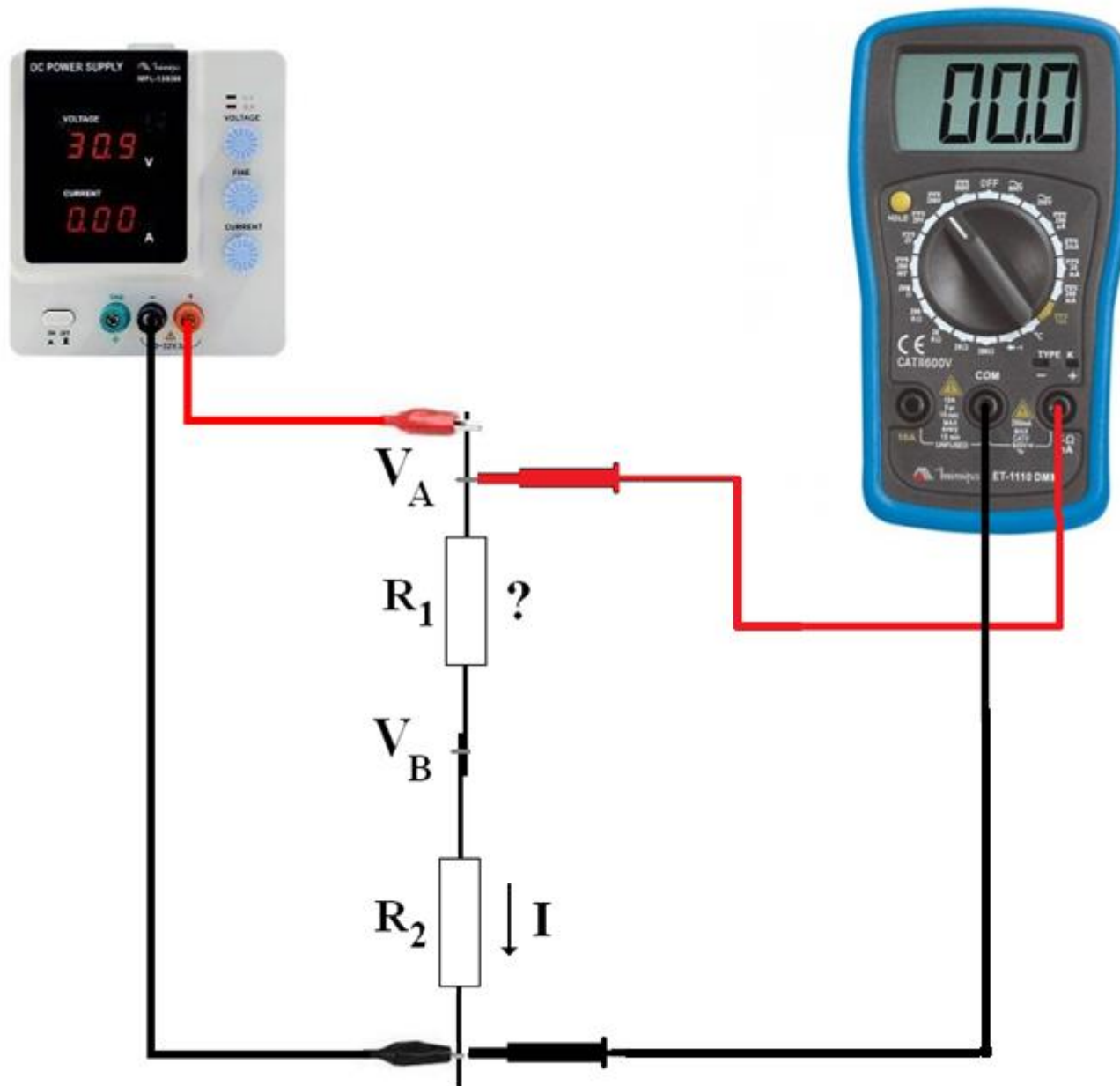
$$P = V \times I = \frac{dH}{dt} = \underbrace{K[T(R) - T_0]}_{\text{Dissipação Térmica (Convecção)}} + \underbrace{C_T \frac{dT(R)}{dt}}_{\text{Inércia Térmica}}$$

$$P(t) = V^2(t)/R(t)$$

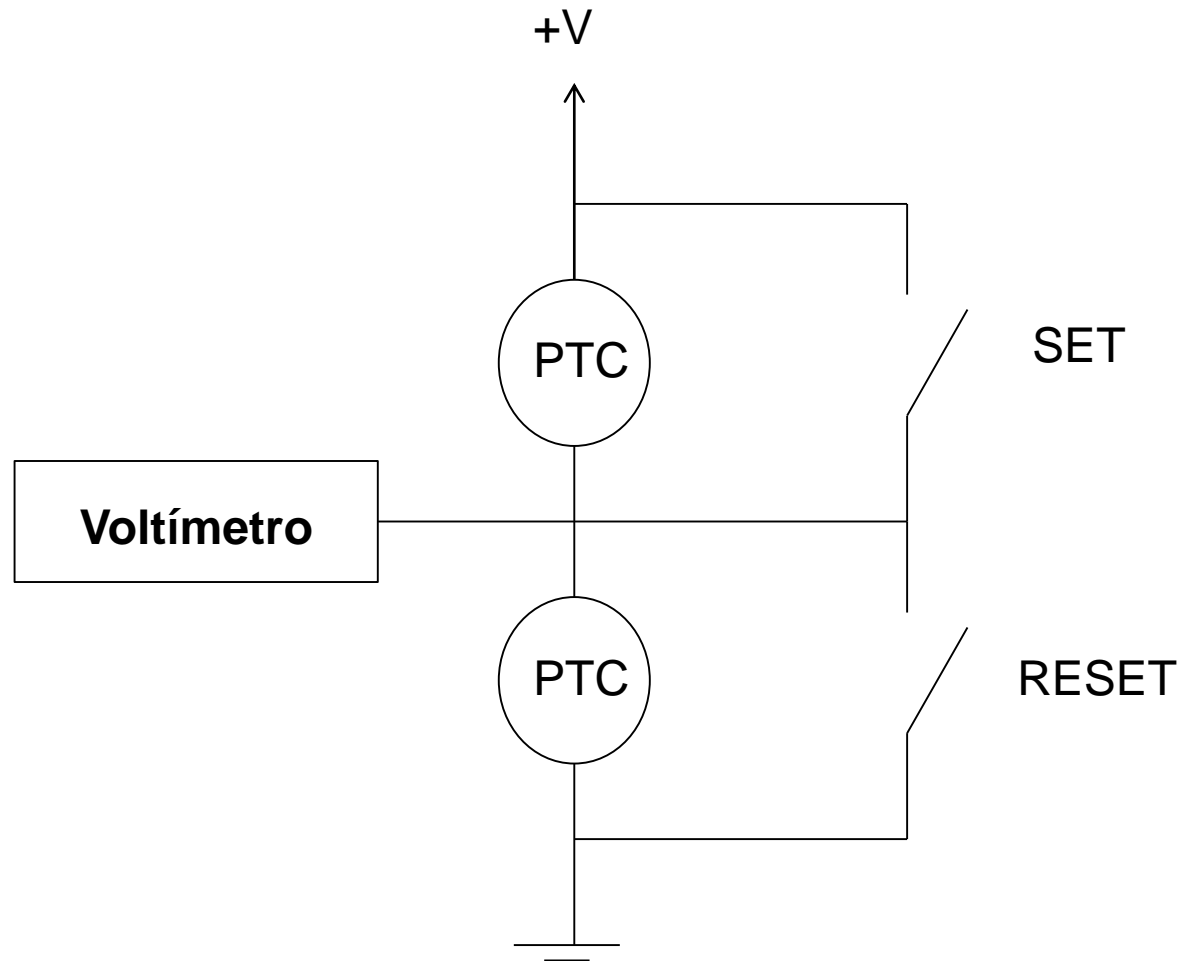
$$I(t) = V(t)/R(t)$$

$$R = R_0 e^{-B(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T})}$$

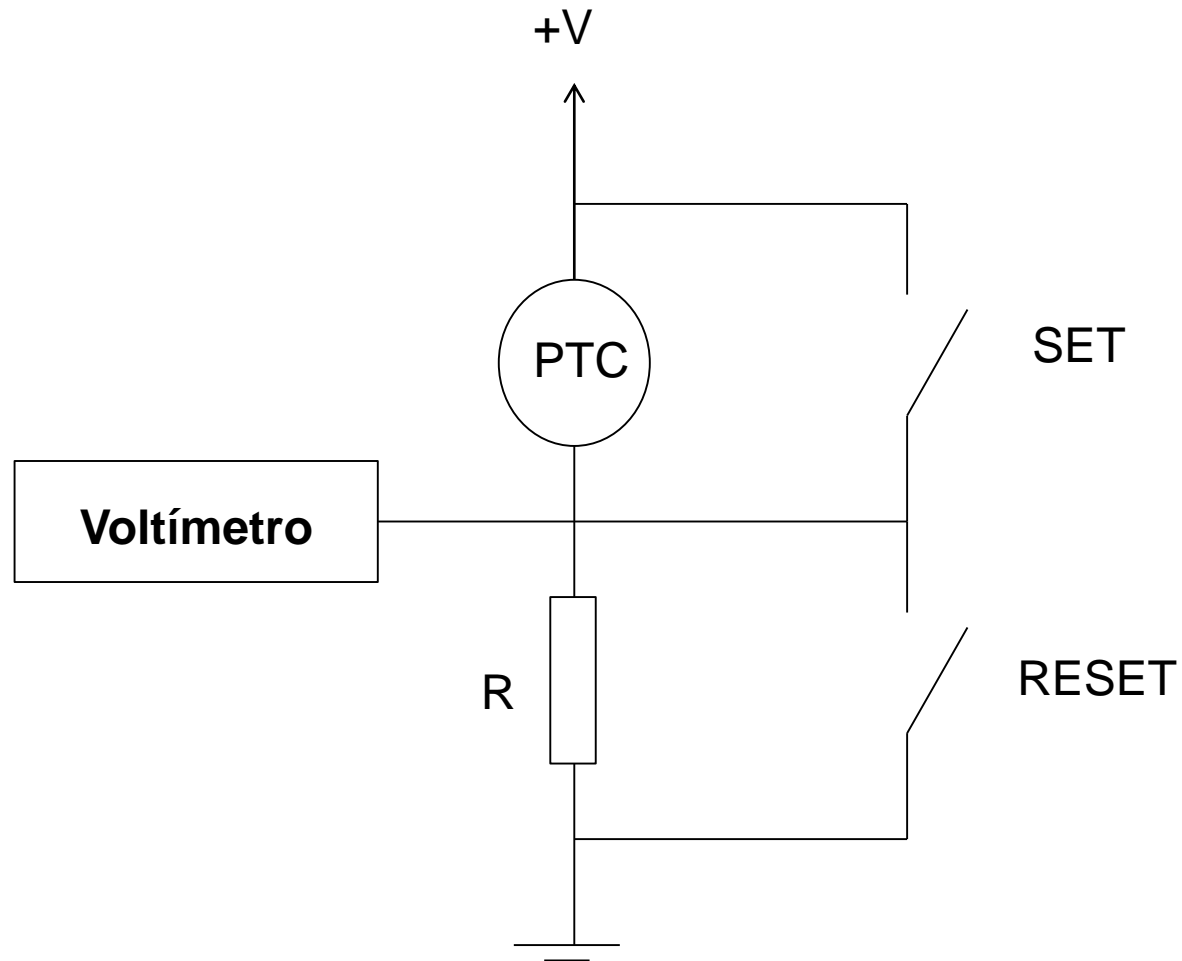
Circuito de Medidas



Efeito Memória em Circuitos com Termistores



Efeito Memória em Circuitos com Termistores



Aplicação Tecnológica: Termistor PTC como Medidor de Fluxo

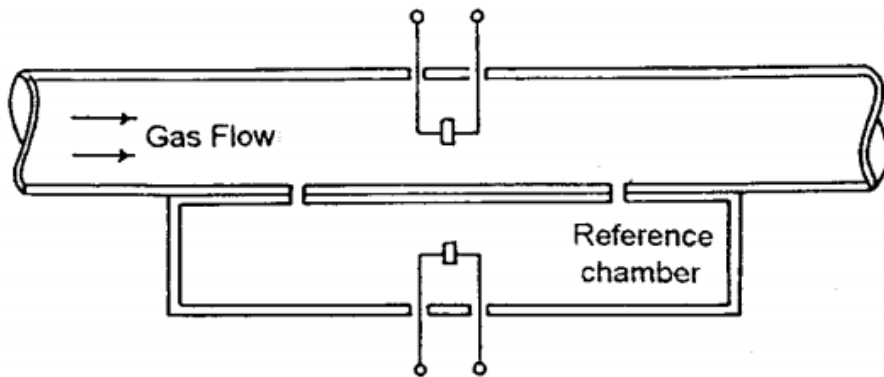


FIG. 2. Schematic structure of a PTC based flow sensing head.

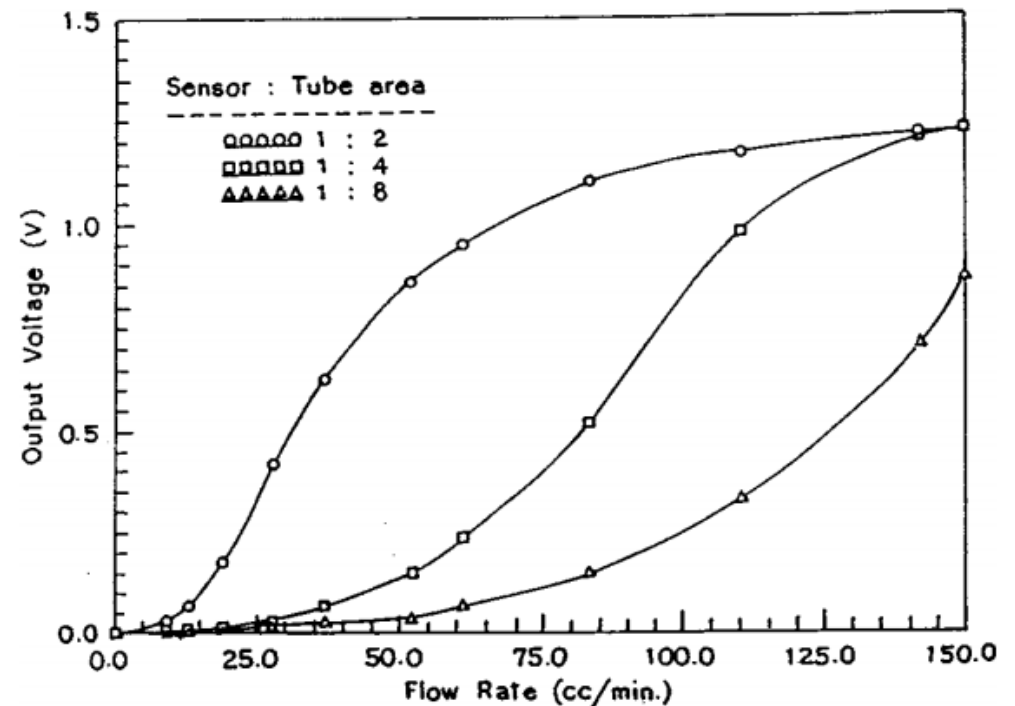


FIG. 8. Output voltage response of a PTC flow sensor with varying cross section of the tube.