

Sensores de Temperatura: RTD (PT-100) e Termopares (Tipos K e J)

Thalles Cotta Fontainha¹

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ
Programa de Pós-Graduação em Instrumentação e Óptica Aplicada (PPGIO)

thalles.fontainha@aluno.cefet-rj.br

Atividade Recebida: No dia 4 de novembro de 2025, o professor enviou para o Thalles a atividade referente ao estudo dos sensores de temperatura, com prazo de entrega para o dia 12 de novembro de 2025. A tarefa consiste em abordar os seguintes tópicos sobre os sensores RTD (ex.: PT-100) e termopares (ex.: tipo K e tipo J): princípios de funcionamento - conceitos físicos e matemáticos; tipos; aplicações (gerais e exemplos específicos); vantagens e desvantagens; conclusão e referências (incluindo sites da internet, vídeos do YouTube e ferramentas de IA).

Resumo. Este trabalho aborda a instrumentação aplicada à medição de temperatura, um parâmetro físico essencial em Processos Físicos e Biológicos. O estudo apresenta os principais sensores elétricos empregados nessa finalidade: as Termoresistências (RTD), exemplificadas pelo modelo PT-100, e os Termopares dos tipos K e J. São discutidos os princípios de funcionamento, os conceitos físicos e matemáticos, os tipos, as aplicações e as vantagens e desvantagens de cada tecnologia. A análise considera também fontes digitais e materiais de referência sobre termometria e instrumentação industrial.

1. Introdução

A instrumentação científica é o campo responsável pela medição e controle de parâmetros físicos fundamentais [Costa, 2011; Tsoulfanidis and Landsberger, 2015]. Entre esses parâmetros, a temperatura destaca-se por sua relevância em processos físicos, químicos e biológicos, podendo ser determinada por métodos de dilatação, dispositivos manométricos ou, como foco deste trabalho, por sensores elétricos [Costa, 2011; Tsoulfanidis and Landsberger, 2015].

Os sensores elétricos, como as Termoresistências (RTD) e os Termopares, são amplamente utilizados devido à sua confiabilidade, ampla faixa de operação e compatibilidade com sistemas de controle automático [Costa, 2011; Knoll, 2010].

2. Fundamentação Teórica

Os sensores de temperatura convertem variações térmicas em sinais elétricos, podendo operar segundo dois princípios principais: a variação de resistência elétrica (RTDs e Termistores) e o efeito termoelétrico (Termopares) [Costa, 2011; Knoll, 2010].

2.1. RTD (Termoresistência): Princípios, Funcionamento e Fórmulas

As RTDs operam com base no princípio de que a resistência elétrica de um metal varia de forma previsível com a temperatura [Costa, 2011; Cordeiro, 2019]. O exemplo mais comum é o sensor PT-100, fabricado com platina, devido à sua estabilidade e linearidade em ampla faixa de temperatura. Outros metais empregados incluem níquel, cobre e molibdênio [Cordeiro, 2019].

Os diferentes metais empregados na fabricação de RTDs apresentam variações significativas quanto à faixa operacional e ao coeficiente de temperatura (*Alpha*), fatores que influenciam diretamente a precisão e a estabilidade do sensor. A Tabela 1 resume as principais características desses materiais, conforme dados de [Cordeiro, 2019].

Tabela 1. Coeficiente de temperatura (*Alpha*) e faixa de operação de metais utilizados em RTDs. Transcrito da imagem de [Cordeiro, 2019].

Tipo de Metal	Símbolo	Faixa de Temperatura (°C)	Alpha ($\Omega / \Omega \cdot {}^\circ\text{C}$)	Comentários
Cobre (Copper)	Cu	-200 a 260	0,00427	Baixo custo.
Molibdênio	Mo	-200 a 200	0,003 / 0,00385	Alternativa de baixo custo para medição de temperatura de baixo range.
Níquel	Ni	-80 a 260	0,00672	Baixo custo, limitado para temperatura.
Ferro-Níquel	Ni-Fe	-200 a 200	0,00518	Baixo custo.
Platina	Pt	-200 a 660	0,00385 / 0,00392 / 0,00377	Boa precisão. Range de temperatura alto.

A relação entre resistência (R) e temperatura (T) pode ser descrita por:

$$R = R_0(1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2),$$

onde R_0 é a resistência a 0°C. Para o PT-100, $R_0 = 100 \Omega$ [Costa, 2011]. A equação é uma forma simplificada do polinômio de Callendar-Van Dusen, comumente utilizado para RTDs de platina [Cordeiro, 2019].

Tipos construtivos:

- *RTD de fio enrolado (wire-wound)*: formado por uma bobina metálica em suporte cerâmico, oferecendo alta precisão, porém com custo mais elevado.
- *RTD de filme fino (thin-film)*: constituído por um filme metálico depositado sobre substrato isolante, sendo mais compacto, robusto e de menor custo [Cordeiro, 2019].

A medição da resistência é geralmente feita por meio de uma Ponte de Wheatstone. No equilíbrio, a relação $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_t$ permite determinar o valor de R_t , que é convertido em temperatura. Em sistemas de controle, o PT-100 é acoplado a transmissores padronizados (como sinais de 4-20 mA ou 0-10 V) [Costa, 2011].

2.2. Termopares: Princípios, Funcionamento e Fórmulas

Os Termopares convertem diferenças de temperatura em diferenças de potencial elétrico, baseando-se no *efeito Seebeck* [Costa, 2011]. São constituídos por dois condutores metálicos distintos unidos em uma extremidade (junção quente) e conectados a um ponto de referência (junção fria). A diferença de potencial (V_{ddp}) gerada é proporcional à diferença de temperatura (ΔT) entre as junções:

$$V_{ddp} = a + b\Delta T + c\Delta T^2 + \dots$$

Para a medição correta, a junção fria deve ser compensada, aplicando-se:

$$V(T_{jq}) = V_{\text{medida}} + V(T_{jf}),$$

onde T_{jq} é a temperatura da junção de medição e T_{jf} a de referência. Os valores obtidos são convertidos em temperatura por meio de tabelas de calibração [Costa, 2011].

Tipos mais comuns:

- **Tipo J:** formado por Ferro e Constantan (Cu-Ni), adequado para temperaturas de até cerca de 750 °C.
- **Tipo K:** formado por Cromel (Ni-Cr) e Alumel (Ni-Al), podendo atingir temperaturas próximas a 1200 °C [Costa, 2011].

2.3. Aplicações

RTDs e Termopares são amplamente empregados em medições térmicas industriais, laboratoriais e biológicas. RTDs (como o PT-100) são preferidas em aplicações que exigem alta precisão e estabilidade, como em incubadoras, sistemas de climatização e controle de processos químicos. Termopares (tipos K e J) são utilizados em medições de temperaturas elevadas, como em fornos, motores e trocadores de calor [Cordeiro, 2019].

2.4. Vantagens e Desvantagens

RTDs: apresentam excelente precisão e estabilidade, mas possuem maior custo e tempo de resposta [Costa, 2011; Cordeiro, 2019]. RTDs de fio enrolado são mais exatas, enquanto as de filme fino são mais resistentes e econômicas.

Termopares: são mais baratos, robustos e respondem rapidamente às variações térmicas, sendo adequados para altas temperaturas. Contudo, exigem compensação da junção fria e são mais suscetíveis a ruídos elétricos [Costa, 2011].

2.5. Inteligência Artificial Aplicadas à Análise de Sensores de Temperatura

O avanço das técnicas de Inteligência Artificial (IA) tem contribuído significativamente para a instrumentação moderna, especialmente na calibração, diagnóstico e otimização de sensores de temperatura. Modelos de aprendizado de máquina e redes neurais artificiais são empregados para identificar padrões complexos em sinais térmicos e compensar não linearidades inerentes a dispositivos como RTDs e Termopares [Samanta and Singh, 2021; Xu et al., 2022].

2.6. Aplicações típicas:

- **Calibração automatizada:** algoritmos de regressão (como Redes Neurais Artificiais e Regressão por Vetores de Suporte) são utilizados para ajustar curvas de resposta de sensores, reduzindo erros sistemáticos em relação às curvas teóricas de Callendar-Van Dusen.
- **Detecção de falhas e autodiagnóstico:** técnicas de IA podem monitorar em tempo real o comportamento do sensor, detectando desvios anômalos, ruídos elétricos ou degradação de componentes.
- **Fusão de dados e controle inteligente:** redes neurais convolucionais e sistemas fuzzy têm sido aplicados para combinar medições de múltiplos sensores (RTDs e termopares), aprimorando a precisão e a estabilidade térmica em processos industriais e biológicos.

3. Conclusão

RTDs e Termopares representam tecnologias essenciais para a medição de temperatura em sistemas industriais e científicos. As RTDs de platina, como o PT-100, baseiam-se na variação da resistência elétrica e são indicadas para aplicações que requerem alta precisão e estabilidade. Já os Termopares, que se fundamentam no efeito termoelétrico, são ideais para medições em altas temperaturas, apresentando boa robustez e baixo custo. A escolha entre as duas tecnologias deve considerar fatores como faixa de operação, tempo de resposta, custo e exatidão desejada.

Referências

- Cordeiro, M. S. (2019). Introdução a rtd's (termo-resistência). Maurício Cordeiro - Instrumentação Industrial. Disponível em: <https://mauriciosscordeiro.wixsite.com/instrumentacao/...>. Acessado em: 08 nov. 2025.
- Costa, J. W. (2011). Instrumentação para processos físicos e biológicos: Medição de temperatura e conceitos gerais. Slides de aula.
- Knoll, G. F. (2010). *Radiation Detection and Measurement*. John Wiley & Sons, New York, 4 edition.
- Samanta, T. and Singh, R. (2021). Machine learning techniques for intelligent temperature sensor calibration. *IEEE Sensors Journal*, 21(8):9876–9885.
- Tsoulfanidis, N. and Landsberger, S. (2015). *Measurement Detection of Radiation*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 4 edition.
- Xu, L., Zhang, P., and Chen, Y. (2022). Ai-based fault diagnosis for thermocouple sensor networks. *Measurement*, 196:111202.