

UNIDADE → IV

Calibração de um Termopar

INTRODUÇÃO

Termopares são termômetros bastante utilizados, na indústria e em laboratórios de pesquisa, para medições em uma ampla faixa de temperatura — de, aproximadamente, 250°C a 1500°C. Por se basear na medição de uma diferença de potencial, um termopar apresenta facilidade de leitura e de monitoramento de temperatura à distância e é de fácil adaptação em sistemas de controle e automação. Neste experimento, serão discutidos o princípio de funcionamento de termopares e o modo como eles são construídos e calibrados.

Sabe-se que um campo elétrico pode produzir uma corrente elétrica em sólidos. Da mesma forma, variações de temperaturas também podem produzir correntes elétricas. Considere, por exemplo, um metal cujas extremidades são mantidas em temperaturas diferentes por meio de contato térmico com reservatórios de calor. Nessa situação, a densidade de elétrons livres é diferente nas duas extremidades, o que dá origem a um campo elétrico no metal; um outro campo elétrico é produzido pelo gradiente de temperatura no metal — variação de temperatura ao longo do metal —; e, juntos, dão origem a uma corrente elétrica. Os efeitos causados pela interação entre as correntes elétricas e as térmicas em um material são chamados de efeitos termoelétricos. O funcionamento de um termopar baseia-se em um deles, conhecido como Efeito Seebeck.

Para mostrar o Efeito Seebeck e o modo como medi-lo, considere dois fios metálicos — A e B —, de materiais diferentes, ligados um ao outro, como representado na Figura 1. As duas junções dos fios são colocadas em contato térmico com dois reservatórios de calor, cujas temperaturas são T_1 e T_2 . Um voltímetro ideal é ligado entre dois pontos de um dos fios, ambos à temperatura T_0 . Como o circuito formado pelos fios está aberto, a corrente elétrica, nele, é nula. Nessa situação, surge uma força eletromotriz nas extremidades livres, que depende do material dos fios e da variação de temperatura entre as junções. Esse fenômeno é conhecido como Efeito Seebeck cuja descrição está detalhada no Apêndice F.

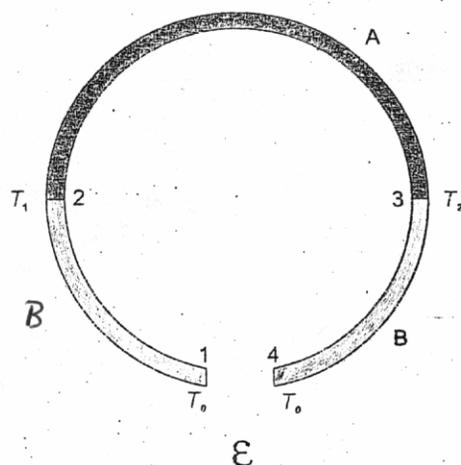


FIGURA 1 - Dois fios — A e B —, de materiais diferentes, ligados um ao outro para formar as junções 2 e 3. Quando as temperaturas dessas junções são diferentes, uma força eletromotriz é produzida nas extremidades 1 e 4, que estão a uma mesma temperatura T_0 .

Para pequenas diferenças de temperatura entre as junções, a força eletromotriz ε é proporcional a essa diferença, ou seja, é dada por

$$\varepsilon = \alpha(T_2 - T_1)$$

em que α , chamado de coeficiente Seebeck,¹ depende do material dos fios e da temperatura.

O dispositivo esquematizado na Figura 1 é a base de um termopar utilizado como termômetro. Para isso, uma das junções é colocada em contato térmico com o objeto cuja temperatura se deseja determinar, enquanto a outra é mantida em uma temperatura constante, chamada de temperatura de referência, como representado na Figura 2. Usualmente, utiliza-se a temperatura do gelo em fusão como referência. Conhecido o coeficiente Seebeck, a temperatura do objeto pode ser determinada por meio da medição da força eletromotriz que é gerada.

¹ Alguns autores chamam este coeficiente de potência termoelétrica.

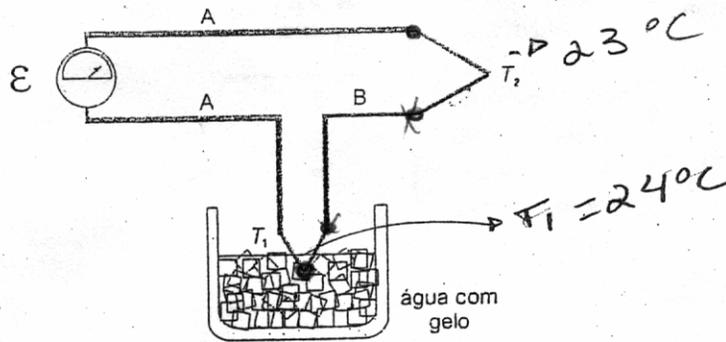


FIGURA 2 - Diagrama esquemático de um termopar, constituído de dois fios — A e B — de materiais diferentes. Uma das junções dos fios é mantida a uma temperatura T_1 , e a outra deve estar em contato térmico com o objeto cuja temperatura se deseja determinar; um voltímetro mede a força eletromotriz então produzida.

O coeficiente Seebeck é muito pequeno para os termopares típicos, ou seja, a força eletromotriz gerada é pequena mesmo para grandes variações de temperatura. Na Figura 3, representa-se esse coeficiente em função da temperatura de alguns termopares comerciais. Na Tabela 1, estão listados, para cada tipo de termopar, o valor do coeficiente Seebeck a 20°C e a sensibilidade que deve ter um voltímetro para permitir uma precisão de $0,1^\circ\text{C}$ na medição de temperatura.

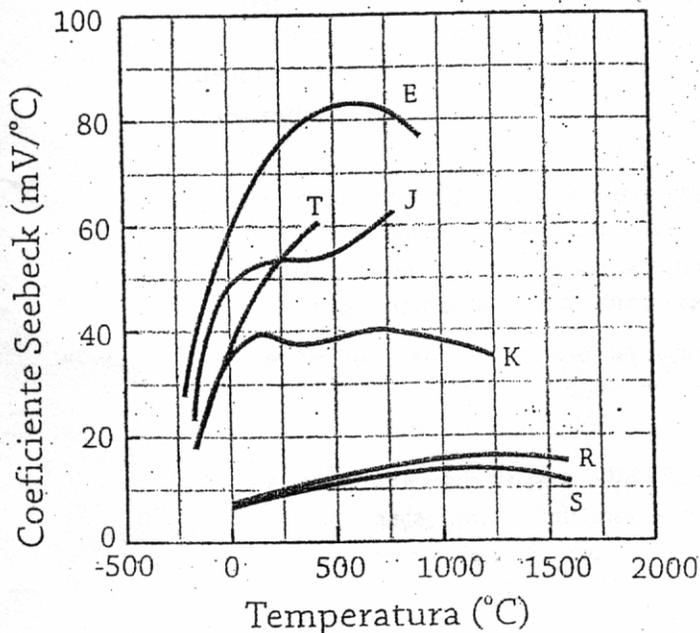


FIGURA 3 - Coeficiente Seebeck em função da temperatura de alguns termopares comerciais.

TABELA 1
Coeficiente Seebeck

Tipo do termopar	Metais da junção	Coeficiente Seebeck a 20°C (μV/°C)
E	Cromel/Constantan	62
J	Fe/Constantan	51
K	Cromel/Alumel	40
R	Pt/Pt + 13% Rd	7
S	Pt/Pt + 10% Rd	7
T	Cu/Constantan	40

PARTE EXPERIMENTAL

Objetivo

- ▶ Calibrar um termopar.

Material utilizado

- ▶ Termopar, voltímetro com sensibilidade mínima de 10 μV, termômetro com escala de 0 a 100°C e sensibilidade mínima de 1°C, ebulidor, agitador de água, recipiente para água, recipiente refratário, ~~nitrogênio líquido~~, fósforo ou isqueiro.

Procedimentos

O processo de calibração de um termopar consiste em fazer medições da força eletromotriz gerada para diversos valores conhecidos de temperatura da junção de medida. Para determinação dessa temperatura, deve-se utilizar um outro termômetro, já calibrado.

- ▶ Faça a montagem representada na Figura 2. Neste experimento, a temperatura de referência não será a de água com gelo; a junção de referência será mantida à temperatura ambiente, cujo valor deve ser previamente medido com o termômetro de mercúrio.
- ▶ No recipiente refratário, aqueça cerca de 200 ml de água com o ebulidor, até que o termômetro de mercúrio indique uma temperatura entre 90°C e 100°C.
- ▶ Mergulhe a junção de medida do termopar na água aquecida. Feito isso, meça, com o voltímetro, a diferença de potencial e, com o termômetro de mercúrio, a temperatura da água.

- ▶ Em seguida, deve-se medir a diferença de potencial no termopar para diversos valores de temperatura da água. Para isso, aos poucos, adicione água fria à água quente contida no recipiente e repita as medidas feitas na etapa anterior. Mantenha a ponta do termopar próxima ao bulbo do termômetro para garantir que ambos estejam à mesma temperatura.
 - ▶ Faça o gráfico da diferença de potencial no termopar em função da temperatura da água. Com base nesse gráfico, verifique se o coeficiente Seebeck desse termopar é constante na faixa de temperatura observada. Assim sendo, faça uma regressão linear dos resultados das medições e determine o valor desse coeficiente. Escreva, então, a equação de calibração $\mathcal{E}(T)$ do termopar.
 - ▶ Agora que o termopar está calibrado, utilize-o para medir a temperatura ambiente e a temperatura de uma pessoa. Meça essas temperaturas, também, com o termômetro de mercúrio e compare os valores obtidos em cada caso.
- ***Atenção:** Para as medidas a seguir, **NÃO** use o termômetro de mercúrio, pois ele será danificado.
- ▶ Utilize o termopar para medir a temperatura do nitrogênio líquido e da chama de um isqueiro. Saiba-se que a temperatura do nitrogênio líquido é de -196°C . Avalie os resultados obtidos nessas medições.

T $^{\circ}\text{C}$	Voltagem (mV)
$T_a + 5^{\circ}\text{C}$	
$T_a + 10^{\circ}\text{C}$	
$T_a + 15^{\circ}\text{C}$	
$T_a + 20^{\circ}\text{C}$	
$T_a + 25^{\circ}\text{C}$	
$T_a + 30^{\circ}\text{C}$	