

# TEMPERATURA

## DEFINIÇÃO:

Temperatura – Grandeza física que permita a avaliação interna de um corpo.

Termometria – Significa “medição de temperatura”. Tem como objetivo medir e controlar as diversas variedades físicas em processos industriais, como: químico, petroquímico, siderúrgico, cerâmico, farmacêutico, vidreiro, alimentício, papel e celulose, hidrelétrico, nuclear, para obtenção de produtos de alta qualidade, com melhores condições de rendimento e segurança, a custos compatíveis com as necessidades do mercado.

Pirometria – Medição de altas temperaturas, na faixa em que os efeitos de radiação térmica passam a se manifestar.

Criometria – Medição de baixas temperaturas, ou seja, aquelas próximas ao zero absoluto de temperatura (- 273,15°C).

## TEMPERATURA - ENERGIA TÉRMICA – CALOR

### DEFINIÇÃO:

Temperatura – É o grau de agitação térmica das moléculas que constituem as substâncias.

Energia Térmica – É a somatória das energias cinéticas de um corpo, aos seus átomos. Depende da temperatura, da massa e do tipo de substância.

Calor – É a forma de energia que é transferida através da fronteira de um sistema, devido a diferença de temperatura.

### MEIOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

- **Condução** – É o processo pelo qual o calor flui de uma região de alta temperatura para outra de temperatura mais baixa, dentro de um meio sólido, líquido ou gasoso, ou entre meios diferentes em contato físico direto.
- **Radiação** – É o processo pelo qual o calor flui de um corpo de alta temperatura para um de baixa, quando os mesmos estão separados no espaço, ainda que exista um vácuo entre eles.
- **Convecção** – É um processo de transporte de energia pela ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento da mistura. A Convecção é mais importante como mecanismo de transferência de energia (calor) entre uma superfície sólida um líquido ou gás.

## ESCALA DE TEMPERATURA

Fahrenheit – É definida atualmente com o valor 32°F no ponto de fusão do gelo e 212°F no ponto de ebulição da água. É dividida em 180 partes, sendo cada parte 1 grau Fahrenheit.

Celsius – É definida atualmente com o valor zero no ponto de fusão do gelo e 100°C no ponto de ebulição da água. É dividida em 100 partes, sendo cada parte 1 grau Celsius.

Tanto a escala Celsius como a Fahrenheit são relativas, ou seja, os seus valores numéricos de referência são totalmente arbitrários.

Existem escalas de temperatura chamadas Absolutas, porque o zero delas é fixada no zero absoluto de temperatura (-273,15°C), são:

Kelvin – Possui a mesma divisão da Celsius, porém seu zero se inicia no ponto de temperatura mais baixa possível, ou seja, 273,15 graus abaixo do zero da escala Celsius.

Rankine – Possui o mesmo zero da escala Kelvin, porém sua divisão é idêntica à escala Fahrenheit.

Existe uma outra escala relativa, a Reamur, hoje praticamente em desuso. Essa escala adota como zero o ponto de fusão do gelo, e 80 o ponto de ebulição da água. O intervalo em 80 partes iguais (°Re).

## CONVERSÃO DE ESCALAS

### COMPARAÇÕES DAS ESCALAS DE TEMPERATURA EXISTENTES

#### Ponto de ebulição da água

Escalas absolutas	Escalas relativas
671,67°R	100°C
373,15 K	212°F

#### Ponto de fusão do gelo

Escalas absolutas	Escalas relativas
491°R	0°C
273,15 K	32°F

#### Zero absoluto

Escalas absolutas	Escalas relativas
0°R	-273,15°C
0 K	-459,67°F

Dessa comparação, podemos retirar algumas relações básicas entre as escalas:

$$\frac{^{\circ}\text{C}}{5} = \frac{^{\circ}\text{F}-32}{9} = \frac{\text{K}-273}{5} = \frac{\text{R}-491}{9}$$

## ESCALA INTERNACIONAL DE TEMPERATURA

Para melhor expressar as leis da Termodinâmica, foi criada uma escala baseada em fenômenos de mudança de estado físico de substâncias puras, que ocorrem em condições únicas de temperatura e pressão. São chamados pontos fixos de temperatura.

Os pontos fixos utilizados pela IPTS-68 são dados na tabela ao lado.

Estado de Equilíbrio	Temp.(°C)
Ponto triplo do Hidrogênio	-259,34
Ponto de ebulição do hidrogênio	-252,87
Ponto de ebulição do neônio	-246,048
Ponto triplo do oxigênio	-218,789
Ponto de ebulição do oxigênio	-182,962
Ponto triplo da água	0,01
Ponto de ebulição da água	100,00
Ponto de solidificação do zinco	419,58
Ponto de solidificação da prata	916,93
Ponto de solidificação do ouro	1064,43

Observação:

Ponto triplo é o ponto em que as fases sólida, líquida e gasosa encontram-se em equilíbrio.

A IPTS-68 cobre uma faixa de  $-259,34^{\circ}\text{C}$  a  $1064,34^{\circ}\text{C}$ , baseada em pontos de fusão, ebulição e pontos triplos de certas substâncias puras como, por exemplo, o ponto de fusão de alguns metais puros.

Hoje já existe a ITS-90 Escala Internacional de Temperatura, definida em fenômenos determinísticos de temperatura e que estabeleceu alguns pontos fixos de temperatura.

Pontos Fixos	IPTS-68	ITS-90
Ebulição do oxigênio	$-182,962^{\circ}\text{C}$	$-182,954^{\circ}\text{C}$
Ponto triplo da água	$+0,010^{\circ}\text{C}$	$+0,010^{\circ}\text{C}$
Solidificação do estanho	$+231,968^{\circ}\text{C}$	$+231,928^{\circ}\text{C}$
Solidificação do zinco	$+419,580^{\circ}\text{C}$	$+419,527^{\circ}\text{C}$
Solidificação da prata	$+961,930^{\circ}\text{C}$	$+961,780^{\circ}\text{C}$
Solidificação do ouro	$+1064,430^{\circ}\text{C}$	$+1064,180^{\circ}\text{C}$

## NORMAS

Com desenvolvimento tecnológico diferente em diversos países, criou-se uma série de normas e padronizações, cada uma atendendo uma dada região. As mais importantes são: ANSI-Americana, DIN-Alema, JIS-Japonesa, BS-Inglesa, e U-Italiana.

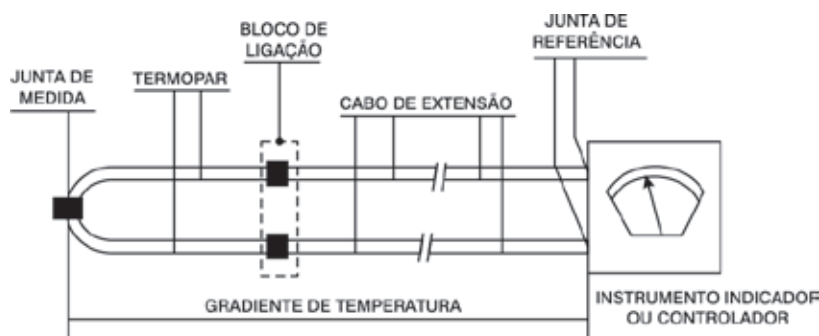
Para atender às diferentes especificações técnicas na área da Termometria, cada vez mais, somam-se os esforços com objetivo de unificar essas normas. Para tanto a Comissão Internacional Eletrotécnica (IEC) vem desenvolvendo um trabalho junto aos países envolvidos nesse processo normativo, não somente para obter normas mais completas e aperfeiçoadas, mas também para prover meios para a internacionalização do mercado de instrumentação relativo a Termopares.

Como um dos participantes dessa comissão, o Brasil, por meio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), está também diretamente interessado no desdobramento desse assunto e tem adotado tais especificações como normas técnicas brasileiras.

## MEDIÇÃO DE TEMPERATURA COM TERMOPAR

Um Termopar consiste de dois condutores metálicos, de natureza distinta, na forma de metais puros ou de ligas homogêneas. Os fios são soldados em um extremo, ao qual se dá o nome de junta quente ou junta de medição. A outra extremidade dos fios é levada ao instrumento de medição de f.e.m. (força eletromotriz), fechando um circuito elétrico por onde flui a corrente.

O ponto no qual os fios que formam o Termopar conectam-se ao instrumento de medição é chamado de junta ou de referência.



O aquecimento da junção de dois metais gera o aparecimento de uma f.e.m. Esse princípio, conhecido por efeito Seebeck, propiciou a utilização de Termopares para a medição de temperatura. Nas aplicações práticas, o Termopar apresenta-se normalmente como na figura acima.

O sinal de f.e.m., gerado pelo gradiente de temperatura (DT) existente entre as juntas quentes e frias, será de um modo geral indicado, registrado ou transmitido.

## EFEITOS TERMOELÉTRICOS

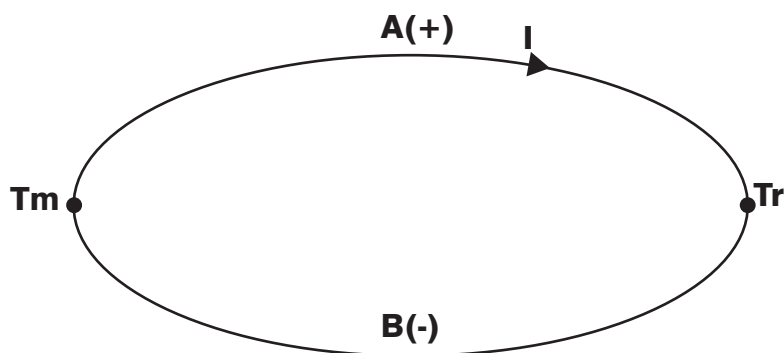
Quando dois metais ou semicondutores dissimilares são conectados e as junções mantidas a diferentes temperaturas, quatro fenômenos ocorrem simultaneamente: o efeito Seebeck, o efeito Peltier, o efeito Thomson e o efeito Volta.

A aplicação científica e tecnológica dos efeitos termoelétricos é muito importante e sua utilização, no futuro, é cada vez mais promissora. Os estudos das propriedades termoelétricas dos semicondutores e dos metais levam, na prática, à aplicação dos processos de medições na geração elétrica (bateria solar) e na produção de calor e frio. O controle de temperatura feito por pares termoelétricos é uma das importantes aplicações do efeito Seebeck.

Atualmente, busca-se o aproveitamento industrial do efeito Peltier em grande escala, para obtenção de calor ou frio no processo de climatização ambiente.

### EFEITO TERMOELÉTRICO DE SEEBECK

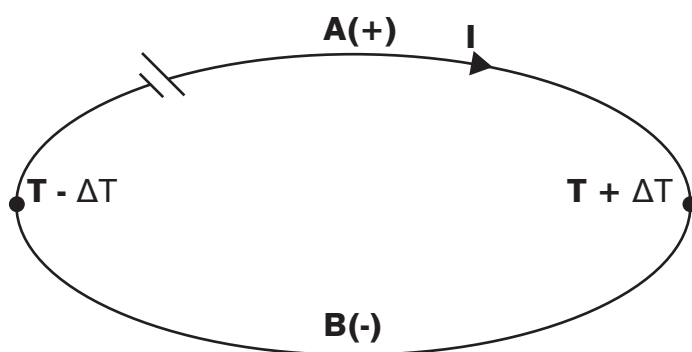
O fenômeno da termoelectricidade foi descoberto, em 1821, por T.J. Seebeck, quando ele notou que, em um circuito fechado, formado por dois condutores diferentes A e B, ocorre uma circulação de corrente enquanto existir uma diferença de temperatura  $DT$  entre as suas junções. Denominamos a junta de medição de  $T_m$ , e a outra, junta de referência de  $T_r$ . A existência de uma f.e.m. térmica  $AB$ , no circuito, é conhecida como efeito Seebeck. Quando a temperatura da junta de referência é mantida constante, verifica-se que a f.e.m. térmica é uma função da temperatura  $T_m$  da junção de teste. Este fato permite utilizar um par termoelétrico como um termômetro.



O efeito Seebeck se produz pelo fato de que os elétrons livres de um metal diferem de um condutor para o outro e dependem da temperatura. Quando dois condutores diferentes são conectados para formar duas junções e estas são mantidas a diferentes temperaturas, a difusão dos elétrons, nas junções, produz-se a ritmos diferentes.

### EFEITO TERMOELÉTRICO DE PELTIER

Em 1834, Peltier descobriu que, dado um par termoelétrico, com ambas as junções à mesma temperatura, se, mediante uma bateria exterior, produz-se uma corrente no Termopar, as temperaturas das junções variam em uma quantidade não inteiramente devida ao efeito Joule. Esta variação adicional de temperatura é o efeito Peltier. O efeito Peltier produz-se tanto pela corrente proporcionada por uma bateria exterior, como pelo próprio par termoelétrico.



O coeficiente Peltier depende da temperatura e dos metais que formam uma junção, sendo independente da temperatura da outra junção. O calor Peltier é reversível. Quando se inverte o sentido da corrente, permanecendo constante o seu valor, o calor Peltier é o mesmo, porém em sentido oposto.

### EFEITO TERMOELÉTRICO DE THOMSON

Em 1854, Thomson concluiu, por meio das leis da termodinâmica, que a condução de calor, ao longo dos fios metálicos de um par termoelétrico, que não transporta corrente, origina uma distribuição uniforme de temperatura em cada fio.

Quando existe corrente, modifica-se em cada fio a distribuição de temperatura, em uma quantidade não inteiramente devida ao efeito Joule. Essa variação adicional na distribuição da temperatura denomina-se efeito Thomson.

O efeito Thomson depende do metal de que é feito o fio e da temperatura média da pequena região considerada. Em certos metais, há absorção de calor quando uma corrente elétrica flui da parte fria para a parte quente do metal, e há geração de calor quando se inverte o sentido da corrente. Em outros metais, ocorre o oposto deste efeito, isto é, há liberação de calor quando uma corrente elétrica flui da parte quente para a parte fria do metal. Conclui-se que, com a circulação de corrente ao longo de um fio condutor, a distribuição de temperatura neste condutor será modificada, tanto pelo calor dissipado por efeito Joule, como pelo efeito Thomson.

### EFEITO TERMOELÉTRICO DE VOLTA

A experiência de Peltier pode ser explicada por meio do efeito Volta, cujo enunciado é: “Quando dois metais estão em contato em equilíbrio térmico e elétrico, existe entre eles uma diferença de potencial que pode ser da ordem de Volts”.

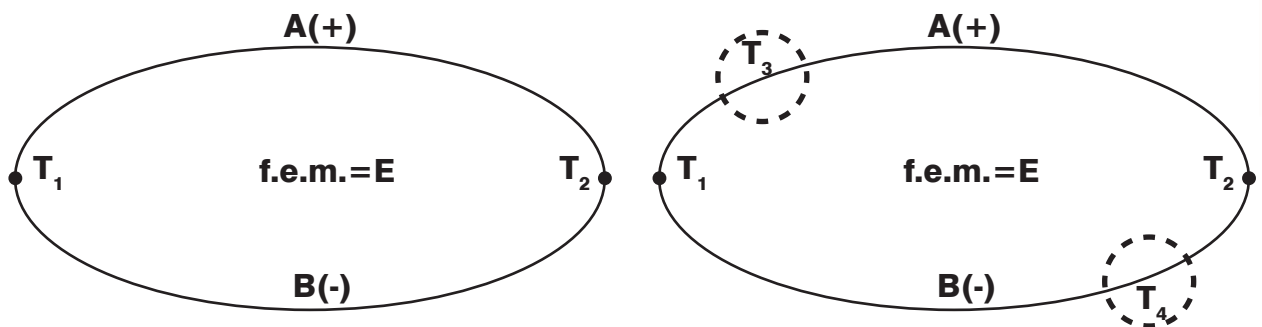
Essa diferença de potencial depende da temperatura e não pode ser medida diretamente.

### LEIS TERMOELÉTRICAS

Da descoberta dos efeitos termoelétricos partiu-se, por meio da aplicação dos princípios da termodinâmica, à enunciação das três leis que constituem a base da teoria termoelétrica, nas medições de temperatura, com Termopares. Portanto, fundamentados nesses efeitos e nessas leis, podemos compreender todos os fenômenos que ocorrem na medida de temperatura, com estes sensores.

## LEI DO CIRCUITO HOMOGÊNEO

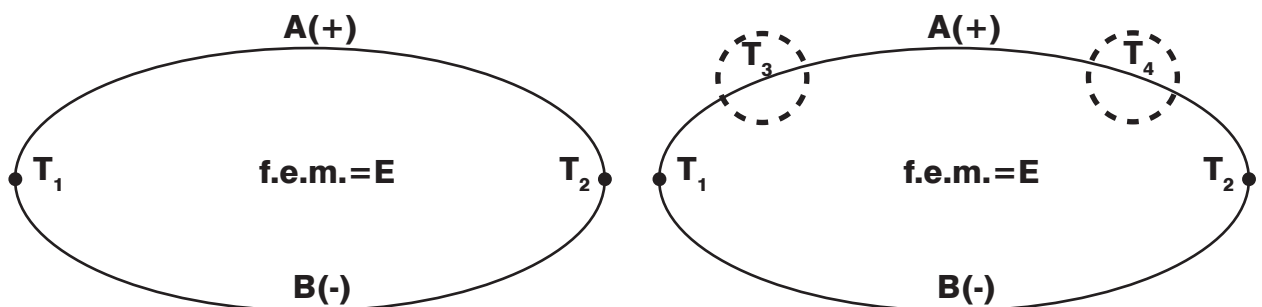
“A f.e.m. termal, desenvolvida em um circuito termoelétrico de dois metais diferentes, com suas junções às temperaturas  $T_1$  e  $T_2$ , é independente do gradiente de temperatura e de sua distribuição ao longo dos fios”. Em outras palavras, a f.e.m. medida depende única e exclusivamente da composição química dos dois metais e das temperaturas existentes nas junções.



Um exemplo de aplicação prática desta lei é que podemos ter uma grande variação de temperatura em um ponto qualquer, ao longo dos fios dos Termopares, que esta não influirá na f.e.m. produzida pela diferença de temperatura entre as juntas. Portanto, podem-se fazer medidas de temperatura em pontos bem definidos com os Termopares, pois o importante é a diferença de temperatura entre as juntas.

## LEI DOS METAIS INTERMEDIÁRIOS

“A soma algébrica das f.e.m. termais, em um circuito composto de um número qualquer de metais diferentes, é zero se todo o circuito estiver à mesma temperatura”. Deduz-se daí que, em um circuito termoelétrico, composto de dois metais diferentes, a f.e.m. produzida não será alterada, ao inserirmos, em qualquer ponto do circuito, um metal genérico, desde que as novas junções sejam mantidas a temperaturas iguais.



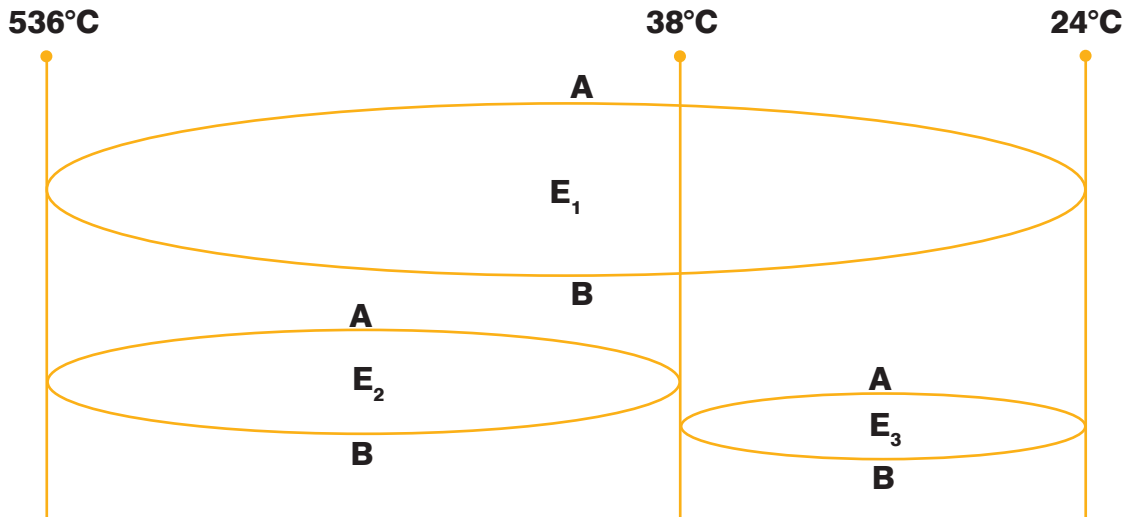
Onde conclui, então, que:

$$T_3 = T_4 \longrightarrow E_1 = E_2$$

$$T_3 = T_4 \longrightarrow E_1 = E_2$$

Um exemplo da aplicação prática dessa lei é a utilização de contatos de latão ou cobre, para interligação do Termopar ao cabo de extensão no cabeçote.

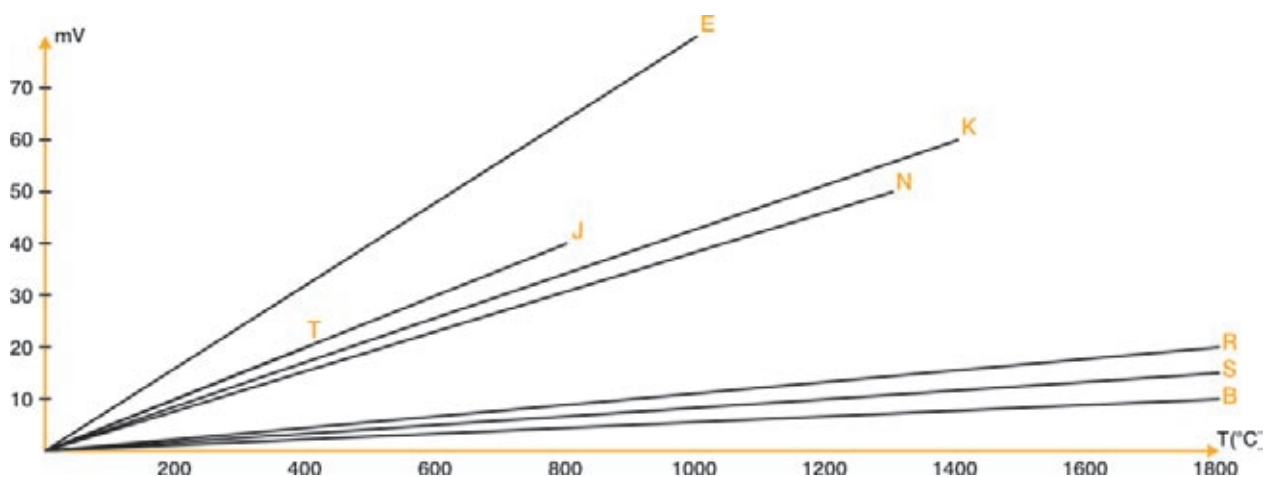
## LEI DAS TEMPERATURAS INTERMEDIÁRIAS



“A f.e.m. produzida em circuito termoelétrico de dois metais homogêneos e diferentes entre si, com as suas junções às temperaturas T1 e T3 respectivamente, é a soma algébrica da f.e.m. deste circuito, com as junções às temperaturas T1 e T2, e a f.e.m. deste mesmo circuito, com as junções às temperaturas T2 e T3”.  
Um exemplo prático da aplicação dessa lei é a compensação ou correção da temperatura ambiente pelo instrumento receptor de milivoltagem.

## CORRELAÇÃO DA F.E.M. EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Visto que a f.e.m. gerada em um Termopar depende da composição química dos condutores e da diferença de temperatura entre as juntas, a cada grau de variação de temperatura, podemos observar uma variação da f.e.m. gerada pelo Termopar, podemos construir uma tabela de correlação entre temperatura e a f.e.m.. Por uma questão prática, padronizou-se o levantamento destas curvas com a junta de referência à temperatura de 0°C.



As tabelas foram padronizadas por diversas normas internacionais e levantadas de acordo com a Escala Prática Internacional de Temperatura de 1968 (IPTS-68), recentemente atualizada pela ITS-90, para os Termopares mais utilizados.

A partir delas, podemos construir um gráfico, conforme a figura acima, em que está indicada a milivoltagem gerada em função da temperatura, para os Termopares, segundo a norma ANSI, com a junta de referência a 0°C.

## TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS TERMOPARES

Existem várias combinações de 2 metais condutores operando como termopares. As combinações de fios devem possuir uma relação razoavelmente linear entre temperatura e f.e.m.; devem desenvolver uma f.e.m. por grau de mudança de temperatura, que possa ser detectada pelos equipamentos normais de medição.

Foram desenvolvidas diversas combinações de pares de ligas metálicas, desde os mais corriqueiros, de uso industrial, até os mais sofisticados para o uso especial ou restrito a laboratório.

Essas combinações foram feitas de modo a se obter uma alta potência termoelétrica, aliando-se ainda as melhores características como homogeneidade dos fios e resistência a corrosão, na faixa de utilização. Assim cada tipo de Termopar tem uma faixa de temperatura ideal de trabalho, que deve ser respeitada, para que este tenha uma maior vida útil. Podemos dividir os Termopares em três grupos a saber: Termopares Básicos, Termopares Nobres e Termopares Especiais.

### TERMOPARES BÁSICOS

São assim chamados os termopares de maior uso industrial, cujos fios são de custo relativamente baixo e sua aplicação admite um limite de erro maior.

#### Tipo T

Nomenclaturas: T-adoptado pela Norma ANSI

CC-adoptado pela Norma JIS

Cu-Co

Cobre-Constantan

Liga: (+) Cobre-(99,9%)

(- ) Constantan-são as ligas de CuNi compreendidos no intervalo entre Cu (50%) e Cu (65%) Ni (35%). A composição mais utilizada para este tipo de Termopar é de Cu (58%) e Ni (42%).

Características:

Faixa de utilização: -200°C a 370°C

f.e.m. produzida: -5,603mV a 19,030mV

Aplicações: criometria (baixas temperaturas), indústrias de refrigeração, pesquisas agrônômicas e ambientais, química e petroquímica.

#### Tipo J

Nomenclatura: J-adoptado pela Norma ANSI

IC –adoptado pela Norma JIS

Fe-Co

Ferro-Constantan

Liga: (+) Ferro- (99,5%)

(-) Constantan-Cu (58%)e Ni (42%), normalmente se produz o ferro, a partir de sua característica casa-se o Constantan adequado.

Características:

Faixa de utilização: 0°C a 760°C

f.e.m. produzida: 0,0mV a 42,919mV

Aplicações: centrais de ener-

gia, metalúrgica, química, petroquímica, industriais em geral.

#### Tipo E

Nomenclatura: E-adoptado pela Norma ANSI

CE –adoptado pela Norma JIS

NiCr-CO

Liga: (+) Chromel-Ni(90%) e Cr (10%)

(-) Constantan- Cu (58%)e Ni (42%)

Características:

Faixa de utilização: -200°C a 870°C

f.e.m. produzida: -8,825mV a 66,473mV

Aplicações: química e petroquímica

#### Tipo K

Nomenclatura: K-adoptada pela Norma ANSI

CA –adoptado pela Norma JIS

Liga: (+) Chromel-Ni(90%) e Cr (10%)

(-) Alumel-Ni (95,4%), Mn (1,8%), Si (1,6%), Al (1,2%)

Características:

Faixa de utilização: -200°C a 1260°C

f.e.m. produzida: -5,891mV a 51,00mV

Aplicações: metalúrgica, siderúrgica, fundição, usina de cimento e cal, vidros, cerâmica, indústrias em geral.

## TERMOPARES NOBRES

---

São aqueles cujos pares são constituídos de platina. Embora possuam custo elevado e exijam instrumentos receptores de alta sensibilidade, devido à baixa potência termoelétrica, apresentam uma altíssima precisão, dada a homogeneidade e pureza dos fios dos Termopares.

### Tipo S

Nomenclatura: S-adotado pela Norma ANSI  
Pt Rh 10% - Pt

Liga: (+) Platina 90% Rhodio 10%

(-) Platina 100%

Características:

Faixa de utilização: 0°C a 1480°C

f.e.m. produzida: 0mV a 15,341mV

Aplicações: siderúrgicas, fundição, usina de cimento, cerâmica, vidro e pesquisa científica.

Observação: é utilizado em sensores descartáveis na faixa de 1200°C a 1768°C, para medição de metais líquidos em siderúrgicas e fundições.

### Tipo R

Nomenclatura: R-adotado pela Norma ANSI

Pt Rh 13% - Pt

Liga: (+) Platina 87% Rhodio 13%

(-) Platina 100%

Características:

Faixa de utilização: 0°C a 1480°C

f.e.m. produzida: 0mV a 17,169mV

Aplicações: as mesmas do tipo S.

### Tipo B

Nomenclatura: B-adotado pela Norma ANSI

Pt Rh 30% - Pt Rh 6%

Liga: (+) Platina 70% Rhodio 30%

(-) Platina 94% Rhodio 6%

Características:

Faixa de utilização: 870°C a 1700°C

f.e.m. produzida: 3,708mV a 12,433mV

Aplicações: vidro, siderúrgica, altas temperaturas em geral.

## TERMOPARES ESPECIAIS

---

Ao longo dos anos, os tipos de Termopares produzidos oferecem, cada qual, uma característica especial.

Porém, apresentam restrições de aplicação, que devem ser consideradas.

Novos tipos de Termopares foram desenvolvidos para atender as condições de processo em que os Termopares Básicos não podem ser utilizados.

Tungstênio – Rhênio – esses Termopares podem ser usados continuamente até 2300°C e por curto período até 2750°C.

Írídio 40% - Rhodio/Irídio – esses Termopares podem ser utilizados por períodos limitados até 2.000°C.

Platina – 40% Rhodio/Platina – 20% Rhodio – esses Termopares são utilizados em substituição ao tipo B que requer temperaturas um pouco mais elevadas. Podem ser usados continuamente até 1600°C e por curto período até 1800°C ou 1850°C.

Ouro – Ferro/Chromel – esses Termopares são desenvolvidos para

trabalhar em temperaturas criogênicas.

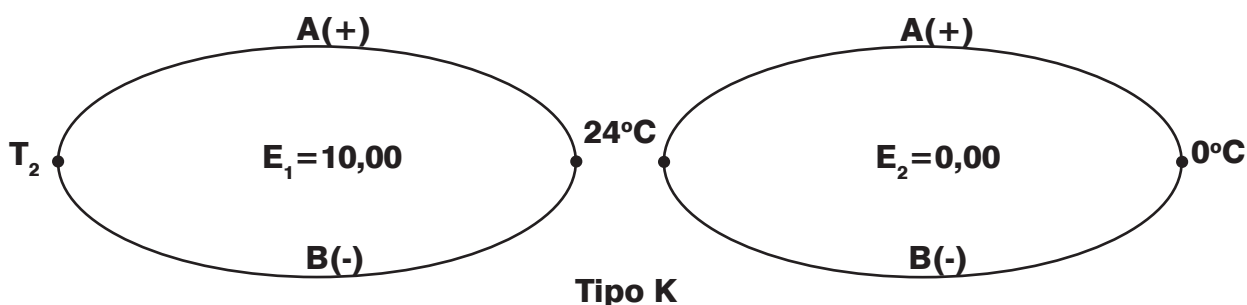
Nicrosil/Nisil – basicamente, este novo par termoelétrico é um substituto para o par tipo K, apresentando uma força eletromotriz um pouco menor em relação a este último.

## CORREÇÃO DA JUNTA DE REFERÊNCIA

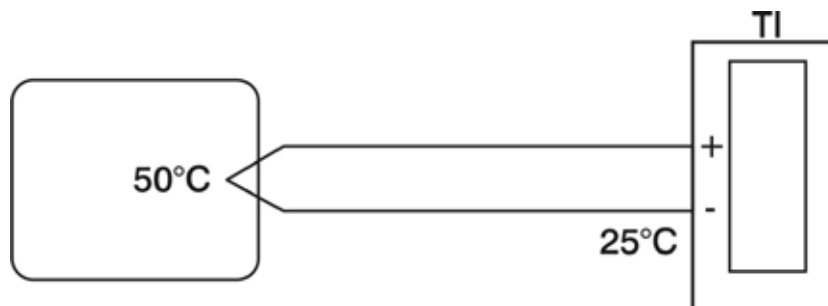
As tabelas existentes da f.e.m. gerada em função da temperatura para os Termopares, têm fixado a junta de referência a 0°C (ponto de solidificação da água), porém, nas aplicações práticas dos Termopares, junta de referência é considerada nos terminais do instrumento receptor e se encontra à temperatura ambiente que é normalmente diferente de 0°C e variável com o tempo, tornando, assim, necessário que se faça uma correção da junta, de forma automática ou manual.

Os instrumentos utilizados para medição de temperatura com Termopares costumam fazer a correção da junta de referência automaticamente, sendo um dos métodos utilizados a medição da temperatura nos terminais do instrumento, por meio de circuito eletrônico, que adiciona a milivoltagem que chega aos terminais, uma milivoltagem correspondente à diferença de temperatura de 0°C à temperatura ambiente.

Existem também alguns instrumentos em que a compensação da temperatura é fixa em 20°C ou 25°C. Neste caso, se a temperatura ambiente for diferente do valor fixo, o instrumento indicará a temperatura com um erro que será tanto maior quanto maior for a diferença de temperatura ambiente e do valor fixo.



É importante não esquecer que o Termopar mede realmente a diferença entre as temperaturas das junções. Então, para medirmos a temperatura do ponto desejado, precisamos manter a temperatura da junção de referência invariável.



$$\text{f.e.m.} = J_M - J_R$$

$$\text{f.e.m.} = 2,25 - 1,22$$

$$\text{f.e.m.} = 1,03\text{mV} \text{ —à } 20^\circ\text{C}$$

Esta temperatura, obtida pelo cálculo, está errada pois o valor da temperatura correta, que o meu termômetro tem que medir, é de 50°C.

$$\text{f.e.m.} = J_M - J_R$$

$$\text{f.e.m.} = 2,25 - 1,22$$

f.e.m. = 1,03mV + a mV corresponde à temperatura ambiente para fazer a compensação automática. Portanto:

$$\text{f.e.m.} = \text{mV}J_M - \text{mV}J_R + \text{mV}C_A \text{ (compensação automática)}$$

$$\text{f.e.m.} = 2,25 - 1,22 + 1,22$$

$$\text{f.e.m.} = 2,25 \text{ mV} \text{ —à } 50^\circ\text{C}$$

A leitura agora está correta, pois 2,25 mV correspondem a 50°C, que é a temperatura do processo.

Hoje em dia, a maioria dos instrumentos fazem a compensação da junta de referência automaticamente. A compensação da junta de referência pode ser feita manualmente. Pega-se o valor da mV, na tabela, correspondente à temperatura ambiente e acrescenta-se ao valor do mV lido por um milivoltímetro.

## FIOS DE COMPENSAÇÃO E EXTENSÃO

Na maioria das aplicações industriais de medição da temperatura, por meio de Termopares, o elemento sensor não se encontra junto ao instrumento receptor.

Nestas condições, torna-se necessário que o instrumento seja ligado ao Termopar, através de fios que possuam uma curva de força eletromotriz em função da temperatura similar àquela do Termopar, afim de que, no instrumento, possa ser efetuada a correção da junta de referência.

Definições:

1. Convenciona-se chamar de fios aqueles condutores constituídos por um eixo sólido e de cabos aqueles formados por um feixe de condutores de bitola menor, formando um condutor flexível.
2. Chama-se de fios ou cabos de extensão aqueles fabricados com as mesmas ligas dos Termopares a que se destinam. Exemplo: Tipo TX, JX, EX e KX.
3. Chama-se de fios ou cabos de compensação aqueles fabricados com ligas diferentes das dos Termopares a que se destinam, porém que forneçam, na faixa de utilização recomendada, uma curva da força eletromotriz em função da temperatura equivalente à desses Termopares. Exemplo: Tipo SX e BX.

Os fios e cabos de extensão e compensação são recomendados, na maioria dos casos, para utilização desde a temperatura ambiente até um limite máximo de 200°C.

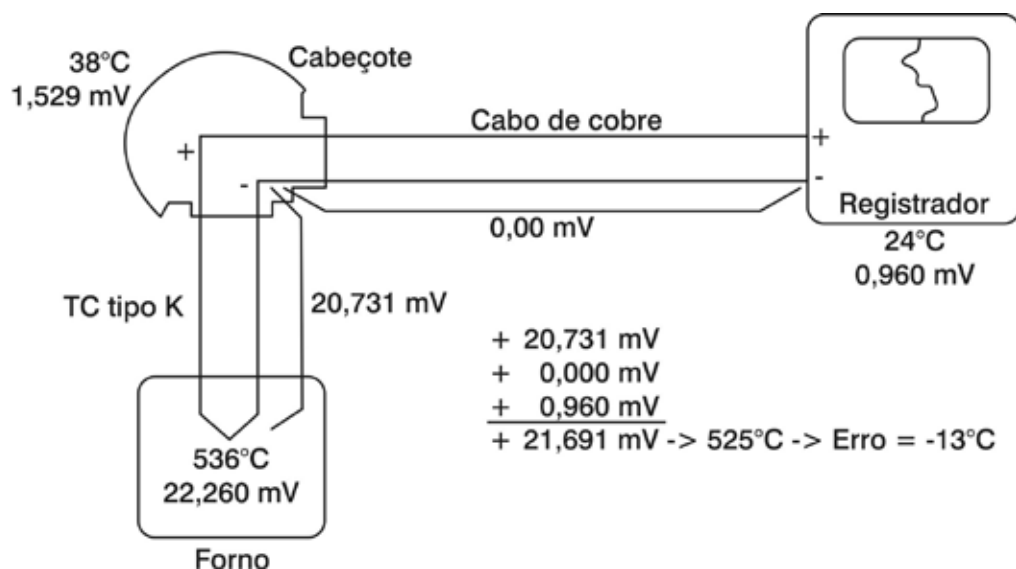
## ERROS DE LIGAÇÃO

Usando fios de cobre – geralmente, na aplicação industrial, é necessário que o Termopar e o instrumento encontrem-se relativamente afastados, por não convir que o aparelho esteja demasiadamente próximo ao local onde se mede a temperatura.

Nesta circunstância, deve-se processar a ligação entre os terminais do cabeçote e o aparelho, através de fios, de extensão ou compensação.

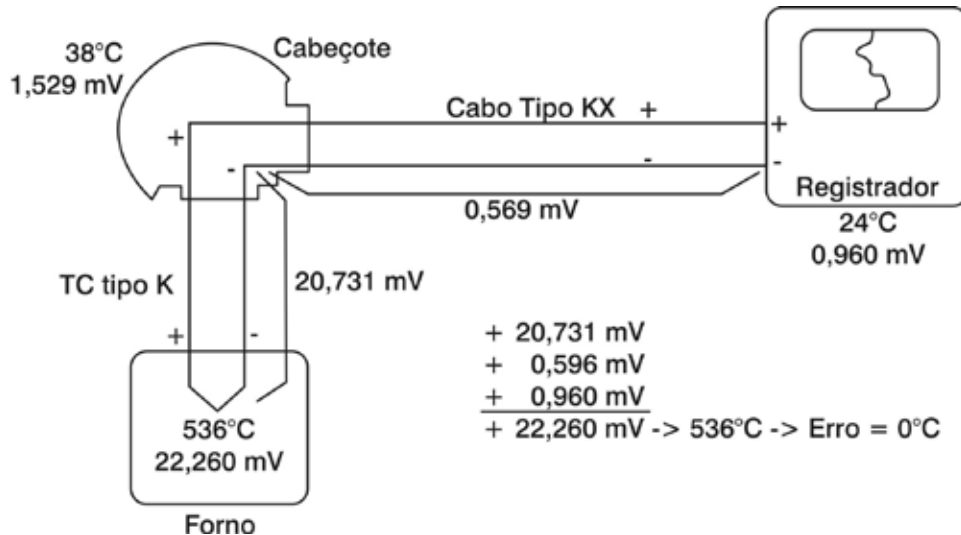
Tal procedimento é executado sem problema desde que o cabeçote, onde estão os terminais do Termopar e o registrador, esteja à mesma temperatura de medição.

Vejamos o que acontece quando esta norma não é obedecida.



Uma solução, normalmente usada, será a inserção de fios de compensação entre o cabeçote e o registrador. Estes fios de compensação, em síntese, nada mais são que outros Termopares, cuja função é compensar a queda da f.e.m., que aconteceu no caso estudado, ocasionada pela diferença de temperatura entre o cabeçote e o registrador.

Vejam os que acontece se, no exemplo anterior, ao invés de cobre usarmos um fio compensado. A figura mostra de que maneira se processa a instalação.

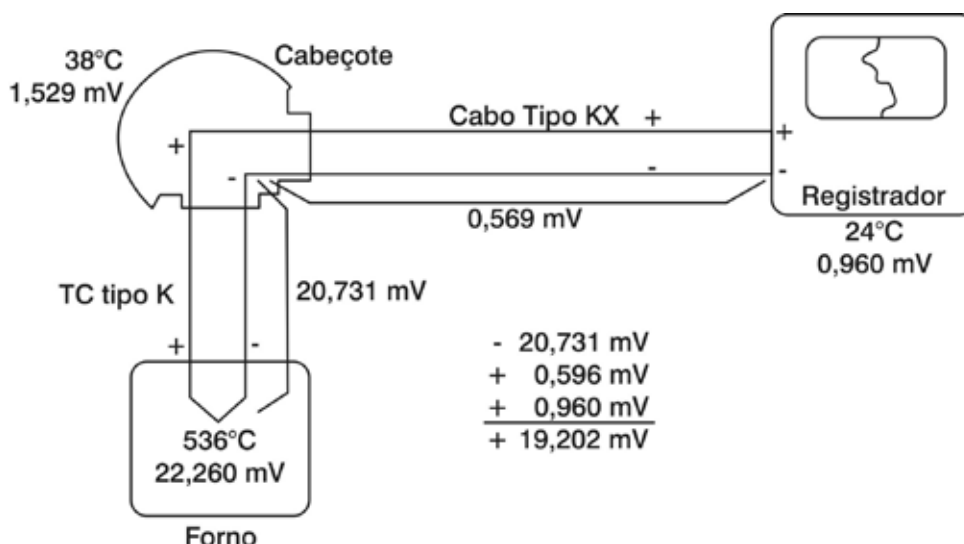


Como no caso acima, a f.e.m. efetiva no cabeçote é de 20,74 mV. Dele, até o registrador, são utilizados fios de extensão compensados, os quais adicionam à f.e.m. uma parcela igual a 0,57 mV, fazendo assim com que chegue ao registrador uma f.e.m. efetiva de 22,26 mV. Este valor corresponderá a temperatura real dentro do forno (538°C). A vantagem desta técnica provém do fato de que os fios de compensação, além de terem custo menor que dos fios do Termopar propriamente dito, também são mais resistentes.

## INVERSÃO SIMPLES

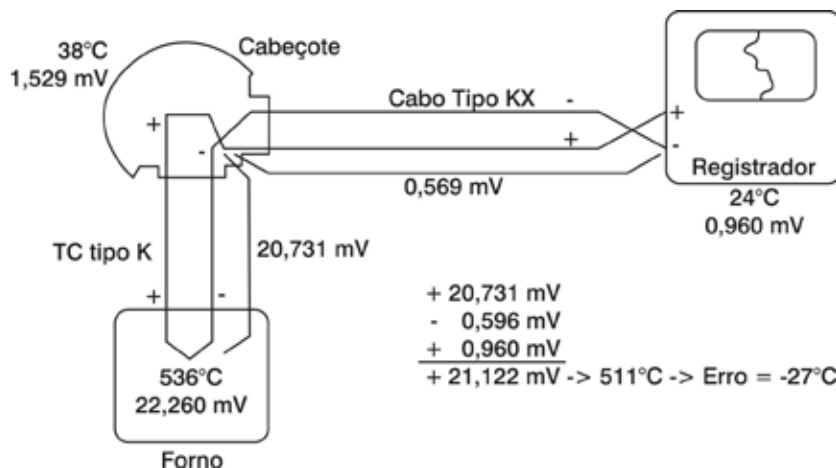
Conforme o esquema a seguir, os fios de compensação foram invertidos.

Assume-se que o forno esteja a 538°C, o cabeçote a 38°C e o registrador 24°C. Devido à diferença de temperatura entre o cabeçote e o registrador, será gerada uma f.e.m. de 0,57 mV. Porém em virtude da simples inversão, o fio positivo está ligado no borne negativo do registrador e vice-versa. Isto fará com que a f.e.m. produzida ao longo do circuito oponha-se àquela do circuito de compensação automática do registrador, fazendo com que este registrador indique uma temperatura negativa.



## INVERSÃO dupla

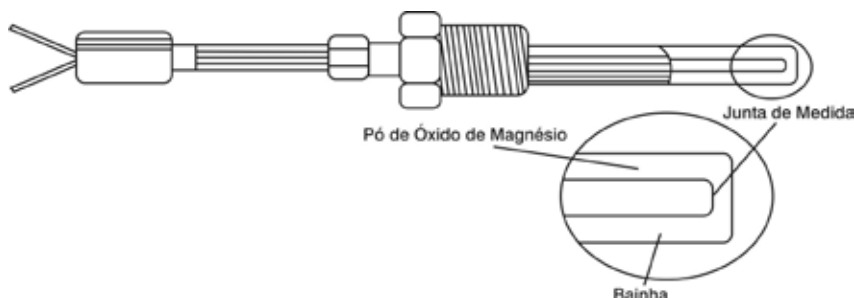
No caso a seguir, consideramos a existência de uma dupla inversão, isto acontece com freqüência, pois, quando uma simples inversão é constatada, é comum pensar que uma nova troca de ligação dos terminais compensará o erro. Porém, isto não acontece, e a única maneira de solucionar o problema será efetuar uma ligação correta.



## TERMOPAR DE ISOLAÇÃO MINERAL

O Termopar de Isolação Mineral é constituído de um ou dois pares termoelétricos, envolvidos por um pó isolante de óxido de magnésio, altamente compactado em uma bainha externa, metálica. Devido a esta construção, os condutores do par termoelétrico ficam totalmente protegidos contra a atmosfera exterior, conseqüentemente a durabilidade do Termopar depende da resistência à corrosão da sua bainha e não da resistência à corrosão dos condutores. Em função desta característica, a escolha do material da bainha é fator importante na especificação destes.

### Vantagens dos Termopares de Isolação Mineral



#### A - Estabilidade da Força Eletromotriz

A estabilidade da f.e.m. do Termopar é caracterizada em função de os condutores estarem completamente protegidos contra a ação de gases e contra condições ambientais, que normalmente causam oxidação e conseqüentemente perda da f.e.m. gerada.

#### B - Resistência Mecânica

O pó muito bem compactado, contido dentro da bainha metálica, mantém os condutores uniformemente posicionados, permitindo que o cabo seja dobrado, achatado, torcido ou

estirado, suporte pressões extremas e choque térmico, sem qualquer perda das propriedades termoelétricas.

#### C - Dimensão Reduzida

O processo de fabricação permite a produção de Termopares de Isolação Mineral, com bainhas de diâmetro extremo até 1,0mm, permitindo a medida de temperatura em locais que não eram anteriormente possíveis com Termopares Convencionais.

#### D - Impermeabilidade a Água, Óleo e Gás

A bainha metálica assegura a impermeabilidade do Termopar a água, óleo e gás.

#### E - Facilidade de Instalação

A maleabilidade do cabo, a sua pequena dimensão, ao longo comprimento e a grande resistência mecânica, asseguram facilidade de instalação, mesmo nas situações mais difíceis.

#### F - Adaptabilidade

A construção do Termopar de Isolação Mineral permite que o mesmo seja tratado como se fosse um condutor sólido. Em sua capa metálica, podem ser montados acessórios, por soldagem ou brasagem e, quando necessário, sua seção pode ser reduzida ou alterada em sua configuração.

#### G - Resposta Mais Rápida

A pequena massa e a alta condutividade térmica do pó de óxido de magnésio proporcionam ao

Termopar de Isolação Mineral um tempo de resposta que é virtualmente igual ao de um Termopar descoberto de dimensão equivalente.

#### H - Resistência à Corrosão

As bainhas podem ser selecionadas adequadamente para resistir ao ambiente corrosivo.

#### I - Resistência de Isolação Elevada

O Termopar de Isolação Mineral tem uma resistência de isolamento elevada, numa vasta gama de temperaturas, a qual pode ser mantida sob condições mais úmidas.

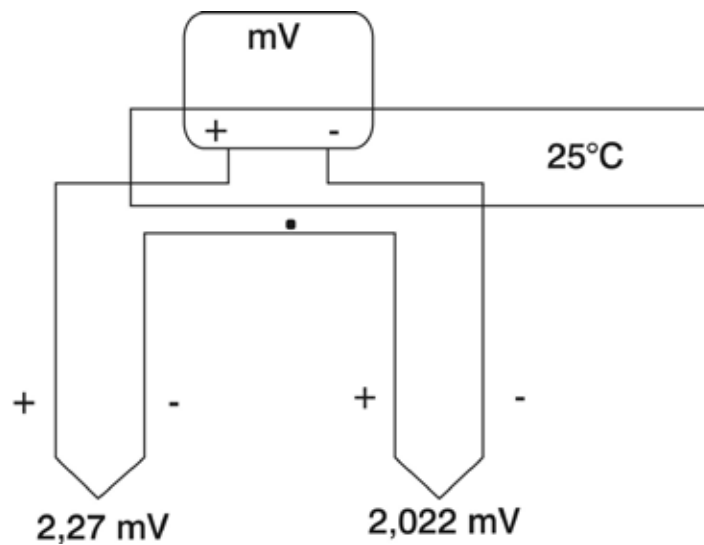
#### J - Blindagem Eletrostática

A bainha do Termopar de Isolação Mineral, devidamente aterrada, oferece uma perfeita blindagem eletrostática ao par termoelétrico.

---

#### Associação série

Podemos ligar os Termopares em série simples para obter a soma das mV individuais. É a chamada termopilha. Este tipo de ligação é muito utilizado em pirômetros de radiação total, ou seja, para soma de pequenas mV.



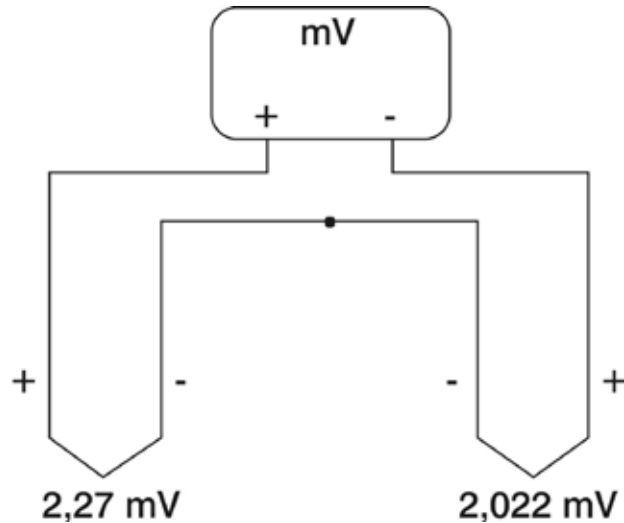
O instrumento de medição pode ou não compensar a mV da junta de referência. Se compensar, deverá compensar uma mV correspondente ao número de Termopares aplicados na associação.

Exemplo: 3 Termopares - à mVJR = 1mV compensa 3mV.

### Associação série – oposta

Para medir a diferença de temperatura entre dois pontos, ligamos os Termopares em série oposta. O que mede maior temperatura vai ligado ao positivo do instrumento. Os Termopares sempre são do mesmo tipo.

Exemplo: os Termopares estão medindo 56°C e 50°C, respectivamente, e a diferença será medida pelo milivoltímetro.



$$\text{f.e.m. } T = \text{f.e.m.}_2 - \text{f.e.m.}_1 \quad 56^\circ\text{C} = 2,27\text{mV}$$

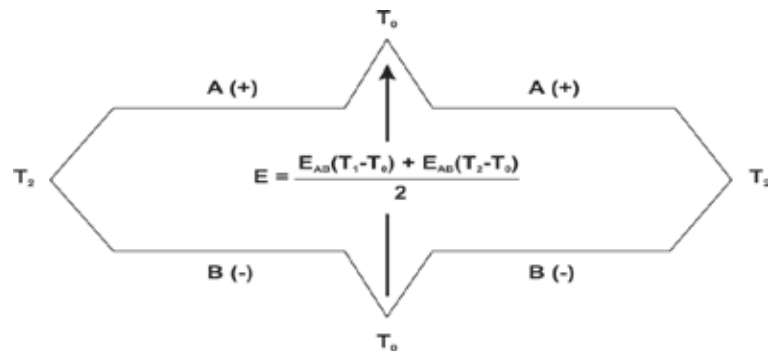
$$\text{f.e.m. } T = 2,27 - 2,022 \quad 50^\circ\text{C} = 2,022\text{mV}$$

$$\text{f.e.m. } = 0,248\text{mV} = 6^\circ\text{C}$$

Não é necessário compensar a temperatura ambiente desde que as juntas de referência estejam à mesma temperatura.

### Associação em paralelo

Ligando dois ou mais Termopares, em paralelo, a um mesmo instrumento, teremos a média das mV geradas nos diversos Termopares, se as resistências internas foram iguais.



# MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR TERMORESISTÊNCIAS

Os métodos de utilização de resistência para medição de temperatura iniciaram-se aproximadamente em 1835, com Faraday, porém, só houve condições de serem estas elaboradas, para utilização em processos industriais, a partir de 1925.

Esses sensores adquiriram espaço nos processos industriais por suas condições de alta estabilidade mecânica e térmica, de resistência à contaminação e de baixo índice de desvio pelo envelhecimento do tempo de uso.

Devido a estas características, esse sensor de padrão internacional para a medição de temperatura na faixa de  $-270^{\circ}\text{C}$  a  $660^{\circ}\text{C}$ , em seu modelo de laboratório.

## Princípio de funcionamento

Os bulbos de resistência são sensores que se baseiam no princípio de variação da resistência, em função da temperatura. Os materiais mais utilizados para a fabricação destes tipos de sensores são a platina, o cobre ou níquel, metais que apresentam as seguintes características de:

- Alta resistividade, permitindo assim melhor sensibilidade do sensor;
- Alto coeficiente de variação de resistência com a temperatura;
- Rigidez e ductilidade para ser transformado em fios finos;

A equação que rege o fenômeno é a seguinte:

Para faixa de  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ :

$$R_1 = R_0 \cdot [1 + A \cdot T + B \cdot T^2 + C \cdot T^3 \cdot (T - 100)]$$

Para faixa de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $850^{\circ}\text{C}$ :

$$R_1 = R_0 \cdot [1 + A \cdot T + B \cdot T^2]$$

Em que:

$R_1$  = resistência na temperatura T ( $\Omega$ )

$R_0$  = resistência a  $0^{\circ}\text{C}$  ( $\Omega$ )

T = temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

A, B, C = coeficiente inerentes do material empregado

$$A = 3,90802 \cdot 10^{-3}$$

$$B = -5,802 \cdot 10^{-7}$$

$$C = -4,2735 \cdot 10^{-12}$$

O número que expressa a variação de resistência em função da temperatura é chamado de alfa ( $\alpha$ ) e se relaciona da seguinte forma:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \cdot R_0}$$

Um valor típico de alfa para  $R_{100} = 138,50 \text{ } (\Omega)$  é de  $3,850 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega \cdot \Omega^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$  segundo a DIN-IEC 751/85.

## CONSTRUÇÃO FÍSICA DO SENSOR

O bulbo de resistência compõe-se de um filamento, ou resistência de Pt, Cu ou Ni, com diversos revestimentos, de acordo com cada tipo e utilização.

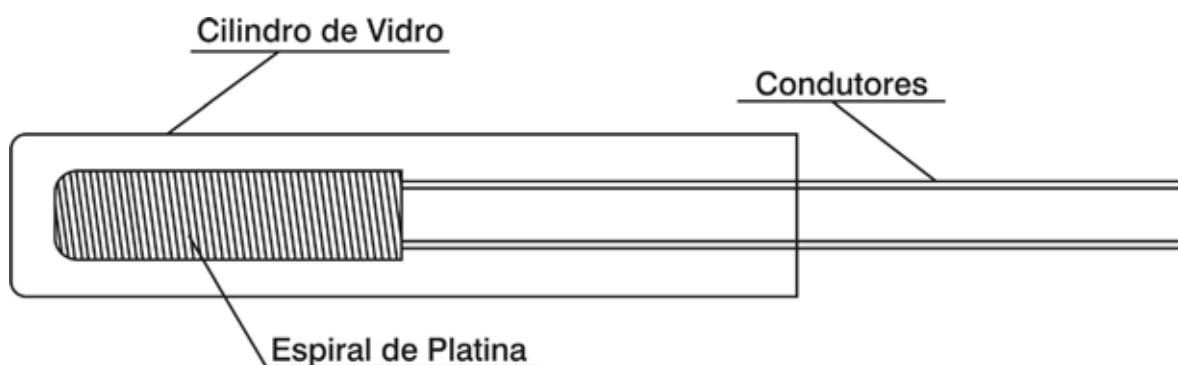
As termoresistências de Ni e Cu têm sua isolação normalmente em esmalte, seda, algodão ou fibra de vidro. Não existe necessidade de proteções mais resistentes à temperatura, pois acima de 300°C o níquel perde suas propriedades características de funcionamento, como termoresistências, e o cobre sofre problemas de oxidação em temperaturas acima de 310°C.

Os sensores de platina, devido a suas características, permitem um funcionamento até temperaturas mais elevadas e tem seu encapsulamento normalmente em cerâmica ou vidro. A este sensor são dispensados maiores cuidados da fabricação, pois, apesar da Pt não restringir o limite de temperatura de utilização, quando a mesma é utilizada em temperatura elevada, existe o risco de contaminação dos fios.

Para utilização como termômetro padrão, os sensores de platina são completamente desapoitados do corpo de proteção. A separação é feita por isoladores, espaçadores de mica, conforme desenho abaixo. Esta montagem não tem problemas relativos à dilatação, porém é extremamente frágil.

Os medidores parcialmente apoiados têm seus fios introduzidos numa peça de alumina de alta pureza com fixador vítreo. É um meio termo entre resistência a vibração e dilatação térmica.

A versão completamente apoiada pode suportar vibrações muito mais fortes, porém sua faixa de utilização fica limitada a temperaturas mais baixas, devido à dilatação dos componentes.



Na montagem tipo Isolação Mineral, tem-se o sensor montado em tubo metálico com uma extremidade fechada e preenchido todos os espaços com oxido de magnésio, permitindo uma boa troca térmica e protegendo o sensor de choques mecânicos. A ligação do bulbo é feita com fios de cobre, prata ou níquel isolados entre si, sendo a extremidade aberta, selada com resina epóxi, vedando o sensor do ambiente em que vai atuar.

Este tipo de montagem permite a redução do diâmetro e apresenta rápida velocidade de resposta.

Vantagens:

- Possue maior precisão dentro da faixa de utilização do que outros tipos de sensores.
- Com ligação adequada não existe limitação para a distância de operação.
- Dispensa utilização de fiação especial para ligação.
- Se adequadamente protegido, permite utilização em qualquer ambiente.
- Tem boas características de reprodutibilidade.
- Em alguns casos substitui o Termopar com grande vantagem.

Desvantagens:

- É mais caro do que os sensores utilizados nessa mesma faixa.
- Deteriora-se com mais facilidade, caso haja excesso na sua temperatura máxima de utilização.
- Temperatura máxima de utilização 630°C.

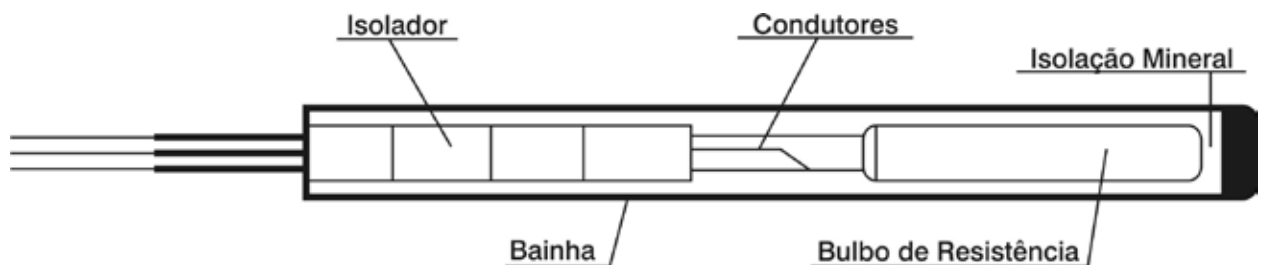
- d) É necessário que todo o corpo do bulbo esteja com a temperatura equilibrada para indicar corretamente.
- e) Alto tempo de resposta.

#### Características da Termoresistências de platina

As Termoresistências Pt-100 são as mais utilizadas industrialmente, devido a sua grande estabilidade, larga faixa de utilização e alta precisão. Devido a alta estabilidade das Termoresistências de platina, as mesmas são utilizadas como padrão de temperatura na faixa de  $-270^{\circ}\text{C}$  a  $660^{\circ}\text{C}$ . A estabilidade é um fator de grande importância na indústria, pois é a capacidade do sensor manter e reproduzir suas características (resistência – temperatura) dentro da faixa especificadas de operação. Outro fator importante num sensor Pt 100 é a repetibilidade, que é a característica de confiabilidade da Termoresistências. Repetibilidade deve ser medida com leitura de temperaturas consecutivas, verificando-se a variação encontrada quando de medição novamente na mesma temperatura.

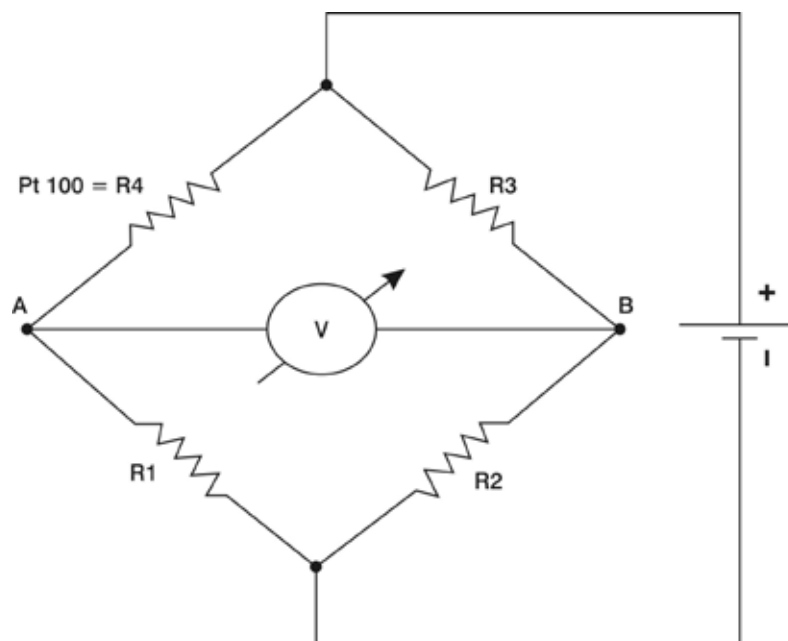
O tempo de resposta é importante em aplicações onde a temperatura do meio em que se realiza a medição está sujeito a mudanças bruscas.

Considera-se constante de tempo como tempo necessário para o sensor reagir a uma mudança de temperatura e atingir 63,2% da variação da temperatura.



### Princípio de medição

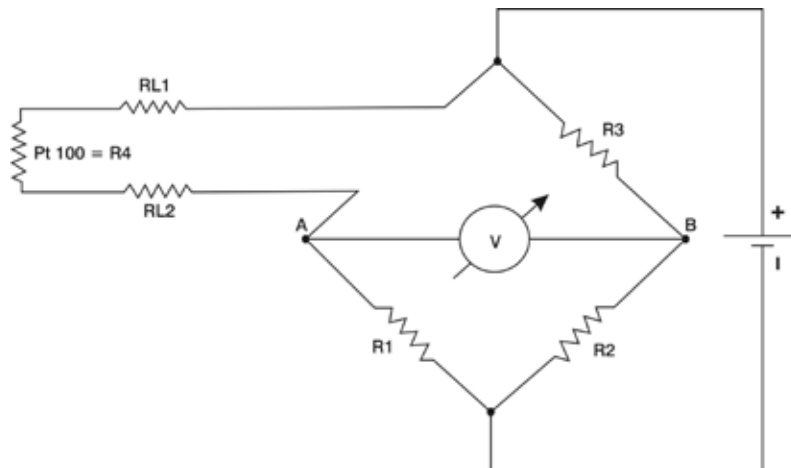
As Termoresistências são normalmente ligadas a um circuito de medição tipo Ponte de Wheatstone, sendo que o circuito, encontra-se balanceado quando é respeitada a relação  $R_4.R_2 = R_3.R_1$  e desta forma não circula corrente pelo detetor de nulo, pois se esta relação é verdadeira, os potenciais nos pontos A e B são idênticos. Para utilização deste circuito como instrumento de medida de Termoresistências, teremos as seguintes configurações:



## Ligação a 2 fios

Como se vê na figura, dois condutores de resistência relativamente baixa  $RL1$  e  $RL2$  são usados para ligar o sensor Pt-100 ( $R4$ ) à ponte do instrumento de medição.

Nesta disposição, a resistência  $R4$  compreende a resistência da Pt-100 mais a resistência dos condutores  $RL1$  e  $RL2$ . Isto significa que os fios  $RL1$  e  $RL2$  a menos que sejam de muito baixa resistência, podem aumentar apreciavelmente a resistência do sensor.



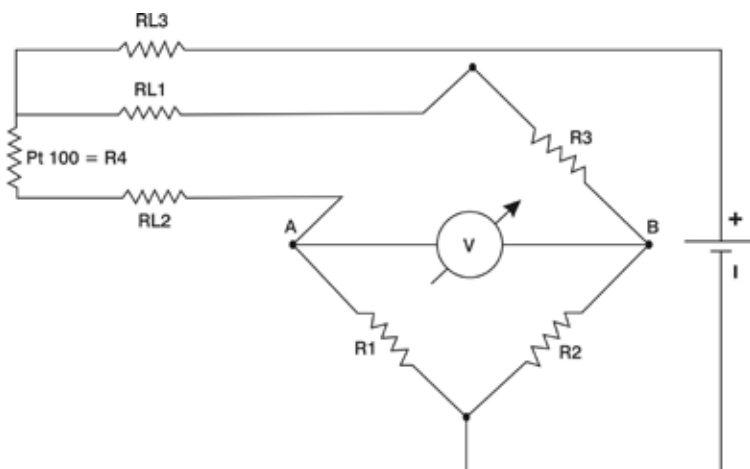
Tal disposição resultará em erro na leitura da temperatura, a menos que algum tipo de compensação ou ajuste dos fios do sensor de modo a equilibrar esta diferença de resistência. Deve-se notar que, embora a resistência dos fios não se altere em função do tamanho dos fios uma vez já instalado, os mesmos estão sujeitos às variações da temperatura ambiente, o que introduz uma outra possível fonte de erro na medição.

O método de ligação a dois fios, somente deve ser usado quando o sensor estiver a uma distância de aproximadamente 3 metros.

Concluindo, neste tipo de medição a 2 fios, sempre que a temperatura ambiente ao longo dos fios de ligação variar, a leitura de temperatura do medidor introduzirá um erro, devido a variação da resistência de linha.

## Ligação a 3 fios

Este é o método mais utilizado para Termoresistências na indústria. Neste circuito, a configuração elétrica é um pouco diferente, fazendo com que a alimentação fique o mais próximo possível do sensor, permitindo que a  $RL1$  passe para o outro braço da ponte, balanceando o circuito. Na ligação a 2 fios, as resistências de linha estavam em série com o sensor, agora na ligação a 3 fios elas estão separadas.



Nesta situação, tem-se a tensão  $EAB$ , variando linearmente em função da temperatura da PT-100 e independente da variação da temperatura ambiente ao longo dos fios de ligação. Este tipo de ligação, garante relativa precisão mesmo com grandes distâncias entre elemento sensor e circuito de medição.