



Coordenação Geral de Acreditação

**VERSÃO BRASILEIRA DO DOCUMENTO
EURAMET cg-11 Versão 2.0 (03/2011)
ORIENTAÇÕES PARA A CALIBRAÇÃO DE INDICADORES
E SIMULADORES DE TEMPERATURA POR SIMULAÇÃO
E MEDIÇÃO ELÉTRICA**

Documento de caráter orientativo

DOC-CGCRE-050

Revisão 01 - JUN/2022



SUMÁRIO

1 Objetivo

2 Campo de Aplicação

3 Responsabilidade

4 Histórico das Revisões

5 Documentos Complementares

6 Siglas

Anexo A - Versão Brasileira do Documento - Euramet Cg-11 Versão 2.0 (03/2011) - Orientações para a Calibração de Indicadores e Simuladores de Temperatura por Simulação e Medição Elétrica

Anexo B - Exemplo de um Balanço de Incerteza

1 OBJETIVO

Este documento é a tradução do documento internacional (Anexo A) e contém aplicações sobre os requisitos da acreditação. Caso o laboratório siga estas orientações, atende os respectivos requisitos; caso contrário, o laboratório deverá demonstrar como é assegurado o seu atendimento. As não conformidades constatadas numa avaliação serão registradas contra o requisito da acreditação e não contra este documento orientativo, porém as orientações deste documento serão consideradas pelos avaliadores e especialistas.

Este documento foi elaborado para melhorar a equivalência, e o reconhecimento mútuo, dos resultados de calibração obtidos por laboratórios que realizam calibrações de indicadores de temperatura e simuladores por simulação e medição elétrica.

2 CAMPO DE APLICAÇÃO

Este documento aplica-se à Dicla, aos Laboratórios de Calibração acreditados e postulantes à acreditação na área de temperatura e aos avaliadores da Cgcre e especialistas nesta área.

3 RESPONSABILIDADE

A responsabilidade pela revisão desta Norma é da Dicla.

4 HISTÓRICO DAS REVISÕES

Revisão	Data	Itens revisados
0	Out/2013	- Documento inicial da Cgcre.
1	Jun/2022	- Atualizado o cabeçalho para atender à Nie-Cgcre-020 - Incluídos os capítulos 1 a 6 para atender ao padrão de Doq da Cgcre.



5 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

EA-4/01	Requisitos relativos aos certificados emitidos por laboratórios de calibração acreditados
EA-4/02:2021	Expressão da Incerteza de Medição em Calibração
EN IEC 60584-1:1995	Thermocouples EMF specifications and tolerances
EN IEC 60584-3:1989	Thermocouples - Part 3: Extension and compensating cables - Tolerances and identification system
EURAMET cg-11 Versão 2.0	Orientações para a Calibração de Indicadores e Simuladores de Temperatura por Simulação e Medição Elétrica
IEC EN 584-3:1989	
ISO Guia GUM:2008	Guia para a expressão da incerteza de medição
VIM	Portaria Inmetro Nº 232 de 08/05/2012 - 1ª edição luso-brasileira do Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)

6 SIGLAS

BIPM	Bureau Internacional de Pesos e Medidas
Cgcre	Coordenação Geral de Acreditação
CJR	Compensação da junção de referência
Dicla	Divisão de Acreditação de Laboratórios
EA	<i>European Accreditation (Acreditação Europeia)</i>
EIT	Escala Internacional de Temperatura
<i>Euramet</i>	<i>European Association of National Metrology (Associação Europeia de Metrologia Nacional)</i>
<i>IEC</i>	<i>International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional)</i>
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization (Organização Internacional para Normalização)</i>
Vim	Vocabulário Internacional de Metrologia



ANEXO A

VERSÃO BRASILEIRA DO DOCUMENTO EURAMET cg-11 Versão 2.0 (03/2011) ORIENTAÇÕES PARA A CALIBRAÇÃO DE INDICADORES E SIMULADORES DE TEMPERATURA POR SIMULAÇÃO E MEDIÇÃO ELÉTRICA

Autoria e Impressão

Este documento foi desenvolvido pelo EURAMET e.V., Comitê Técnico de Termometria.

2ª versão Março de 2011

1ª versão Julho 2007

EURAMET e.V.
Bundesallee 100
D-38116 Braunschweig
Germany

e-mail: secretariat@euramet.org

Fone: +49 531 592 1960

Língua oficial

A versão definitiva desta publicação é a versão em inglês. A secretaria da EURAMET pode dar autorização para a tradução deste texto em outras línguas, baseada em certas condições disponíveis mediante solicitação. Em caso de inconsistência entre os termos da tradução e os termos deste documento, este documento prevalecerá.

Direitos autorais

Os direitos autorais deste documento (EURAMET cg-13, versão 2.0 – Versão inglesa) pertencem à © EURAMET e.V. 2010. O texto não pode ser copiado para venda e somente pode ser reproduzido completo. Os extratos somente podem ser retirados com a permissão da Secretaria da EURAMET.
ISBN 978-3-942992-08-4

Publicação de orientação

Este documento fornece orientação em práticas de medição nos campos específicos das medições. Aplicando as recomendações apresentadas neste documento, os laboratórios podem produzir resultados de calibração reconhecidos e aceitos em toda Europa. As abordagens usadas não são obrigatórias e têm a finalidade de orientar os laboratórios de calibração. O documento foi produzido como um meio de promover uma abordagem consistente às boas práticas de medição, conduzindo e apoiando a acreditação de laboratórios.

Este guia pode ser usado por terceiras partes, por exemplo: organismos nacionais de acreditação, testemunhas de medições em avaliações de pares etc., e somente como referência. Se o guia for adotado como parte de um requisito para tais partes, deverá ser unicamente para aplicação e a secretaria da EURAMET deve ser informada dessa adoção.

Mediante solicitação, a EURAMET pode envolver terceiras partes em consulta das partes interessadas quando houver planos de revisão deste guia. Registre-se para essa finalidade na secretaria da EURAMET.



Não é feita qualquer representação nem é dada garantia de que este documento, ou as informações nele contidas, seja adequado a fins particulares. Em nenhum evento poderão a Euramet, os autores ou qualquer pessoa envolvida na criação deste documento ser responsabilizados por qualquer dano, seja qual for, advindo do uso das informações aqui contidas. As partes que usarem o guia deverão indenizar a EURAMET de acordo.

Informação adicional

Para informação adicional sobre esta publicação, contate a pessoa de contato do seu país no Comitê Técnico EURAMET para Termometria. (veja www.euramet.org).

A.1 ESCOPO

A.1.1 Este guia é aplicável à calibração por simulação elétrica e medição de indicadores de temperatura e simuladores de temperatura para uso com termômetros de resistência ou termopares padronizados, e de simuladores destinados a simular as saídas elétricas de termômetros de resistência ou termopares padronizados. Os indicadores e simuladores para termopares podem ou não ter compensação da junção de referência.

A.1.2 Sob condições normais de utilização, os indicadores de temperatura são usados em conjunto com um sensor de temperatura, a fim de medir temperatura. A calibração por simulação elétrica, tal como descrito no presente documento, somente verifica a exatidão do indicador de temperatura. Não leva em consideração o desempenho metrológico de qualquer sensor de temperatura utilizado posteriormente com o indicador.

A.1.3 O usuário deve assegurar que tanto o indicador quanto o sensor tenham sido calibrados, quer separadamente quer como um sistema, a fim de realizar medições de temperatura rastreáveis. Do mesmo modo, além da calibração elétrica de simuladores de temperatura descritas neste documento, quaisquer termopares utilizados em conjunto com um simulador de temperatura também devem ser calibrados numa faixa de temperatura apropriada, antes de serem conectados ao instrumento simulador em calibração.

A.2 TERMINOLOGIA

A.2.1 A definição de termos gerais metrológicos utilizados neste documento encontra-se no Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM Segunda Edição, 1993 ISBN 92-6701075-1 © International Organization for Standardization, 1993).

A.2.2 Simulação: nesta aplicação, a simulação é o processo de substituição de um sensor de temperatura (termopar ou termômetro de resistência) por um dispositivo elétrico equivalente, a fim de calibrar um indicador de temperatura.

A.2.3 Indicador de temperatura: dispositivo de indicação normalmente utilizado em conjunto com um sensor de temperatura, para medição de temperatura. O dispositivo indica, em unidades de temperatura, o valor derivado da medição de um parâmetro de entrada dependente da temperatura, tal como a resistência ou fem térmica. A conversão do parâmetro elétrico para unidades de temperatura é normalmente baseada em tabelas de referência padronizadas.



A.2.4 Simulador de temperatura: fonte de sinais elétricos cuja saída, para um dado valor configurado, corresponde à saída de um sensor de temperatura, a uma temperatura igual ao valor configurado no simulador. Os valores configurados no simulador de temperatura são geralmente dados em unidades de temperatura. Um único simulador de temperatura pode ter opções de simular a saída de vários tipos de sensores de temperatura. A relação entre o valor configurado no simulador e sua saída elétrica é normalmente baseada em tabelas de referência padronizadas. Simuladores de temperatura muitas vezes também fornecem indicação direta para os sinais elétricos de saída.

A.2.5 Tabelas de referência padronizadas: tabelas de referência padronizadas fornecem valores tabelados e relações polinomiais para a conversão de tensão ou resistência para a temperatura equivalente e vice-versa, para termopares e termômetros de resistência especificados.

A.2.6 Termômetro de resistência: resistor sensível à temperatura com uma relação funcional conhecida entre a sua resistência e a temperatura detectada. Um tipo comum de termômetro de resistência é o termômetro de resistência de platina com valor nominal de resistência a 0 °C de 100 Ω (PT IEC 60751: 1996).

A.2.7 Medição de resistência a dois fios: medição obtida quando a resistência está ligada ao instrumento de medição de resistência por meio de dois fios condutores. A indicação do instrumento de medição inclui a resistência dos fios de ligação e as resistências de contato.

A.2.8 Medição de resistência a três fios: técnica de medição através da qual a resistência fica ligada ao instrumento de medição, utilizando-se três fios. O instrumento possui três terminais de medição, dois dos quais ligados a um ponto comum na resistência medida. Essa técnica é utilizada para compensar a resistência dos condutores.

A.2.9 Medição de resistência a quatro fios: técnica de medição em que quatro fios são utilizados para conectar o resistor ao instrumento de medição. O instrumento está equipado com dois pares de terminais. Um par (denominado terminal de corrente) fornece a corrente de excitação, enquanto o outro par (denominado terminal de tensão) mede a diferença de potencial no resistor. A indicação do instrumento de medição é definida pelos pontos de ligação dos fios de tensão no resistor. As resistências dos condutores e as resistências de contato são eliminadas na medição.

A.2.10 Termopar (EN IEC 60584-1:1995): par de condutores de materiais dissimilares unidos em uma das extremidades constituindo um circuito que utiliza o efeito termoelétrico para a medição de temperatura.

A.2.11 Efeito termoelétrico (efeito Seebeck) (EN IEC 60584-1:1995): geração de uma força eletromotriz (E) devido à diferença de temperatura entre duas junções de metais ou ligas diferentes, que fazem parte do mesmo circuito.

A.2.12 Cabos de compensação (IEC EN 584-3:1989): cabos de compensação são fabricados a partir de condutores com uma composição diferente daquela do termopar correspondente, mas com propriedades termoelétricas semelhantes.

A.2.13 Cabos de extensão (EN IEC 60584-3:1989): cabos de extensão são fabricados a partir de condutores com a mesma composição nominal do termopar correspondente.

A.2.14 Junção de medição ou junta quente (EN IEC 60584-1:1995): junção que é submetida à temperatura a ser medida.

A.2.15 Junção de referência ou junta fria (EN IEC 60584-1:1995): junção do termopar que se encontra em uma temperatura conhecida (de referência), à qual a temperatura de medição é comparada.



A.2.16 Ponto do gelo: a temperatura realizada no equilíbrio entre gelo e água (0 °C). Essa temperatura pode ser realizada utilizando-se os procedimentos adequados (Técnicas de aproximação da Escala de Temperatura Internacional de 1990-BIPM - 1990) dentro de ± 5 mK.

A.3 PRINCÍPIOS DE CALIBRAÇÃO

A.3.1 Calibração do indicador de temperatura

A.3.1.1 O indicador de temperatura opera através da conversão do sinal elétrico recebido de um sensor com indicação equivalente em unidades de temperatura. O princípio de calibração é baseado na realização desse processo de conversão por simulação/substituição da saída do sensor, por meio de estímulos elétricos apropriados.

A.3.1.2 No procedimento de calibração, uma fonte elétrica calibrada substitui o sensor de temperatura. Utilizando-se as tabelas de referência padronizadas, determina-se a saída elétrica do sensor de temperatura no ponto de calibração desejado e a saída da fonte elétrica configurada para este nível. Esse sinal elétrico é aplicado ao indicador de temperatura e a leitura do indicador comparada com a temperatura de entrada simulada, permitindo determinar o erro de indicação do indicador de temperatura.

A.3.2 Calibração de simulador de temperatura

A.3.2.1 Um simulador de temperatura opera através da conversão do valor escolhido em unidades de temperatura para um sinal elétrico equivalente ao que seria produzido por um sensor padronizado a essa temperatura. O princípio de calibração é baseado na realização do processo de conversão através da medição direta do sinal elétrico produzido pelo simulador. Essa conversão é realizada de acordo com as tabelas de referência padronizadas apropriadas.

A.3.2.2 No procedimento de calibração, o simulador é configurado para o ponto de calibração desejado. A saída elétrica produzida pelo simulador para esse valor de temperatura é medida com um instrumento de medição elétrica calibrado. O valor medido é convertido na temperatura equivalente, utilizando-se as tabelas de referência, e o erro de indicação do simulador é determinado.

A.3.3 Compensação da Junção de Referência

A.3.3.1 A conversão do indicador ou simulador é comparada com as tabelas de referência padronizadas de fem-temperatura ou resistência-temperatura. As tabelas de referência para os diversos tipos de termopares consideram a temperatura da junção de referência em 0 °C, geralmente citada como a temperatura da junta fria. Os indicadores e simuladores são frequentemente equipados com compensação da junção de referência (CJR), para levar em consideração este fato. Uma junção de referência e fios do termopar são utilizados, adicionalmente à instrumentação elétrica, para calibrar indicadores ou simuladores equipados com a função CJR.

A.4 REQUISITOS DE CALIBRAÇÃO

Os requisitos de calibração dependem do tipo de indicador ou simulador em calibração. A tabela, figuras e parágrafos a seguir fornecem orientação adicional. Para cada função (indicador e simulador), e para cada sensor possível e configurações selecionadas, a tabela lista os padrões de referência comumente utilizados, as configurações de medição e os correspondentes requisitos técnicos. Embora os métodos de calibração abaixo sejam adequados, não devem ser considerados como únicos. Outros métodos podem ser utilizados, desde que tenham sido demonstrados como metrologicamente seguros.



Tipo de Instrumento	Tipo de Sensor	Padrão de Referência	Configuração da medição	ver parágrafo
Indicador	Termômetro de Resistência	Resistor padrão ou década resistiva	ver Fig. 1	4.1, 4.2 e 4.3
Indicador	Termopar (sem CJR)	Fonte de tensão (corrente contínua-CC)	ver Fig. 2	4.1, 4.3 e 4.9
Indicador	Termopar (com CJR)	Fonte de tensão (corrente contínua-CC) Termopar Ponto do gelo	ver Fig. 3	4.1, 4.4, 4.5, 4.6, 4.8 e 4.9
Simulador	Termômetro de Resistência	Ohmímetro	ver Fig. 4	4.1, 4.3, e 4.7
Simulador	Termopar (sem CJR)	Voltímetro CC (corrente contínua)	ver Fig. 5	4.1, 4.3 e 4.9
Simulador	Termopar (com CJR)	Voltímetro CC Termopar Ponto do gelo	ver Fig. 6	4.1, 4.4, 4.5, 4.6, 4.8 e 4.9

A.4.1 Os padrões de referência utilizados nessas calibrações devem ser calibrados e caracterizados para os efeitos das grandezas de influência, sobre a faixa de medição aplicável.

A.4.2 O método de conexão do resistor de referência ao indicador dependerá do uso com sensores de resistência de platina ligados a dois, três ou quatro fios. A Fig. 1 mostra o caso em que o indicador e o resistor de referência são dispositivos de quatro terminais. Os efeitos dos fios condutores e influências de condições ambientais devem ser corrigidos e/ou incluídos no balanço de incerteza.

A.4.3 As conexões devem ser efetuadas com cabo de cobre de boa qualidade.

A.4.4 Existem várias maneiras de se realizar a temperatura da junção de referência com exatidão. Uma delas é instalar a junção de referência do termopar em um meio com uma temperatura muito estável e bem definida. Por exemplo: um ponto de gelo físico, preparado de acordo com o procedimento proposto em "Técnicas de aproximação da EIT-90", proporcionará uma temperatura estável de 0 °C, com uma estimativa de incerteza típica menor que 10 mK. Alternativamente, pode ser utilizado um bloco de cobre grande e bem isolado à temperatura ambiente, desde que a temperatura do bloco seja medida utilizando-se um termômetro padrão externo. Uma alternativa para a realização física da temperatura de referência é a utilização de um dispositivo automático de junção de referência, que é um circuito eletrônico de compensação. Tal dispositivo também deve ser calibrado antes da utilização.

A.4.5 Fios ou cabos de extensão de termopar (deve-se evitar o uso de cabos de compensação no lugar de fios ou cabos de extensão) são usados para conectar o indicador ou simulador à junção de referência externa. Os cabos ou fios devem ser calibrados numa faixa de temperatura adequada, próxima à temperatura normal do laboratório. As correções para esses elementos serão consideradas no processo de medição ou estimativa da incerteza. A escolha dos fios ou cabos de extensão de termopar depende do tipo de termopar considerado. Um método para calibrar fios de extensão de termopar (ou cabos de extensão) é a confecção de um termopar com esses fios e sua calibração, utilizando-se os procedimentos normais acreditados. Durante a calibração subsequente de um indicador e simulador de temperatura, os fios do termopar serão usados ao longo em um intervalo de temperatura limitado (de 0 °C à temperatura dos terminais). Assim sendo, a calibração dos fios termopar deve ser realizada dentro desse intervalo de temperatura.

A.4.6 Deve ser observada a correta polaridade nas conexões de termopares.

A.4.7 O método de conexão do ohmímetro de referência ao simulador dependerá de a saída do simulador estar configurada para simular termômetros de resistência de platina ligados a dois, três ou quatro fios. A Fig. 4 mostra o caso em que o simulador e o ohmímetro de referência são dispositivos de quatro terminais.

A.4.8 Deve ser dada atenção à isolamento elétrico do termopar de referência.

A.4.9 Devem ser tomadas precauções para eliminar ou minimizar os efeitos de fems espúrias no circuito de medição.

Figura 1 – Indicador para uso com termômetro de resistência

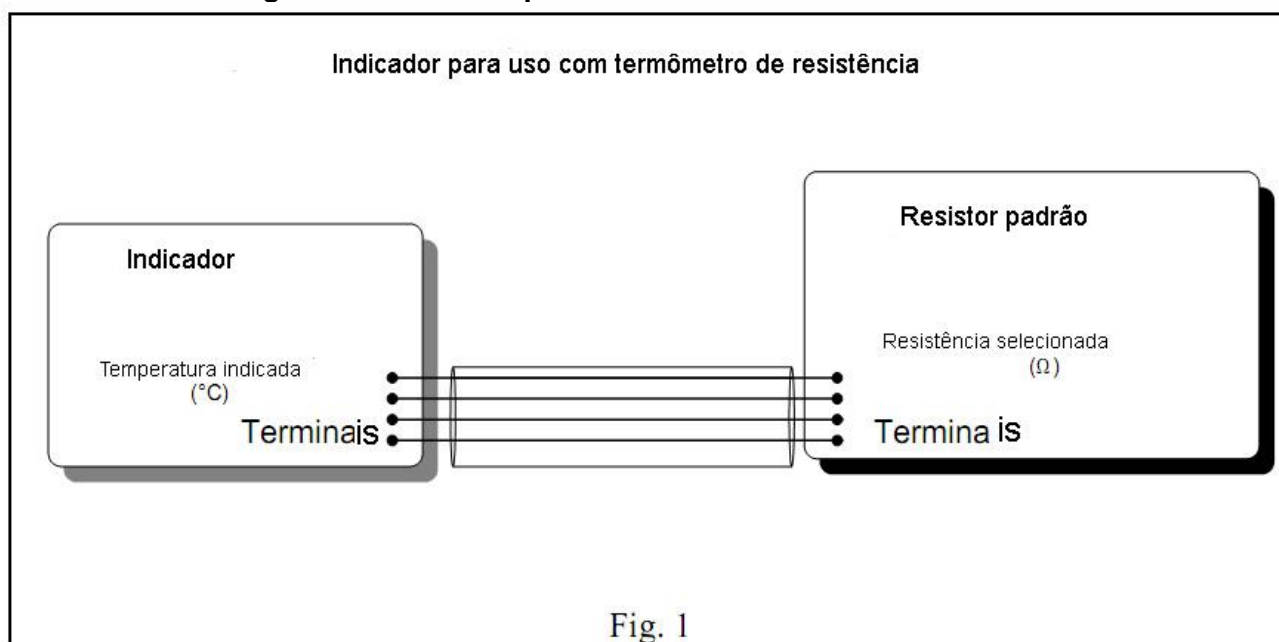


Figura 2 – Indicador para uso com termopar (sem compensação da junção de referência)

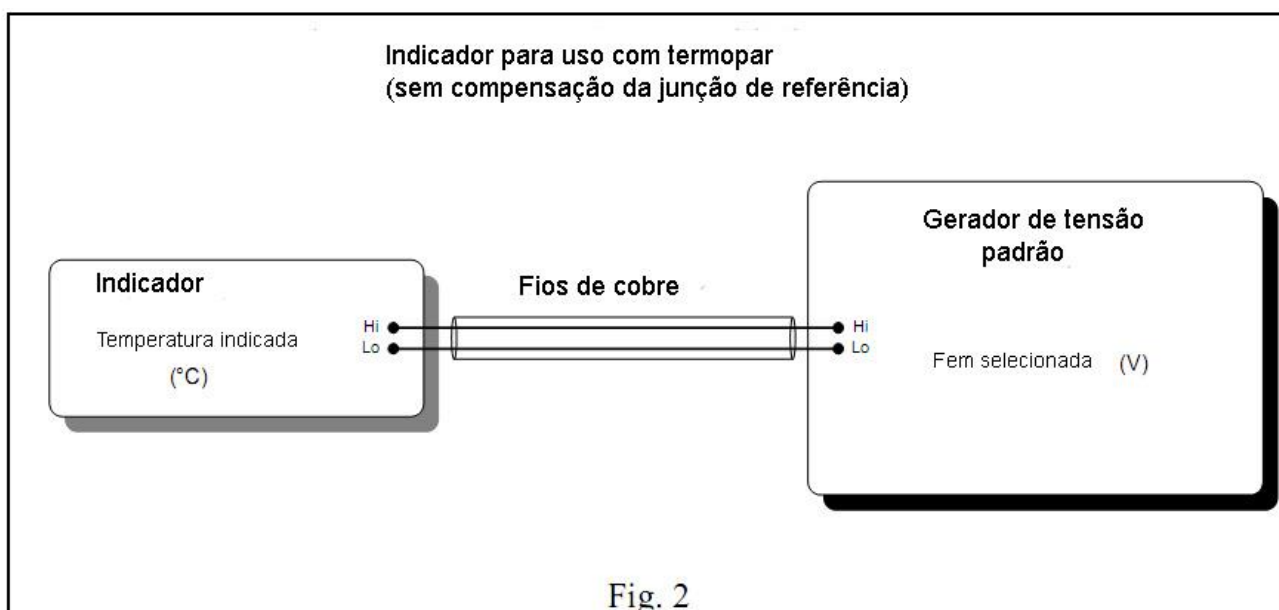


Figura 3 – Indicador para uso com termopar (com compensação da junção de referência)

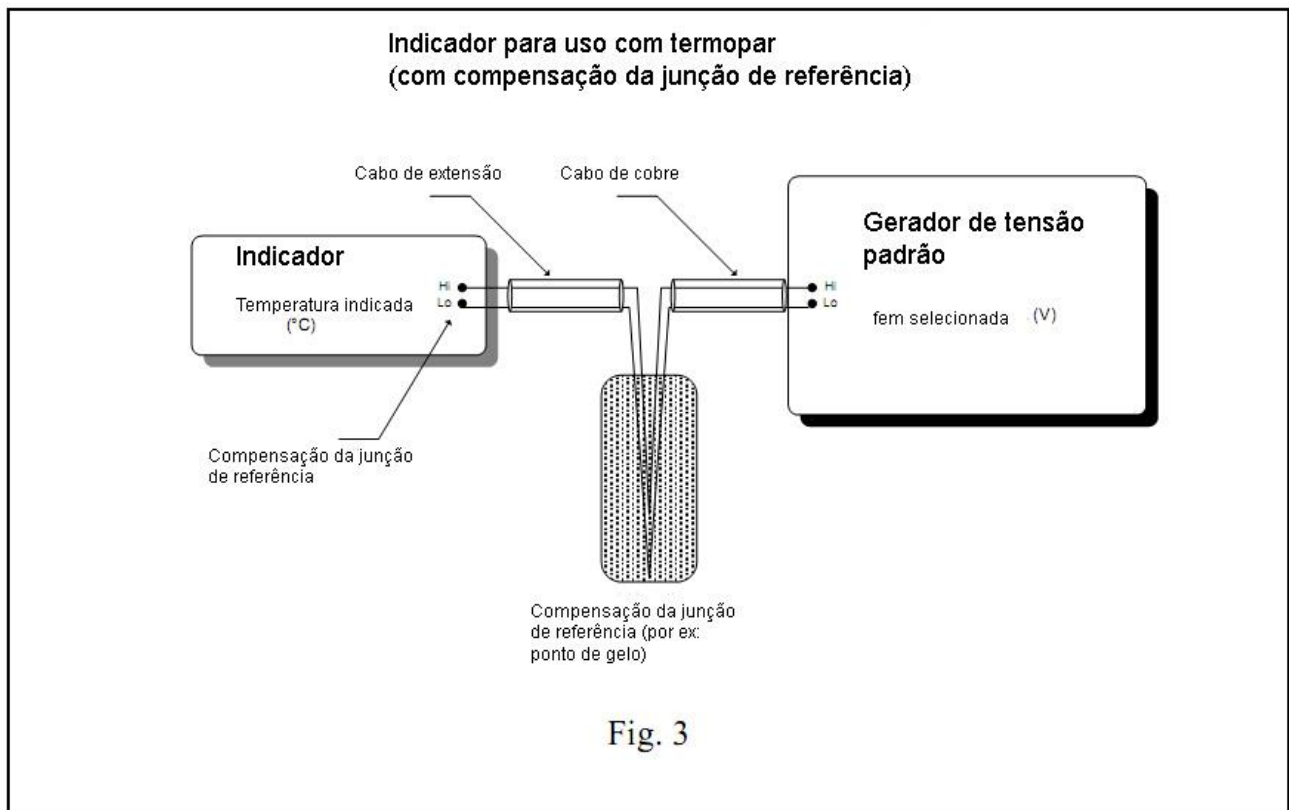


Figura 4 – Simulador para uso com indicador de termômetro de resistência

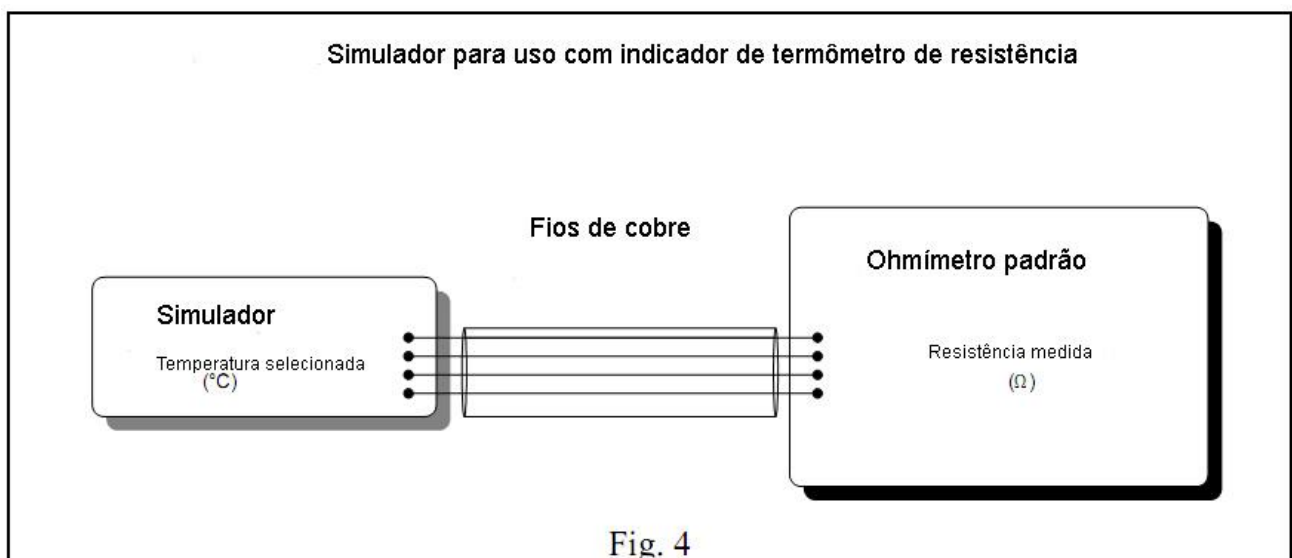


Figura 5 – Simulador para uso com indicador de termopar (sem compensação da junção de referência)

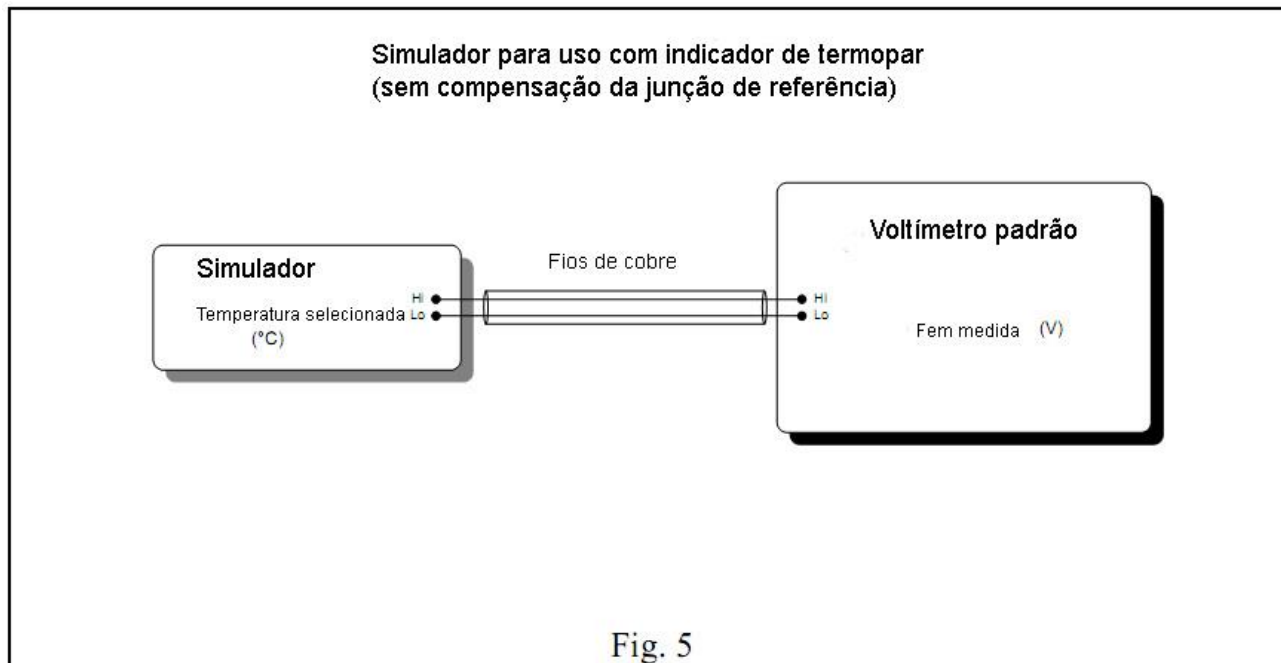
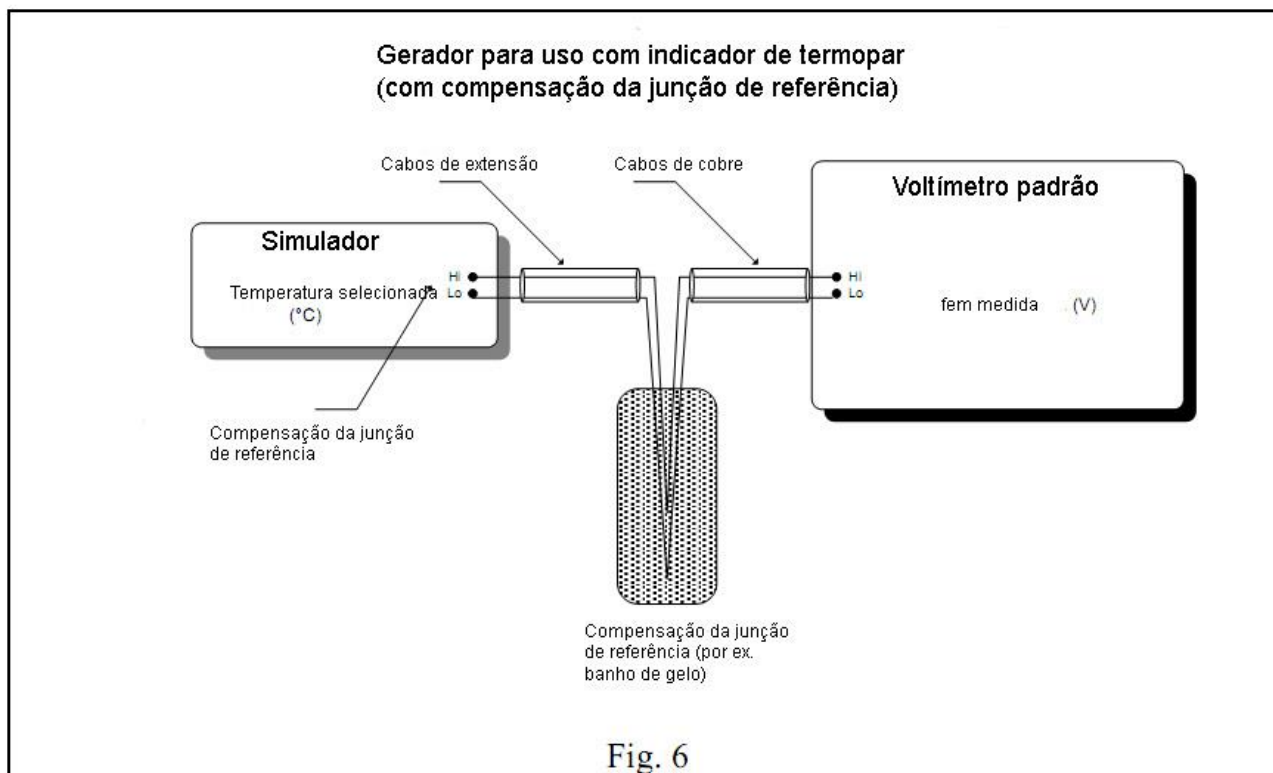


Figura 6 – Gerador para uso com indicador de termopar (com compensação da junção de referência)





A.5 INCERTEZAS

A.5.1 Todas as incertezas devem ser calculadas de acordo com o "Guia para a expressão da incerteza de medição" (ISO Guia) e o EA-4/02 "Expressão da Incerteza de Medição em Calibração".

A.5.1.1 Se o componente for equivalente a um desvio padrão (incerteza padrão), este componente será utilizado diretamente no balanço de incertezas.

Para a determinação da incerteza padrão combinada, assume-se que todos os componentes são independentes (não correlacionados). A incerteza padrão combinada u_c é calculada como segue:

$$u_c = [\sum u_i^2]^{1/2}$$

A.5.1.2 A incerteza expandida é obtida multiplicando-se a incerteza padrão combinada por um fator de abrangência apropriado (k), de modo a se obter uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.

A.5.1.3 O Anexo B fornece um exemplo de análise de incerteza para a calibração de indicadores destinados ao uso com termopares tipo S, com compensação da junção de referência.

A.6 RELATO DOS RESULTADOS

A.6.0.1 O conteúdo do certificado deve cumprir os requisitos do documento EA-4/01 "Requisitos relativos aos certificados emitidos por laboratórios de calibração acreditados". Além dos requisitos gerais constantes EA-4/01, devem ser fornecidas informações adicionais sobre os resultados de calibração, conforme descrito nos parágrafos seguintes.

A.6.1 A escala de temperatura usada para expressar os valores de temperatura no certificado de calibração deve estar claramente indicada. Deve-se utilizar preferencialmente a Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90). Quando solicitado pelo cliente o uso de uma outra escala de temperatura, devem ser estabelecidas claramente as implicações e os desenvolvimentos relevantes à tabela de referência aplicável.

A.6.2 No caso de indicadores de temperatura, os resultados de calibração devem relatar a temperatura equivalente ao estímulo elétrico em cada ponto de medição, conforme determinado a partir da tabela de referência e da indicação correspondente em temperatura.

Para simuladores de temperatura, devem ser relatados o valor configurado no simulador e a temperatura correspondente ao sinal de saída elétrico medidos em cada ponto de medição, conforme determinado a partir da tabela de referência. Deve estar claramente expresso no certificado que a calibração foi realizada por medição ou simulação elétrica, ao invés da realização ou medição das temperaturas físicas. A seguinte frase pode ser acrescentada de forma apropriada no certificado: "A calibração do indicador foi realizada por simulação de sensor utilizando-se somente padrões elétricos", ou: "A calibração do simulador foi realizada utilizando-se somente padrões de medição elétricos".

A.6.3 Devem estar indicadas no certificado as tabelas de referência padronizadas utilizadas para converter os sinais elétricos em valores de temperatura, juntamente com a respectiva referência e o número da revisão.



A.6.4 No caso de instrumentos capazes de medir ou simular vários tipos diferentes de sensores de temperatura, o certificado deve identificar claramente quais são os tipos de sensores abrangidos pela calibração. Deve ser previamente acordado com o cliente o número de tipos de sensores abrangidos pela calibração e a faixa de temperatura na qual cada tipo de sensor será calibrado.

A.6.5 Para os instrumentos que possuem uma função CJR selecionável, os resultados de calibração podem ser relatados para apenas uma configuração do instrumento (isto é, com o recurso CJR habilitado ou desativado), como para ambas as configurações. A configuração correspondente aos resultados de calibração deve estar claramente indicada. As incertezas de calibração constantes no certificado serão diferentes dependendo da configuração do CJR usada. Por exemplo, as seguintes frases podem ser acrescentadas: "Os resultados fornecidos da calibração foram determinados com a compensação da junção referência interna habilitada"; "A incerteza de calibração declarada considera componentes decorrentes do processo de simulação utilizado para calibrar o indicador de temperatura"; ou: "Os resultados relatados da calibração foram determinados com a compensação de junção de referência interna desativada e só são válidos quando o indicador de temperatura for usado com um sistema de compensação da junção referência externo."

**ANEXO B****EXEMPLO DE UM BALANÇO DE INCERTEZA****Indicadores destinados para uso com termopares tipo S com compensação de junção fria****B.1 Procedimento de medição**

O indicador de temperatura em calibração é equipado com a função de compensação da junção de referência. O procedimento de calibração usado segue o método informado no capítulo 4, Fig. 3. A fonte de tensão está na validade de calibração e calibrações anteriores têm mostrado que se pode confiar na exatidão especificada pelo fabricante.

Os fios de extensão de termopar de referência utilizados para a compensação externa da junção de referência foram calibrados na faixa de temperaturas de 18 °C a 40 °C. A temperatura ambiente registrada durante a calibração do indicador de temperatura foi de 23 °C ± 1 °C. O indicador de temperatura em calibração destina-se ao uso com termopar tipo S e possui um mostrador digital com resolução de 0,1 °C.

B.2 Resultados da medição

Temperatura de calibração	Valor equivalente na fonte de μV (*)	Indicação do indicador de temperatura
1000 °C	9587,1 μV	999,8 °C

(*) O valor equivalente da fonte de tensão foi determinado utilizando-se a tabela de referência padronizada para o termopar do tipo S, à temperatura de calibração. A fem equivalente foi corrigida levando-se em conta a correção dos fios termopar padrão à temperatura dos terminais do indicador.

B.3 Modelo de medição

A grandeza de interesse na calibração é a correção a ser aplicada à indicação (t_i) no mostrador do indicador, quando a junção de medição de um termopar padronizado (cuja junção de referência esteja ligada aos terminais de entrada do indicador) está na temperatura de calibração t' .

$$c = t' - (t_i + \delta t_i) \quad (1)$$

onde

δt_i é o desvio possível devido à resolução finita do indicador de temperatura sob calibração. Tal termopar padronizado irá gerar uma fem nos terminais de entrada do indicador de:

$$V = E(0\text{ °C}, t') - E(0\text{ °C}, t'') \quad (2)$$

onde t'' é a temperatura dos terminais do indicador e E representa os valores de fem indicados nas tabelas padronizadas para as temperaturas t' e t'' .

Na presente calibração, substituiu-se a entrada termopar pela fem produzida pela fonte de tensão e dispositivo de junção de referência. Assim, temos:



$$V = V_X + \delta V_{X2} + \delta V_{X3} + \delta V_P - [E(0^\circ\text{C}, t'') + \delta E_{c1}(0^\circ\text{C}, t'') + \delta E_{c2}(0^\circ\text{C}, t'')] + \delta t_{T3} \cdot S_0 \quad (3)$$

onde

V_X	é a fem fornecida pela fonte de tensão no ponto X;
δV_{X2}	é a correção para a saída da fonte de tensão no ponto X, tal como determinado na sua última calibração;
δV_{X3}	é a correção para a saída da fonte de tensão no ponto X devido a fatores de influência, tais como deriva temporal, temperatura ambiente e variações da fonte de tensão;
δV_P	é a correção devido a tensões parasitas no circuito de medição (termoelétrica, de modo comum, magnética);
$E(0^\circ\text{C}, t'')$	é a fem equivalente de acordo com a tabela de referência padronizada, à temperatura t'' .
$\delta E_{c1}(0^\circ\text{C}, t'')$	é o erro dos fios de extensão de termopar à temperatura t'' , conforme determinado na sua última calibração;
$\delta E_{c2}(0^\circ\text{C}, t'')$	é o erro dos fios de extensão de termopar, devido à deriva desde a última calibração;
δt_{T3}	é o erro em 0°C da temperatura da junção de referência;
S_0	é o coeficiente Seebeck para o termopar tipo S a 0°C .

Igualando (2) e (3) encontra-se a fórmula para a fem $E(0^\circ\text{C}, t')$.

$$E(0^\circ\text{C}, t') = V_X + \delta V_{X2} + \delta V_{X3} + \delta V_P - [\delta E_{c1}(0^\circ\text{C}, t'') + \delta E_{c2}(0^\circ\text{C}, t'')] + \delta t_{T3} \cdot S_0 \quad (4)$$

$$t' = P [E(0^\circ\text{C}, t')] = P [V_X + \delta V_{X2} + \delta V_{X3} + \delta V_P - [\delta E_{c1}(0^\circ\text{C}, t'') + \delta E_{c2}(0^\circ\text{C}, t'')] + \delta t_{T3} \cdot S_0]$$

$$\approx P (V_X) + [\delta V_{X2} - \delta E_{c1}(0^\circ\text{C}, t'') + \delta V_{X3} + \delta V_P - \delta E_{c2}(0^\circ\text{C}, t'') + \delta t_{T3} \cdot S_0] / S_{1000} \quad (5)$$

Finalmente substituindo-se t' em (1), encontramos a fórmula para a grandeza medida (c), em termos das diferentes grandezas de entrada.

$$c = P (V_X) + [\delta V_{X2} - \delta E_{c1}(0^\circ\text{C}, t'') + \delta V_{X3} + \delta V_P - \delta E_{c2}(0^\circ\text{C}, t'') - \delta t_{T3} \cdot S_0] / S_{1000} - (t_i + \delta t_i)$$

onde

P	é a função de referência inversa da IEC 584 para termopares tipo S;
$P(V_X)$	é a temperatura equivalente de acordo com a tabela de referência padronizada para a fem simulada pela fonte de tensão, no ponto X;
δV_{X2}	é a correção para a saída da fonte de tensão determinada em sua última calibração;
δV_{X3}	é a correção para a saída da fonte de tensão no ponto X devido a fatores de influência, tais como deriva temporal, temperatura ambiente e variações da fonte de tensão;
$\delta E_{c1}(0^\circ\text{C}, t'')$	é o erro dos fios de extensão de termopar a partir do valor normalizado à temperatura t'' , tal como determinado na última calibração;
δV_P	é a correção devido a tensões parasitas no circuito de medição (termoelétrica, de modo comum, magnética);
S_{1000}	é o coeficiente Seebeck padronizado do termopar tipo S a 1000°C ;
$\delta E_{c2}(0^\circ\text{C}, t'')$	é o erro dos fios de extensão de termopar, devido à deriva desde a última calibração;
δt_{T3}	é o erro em 0°C da temperatura da junção de referência;
S_0	é o coeficiente Seebeck da junção de referência a 0°C ;
t_i	é a indicação no mostrador do indicador;
δt_i	é o erro possível devido à resolução finita do indicador de temperatura sob calibração.



O coeficiente de sensibilidade (coeficiente Seebeck) de um termopar tipo S é:

$t / ^\circ\text{C}$	$S_t / \mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
0	$S_0 = 5,4$
30 (t'')	$S_{30} = 6,0$
1000(t')	$S_{1000} = 11,5$

B.4 Contribuições para a incerteza

B.4.1 Resolução digital da fonte de tensão (V_x):

A saída da fonte de tensão é igual ao ponto selecionado dentro dos limites determinados pela sua resolução. Uma vez que a fonte de tensão possui uma resolução de $1 \mu\text{V}$, estes limites são $\pm 0,5 \mu\text{V}$, correspondendo a uma incerteza padrão de $0,29 \mu\text{V}$.

B.4.2 Calibração da fonte de tensão (δV_{x2}):

A correção da fonte de tensão e a incerteza associada foram obtidas no certificado de calibração da fonte de tensão. A correção é de $0 \mu\text{V}$ e a incerteza expandida com um fator de abrangência $k = 2$ é $\pm 1 \mu\text{V}$. A incerteza padrão correspondente é $\pm 0,5 \mu\text{V}$. Calibrações anteriores provaram que a deriva da fonte de tensão é pequena comparada a esta incerteza e, portanto, pode ser ignorada.

B.4.3 Fatores de influência (δV_{x3}):

Não estão disponíveis valores separados para as correções devidas aos vários fatores de influência que afetam a saída da fonte de tensão, mas uma correção global com limites correspondentes pode ser obtida a partir da especificação de exatidão publicada pelo fabricante. A correção é, portanto, considerada nula, com limites estabelecidos por esta especificação para o termopar tipo S, ou seja, $\pm 3 \mu\text{V}$. A incerteza padrão correspondente é de $1,73 \mu\text{V}$.

B.4.4 Tensões parasitas (δV_P):

A correção devida a tensões parasitas no circuito de medição é considerada de $0,0 \mu\text{V}$ com limites de $\pm 2 \mu\text{V}$. A incerteza padrão correspondente é de $1,15 \mu\text{V}$.

B.4.5 Calibração dos fios de extensão de termopar de referência ($\delta E_{c1}(0^\circ\text{C}, t''')$):

A fem gerada pelos fios termopares de referência será correspondente à temperatura nos terminais de entrada do indicador de temperatura. Esta temperatura não é medida separadamente, mas assume-se que esteja (neste caso particular) dentro dos limites de 23°C a 30°C . O valor de fem (antes da correção) está dentro da faixa de $131 \mu\text{V}$ a $173 \mu\text{V}$. O desvio dos fios termopar referência em relação ao valor normalizado neste intervalo de temperatura é fornecido no seu certificado de calibração como $-1,8 \mu\text{V}$ ($-0,3^\circ\text{C}$), com uma incerteza expandida ($k = 2$) de $1,5 \mu\text{V}$ ($0,25^\circ\text{C}$).

Atenção: um termopar de referência com desvio $-1,8 \mu\text{V}$ ($-0,3^\circ\text{C}$) do valor normalizado compensará a saída do gerador de tensão por um valor $1,8 \mu\text{V}$ ($0,3^\circ\text{C}$) mais baixo. Por conseguinte, indicará $0,3^\circ\text{C}$ a mais do que um termopar correspondente ao valor normalizado.

**B.4.6 Deriva dos fios de extensão de termopar de referência ($\delta E_{c2}(0\text{ °C}, t'')$):**

O histórico da calibração dos fios de extensão de referência indica que a deriva da correção do termopar é 0,0 °C, dentro de limites de $\pm 0,6\ \mu\text{V}$ ($\pm 0,1\text{ °C}$). A incerteza padrão correspondente é 0,34 μV (0,058 °C).

B.4.7 Temperatura da junção de referência (δt_{T3}):

Uma vez que a junção de referência é mantida no ponto de gelo, a incerteza padrão é considerada como sendo 0,03 °C.

Explicação sobre o coeficiente de sensibilidade: No balanço de incertezas, todas as contribuições referem-se à indicação do valor 1000 °C. O coeficiente Seebeck em 0 °C é menor por um fator de 0,469 do que o coeficiente em 1000 °C. Portanto, um desvio na temperatura em 0 °C irá causar um desvio de tensão diminuído pelo mesmo fator, em comparação com o desvio de tensão causado por um desvio na temperatura em 1000 °C.

B.4.8 Resolução finita do indicador em calibração (δt_i):

A resolução finita do indicador de temperatura introduz um componente de incerteza. Uma vez que o menor dígito significativo do indicador é 0,1 °C, o limite é equivalente a $\pm 0,05\text{ °C}$. A contribuição para a incerteza é 0,029 °C.

B.4.9 Indicação no mostrador do indicador (t_i):

Devido à resolução limitada do indicador de temperatura, não foi observada dispersão nos valores indicados. A contribuição para a incerteza não é significativa de acordo com a contribuição da resolução.

Correlação:

Nenhuma das grandezas de entrada são consideradas correlacionadas, em qualquer extensão significativa.



B.5 Balanço de incerteza

Grandeza	Símbolo	Estimativa	Incerteza padrão	Distribuição de probabilidade	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza
Saída da fonte de mV	V_X	9587,1 μV (\equiv 1000 °C)	0,29 μV	Retangular	$(11,5 \mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})^{-1}$	0,025 °C
Calibração da fonte de tensão mV	δV_{X2}	0,0 μV	0,50 μV	Normal	$(11,5 \mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})^{-1}$	0,044 °C
Fatores de influência	δV_{X3}	0,0 μV	1,73 μV	Retangular	$(11,5 \mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})^{-1}$	0,151 °C
Tensões parasitas	δV_P	0,0 μV	1,15 μV	Retangular	$(11,5 \mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})^{-1}$	0,10 °C
Calibração dos fios de extensão de termopar	δE_{c1} (0 °C, t'')	-1,8 μV (\equiv 0,3 °C)	0,75 μV	Normal	$(11,5 \mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})^{-1}$	0,065 °C
Deriva dos fios de extensão de termopar	δE_{c2} (0 °C, t'')	0,0 μV	0,34 μV	Retangular	$(11,5 \mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})^{-1}$	0,030 °C
Erro do ponto de gelo	δt_{T3}	0,0 °C	0,03 °C	Normal	0,469	0,015 °C
Resolução do item em calibração	Δt_i	0,0 °C	0,029 °C	Retangular	1	0,029 °C
Indicação esperada no indicador		1000,3 °C				
Indicação esperada no simulador	t_i	999,8 °C	insignificante	Normal	1	Insignificante
Correção a ser aplicada na indicação do indicador de temperatura	c	0,5 °C				0,204 °C

B.6 Declaração do resultado da calibração

A correção do indicador de temperatura à leitura de 999,8 °C e com a compensação de junção de referência interna ativada é de $(+0,5 \pm 0,4)$ °C.

Esta correção foi determinada por simulação, utilizando-se somente padrões elétricos.

A incerteza relatada é declarada como uma incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência $k = 2$, que, para uma distribuição de probabilidade normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência aproximada de 95%.