

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES ADEQUADO A NORMA NBR ISO/IEC 17025

Fernando Tadeu Lara Feitosa

Universidade de Brasília – UnB, f0175293@aluno.unb.br

Alberto C.G.C. Diniz

Universidade de Brasília – UnB, adiniz@unb.br

Jonas Antonio Albuquerque de Carvalho

Universidade de Brasília – UnB, mjac@terra.com.br

João Nildo S. Vianna

Universidade de Brasília - UnB

Departamento de Engenharia Mecânica – ENM

Laboratório de Metrologia Dinâmica - LMD

Campus Universitário Darcy Ribeiro

Asa Norte - Brasília - DF - Brasil

CEP: 70910-900

E-Mail: vianna@unb.br

Resumo. Este trabalho apresenta de forma clara e sistemática o procedimento de calibração de termopares segundo as normas vigentes, destacando os aspectos necessários para atender a norma NBR ISO/IEC 17025. Desta forma espera-se contribuir com a divulgação de procedimentos de calibração normalizados que garantam alta qualidade metrológica com simplicidade de execução e de análise dos resultados. Discutem-se os aspectos gerais do procedimento, analisando as especificidades associadas ao tipo de instrumento a ser calibrado e sua adequação as normas de calibração. É feita uma análise detalhada das grandezas de influência e uma quantificação da participação das mesmas no nível de incerteza da calibração. São determinadas as grandezas relevantes e definidos procedimentos para consideração de sua influência na incerteza da calibração. É proposto também um procedimento para determinação do número de pontos necessários para a calibração levando em conta as exigências das normas NBR 12771, NBR 13773 e as características do sensor a ser calibrado. O número de pontos é determinado de forma automática por uma rotina numérica que permite a melhor interpolação para as curvas dos termopares em conformidade com as normas.

São apresentados os resultados obtidos, evidenciando a facilidade de aplicação do procedimento proposto.

Palavras-chave: medição de temperatura, calibração, sensores de temperatura.

1. INTRODUÇÃO

A já desenvolvida globalização de economias tem consequências importantes na área de metrologia e controle de qualidade. Uma destas consequências é o reconhecimento difundido da relevância de medidas para tomar decisões sobre a qualidade de produtos e serviços. É reconhecido, também, que as quantidades resultadas de medidas podem raramente ser vistas como completas. Por

essa razão, a confiança em medidas é possível somente se uma expressão quantitativa e confiável de sua qualidade relativa, a incerteza de medição, é avaliada.

O valor numérico de uma medição sempre vem associado de um erro que é inherente ao processo. Esse resultado deve estar acompanhado de uma indicação da qualidade da medida, que deve ser notada e implementada, facilmente. A incerteza de medição caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos a uma grandeza particular submetida à medição.

É notório, então, a importância do cálculo de incerteza, por exemplo, durante a calibração de um instrumento de medida. Atualmente, os laboratórios brasileiros credenciados pelo INMETRO usam para a orientação no cálculo de incerteza o documento de referência EA – 4/02 “Expressão de Incerteza de Medição na Calibração”.

Calibrar um instrumento de medição significa comparar os valores medidos em um instrumento a ser calibrado com um padrão de referência segundo um procedimento confiável. No caso específico de termopares, são feitas comparações da temperatura do sistema de medição padrão (termopar padrão) com a temperatura do sistema de medição a calibrar.

Para que se aumente a confiabilidade de uma calibração é necessário seguir um procedimento normalizado. Essa necessidade aparece porque com a normalização tem-se menor possibilidade de cometer erros, que aumentariam a incertezas relacionadas àquela calibração feita.

A Norma NBR ISO/IEC 17025 de 2001 é um dos documentos que os laboratórios (inclusive os das indústrias) utilizam para compor seus manuais, instruções e procedimentos. Esta é uma versão brasileira da Norma, de uso em laboratórios, mundialmente reconhecida e aceita. Ela auxilia muito nos cuidados que devem ser tomados para se manter um laboratório dentro das regularidades exigidas e, assim, possibilitando a diminuição de erros de medição. Ela influencia desde a qualidade da medição até o pessoal que faz as medições. As especificações da NBR ISO/IEC 17025 devem aplicadas a cada tipo de laboratório considerando o tipo de instrumento a ser calibrado e as normas específicas a este instrumento.

A ABNT possui várias normas dedicadas à fabricação, uso e calibração de termopares. Dentre as quais temos a Norma NBR 12550 de 1998 que apresenta a terminologia e definições associadas aos termopares e a Norma NBR 12771 de 1999 que estabelece as tabelas de referência usadas na conversão. Quanto à calibração de termopares temos as Normas NBR 13522 de 1995, NBR 13770 de 1997 e a NBR 14670 de 2001. Quanto à fabricação de termopares temos como referência as Normas NBR 12812 de 1993, NBR 14097 de 1998, a NBR 13535 de 1995 e a NBR 13774 de 1997.

Assim, este trabalho tem como objetivo elaborar um procedimento de calibração para termopar adequado com a Norma NBR ISO/IEC 17025 de 2001 e determinar as grandezas relevantes que influenciam no cálculo da incerteza de medição de termopares.

2. CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS SEGUNDO A NBR ISO/IEC 17025

De forma a realizar calibrações confiáveis e de qualidade os laboratórios devem adotar políticas e procedimentos que além de assegurar a exatidão dos resultados (dentro de limites de tolerância aceitáveis), também evidenciem a competência do laboratório em manter um sistema da garantia da qualidade.

Atualmente no Brasil, e no mundo, essas políticas e procedimentos devem estar de acordo com a norma ISO/IEC 17025 (no Brasil a NBR ISO/IEC 17025 : 2001). Essa norma, além de apresentar os requisitos gerais para a gerência do sistema da qualidade, apresenta também os requisitos técnicos que o laboratório deve atender para garantir a qualidade de seus resultados. As exigências gerais da NBR ISO/IEC 17025 (ABNT, 2001) devem ser adequados as peculiaridades de cada laboratório e ao tipo de calibração ou ensaio realizado.

De maneira geral todo método e procedimento de calibração deve possibilitar a obtenção de resultados com a exatidão requerida e ser documentado de forma clara e acessível, contendo todas as informações necessárias para a preparação, realização e análise dos resultados da calibração. Esse procedimento podem ser baseados em métodos normalizados ou não normalizados. O método mais comum de calibração e também o mais exato é o método da comparação, que compara

diretamente o valor medido com o valor medido por um padrão de referência.

A NBR ISO/IEC 17025 exige também que os laboratórios devem aplicar procedimentos de cálculo das incertezas de medição para todas as calibrações realizadas. Esse procedimento de cálculo de incerteza também é normalizado. No Brasil, adota-se a norma ISO TAG 4/WG 3, que especifica todo o procedimento de cálculo de incerteza de medições, e para as calibrações usa-se a recomendação EA-4/02 (INMETRO, 1999), que segue a ISO TAG 4/WG 3 (ABNT, 1992). O primeiro passo para a elaboração de um procedimento de cálculo de incerteza é a identificação das fontes de incerteza de medição. As fontes de incerteza em um processo de calibração estão diretamente associadas aos instrumentos de medição utilizados, ao procedimento de calibração e as condições ambientais do laboratório.

As condições ambientais geram incertezas difíceis de serem quantificadas em todas as áreas de medição. Contudo dependendo do tipo de calibração a ser realizado pode-se identificar a influência do ambiente de forma mais precisa. No caso da calibração de medidores de temperatura, a temperatura ambiente deve ser medida antes e depois da calibração para se avaliar sua incerteza. Outras fontes de incerteza comuns a todas as áreas de calibração são: a incerteza do sistema de medição padrão, a repetitividade das medidas (avaliação da incerteza do tipo A) e erros matemáticos associados às aproximações e arredondamento de cálculos e ao ajuste de curvas. No caso da calibração de termopares as incertezas devido à interpolação das tabelas dos termopares e do ajuste de suas curvas é uma fonte de incerteza que deve ser considerada.

Especificamente na calibração de medidores de temperatura deve-se considerar as incertezas associadas às seguintes fontes (além das já mencionadas): Estabilidade dos instrumentos de medição em função do tempo, Estabilidade térmica da fonte de temperatura (meio de calibração), uso de fios de compensação e/ou chaves seletoras, efeitos da imersão parcial de termômetros de vidro, auto aquecimento dos termistores e as incertezas dos medidores usados. No caso específico da calibração termopares deve-se considerar também a incerteza entre as temperaturas das junções de medição e de referência dos mesmos.

Nos itens seguintes serão apresentados um procedimento geral de calibração de termopares por comparação com um termopar de referência e o procedimento de cálculo de incerteza associado.

3. CALIBRAÇÃO POR COMPARAÇÃO COM TERMOPAR DE REFERÊNCIA

Um procedimento de calibração é um conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre valores indicados por um instrumento de medição e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões.

As técnicas de calibração de termopares por comparação consistem em se comparar o valor indicado pelo termopar a ser calibrado com o valor indicado por um medidor de referência, estando os dois sujeitos a mesma temperatura. O medidor de referência pode ser um outro termopar, um termômetro de vidro, uma termorresistência, dependendo da faixa de temperatura de calibração e do nível de incerteza exigido. O meio onde serão realizados a calibração e o procedimento de calibração deve garantir que os dois medidores estejam sujeitos a mesma temperatura (dentro de limites de tolerâncias aceitáveis). Para diferentes faixas de temperatura podem ser usados banhos líquidos, blocos metálicos uniformemente aquecidos ou fornos de temperatura controlada. Como a medição de temperatura usando termopares baseia-se na medição da Força Eletromotriz entre as juntas do termopar é imprescindível na calibração de termopares o uso de medidores de tensão com pequena incerteza de medição e com grande estabilidade e repetitividade.

3.1. Escrevendo um procedimento de calibração

Um procedimento de calibração pode ser um texto simples que oriente o técnico passo a passo na execução da calibração. O texto deve focalizar o usuário do procedimento, buscando clareza, objetividade, simplicidade e concisão. Todas as informações necessárias devem ser fornecidas, as frases devem ser curtas e simples (Lira, 2001).

O procedimento deve ter um formato padronizado, contendo:

- a. Objetivo (apresentar de que se trata e a abrangência do procedimento)
- b. Aplicação (especificar a faixa de medição, tipo de instrumento e local de calibração)
- c. Documentos de referencia (citar a documentação auxiliar de consulta e de referencia e as normas usadas)
- d. Terminologia (especificar: nomenclatura, termos específicos, siglas e abreviações).
- e. Equipamentos e materiais (especificar os padrões de trabalho e toda a aparelhagem usada na calibração).
- f. Condições ambientais (mostrar os limites aceitáveis das grandezas de influência significativas e como medi-los).
- g. Preparação (indicar como manusear a aparelhagem de calibração).
- h. Método (detalhar o método de calibração a ser utilizado, informando os parâmetros a serem calibrados, o número de pontos medidos, e ainda, como proceder em qualquer anormalidade).
- i. Registros (o registro de medição utilizado deve ser especificado, assim como, se for utilizado um programa de computador mostrar como ele processa os dados).
- j. Determinação e análise dos dados (especificar os critérios para a analise dos resultados, como efetuar correções, como processar os dados e os modelos matemáticos usados).
- k. Incerteza de medição (citar os documentos de referência usados para o cálculo da incerteza, as fontes de incertezas e estabelecer um modelo matemático).
- l. Apresentação de resultados (apresentar resultados por certificados, planilhas, tabela, gráfico, etc.).
- m. Anexos.

3.2 – Procedimento proposto

3.2.1 – Equipamentos e materiais utilizados

- a. Água destilada, líquida e congelada;
- b. Cronômetro;
- c. Forno para calibração em temperatura, marca Isotech modelo Pegasus tipo B;
- d. Luva de borracha;
- e. Liquidificador;
- f. Multímetro Hp 3478A;
- g. Recipiente térmico para junta fria;
- h. Termopar de tipo B, E, J, K, N, R, S ou T nus ou encapsulados;
- i. Termo-resistor de platina, ou termômetro, ou termopar calibrado.

3.2.2 – Procedimento de calibração

- a. Fazer a preparação do termopar de calibração segundo a norma NBR 13522.
- b. Determinar e ajustar as condições ambientais.
- c. Estabelecer o número de pontos de calibração .
- d. Posicionar os termopares no forno, entretanto, fazer antes a limpeza necessária na região que será usada. Posicionar o bloco cerâmico na posição correta no forno, colocar sobre ele o bloco homogenizador, em seguida o outro bloco de cerâmica. Posicionar cada termopar em um orifício do bloco de cerâmica de forma a deixar os fios fora do forno. Preencher os vãos com palha de vidro evitando contato do interior do forno com o ambiente para isolar termicamente a região de aquecimento.

e. Preparar a junta de referência (junta fria) para os dois termopares. Colocar água destilada no liquidificador e duas fôrmas de gelo. Bater a mistura até adquirir um aspecto viscoso. Despejar o gelo no recipiente térmico. Encher com o mesmo volume de álcool os tubos de ensaio onde serão imersos cada ponta de fio dos termopares, até que elas toquem o fundo.

f. Acionar o forno e regular para a temperatura mínima da calibração. Assim que o visor do forno mostrar a temperatura, esperar uma hora até que a temperatura esteja estável. A cada ajuste de temperatura esperar uma hora, após esse tempo, repetir a leitura : Termopar de referência, de calibração, de referência e até que a diferença das voltagens do termopar de referência seja menor que a incerteza desejada. Quando essas leituras forem encerradas iniciar as tomadas de pontos.

g. Antes de iniciar as tomadas de ponto e depois de terminado a tomada, retirar um dos fios do termopar de referência da junta fria e inserir o instrumento calibrado de medição de temperatura no orifício, esperar 10 minutos e anotar a temperatura. Retirar o instrumento e reponha o fio do termopar de referência. Esperar 10 minutos e iniciar a tomada de ponto.

As medições serão tomadas segundo a ordem:

- 1 – Termopar de referência
- 2 – Termopar de calibração
- 3 – Termopar de referência

Repetir esse procedimento três vezes para cada ponto.

h. O certificado deve conter o gráfico de diferença de tensão, bem como a tabela que gera o gráfico, junto com os valores das incertezas em cada ponto calibrado e a incerteza usada na interpolação. Além disso, deve possuir os dados de identificação do laboratório que realizou a calibração, os dados do técnico que realizou a calibração e os dados técnicos dos instrumentos utilizados.

i. Obter o resultado da calibração através de uma Planilha de Calibração

4. CÁLCULO DE INCERTEZA NA CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES

Como já mencionado as fontes de incerteza estão diretamente relacionadas ao procedimento de calibração e ao tipo e modo de funcionamento dos instrumentos de medição. No caso do procedimento proposto nesse artigo as fontes de incerteza mais comuns nos termopares são:

- Contato deficiente ou condução de calor ao longo do termopar;
- Variação da temperatura com o tempo na fonte térmica;
- Variação de temperatura na junta fria;
- Tensões parasitas em cabos de compensação;
- Resolução do Voltímetro;
- Falta de homogeneidade;

A norma EA-4/02 (INMETRO, 1999), especifica que a expressão para o cálculo da incerteza é obtida a partir da função que relaciona a grandeza a ser medida (saída) com as grandezas de influência (entrada) mais as incertezas devidas a outras fontes envolvidas no procedimento. Essas outras fontes, por não estarem envolvidas diretamente na expressão da grandeza de saída em função das grandezas de entrada, não aparecem diretamente na expressão da derivada da função de partida, mas devem ser consideradas pois afetam de forma aleatória o resultado da medição. Uma forma geral de tratar essas outras fontes de incerteza e seguir as recomendações da EA-4/02 é incluir essas fontes como fatores de correção na expressão final da grandeza medida. Como se tratam de fatores associados as aleatoriedades do procedimento de calibração, normalmente esses fatores não afetam o valor da grandeza medida, mas apenas a incerteza de medição. Assim, normalmente, esses fatores

são nulos mas com um valor de incerteza associado. Esse artifício é sugerido na própria EA-4/02 e usado no exemplo de calibração de termopares. Esse será o método detalhado a seguir para o procedimento de calibração proposto nesse trabalho.

O valor de uma grandeza medida é dado, de forma geral, por:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

em que y é o valor estimado do mensurando ou grandeza de saída a qual pode depender de outros valores estimados dos mensurandos ou grandezas de entrada x_i .

A expressão geral de sua incerteza, segundo a ISO TAG 4/WG 3 (ABNT, 1992) para grandezas de entrada não correlacionadas é:

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (2)$$

onde: $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ são os coeficientes de sensibilidade das grandezas de entrada (grandezas de influência)

$u(x_i)$ são as incertezas das grandezas de entrada.

No caso do procedimento de calibração adotado temos que a grandeza medida é dada pelo seguinte modelo matemático:

$$t_C = t(V_C) + C_{DR} \quad (3)$$

onde: t_C – temperatura do termopar a calibrar;

$t(V_C)$ – temperatura retirada da tabela relacionada com o valor corrigido da tensão;

C_{DR} – correção devida à deriva.

O valor corrigido da tensão é dado por:

$$V_C = V_I + C_{UF} + C_{CP} + C_{RV} + C_{CC} + \frac{C_t}{S_x} - \frac{C\Delta t_{JF}}{S_{x_0}} \quad (4)$$

onde: V_C – valor corrigido da tensão do voltímetro do termopar à calibrar;

C_{UF} – correção da não-uniformidade do forno;

C_{CP} – correção da calibração do voltímetro padrão;

C_{RV} – correção da resolução do voltímetro padrão;

C_{CC} – correção da tensão dos cabos de compensação;

C_t – correção relativa ao desvio da temperatura do ponto de calibração;

$C\Delta t_{JF}$ – correção de temperatura para os desvios da temperatura 0°C da junta fria;

S_x – sensibilidade do termopar em termos de tensão na temperatura de medição;

S_{x_0} – sensibilidade do termopar em termos de tensão na temperatura de referência de 0°C.

Considerando o procedimento de calibração adotado os coeficientes de sensibilidade são: $s_1 = 1$ para V_C , $s_2 = 1$ para C_{UF} , $s_3 = 1$ para C_{CP} , $s_4 = 1$ para C_{RV} , $s_5 = 1$ para C_{CC} , $s_6 = 1/S_x$ para C_t , $s_7 = 1/S_{x_0}$ para $C\Delta t_{JF}$.

A incerteza associada ao termopar deve ser calculada em duas fases: a primeira esta relacionada à temperatura do forno, a segunda à tensão adquirida pelo termopar de calibração.

Cálculo da incerteza relativa à temperatura do forno

$$I_t = \sqrt{(C_V I_V)^2 + (C_V I_{RV})^2 + (C_V I_{Vi})^2 + \left(-\frac{C_V}{C_{V0}} I_{t0}\right)^2 + (C_V I_{DR})^2 + (C_V I_F)^2} \quad (5)$$

onde: I_V - Incerteza associada a calibração do termopar de referência;

I_{RV} - A incerteza associada à resolução do voltímetro;

I_{JF} - Incerteza associada a correção relacionada ao desvio da temperatura de referência a 0°C;

I_{DR} - Incerteza devido à deriva relativa a última calibração do termopar de referência;

I_{UF} - Incerteza associada a não uniformidade da temperatura no forno;

I_{Vi} - Incerteza relativa à série de medidas.

Cálculo da incerteza associada à tensão do termopar de calibração

$$I_V = \sqrt{I_{RV}^2 + I_{Vi}^2 + \left(\frac{I_t}{S_x}\right)^2 + \left(\frac{I_t}{S_{x_0}}\right)^2 + I_{DR}^2} \quad (6)$$

onde: I_{RV} - Incerteza associada à resolução do voltímetro;

I_{Vi} - Incerteza associada à série de medidas;

I_{JF} - Incerteza relativa a correção relacionada ao desvio da temperatura de referência a 0°C;

I_t - Incerteza relativa a correção relacionada ao desvio da temperatura do ponto de calibração;

I_{DR} - Incerteza associada à deriva.

4.1. Estimativa das incertezas das grandezas de influência

4.1.1. Cálculo da incerteza associada à calibração do termopar de referência (I_V)

A incerteza de calibração do termopar de referência é aquela indicada no certificado de calibração dividida pelo fator de abrangência especificado nesse mesmo certificado. Caso seja fornecida em unidade de temperatura, o valor de C_V é 1 (um).

4.1.2. Cálculo da incerteza associada à resolução do multímetro (I_{RV})

Adotando uma distribuição retangular, a incerteza da tensão indicada pelo voltímetro em função da resolução “R” do mesmo é:

$$I_{RV} = \frac{R}{\sqrt{12}} \quad (7)$$

4.1.3. Incerteza (tipo A) relativa à série de medidas (I_{Vi})

Esta é definida pelo desvio padrão experimental da média dos valores da tensão do termopar de referência:

$$I_{Vi} = \sqrt{\sum \frac{(V - V_i)^2}{6 \cdot (5)}} \quad (8)$$

onde: V_i são valores absolutos da tensão do termopar de referência em cada ponto de calibração.

4.1.4. Fonte térmica

A fonte térmica é um meio com temperatura uniforme onde é feita a calibração dos medidores de temperatura. Nesse trabalho a fonte térmica usada foi um forno ISOTECH com temperatura controlada com um bloco homogenizador contendo quatro orifícios dispostos em duas colunas com dois orifícios cada para a introdução dos termopares. No caso o forno permite calibrações entre 200 e 1000 °C.

A uniformidade da fonte térmica foi verificada, pela medição das tensões em cada orifício para uma temperatura fixa e a observação dos desvios de um orifício para outro. O tempo de estabilização após a troca de posição foi de 10 minutos.

A diferença absoluta média encontrada foi de 0,004 V (com uma incerteza de 0,0004 V). Convertendo para temperatura temos uma diferença de 0,6 °C.

Levando em consideração a tabela do anexo da norma NBR 13522 vê-se que essa diferença é aceitável e que a não uniformidade do forno é desprezível, sendo, a correção associada igual a zero.

A incerteza da não-uniformidade do forno é dada por:

$$I_{UF} = \sqrt{.004^2 + I_C} = \sqrt{.004^2 + .011^2} = 0.012mV \quad (9)$$

Onde I_C é a incerteza do certificado de calibração do termopar de referência, para uma diferença de temperatura de 500 e 501, convertida em tensão, pela tabela da norma NBR 12771. O valor de 0,004 V é diferença absoluta média que foi usada como uma superestimativa da incerteza associada.

4.1.5. Junta fria

A junta fria, é a junta do termopar em que a temperatura é conhecida. É comum ser usado a temperatura a 0°C. Contudo nos procedimentos de calibração deve-se determinar a temperatura real da junta fria e fazer a correção com relação a temperatura de 0°C.

Nesse trabalho a correção da temperatura da junta fria foi determinada pela diferença entre 0°C e a temperatura lida usando um medidor de temperatura por resistência do tipo PT 100, devidamente calibrado.

A correção deverá ser estabelecida no momento da calibração porque ela mostrou instabilidade durante as medições da não uniformidade do forno. A incerteza associada a ela será a incerteza máxima contida no certificado de calibração do instrumento usado na medição da junta fria, mais a incerteza da resolução é dada por:

$$I_{t0} = \sqrt{(SI_C)^2 + (SI_{RT})^2} \quad (10)$$

onde: I_C - É incerteza do certificado de calibração do instrumento usado para medição, dividida pelo fator de abrangência.

I_{RT} - É a incerteza associada à resolução do instrumento usado, calculada segundo a Eq.(7).

S - É o coeficiente de sensibilidade dos termos de incerteza caso esses não possuam valores em unidade de temperatura.

4.1.6. Deriva

Ela é um termo de variação, ou seja, é um termo dinâmico, que durante a medição ela se evidencia. Como ela não é um valor fixo, não constitui uma correção e seu valor é diretamente associado à incerteza, como um termo de incerteza. Seu valor é dado pelo desvio médio observado nas medições feitas. No caso do procedimento proposto e considerando a instrumentação utilizada seu valor é: $I_{DR} = 0,002$ °C.

4.1.7. Número de pontos na calibração

Em princípio um termopar tem seu comportamento previsto pelas equações de ajuste da norma NBR 12771, porém por melhor que seja, um termopar não vai mostrar, para uma dada temperatura de referência a tensão definida pela equação. De qualquer forma essa diferença de comportamento dificilmente será incomum, percebemos que as curvas que descrevem o comportamento da equação da norma e o comportamento real do termopar são semelhantes.

Sendo assim um valor lido entre T_1 e T_2 será aproximado por uma reta, e o desvio desse valor para o comportamento real será desconhecido, porém poderá ser estimado e associado à medida como um termo de incerteza. A estimativa do desvio é feita usando como equação do comportamento do termopar, a equação normalizada.

A norma NBR 13522 exibe uma tabela que classifica os níveis de incerteza de interpolação e de calibração. Além disso ela recomenda que essa tabela seja usada para a determinação do número de pontos numa calibração. Para isso foram adotados os seguintes passos: i) determinar tipo de termopar; ii) especificar a incerteza desejada na interpolação, pela tabela da norma 13522; iii) Achar pontos de calibração de forma que um valor interpolado difira no máximo um valor menor ou igual a incerteza, do mesmo valor tabelado.

Manualmente esse procedimento é inviável, por isso optou-se por fazer um programa de computador capaz de calcular os pontos de calibração segundo o tipo de termopar e a incerteza desejada. Dessa forma um valor interpolado é dado por:

$$I_{VI} = \sqrt{I_{PC}^2 + I_T^2} \quad (11)$$

em que: I_{PC} – é a maior incerteza entre os pontos calibrados do intervalo que contém a temperatura desejada;

I_T – é a incerteza escolhida pela tabela em anexo da norma NBR 13522.

5. CONCLUSÕES

Apresentou-se, de forma clara e sistemática um procedimento para calibração de termopares por comparação com termopar de referência, destacando-se os aspectos necessários para atender as diferentes normas vigentes.

Para o procedimento proposto foram feitos o levantamento das grandezas de influência e o cálculo de incertezas de calibração segundo as recomendações do INMETRO. Foi proposto também um procedimento para determinação do número de pontos na calibração e como definir a incerteza associada a interpolação, também atendendo as normas da ABNT.

Os resultados obtidos, o procedimento proposto e o estudo das incertezas envolvidas na calibração, constituem uma ferramenta prática e didática para a calibração de termopares, permitindo a obtenção de resultados de qualidade e confiáveis. O procedimento proposto é simples e pode ser viabilizado usando equipamentos de baixo custo, conforme o nível de incerteza (e qualidade) exigido.

6. REFERÊNCIAS

- Lira, Francisco Adval de, “Metrologia na Indústria”, São Paulo Editora Érica, 2001.
ABNT, Norma NBR ISO/IEC 12550 “Termometria-Terminologia”, ABNT 1998.
ABNT, Norma NBR ISO/IEC 12771 “Termopares-Tabelas de referência”, ABNT 1999.
ABNT, Norma NBR ISO/IEC 12812 “Fio nu para Termopar”, ABNT 1993.
ABNT, Norma NBR ISO/IEC 13522 “Termopar-Calibração por comparação com termopar de referência”, ABNT 1995.
ABNT, Norma NBR ISO/IEC 13535 “Matéria-Prima para confecção do termopar isolado mineral”, ABNT 1995.
ABNT, Norma NBR ISO/IEC 13770 “Termopar-Calibração por comparação com termorresistência

- de referência ”, ABNT 1997.
- ABNT, Norma NBR ISO/IEC 13774 “Cabo e fio de compensação e/ou extensão para termopar-Tolerâncias e identificação”, ABNT 1997.
- ABNT, Norma NBR ISO/IEC 14097 “Termopar isolação mineral ”, ABNT 1998.
- ABNT, Norma NBR ISO/IEC 14670 “Indicador de temperatura para termopar-Calibração por comparação utilizando gerador de sinal ”, ABNT 2001.
- ABNT, Norma NBR ISO/IEC 17025 “Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração ”, ABNT 2001.
- ABNT, ISO/TAG4/WG3 “Guia para expressão da incerteza de medição”, ABNT 1992.
- INMETRO, “Expressão da Incerteza de Medição na Calibração”- Recomendação EA – 4/02, ABNT e INMETRO 1999.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material incluído no seu trabalho.

CALIBRATION PROCEDURE OF THERMOCOUPLES IN ACCORDANCE WITH NBR ISO/IEC 17025

Fernando Tadeu Lara Feitosa

Universidade de Brasília – UnB, f0175293@aluno.unb.br

Alberto C.G.C. Diniz

Universidade de Brasília – UnB, adiniz@unb.br

Jonas Antonio Albuquerque de Carvalho

Universidade de Brasília – UnB, mjac@terra.com.br

João Nildo S. Vianna

Universidade de Brasília - UnB

Departamento de Engenharia Mecânica – ENM

Laboratório de Metrologia Dinâmica - LMD

Campus Universitário Darcy Ribeiro

Asa Norte - Brasília - DF - Brasil

CEP: 70910-900

E-Mail: vianna@unb.br

Abstract. This paper presents, in a clear and systematic manner, the calibration procedures for thermocouples in accordance with standard norms, emphasizing the methods that comply with the NBR ISO/IEC 17025 norm. In this manner, this work hopes to contribute to the general knowledge of standardized calibration procedures that will guarantee high metrological quality and simplicity in data achievement and analysis. The general aspects of the procedure are discussed with the analysis of features associated to each different instrument being calibrated and its adequacy to the calibration standards. A detailed analysis of the influent quantities and a quantification of their degree of influence on the calibration level of uncertainty were performed. The relevant quantities and the procedures used to achieve their influence on the calibration uncertainty were defined. A procedure is also proposed to determine the number of data points necessary in the calibration, taking into account the standards of norms NBR 12771, NBR 13773 and the features of the sensor being calibrated. The number of data points is achieved automatically by means of a numerical routine, allowing the best thermocouple curve fitting according to the standards. The achieved results are presented with emphasis on the simplicity of the proposed procedure.

Keywords: temperature measurement, calibration, temperature sensors.