

# AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA CALIBRAÇÃO DE INDICADORES DE TEMPERATURA COM COMPENSAÇÃO ELETRÔNICA DA JUNÇÃO DE REFERÊNCIA (CEJR)

Mariana Luiza Flávio<sup>1</sup>; Klaus Natorf Quelhas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estagiária no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Laboratório de Termometria; Bolsista PFRH do convênio Inmetro/Petrobras - [mflavio-petrobras@inmetro.gov.br](mailto:mflavio-petrobras@inmetro.gov.br)

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia de Sistema e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro; Chefe do Laboratório de Termometria no Inmetro - [knquelhas@inmetro.gov.br](mailto:knquelhas@inmetro.gov.br)

## RESUMO

Existem diferentes métodos para a calibração de indicadores de temperatura para sensores termoeletrônicos com compensação eletrônica da junção de referência (CEJR), mencionados em normas nacionais e internacionais. Esse trabalho tem como propósito analisar cada método de modo a definir aquele que permite estimar com melhor exatidão a contribuição da CEJR nos resultados das calibrações de indicadores de temperatura para termopares, no intuito de minimizar fontes de erros, que afetam diretamente na eficiência de processos de produção, na manutenção da qualidade e produtividade dos produtos e na integridade dos equipamentos.

Palavras-Chave: Temperatura, Indicadores, Compensação Eletrônica, Termopares.

## 1. INTRODUÇÃO

A medição de temperatura de maneira precisa é de vital importância devido a grande influência desta grandeza em processos industriais, em especial aos relacionados à área de petróleo, gás e energia. Medições precisas de volume, vazão e pressão, são extremamente dependentes da temperatura do meio onde é realizada a medição, quer sejam realizadas em tanques, dutos, ou outros meios, que durante os processos de produção, transporte e comércio, precisam do controle da temperatura. Do ponto de vista produtivo, a medição de temperatura é de vital importância para a manutenção da qualidade dos produtos, bem como para a eficiência do processo de produção.

Visando a segurança, medições precisas de temperatura podem prevenir acidentes, assegurando a saúde do corpo funcional e preservando a integridade de equipamentos. Por fim, economicamente, medições exatas de temperatura podem resultar em reduções de custos, uma vez que permite determinar de maneira correta os volumes de líquidos e gases transportados, evitando perdas em operações de transferência de custódia, por exemplo.

Indicadores de temperatura desempenham um papel fundamental nesta área por serem capazes de medir sensores de temperatura que geram sinais de diferentes grandezas (tensão ou resistência elétrica, por exemplo),

relacionando-os com a temperatura de forma a indicar este valor em um display, ou através de sinais elétricos. Dentre os indicadores de temperatura, aqueles que fazem uso de sensores termoelétricos, ou termopares, levam vantagem em razão de sua grande faixa de temperaturas de utilização, do custo reduzido de aquisição e operação dos sensores, bem como que em razão de sua versatilidade e simplicidade construtiva dos termopares, o que faz deles menos suscetíveis a efeitos mecânicos (impactos e vibrações), térmicos e elétricos, tornando-os então fortes candidatos para aplicação em larga escala em plantas industriais.

Devido ao efeito Seebeck, principal efeito termoelétrico, e responsável por permitir a medição de temperatura com termopares, para se determinar a temperatura de uma junção (junção de medição) é necessário conhecer com precisão a temperatura da outra junção (junção de referência), uma vez que a força eletromotriz térmica gerada é função de ambas estas temperaturas, razão pela qual as tabelas de referência dos termopares normalizados foram construídas para os casos em que a junção de referência destes estejam a 0 °C, ponto de fusão da água, por ser este um ponto fixo de excelente reprodutibilidade e de fácil realização, o que fez com que a junção de referência fosse conhecida popularmente como “junta fria”.

Diante da impossibilidade de se realizar e manter banhos de gelo a 0 °C em ambientes industriais cujas temperaturas ambientes podem alcançar temperaturas da ordem de 50 °C ou maiores, indicadores de temperatura para termopares são dotados de circuitos de compensação eletrônica da junção de referência (CEJR), que realizam a medição da temperatura da junção de referência do termopar (ponto onde este é conectado ao indicador, ou o mais próximo possível deste ponto), corrigindo a força eletromotriz para a condição ideal, na qual a junção de referência estaria exatamente 0 °C. Em virtude da dificuldade de se realizar com exatidão a medição da temperatura dos terminais onde são conectados os fios da junção de referência, a CEJR acaba por ser uma das fontes de erro dominantes em medições de temperatura por este método, dada a dificuldade de se estimar adequadamente uma correção para este efeito.

Normas nacionais e internacionais descrevem dois diferentes métodos de calibração de indicadores de temperatura para sensores termoelétricos com CEJR, e este projeto teve como base a análise de ambos os métodos com o objetivo de se definir aquele que permite estimar com melhor exatidão o efeito da CEJR nos resultados das calibrações de indicadores de temperatura para termopares.

Em busca de resultados mais consistentes, os sistemas de medição de ambos os

métodos em avaliação foram reproduzidos dentro de uma câmara climática em três temperaturas distintas. Os resultados e incertezas das medições, bem como uma análise mais aprofundada destes resultados são apresentados neste trabalho.

## 2. INSTRUMENTAÇÃO

Com a finalidade de executar as medições de cada método, foi utilizada uma fonte de tensão contínua usada para gerar as forças eletromotrizes (fem) equivalentes às fornecidas por um termopar tipo K a diferentes temperaturas; um vaso dewar para realizar e conservar a temperatura do Ponto do Gelo; um cabo de extensão para termopar tipo K, devidamente calibrado; o indicador de temperatura a ser avaliado, com resolução de 0,001 °C e programado para realizar a compensação da temperatura da junção de referência; um multímetro digital de sete e meio dígitos, previamente calibrado e ajustado para realizar leituras das fem fornecidas pela fonte; e um termômetro digital, também calibrado, para o monitoramento da temperatura dos terminais do indicador a ser avaliado.

## 3. MÉTODOS

### 3.1 Método utilizando cabos de cabos de Extensão

O primeiro método é descrito no documento Euramet cg-11 versão 2.0 [EURAMET, 2011], traduzido no DOC-CGCRE-050 – “Orientações para a calibração de Indicadores e Simuladores de Temperatura por simulação e medição elétrica” [INMETRO, 2011]. Consiste no emprego de cabos de extensão para realizar uma compensação externa da fem aplicada por uma fonte de tensão contínua, em oposição à compensação realizada eletronicamente pelo indicador, conforme ilustrado na figura 1. Neste caso, a fem a ser aplicada é a fem tabelada, ou de referência, do termopar para a temperatura desejada, o que facilita o ajuste da fem na fonte de tensão.

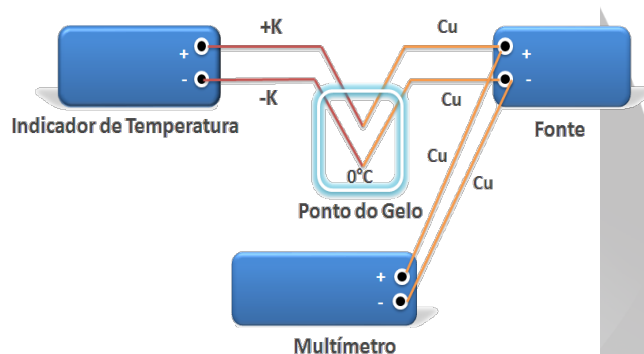


Figura 1. Indicador para uso com termopar com cabo de extensão

### 3.2 Método sem Cabos de Extensão

O segundo método é descrito na norma ABNT NBR 14670 – Indicador de temperatura para termopar: Calibração por comparação utilizando gerador de sinal [ABNT, 2001], e consiste na aplicação de uma fem aos terminais do indicador, cuja temperatura é monitorada pelo termômetro

digital ao posicionar o sensor o mais próximo possível dos terminais, conforme ilustra a Figura 2. A temperatura de referência é determinada em função da fem medida pelo multímetro e da temperatura medida dos terminais. Neste caso, a fonte de tensão deve ser ajustada de maneira que o indicador de temperatura exiba o valor desejado.

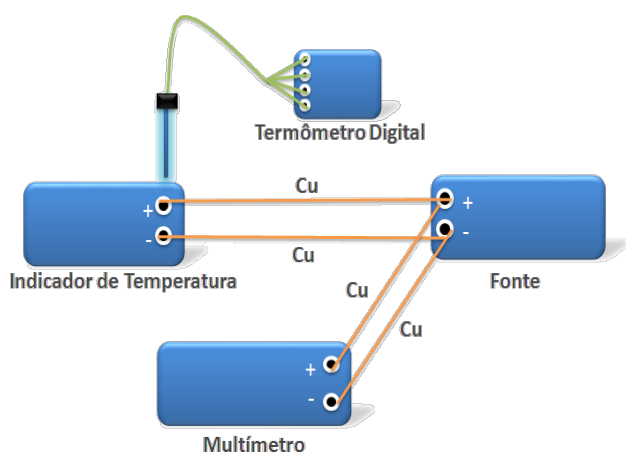


Figura 2. Indicador para uso com termopar – sem cabo de extensão

### 3.3 Câmara Climática

As medições empregando ambos os métodos descritos acima foram realizadas em ambiente laboratorial, cuja temperatura ambiente é controlada a  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ . Com o intuito de avaliar o comportamento do indicador – em especial a resposta da compensação da junção de referência – em diferentes condições ambientais, o indicador foi calibrado novamente através dos dois métodos, desta vez em uma câmara climática, que foi ajustada para as temperaturas  $20\text{ °C}$ ,  $25\text{ °C}$  e  $30\text{ °C}$ .

Além de avaliar a resposta da CEJR para diferentes condições de temperatura ambiente, o emprego da câmara climática teve como objetivo minimizar possíveis erros de medição da temperatura dos terminais, empregado no método de calibração sem cabos de extensão, uma vez que a câmara apresenta homogeneidade e estabilidade térmicas superiores, em comparação com o controle de temperatura do laboratório. Os resultados obtidos com e sem o uso da câmara climática, utilizando-se ambos os métodos, são apresentados na seção 5. Resultados e Discussões.

## 4. MODELO MATEMÁTICO

Com conhecimento das grandezas de influência e das correções que devem ser consideradas, foi possível compor o modelo matemático de medição para determinação da correção da temperatura exibida pelo indicador, bem como sua respectiva incerteza de medição [INMETRO, 2003]. A correção da indicação e sua incerteza são dadas por:

$$C_i = T_v + T_i + \delta_{Rep} \quad (1)$$

$$uC_i^2 = uT_v^2 + uT_i^2 + \left( \frac{u\delta_{Rep}}{\sqrt{3}} \right)^2 \quad (2)$$

Onde  $T_v$  é a temperatura verdadeira, tomada como valor de referência, que depende do método empregado,  $T_i$  é a indicação média do instrumento em calibração e  $\delta_{Rep}$  é a correção da reprodutibilidade. Os valores de  $T_i$  e  $T_v$  são obtidos pelas equações abaixo:

$$T_v = f(E_f) \quad (3)$$

$$uT_v = \frac{uE_f}{S(T_v)} \quad (4)$$

$$T_i = \bar{T} + \delta_R \quad (5)$$

$$uT_i^2 = (\bar{\sigma}_T)^2 + \left(\frac{u\delta_{Rind}}{\sqrt{12}}\right)^2 \quad (6)$$

Onde  $T_v$  é função de  $E_f$ , que representa a fem fornecida ao indicador, que depende do emprego ou não de cabos de extensão, ou ainda da temperatura ambiente, caso não se use cabos de extensão, sendo sua obtenção detalhada adiante.  $S(T_v)$  é o coeficiente de Seebeck do termopar para a temperatura  $T_v$ , e a temperatura indicada  $T_i$  depende da média das leituras e da resolução limitada do instrumento.

#### 4.1. Equações para o método utilizando cabos de extensão

A Equação 7 fornece a estimativa da fem  $E_f$  fornecida ao indicador, sendo sua incerteza calculada através da Equação 8. É importante observar que, uma vez que as fem referentes à CEJR e aos cabos de extensão encontram-se com polaridades invertidas, e que ambas dependem da temperatura dos terminais, estas acabam por se anular, restando apenas a correção das fem dos cabos de extensão, obtida através da calibração dos mesmos. As equações são exibidas abaixo:

$$E_f = \bar{E} + \delta_m + \delta_{Rm} - \delta E_{ce} + \delta PG \cdot S(0^\circ C) \quad (7)$$

$$uE_f^2 = \bar{\sigma}_E^2 + \left(\frac{u\delta_m}{k}\right)^2 + \left(\frac{u\delta_{Rm}}{\sqrt{12}}\right)^2 + \left(\frac{u\delta_{Ecc}}{k}\right)^2 + \left(\frac{u\delta_{PG} \cdot S(0^\circ C)}{\sqrt{3}}\right)^2 \quad (8)$$

Onde:

$\bar{E}$  é a média das leituras da fem;

$\delta_m$  é a correção do multímetro;

$\delta_{Rm}$  é a correção da resolução finita do multímetro;

$\delta E_{ce}$  é a correção da fem dos cabos de extensão;

$\delta PG$  é a correção do ponto do gelo;

$S(0^\circ C)$  é Coeficiente Seebeck no ponto do gelo, usado como fator de conversão.

#### 4.2. Equações para o método sem cabos de extensão

Para os cálculos da estimativa da fem  $E_f$  fornecida através do método sem cabos de extensão, é necessária a obtenção de uma estimativa da fem fornecida pelo circuito de compensação da junção de referência. A fem para os cálculos é obtida em função das leituras de temperatura dos terminais do indicador, conforme a Equação 9. Sua incerteza é obtida pelo produto da incerteza da medição da temperatura dos terminais pelo coeficiente Seebeck a esta temperatura, conforme Equação 10, abaixo [INMETRO, 2003]:

$$E_{CJR} = f(Temp) \quad (9)$$

$$uE_{CJR} = uTemp \cdot S(Temp) \quad (10)$$

$$Temp = \bar{T} + \delta_{ind} + \delta_{Rind} \quad (11)$$

$$uTemp^2 = \sigma_t^2 + \left(\frac{u\delta_{ind}}{k}\right)^2 + \left(\frac{u\delta_{Rind}}{\sqrt{12}}\right)^2$$

(12)

Onde **Temp** é média das temperaturas observadas do termômetro digital somada à sua correção  $\delta_{ind}$  e a correção da resolução finita do indicador  $\delta_{Rind}$  (Equação 11). A incerteza associada à **Temp** é dada pela raiz da soma quadrática das incertezas de cada componente (Equação 12) [INMETRO, 2003]. A estimativa da fem fornecida  $E_f$  e sua incerteza são dadas pelas equações abaixo:

$$E_f = \bar{E} + \delta_m + \delta_{Rm} + E_{CJR}$$

(13)

$$uE_f^2 = \sigma_E^2 + \left(\frac{u\delta_m}{k}\right)^2 + \left(\frac{u\delta_{Rm}}{\sqrt{12}}\right)^2 + uE_{CJR}^2$$

(14)

Onde:

$\bar{E}$  é a média das leituras da fem;

$\delta_m$  é a correção do multímetro;

$\delta_{Rm}$  é a correção da resolução finita do multímetro;

$E_{CJR}$  é a fem correspondente a temperatura dos terminais do indicador.

#### 4.3. Equação para medições na Câmara Climática

Para efetuar os cálculos do método sem cabos de extensão, para as medições que foram realizadas na câmara climática, é preciso acrescentar as informações concernentes ao gradiente e estabilidade de temperatura no interior da câmara,

informações estas obtidas através da avaliação da mesma, em que o seu valor da incerteza de medição referente ao gradiente e estabilidade deve ser considerado no cálculo da incerteza da temperatura dos terminais (Equação 12), monitorada pelo sensor do termômetro digital. Desta forma a incerteza da temperatura dos terminais é dada pela seguinte equação (Equação 15) [INMETRO, 2003]:

$$uTemp^2 = \sigma_t^2 + \left(\frac{u\delta_{ind}}{k}\right)^2 + \left(\frac{u\delta_{Rind}}{\sqrt{12}}\right)^2 + \left(\frac{uCâmara}{k}\right)^2$$

(15)

#### 4.4. Erro Normalizado

O cálculo do erro normalizado é uma análise estatística para comparação entre resultados. Se o valor do Erro Normalizado for igual ou maior que 1, indica a não compatibilidade entre os resultados; se o valor está abaixo de 1 os resultados são compatíveis entre si, conforme equação abaixo:

$$EN = \frac{C_1 - C_2}{\sqrt{(u_1^2 + u_2^2)}}$$

(16)

Onde  $c_1$  e  $c_2$  são valores de correção e  $u_1$  e  $u_2$  as incertezas associadas a cada correção, respectivamente. Esta equação será utilizada para avaliar os resultados das medições [ABNT NBR 17043, 2010].

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas de medição dos dois métodos foram submetidos a duas condições de temperatura ambiente, onde a primeira consiste em expor o indicador em uma temperatura ambiente de  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , típica de um laboratório de calibração, e a segunda em uma câmara climática programada em temperaturas de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  com temperatura interna controlada dentro de  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para a análise do comportamento do circuito de compensação do indicador dentro de uma faixa de temperatura. Seus resultados foram comparados entre si e individualmente, e analisados a partir da fórmula do erro normalizado.

O método sem cabos de extensão apresentou maior dispersão entre os valores de correção, devido a variações de temperatura observadas durante a realização do método em temperatura ambiente, conforme mostra o Gráfico 1. Contudo, mesmo diminuindo a variação da temperatura ambiente utilizando a câmara climática, os valores mostraram-se ainda dispersos em todos os pontos selecionados para estudo (Gráficos 2, 3 e 4), em virtude de diversos fatores, dentre os quais podemos citar um possível aumento de temperatura causado pelo aquecimento do circuito eletrônico durante seu funcionamento; a forma na qual o sensor de temperatura do circuito eletrônico está instalado dentro do indicador, uma vez

que o sensor pode se encontrar distante dos terminais; a maneira com que o circuito eletrônico está programado para receber os sinais elétricos e estimá-los em temperatura; e a não exatidão das medições da temperatura dos terminais pelo desconhecimento da posição do sensor de temperatura no interior do indicador. Por outro lado, o método que utiliza cabos de extensão obteve resultados mais compatíveis entre si. A utilização dos cabos de extensão reduz significativamente a influência de quase todos os fatores citados, dado que o cabo de extensão possui sua extremidade conectada eletricamente e termicamente aos terminais do indicador, eliminando a necessidade de medição da temperatura dos terminais, e eliminando por completo esta fonte de erro. No caso ideal, a fem gerada pelo cabo de extensão e o circuito de compensação se anulam, e a fem fornecida pela fonte é a fem de referência do termopar, de acordo com as equações e tabelas padronizadas. A análise dos dados é apresentada nas Tabelas 1,2,3 e 4, bem como nos gráficos 1, 2, 3 e 4 que são apresentadas abaixo, onde  $u_C$  é a incerteza estimada da correção calculada.

Tabela 1. Comparação entre os métodos em temperatura ambiente à  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Com Extensão x Sem Extensão a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$						
Pontos	Com Extensão		Sem Extensão		Unid.	EN
	Correção	$u_C$	Correção	$u_C$		
300	-0,098	0,05	-1,487	0,45	$^{\circ}\text{C}$	3,03
700	-0,109	0,06	-1,488	0,45	$^{\circ}\text{C}$	3,02
1100	-0,068	0,05	-2,100	0,47	$^{\circ}\text{C}$	4,31

Tabela 2. Comparação entre os métodos na câmara climática à 20 °C

Tabela 1. Comparação entre os métodos na câmara climática à 25 °C

Com Extensão x Sem Extensão 25 °C						
Com Extensão			Sem Extensão			EN
Pontos	Correção	uC	Correção	uC	Unid.	
300	-0,086	0,077	-0,552	0,115	°C	3,36
700	-0,086	0,077	-0,596	0,114	°C	3,70
1100	-0,114	0,077	-0,641	0,122	°C	3,65

Com Extensão x Sem Extensão a 20 °C						
Com Extensão			Sem Extensão			EN
Pontos	Correção	uC	Correção	uC	Unid.	
300	-0,080	0,051	-0,476	0,142	°C	2,62
700	-0,051	0,052	-0,482	0,142	°C	2,86
1100	-0,061	0,052	-0,496	0,148	°C	2,77

Tabela 2. Comparação entre os métodos na câmara climática à 30 °C

Com Extensão x Sem Extensão 30 °C						
Com Extensão			Sem Extensão			EN
Pontos	Correção	uC	Correção	uC	Unid.	
300	-0,071	0,166	-0,392	0,116	°C	1,59
700	-0,132	0,166	-0,520	0,115	°C	1,92
1100	-0,162	0,166	-0,521	0,124	°C	1,73

### Avaliação a 20 °C - Câmara Climática

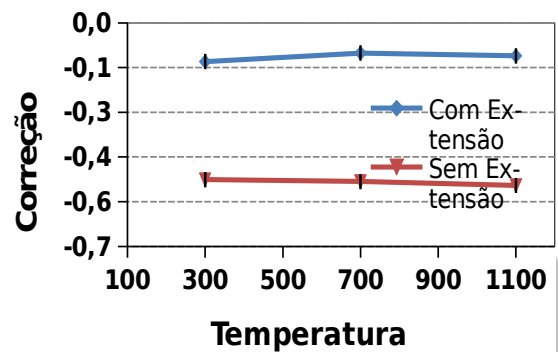


Gráfico 2. Comparação entre os métodos na câmara climática a 20 °C

### Avaliação a 20 °C - Ambiente

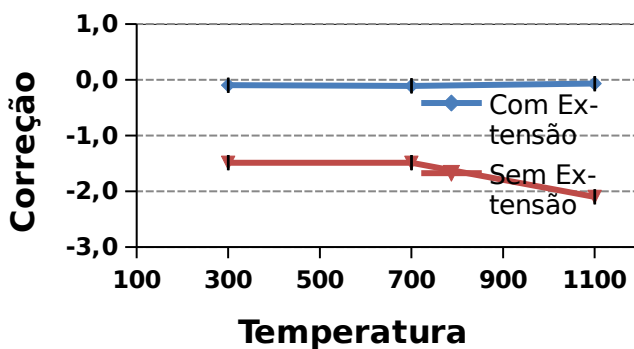


Gráfico 1. Comparação entre os métodos em temperatura ambiente a 20 °C

### Avaliação a 25 °C - Câmara Climática

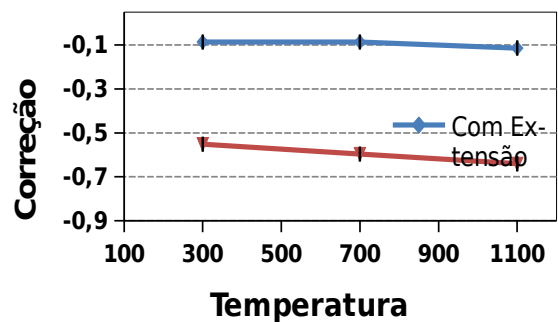


Gráfico 3. Comparação entre os métodos na câmara climática a 25 °C



## Avaliação a 30 °C - Câmara Climática

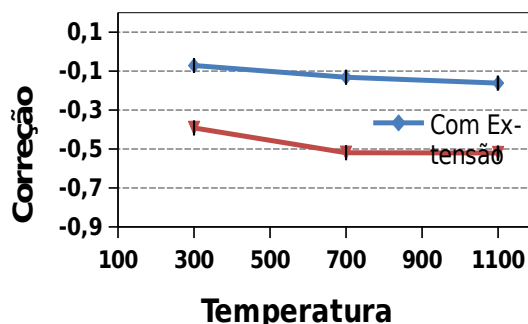


Gráfico 4. Comparação entre os métodos na câmara climática a 30 °C

É possível observar nos gráficos que as correções resultantes das medições sem cabo de extensão dentro e fora da câmara foram consideravelmente diferentes, e que dentro da câmara climática, mesmo a diferentes temperaturas, os resultados foram mais semelhantes entre si, reforçando a hipótese de que o método de medição sem cabo de extensão está fortemente sujeito às variações da temperatura ambiente, problema que foi minimizado ao mover todo o sistema de medição para o interior da câmara climática, técnica que pode ser adotada em calibrações utilizando este método. Por outro lado, as medições realizadas com cabos de extensão mostraram-se muito mais compatíveis entre si, ainda que sejam observadas algumas diferenças, que podem em um primeiro momento ser atribuídas à não linearidade do circuito de compensação eletrônica, por não estar compensando a fem adequadamente de acordo com a temperatura ambiente. As tabelas 5 e 6, bem como os

gráficos 5 e 6 exibem a comparação de ambos os métodos quando realizados dentro e fora da câmara climática a 20 °C.

Tabela 3. Avaliação do método Com Cabos de Extensão

Com Cabos de Extensão à 20 °C						
Pontos	Câmara		Laboratório		Unid.	EN
	Correção	uC	Correção	uC		
300	-0,080	0,051	-0,098	0,055	°C	0,24
700	-0,051	0,052	-0,109	0,055	°C	0,76
1100	-0,061	0,052	-0,068	0,055	°C	0,09

Tabela 4. Avaliação do método Sem Cabos de Extensão

Sem Cabos de Extensão à 20 °C						
Pontos	Câmara		Laboratório		Unid.	EN
	Correção	uC	Correção	uC		
300	-0,476	0,142	-1,487	0,455	°C	2,12
700	-0,482	0,142	-1,488	0,453	°C	2,12
1100	-0,496	0,148	-2,100	0,468	°C	3,27

## Sem Cabo de Extensão a 20 °C

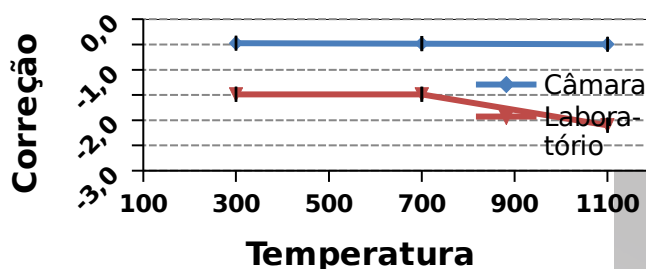
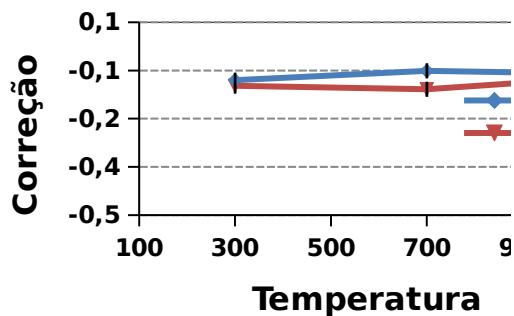


Gráfico 5. Avaliação do Método Com Cabos de Extensão

Gráfico 6. Avaliação do Método Sem Cabos de Extensão

## Com Cabo de Extensão a



É possível observar, tanto no gráfico 5 como na tabela 5, que os resultados obtidos através do método com cabo de extensão, realizado dentro e fora da câmara, são compatíveis entre si, evidenciando assim que este método é o mais adequado para a calibração de indicadores de temperatura com compensação eletrônica da junção de referência, por não dependerem de variações de temperatura do ambiente externo. Os resultados obtidos através do método de calibração sem cabo de extensão, por outro lado, não foram compatíveis, evidenciando a deficiência deste método de calibração, em virtude de possíveis variações na temperatura ambiente.

### 5.1. Exemplo para avaliação da linearidade do circuito de compensação

A dispersão entre os valores de correção obtidos por cada método demonstra a necessidade de um estudo mais aprofundado da compensação eletrônica, em virtude da falta de conhecimento sobre a maneira em que o circuito realiza a compensação dentro do sistema eletrônico do indicador e os efeitos

que afetam diretamente a temperatura que é compensada pelo circuito. Em razão disso, foi estudada a linearidade da compensação eletrônica de um indicador utilizado para teste, o qual foi submetido às temperaturas de 20 °C, 25 °C, 30 °C e 35 °C, dentro da câmara climática enquanto seus terminais estão em curto-circuito, a fim de observar o comportamento da compensação em diferentes temperaturas. Nesta condição, a temperatura exibida pelo indicador corresponde à temperatura compensada pela CEJR.

A forma utilizada para o tratamento da linearidade da compensação realizada pelo circuito do indicador foi fazer uso da média das correções obtidas durante a medição, uma vez que as correções do circuito de compensação deveriam ser independentes da temperatura ambiente.

O Gráfico 7 mostra os resultados obtidos com esta avaliação. Uma vez que a compensação não é uniforme para diferentes condições de temperatura ambiente, uma medida de dispersão destes valores medidos deve ser tomada como componente da incerteza de medição resultante da calibração do indicador, o que a princípio seria suficiente para assegurar a compatibilidade dos resultados obtidos com o método sem cabo de extensão dentro e fora da câmara climática.

## Avaliação do Circuito de Compensação

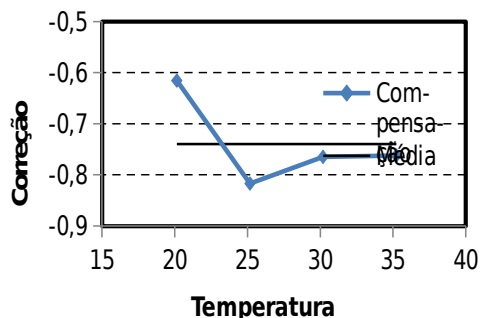


Gráfico 7. Avaliação do Circuito de Compensação

### 6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo comparativo de dois métodos de calibração de indicadores de temperatura para sensor termopar dotados de circuito de compensação eletrônica da junção de referência. Enquanto que o método de calibração com cabos de extensão realiza uma compensação inversa à fem gerada pelo circuito de compensação, o método sem cabos de extensão requer a medição da temperatura dos terminais do indicador para que seja feita uma estimativa da fem gerada pelo circuito de compensação, o que se mostrou problemático, mesmo em um laboratório com ambiente controlado. Resultados melhores foram obtidos através da realização desta mesma técnica dentro de uma câmara climática, na qual a temperatura ambiente é controlada de maneira mais estável.

O método de calibração com cabos de extensão, por sua vez, mostrou resultados mais consistentes, dentro e fora da câmara climática, demonstrando assim ser o mais ade-

quado para a calibração destes tipos de indicadores de temperatura. Ainda assim, os resultados obtidos a diferentes condições de temperatura ambiente, indicam a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre a linearidade dos circuitos eletrônicos de compensação. O impacto deste efeito, porém, deve ser observado em ambas as técnicas, ainda que este tenha ficado mais evidente nos resultados obtidos com a técnica com cabos de extensão, em razão da menor dispersão dos resultados. Uma forma de avaliar este efeito é medir as temperaturas indicadas, enquanto seus terminais estão em curto-circuito, a diferentes valores de temperatura ambiente, em uma câmara climática. Neste caso, a resposta do indicador é simplesmente devido à atuação do circuito de compensação da junção de referência. Indicações diferentes da temperatura ambiente evidenciam um erro sistemático, que pode vir a ser corrigido, ou considerado no cálculo da incerteza da calibração do indicador.

Como possíveis trabalhos futuros, expõe-se o estudo mais aprofundado dos efeitos causados pela temperatura ambiente na compensação realizada pelo circuito eletrônico, inclusive para temperaturas mais altas do que as testadas, bem como uma proposta de revisão da norma ABNT NBR 14670, para incluir os conceitos aplicados neste trabalho.

### 7. AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, aos meus familiares, ao meu orientador, e ao convênio entre o Inmetro, Petrobrás e ANP pela oportunidade de ser um dos contemplados pela bolsa PFRH.

## 8. REFERÊNCIAS

Livro:

NICHOLAS, J.V; WHITE, D. R. **Traceable temperatures**. John Wiley & Sons Ltd, 1994.

Artigo Periódico:

DOC-CGCRE-050 – **Orientações para calibração de indicadores e simuladores de temperatura por simulação e medição elétrica**. Versão brasileira do documento EURAMET cg-8 Versão 2.1, 2011.

ABNT NBR 14670 – **Indicador de temperatura para Termopar – Calibração por comparação utilizando gerador de sinal**, 2001.

ISO GUM – **Guia para a Expressão da Incerteza de Medição**. 3ª Edição em Língua Portuguesa, ABNT, INMETRO, 2003.

ISO, ABNT–NBR. IEC 17043: 2011. **Avaliação de Conformidade–Requisitos Gerais para Ensaios de Proficiência** (norma idêntica a ISO/IEC, v. 17043, 2010).