6 Avaliação da estabilidade do termopar ouro/platina

O objetivo deste estudo é realizar o levantamento das características de um termopar AuPt no que diz respeito à sua estabilidade de calibração e também homogeneidade termoelétrica. Entende-se por estabilidade de calibração, a repetitividade de suas respostas ao longo do seu uso e de sucessivas calibrações. Por outro lado, homogeneidade termoelétrica é equivalente à conservação das características dos termoelementos ao longo de todo o seu comprimento útil. Em outras palavras, a f.e.m. gerada pelo efeito Thomson deve ser constante ao longo do tempo de uso do instrumento e deve ser a mesma ao longo de toda a extensão de cada termoelemento.

Na realização deste estudo, alguns fatores foram observados para que outras influências não fossem detectadas, levando a interpretações errôneas. São eles:

- foi utilizado apenas um instrumento de leitura (multímetro), evitando que eventuais erros sistemáticos desse instrumento pudessem alterar os valores da análise de dispersão;
- o tubo metálico de proteção da junção de referência foi vedado com borracha de silicone e completamente introduzido no banho de gelo, com o objetivo de anular qualquer possibilidade de condução de calor através desse tubo, do ambiente para a junção;
- após a realização de medição ou recozimento, o termopar AuPt foi mantido por uma noite em recozimento a 450°C, como recomendado [12] para alívio de tensões mecânicas;
- Sempre que possível foi observada a taxa máxima de variação de temperatura permitida ao termopar [12]. Quando não houve viabilidade para a aplicação deste procedimento, o tempo de recozimento a 450°C sugerido [12] foi duplicado;
- durante o recozimento no forno de zona única com bloco metálico de equalização, o termopar AuPt foi mantido no interior de um tubo de proteção tipo sanduíche feito de quartzo-platina-quartzo para que não houvesse ataque de íons metálicos do forno aos fios do termopar. Esse tubo possui aproximadamente 10 mm de diâmetro externo e 7 mm de diâmetro interno, dimensões essas que permitem sua introdução em um

dos furos do bloco de equalização e a colocação do termopar em seu interior. Íons metálicos alterariam a composição química dos termoelementos, podendo piorar a homogeneidade termoelétrica [12];

 foram utilizados patamares completos de fusão e solidificação, para que fosse detectada qualquer eventual evolução na f.e.m. do termopar. Esse tipo de efeito poderia ser causado por tensões mecânicas e, caso fosse detectado, haveria necessidade de um recozimento extra.

O desempenho desse instrumento é comparado com o de um termopar tipo S e com o de um TRPAT, sendo utilizados dados desses últimos colhidos no Later em trabalhos semelhantes a este.

6.1 Metodologia

Foi adotado um procedimento experimental para esse estudo que tivesse uma seqüência lógica de realização de atividades, com alguns testes iniciais para que fossem determinadas as características do instrumento, outros testes para análise de comportamento e, por fim, testes para comprovação ou não da manutenção das características iniciais. Desse modo, o primeiro passo considerado foi a realização de uma calibração pelo método dos pontos fixos, sendo esta comparada com a calibração original de fábrica, realizada pelo laboratório de metrologia da Hart Scientific, Inc. Depois disso, foi realizado um teste de homogeneidade termoelétrica por análise de profundidade de imersão em meio isotérmico e, posteriormente, a determinação da repetitividade do instrumento através de sucessivas medições no ponto fixo de maior valor da faixa de utilização do termopar, que é o ponto da prata. Esses três passos conduziram ao levantamento das características iniciais do termopar, sendo utilizados como referência para a comparação na análise final deste estudo.

Após os passos iniciais, foi realizado o estudo da repetitividade em função do uso do termopar AuPt em alta temperatura durante um tempo total de mais de 1500 horas. Foram realizados recozimentos a 1000°C e medições periódicas no ponto da prata (961,78°C), sendo assim monitorada a resposta do instrumento de forma dinâmica, para que pudesse ser detectada qualquer possível mudança nas características do termopar, que pudesse comprometer a sua estabilidade

termoelétrica.

Finalmente foram realizados, para comparação final, um novo estudo da homogeneidade termoelétrica por análise da profundidade de imersão em meio isotérmico, idêntico ao anterior e uma nova calibração por pontos fixos de temperatura nos mesmos pontos da calibração inicial. A abordagem do estudo é detalhada nos itens seguintes.

6.1.1 Calibração inicial por pontos fixos de temperatura

O primeiro passo do estudo foi determinar os coeficientes de calibração do termopar AuPt 8-1006 através de uma calibração por pontos fixos de temperatura. Através dessa calibração inicial, realizada nos pontos da prata (961,78°C), do alumínio (660,323°C), do zinco (419,527°C) e do estanho (231,928°C), foram observados os desvios em relação à tabela de referência [18]. Termopares são normalmente classificados de acordo com os seus desvios em relação à tabela de referência, porém não foram atribuídos em norma [18] valores de tolerância para classificação de termopares AuPt. A tabela 4 mostra os coeficientes da função da calibração inicial do AuPt 8-1006 e a tabela 5 mostra os valores e os desvios para a tabela de referência, já considerando as correções relativas à calibração do multímetro. O resultado da calibração (f.e.m. nos pontos fixos, calculada pela função de calibração ajustada) foi comparado com a calibração de fábrica do instrumento [21], realizada com incerteza de medição de ±20 mK (K=2) em toda a faixa de operação (0°C a 1000°C) pelo laboratório de metrologia da Hart Scientific, Inc, que possui rastreabilidade ao Nist. A tabela 6 mostra os valores calculados e as diferenças entre essas duas calibrações.

c_0	0,00000000E+00
\mathbf{c}_1	6,036190271E+00
c_2	1,936697723E-02
c ₃	-2,229986140E-05
c_4	3,287118590E-08
c ₅	-4,242061930E-11
c_6	4,569270380E-14
c ₇	-3,394302590E-17
c_8	1,429815900E-20
C 9	-2,516727870E-24

Tabela 4 – Coeficientes da função da calibração inicial

Tabela 5 – Valores e desvios para a tabela de referência

Tabela 6 – Comparação com calibração na Hart Scientific

Temperatura	f.e.m. Hart	f.e.m. Inmetro	Diferença	Coef. Seebeck	Diferença
(°C)	ajustada (µV)	ajustada (µV)	(µV)	$(\mu V/^{\circ}C)$	(mK)
0,000	0,000	0,000	0,000	6,035	0,0
231,928	2236,123	2236,164	-0,041	12,599	-3,3
419,527	4945,534	4945,567	-0,033	16,157	-2,0
660,323	9320,328	9320,296	0,032	20,139	1,6
961,780	16120,392	16120,190	0,202	24,945	8,1

O ponto 0°C não foi medido, mas foi inserido nos cálculos como um ponto válido, pois de acordo com as afirmações em 4.5 e 4.7, em temperaturas iguais nas junções de medição e de referência, a f.e.m. gerada é sempre nula.

6.1.2 Teste inicial de imersão no ponto da prata

Após a calibração inicial, houve a necessidade de se realizar o estudo inicial da homogeneidade termoelétrica dos fios do termopar, através da análise de profundidade de imersão em meio isotérmico. Esta análise foi realizada no poço termométrico da célula da prata em um patamar de solidificação, tendo seu início na posição de menor profundidade, sendo inserido em passos de 2 cm. Para efeito de cálculos, tomou-se como referência o fundo do poço termométrico, atribuindo a esse ponto o valor 0 cm. O teste foi realizado a partir de 18 cm, que é o ponto de menor profundidade, até o fundo, sendo o instrumento inserido para as posições posteriores após a estabilização da temperatura e a leitura de pelo menos 10 valores válidos. O processo foi iniciado pela posição superior para que não houvesse sucessivas entradas de ar no poço termométrico a cada vez que fosse mudada a posição do instrumento, ocasionando instabilidade térmica ou redução do tempo de duração do patamar de solidificação.

Em virtude de detalhes construtivos, não há viabilidade em analisar posições acima de 18 cm, pois esse é o comprimento total do cadinho de grafite da célula e a partir desse ponto, a temperatura lida está próxima da temperatura do forno, que nessa análise foi ajustada para cerca de 1°C abaixo do valor do patamar de solidificação. A figura 8 mostra o gráfico da análise da homogeneidade termoelétrica através do teste de profundidade de imersão no ponto de solidificação da prata, onde a resposta obtida na medição inicial na posição 0 cm foi utilizada como referência para as medições posteriores, estando as diferenças expressas logo abaixo dos pontos do gráfico.



Figura 8 – Gráfico da análise inicial da profundidade de imersão

Os pontos entre 10 cm e 18 cm detectam valores de temperatura entre o encontrado no patamar e o encontrado no forno, que nessas posições exerce influência direta por estar em temperatura diferente da do patamar. A variação mostrada entre 10 cm e 18 cm na figura 8 não deve ser interpretada como característica do termopar, devendo apenas ser utilizada na comparação com o resultado final. Entre 0 cm e 8 cm, pode-se afirmar que a temperatura é a mesma e que os fios do termopar são homogêneos. O ponto 0 cm foi repetido no final do teste para garantir que o patamar de solidificação não havia terminado.

6.1.3 Teste inicial de repetitividade no ponto da prata

Para a conclusão do levantamento inicial das características do termopar AuPt 8-1006, foi realizada a análise inicial da repetitividade através de sucessivas medições no ponto fixo da prata, que é o de mais alto valor de temperatura dentre os pontos fixos da faixa de operação do termopar AuPt, sendo por este motivo o ponto fixo mais suscetível a variações de f.e.m. em virtude de problemas de estabilidade ou homogeneidade termoelétrica.

Foram realizadas 10 medições no ponto da prata sendo 5 fusões e 5 solidificações. A média dos valores encontrados foi igual a 16120,313 μ V, com desvio padrão de 0,06 μ V. A tabela 7 mostra o resultado do teste de repetitividade inicial por sucessivas medições no ponto da prata, identificando as fusões e solidificações e demonstrando os desvios para a média dos valores obtidos.

Data	f.e.m. lida	Ponto	Desvio para a	Desvio para a
	(µV)		média (µV)	média (mK)
13/12/01	16120,294	fusão	-0,019	-0,8
14/12/01	16120,319	solidificação	0,006	0,2
26/12/01	16120,426	fusão	0,113	4,5
27/12/01	16120,264	solidificação	-0,049	-2,0
07/01/02	16120,340	fusão	0,027	1,1
08/01/02	16120,203	solidificação	-0,110	-4,4
09/01/02	16120,302	fusão	-0,011	-0,4
10/01/02	16120,293	solidificação	-0,020	-0,8
06/02/02	16120,369	fusão	0,056	2,2
07/02/02	16120,319	solidificação	0,006	0,2

Tabela 7 – Valores lidos no teste de repetitividade inicial

Analisando estes dados pode-se concluir que a diferença entre a média desses valores e o valor medido no ponto da prata na calibração inicial foi de $0,037 \mu$ V, que corresponde a 1,5 mK e, o desvio padrão foi da ordem de 2,4 mK.

Realizando-se uma análise independente, conclui-se que a média entre os valores das fusões foi de 16120,346 μ V, ou seja, 0,070 μ V acima do valor medido na calibração inicial, correspondendo esta diferença a 2,8 mK e, o desvio padrão desses valores foi de 2,2 mK. Para a solidificação, a média entre os valores medidos foi de 16120,280 μ V, estando 0,004 μ V acima do valor medido inicialmente, o que corresponde a 0,1 mK. O desvio padrão dos valores obtidos na solidificação foi de 1,9 mK. Esse resultado demonstra que o patamar de solidificação da prata é mais repetitivo que o de fusão, motivo pelo qual a ITS-90 aceita apenas a solidificação dessa substância como um de seus pontos fixos de definição. A figura 9 mostra o gráfico da análise inicial de repetitividade no ponto da prata, onde são expressos os desvios em relação à média.



Figura 9 – Gráfico da análise inicial da repetitividade

6.1.4 Análise da repetitividade no ponto da prata em função do uso

O estudo da repetitividade em função do uso foi realizado por um período de aproximadamente 1500 horas. Durante esse tempo, o termopar esteve submetido a temperaturas próximas ao limite máximo de operação, que é 1000°C, sendo periodicamente avaliado em sua estabilidade termoelétrica através de medições no ponto fixo da prata, tanto em fusões quanto em solidificações.

Após o teste inicial de repetitividade no ponto da prata, o termopar foi submetido a um processo de recozimento em 1000°C por aproximadamente 200 horas, sendo então medido novamente no ponto da prata. Esse procedimento foi repetido até cerca de 1500 horas.

Para efeito de cálculo do número de horas de recozimento, foi computado todo o tempo em que o termopar esteve submetido a temperatura superior a 950°C, inclusive o tempo em que o instrumento esteve em processo de medição no ponto da prata, uma vez que os patamares foram medidos de forma completa, sendo o instrumento mantido por muitas horas nessa temperatura. Para o cálculo da repetitividade em função do uso, foram consideradas as medições realizadas nos testes anteriores. A tabela 8 mostra o resultado do teste de repetitividade em função do uso do termopar AuPt 8-1006. A coluna tempo corresponde aos valores pontuais relativos à metade do intervalo de tempo da parte válida do patamar de

Data	Tempo	f.e.m. lida	Ponto	Desvio para a	Desvio para a
(dd/mm/aa)	(hh:mm)	(µV)		média (µV)	média (mK)
12/12/01	1:50	16120,276	Solidificação	-0,024	-1,0
13/12/01	7:55	16120,294	fusão	-0,006	-0,2
14/12/01	11:30	16120,319	Solidificação	0,019	0,8
26/12/01	16:30	16120,426	fusão	0,126	5,0
27/12/01	32:30	16120,264	Solidificação	-0,036	-1,5
07/01/02	38:00	16120,340	fusão	0,040	1,6
08/01/02	57:00	16120,203	Solidificação	-0,097	-3,9
09/01/02	63:15	16120,302	fusão	0,002	0,1
10/01/02	69:15	16120,293	Solidificação	-0,007	-0,3
06/02/02	163:00	16120,369	fusão	0,069	2,8
07/02/02	182:15	16120,319	Solidificação	0,019	0,8
15/04/02	401:50	16120,212	fusão	-0,088	-3,5
16/04/02	424:40	16120,195	Solidificação	-0,105	-4,2
16/04/02	434:45	16120,286	fusão	-0,014	-0,6
17/04/02	447:20	16120,251	Solidificação	-0,049	-2,0
03/06/02	633:25	16120,451	fusão	0,151	6,0
04/06/02	645:30	16120,337	Solidificação	0,037	1,5
05/06/02	670:45	16120,289	fusão	-0,011	-0,4
06/06/02	694:30	16120,237	Solidificação	-0,063	-2,5
18/06/02	885:25	16120,341	fusão	0,041	1,6
19/06/02	906:30	16120,252	Solidificação	-0,048	-1,9
27/06/02	1044:20	16120,369	fusão	0,069	2,8
28/06/02	1067:15	16120,245	Solidificação	-0,055	-2,2
11/07/02	1245:45	16120,320	Fusão	0,020	0,8
12/07/02	1270:15	16120,228	Solidificação	-0,072	-2,9
24/07/02	1471:50	16120,408	Fusão	0,108	4,3
13/08/02	1508:05	16120,279	Solidificação	-0,021	-0,8

Tabela 8 – Valores lidos no teste de repetitividade em função do uso

Realizando uma análise destes dados conclui-se que a diferença entre a média desses valores e o valor medido no ponto da prata na calibração inicial foi de $0,024 \mu$ V, que corresponde a 1,0 mK com desvio padrão da ordem de 2,6 mK.

Analisando de forma independente, pode-se concluir que a média entre os valores das fusões foi de 16120,339 μ V, ou seja, 0,063 μ V acima do valor medido na calibração inicial, correspondendo esta diferença a 2,6 mK e, o desvio padrão desses valores foi de 2,6 mK. Para a solidificação, a média entre os valores medidos foi de 16120,264 μ V, estando 0,012 μ V abaixo do valor medido inicialmente, o que corresponde a 0,5 mK e o desvio padrão dos valores obtidos na solidificação foi de 1,7 mK. Esse resultado demonstra mais uma vez que o

patamar de solidificação da prata é mais repetitivo que o de fusão. A figura 10 mostra o gráfico da análise da repetitividade no ponto da prata do termopar AuPt 8-1006 em função de seu uso, sendo expressos os desvios em relação à média.



Figura 10 - Gráfico da análise da repetitividade em função do uso

6.1.5 Calibração final por pontos fixos de temperatura

Após a conclusão do teste de repetitividade em função do uso do termopar AuPt 8-1006, foi iniciada a etapa final da metodologia do estudo, através da realização de uma nova calibração nos mesmos quatro pontos fixos de temperatura utilizados na calibração inicial. A tabela 9 mostra os coeficientes da função da calibração final do AuPt 8-1006 e a tabela 10 mostra os valores medidos, os desvios para a tabela de referência e os resíduos de ajuste da função, já sendo consideradas as correções relativas à calibração do multímetro. O resultado da calibração (f.e.m. nos pontos fixos, calculada pela função de calibração ajustada) foi comparado com a calibração inicial deste estudo. A tabela 11 mostra os valores calculados e as diferenças entre as calibrações inicial e final. Foi calculada a incerteza de ajuste como descrito em 5.4, sendo obtido o valor de 3,5 mK. Essa incerteza será considerada como uma das componentes da incerteza final de calibração descrita em 7.3, na planilha de incerteza proposta.

c_0	0,000000000E+00
c_1	6,034509888E+00
c ₂	1,936884603E-02
c ₃	-2,229986140E-05
c_4	3,287118590E-08
c_5	-4,242061930E-11
c_6	4,569270380E-14
c ₇	-3,394302590E-17
c_8	1,429815900E-20
C9	-2,516727870E-24

Tabela 10 – Valores e desvios para a tabela de referência

Temperatura	f.e.m. medida	f.e.m. tabelada	ΔΕ	f.e.m. ajustada	resíduo
(°C)	(µV)	(μV)	(µV)	(µV)	(µV)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
231,928	2235,848	2236,184	-0,336	2235,875	0,027
419,527	4945,149	4945,627	-0,478	4945,191	0,042
660,323	9320,072	9320,441	-0,369	9320,001	-0,071
961,780	16120,279	16120,495	-0,216	16120,303	0,024

Tabela 11 – Comparação com calibração inicial

		3			
Temperatura	f.e.m. final	f.e.m. inicial	Diferença	Coef. Seebeck	Diferença
(°C)	ajustada (µV)	ajustada (µV)	(µV)	$(\mu V/^{\circ}C)$	(mK)
0,000	0,000	0,000	0,000	6,035	0,0
231,928	2235,875	2236,164	-0,289	12,599	-22,9
419,527	4945,191	4945,567	-0,376	16,157	-23,3
660,323	9320,001	9320,296	-0,295	20,139	-14,6
961,780	16120,303	16120,190	0,113	24,945	4,5

6.1.6 Teste final de imersão no ponto da prata

O teste final de imersão no ponto da prata foi realizado para a verificação da homogeneidade termoelétrica dos fios do termopar, objetivando a comparação de seu resultado com o obtido na análise inicial. Este teste foi feito de forma idêntica ao realizado inicialmente, sendo efetuado durante o patamar de solidificação da prata na calibração final. A figura 11 mostra o gráfico da análise final da homogeneidade termoelétrica através do teste de profundidade de imersão no ponto de solidificação da prata, onde a resposta obtida na medição inicial na posição 0 cm foi utilizada como referência para as medições posteriores, estando as diferenças expressas logo abaixo dos pontos do gráfico, da mesma forma que no gráfico do teste inicial. É importante ressaltar que entre 10 cm e 18 cm, a temperatura medida sofre influência da temperatura do forno, que foi ajustada para cerca de 1°C abaixo da temperatura do patamar de solidificação da prata.



Figura 11 – Gráfico da análise final da profundidade de imersão

6.2 Análise dos resultados

Comparando-se os resultados das calibrações (funções ajustadas) de fábrica, inicial e final, foi constatado que todas as diferenças, convertidas para valores de temperatura, nos pontos fixos utilizados são cobertas pela incerteza calculada através da planilha proposta em 7.3. Isto demonstra não só a boa estabilidade de calibração desse tipo de instrumento, mas também a reprodutibilidade de suas medições. A tabela 12 mostra o resultado da comparação entre os valores de f.e.m. nos pontos fixos utilizados, calculados pelas funções ajustadas nessas três calibrações.

Temperatura	f.e.m. Hart	f.e.m. Inmetro	f.e.m. Inmetro	Maior diferença
(°C)	ajustada (µV)	ajustada inicial (µV)	ajustada final (µV)	(mK)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
231,928	2236,123	2236,164	2235,875	22,9
419,527	4945,534	4945,567	4945,191	23,3
660,323	9320,328	9320,296	9320,001	16,2
961,780	16120,392	16120,190	16120,303	4,5

Tabela 12 – Comparação entre as calibrações

Com relação à repetitividade do termopar, pode-se afirmar que não houve diferenças significativas entre as análises da repetitividade inicial e da em função do uso do instrumento. Em ambos os casos, a repetitividade na solidificação apresentou melhor resultado que na fusão.

Analisando-se os testes de imersão inicial e final, pode-se concluir que o termopar manteve as suas características no que diz respeito à homogeneidade termoelétrica, pois na região considerada isotérmica, não houve variações significativas na resposta do instrumento. Na região entre 10 cm e 18 cm, a temperatura do forno influencia diretamente na resposta do instrumento e, pelo fato destas temperaturas não terem sido iguais nos dois casos, diferenças foram encontradas, não havendo porém qualquer conseqüência para o estudo. A figura 12 mostra o gráfico das diferenças entre o teste de imersão final e o teste de imersão inicial.



Figura 12 - Gráfico das diferenças entre os testes de imersão

6.3 Equipamentos e instrumentos utilizados

Devido ao primor deste estudo, no concernente ao nível de exatidão das medições, foi necessária a utilização de equipamentos e instrumentos que fornecessem respostas altamente confiáveis. Os seguintes equipamentos e instrumentos foram utilizados no desenvolvimento deste trabalho:

 célula de ponto fixo do estanho (231,928°C) com incerteza de medição de ±1,2 mK (K=2);

- célula de ponto fixo do zinco (419,527°C) com incerteza de medição de ±2,2 mK (K=2);
- célula de ponto fixo do alumínio (660,323°C) com incerteza de medição de ±4,8 mK (K=2);
- célula de ponto fixo da prata (961,78°C) com incerteza de medição de ±14 mK (K=2);
- forno com camisa isotérmica (*heat pipe*) para realização dos pontos da prata e do alumínio. O gradiente térmico longitudinal na região de utilização é menor que 0,1°C;
- forno com controle por três zonas para realização dos pontos do zinco e do estanho. O gradiente térmico longitudinal na região de utilização é da ordem de 0,1°C;
- multímetro HP 3457A calibrado no Laboratório de Tensão e Corrente Elétrica do Inmetro [22] com incerteza de medição de ±0,001% no valor lido no ponto da prata, ±0,002% no valor lido no ponto do alumínio, 0,005% no valor lido no ponto do zinco e 0,01% no valor lido no ponto do estanho;
- termopar AuPt fabricado pela Hart Scientific, modelo 5629, número de série 8-1006 (objeto do estudo), calibrado inicialmente no laboratório de metrologia dessa empresa, com incerteza de ±20 mK;
- forno de zona única com bloco metálico de equalização para recozimento em temperatura de 1000°C;
- tubo tipo sanduíche de quartzo-platina-quartzo, fechado em uma extremidade para proteção contra íons metálicos durante o recozimento;
- destilador de água, moedor de gelo e freezer utilizados para preparação de gelo moído para o banho de gelo;
- vaso térmico tipo "dewar" para conservação do banho de gelo;
- suportes de sustentação tipo haste-garra para fixação do termopar durante o levantamento de perfil (teste de imersão);
- computador equipado com placa e cabo tipo GPIB para interface com equipamentos e um programa para aquisição de dados e outro para ajustes matemáticos, ambos desenvolvidos no próprio laboratório.

6.4 Falhas e problemas

O coeficiente de Seebeck do termopar AuPt no ponto da prata (961,78°C) é de 24,945 μ V/°C, ou seja, cerca de 25 nV/mK e durante o estudo foram detectadas flutuações da ordem de alguns nanovolts (décimos de milikelvin). Porém o instrumento de leitura utilizado, um multímetro de 7½ dígitos que possui resolução suficiente para realizar essas leituras, apresenta em seu certificado de calibração, correções com arredondamento em décimo de microvolt (cada décimo de microvolt corresponde a 4 mK no ponto da prata) e incerteza de ±0,001%, o que corresponde a cerca de ±6,5 mK no ponto da prata. No ponto do estanho, esse problema é ainda mais crítico, pois pelo coeficiente de Seebeck desse ponto, cada décimo de microvolt corresponde a cerca de 8 mK e a incerteza de calibração, que é de ±0,01%, corresponde a cerca de ±18 mK.

Devido a falhas na construção, o termopar apresentou curto-circuito entre os termoelementos próximo à junção de referência, sendo desmontado e tendo o isolamento elétrico recomposto. A manipulação provocou rompimento do fio de platina nessa posição, sendo este soldado com um maçarico a hidrogênio, próprio para esta finalidade. Isso aconteceu mais de uma vez, o que provocou um leve encurtamento do fio, suficiente para que, após um recozimento, este ficasse esticado, provocando o rompimento do fio de 0,2 mm da mola da junção de medição. O instrumento foi desmontado e, com auxílio de um pedaço de cerca de 1 cm de fio de platina de 0,3 mm, foi realizada a emenda da junção de medição, também com o uso do maçarico específico. Como era esperado em virtude da lei dos metais intermediários (4.6), isso não alterou as características do termopar.

O forno utilizado para as calibrações no ponto fixo da prata possui um sistema de resfriamento a água, de sua tampa. Este é constituído de uma tubulação de cobre em forma de espiral colada à parte interna da tampa, por onde circula água corrente durante todo o tempo de uso do forno. Essa tubulação rompeu-se, fazendo com que houvesse vazamento de água para o interior do forno, inutilizando-o. Na hipótese de se tratar de um problema pontual, o tubo de cobre foi recuperado e o forno posto novamente em operação. Porém o problema tornou a ocorrer, dessa vez com maior intensidade, provocando a perda da resistência de aquecimento, que foi posteriormente substituída, em nova manutenção corretiva.