

CALIBRAÇÃO DE PADRÕES DE TEMPERATURA PELO MÉTODO DA COMPARAÇÃO

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Priscila Ferreira Bianco de Castro (UNIP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: priscila.ferreira@lit.inpe.br

Ricardo Sutério (LIT/INPE, Orientador)
E-mail: suterio@lit.inpe.br

COLABORADORES

Alberto de Paula Silva (LIT/INPE)
Rodrigo dos Santos Nascimento (LIT/INPE)

Julho de 2011

Introdução

Temperatura é a grandeza que caracteriza o estado térmico de um corpo ou sistema, a ela é atribuído um valor numérico e sua unidade, o que leva a necessidade de medir. A Metrologia, ciência das medições, compreende todos os aspectos teóricos e práticos que asseguram a precisão exigida no processo produtivo, procurando garantir a qualidade de produtos e serviços através da calibração de instrumentos de medição o que é essencial para assegurar a qualidade das medições e a sua validade.

Este trabalho visa incrementar a capacitação do Laboratório de Metrologia Física do LIT/INPE nos serviços de calibração de sensores e medidores de temperatura.

Assim, pretende-se elaborar um método para que seja possível a calibração dos padrões primários de trabalho do Laboratório, implantando uma técnica de calibração de termômetros de resistência de platina padrão (TRPP) por pontos fixos, utilizando a técnica da comparação a um termômetro padrão de referência, além de desenvolver e validar um procedimento de cálculo para determinar as constantes de calibração e as incertezas de medição de temperatura em toda a faixa de calibração. Embora as incertezas esperadas sejam da ordem de dez vezes piores que as incertezas do método primário de calibração, são esperadas incertezas na ordem de $0,01^{\circ}\text{C}$, suficientes para as aplicações espaciais atualmente em andamento no Instituto.

Plano de Trabalho

As etapas concluídas são: (1) revisão bibliográfica, com intuito de adquirir embasamento teórico dos tópicos de metrologia e a preparação e execução de calibração de sensores de temperatura. As etapas a serem concluídas são: (2) realização do trabalho de pesquisa, avaliação e desenvolvimento da técnica de medição, elaboração de como analisar e apresentar os resultados, em andamento, e (3) elaboração da documentação necessária para operação e configuração da técnica de medição, procedimento e cálculo de incertezas, etapa futura.

Índice

- 1 - Escala Internacional de Temperatura (ITS-90)
 - 1.1 - Escala Prática Internacional de Temperatura
 - 1.2 – Instrumentos e faixas de interpolação da ITS-90

- 2 - Ponto Triplo da Água

- 3 - Padrões de Medida
 - 3.1- Padrão internacional
 - 3.2- Padrão primário
 - 3.3- Padrão secundário
 - 3.4- Padrão de referência
 - 3.5- Padrão de trabalho

- 4 - Termômetro de Resistência
 - 4.1-Funcionamento
 - 4.2-Termômetro de Resistência de Platina
 - 4.2.1-Termômetro de Resistência de Platina Padrão (TRPP)
 - 4.2.2-Termômetro de Resistência de Platina Industrial (TRPI)

- 5 - Calibração
 - 5.1 – Procedimento para calcular temperatura

- 6 – Conclusão

Tabelas

- Tabela 1.1 – Comparação dos valor da IPTS-68 com da ITS-90
- Tabela 1.2 – Pontos fixos de temperatura da ITS-90
- Tabela 1.3 – Valores dos coeficientes

Figuras

- Figura 1 – Ponto Triplo da Água
- Figura 2 – Célula do Ponto Triplo da Água
- Figura 3 – Termômetro de Resistência de Platina Padrão
- Figura 4 – Método Potenciométrico

1 - Escala Internacional de Temperatura (ITS-90)

1.1 - Escala Prática Internacional de Temperatura

A necessidade de uma padronização para as medições de temperatura levou à adoção, sob a orientação da Conferência Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), de uma Escala Internacional de Temperatura. Em 1927 foi adotada a primeira Escala, (ITS-27), que estendia-se de -190 °C até acima de 1063 °C . Esta escala foi revisada em 1948, passando a ser chamada ITS-48, novamente alterada em 1960, recebendo nesse ano o nome de IPTS-48; uma revisão mais profunda ocorreu em 1968, sendo adotada a Escala Internacional Prática de Temperaturas (IPTS-68), em 1975 constatou a necessidade de algumas correções, e também acrescentou a Escala Provisória de Temperatura de 1976 (EPT-76) para a faixa de 0,5 K a 30 K.

Em 1987 a 18ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) decidiu que fosse feita uma nova escala de temperatura, e em 1989 na reunião do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) foi adotada a Escala Internacional de Temperatura (ITS-90) que entrou oficialmente em vigor em 1º de Janeiro de 1990 e vem sendo usada até a atualidade. Ela se baseia em 17 pontos fixos de definições altamente reproduzíveis, em instrumentos padrões calibrados nesses pontos fixos. A tabela abaixo mostra a diferença dos valores entre a IPTS-68 e a ITS-90.

Tabela 1.1- comparação dos valor da IPTS-68 com da ITS-90

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

A ITS-90 define as temperaturas internacionais Kelvin, T_{90} , e as temperaturas internacionais Celsius, t_{90} . A relação entre T_{90} e t_{90} é:

$$t_{90} / ^\circ\text{C} = T_{90} / \text{K} - 273,15$$

A escala possui várias faixas e sub-faixas ao longo dos seus pontos de definição. Várias destas faixas ou sub-faixas se sobrepõem e onde há sobreposições, existem definições diferentes para T_{90} . Em medições precisas podem haver diferenças numéricas entre as medições feitas na mesma temperatura, mas com definições diferentes, então mesmo usando uma definição para uma temperatura entre pontos fixos, dois instrumentos de interpolação aceitável podem apresentar valores ligeiramente diferentes. Em todos os casos essas diferenças são de importância prática desprezível.

A ITS-90 foi feita de modo que para qualquer valor de temperatura em sua extensão, o valor numérico de T_{90} seja uma aproximação rigorosa do valor de T , de acordo com as melhores estimativas da época em que a escala foi adotada. Mais informações podem ser encontradas no site: http://www.bipm.org/en/publications/its-90_techniques.html

1.2 – Instrumentos e faixas de interpolação da ITS-90

- Entre 0,65 K e 5,0 K são usados termômetros de pressão de vapor. A temperatura T_{90} é definida através da relação entre pressão de vapor do ^3He e 4He e temperatura.
- Entre 3,0 K e o ponto triplo do neônio (24,5561 K), T_{90} é definida por um termômetro de gás hélio calibrado em três temperaturas realizáveis experimentalmente para as quais foram atribuídas valores numéricos (pontos fixos de definição), e utilização de procedimentos especificado.
- Entre o ponto triplo do hidrogênio em equilíbrio (13,8033 K) e o ponto de solidificação da prata (961,78 °C), T_{90} é definida através de termômetros de resistência de platina calibrados em conjuntos de pontos fixos de definição e da utilização de procedimentos de interpolação especificados.
- Acima do ponto de solidificação da prata (961,78 °C), T_{90} é definida através de um ponto fixo de definição e da lei de radiação de Planck da radiação.

Neste trabalho compreende apenas a faixa de 13,8033K a 961,78 °C , que utiliza o termômetro de resistência de platina como padrão de trabalho. A tabela 1.2 apresenta os pontos fixos de definição da ITS-90

Tabela 1.2 – Pontos fixos de temperatura da ITS-90

Número	Temperatura		Substância ¹	Estado ²
	T ₉₀ / K	T ₉₀ / °C		
1	3 a 5	-270,15 a -268,15	He	Ponto de pressão de vapor
2	13,8033	-259,3467	e-H ₂	Ponto Triplo
3	17,035	-256,115	e-H ₂ (ou He)	Ponto de pressão de vapor (ou de termômetro de gás)
4	20,27	-252,88	e-H ₂ (ou He)	Ponto de pressão de vapor (ou de termômetro de gás)
5	24,5561	-248,5939	Ne	Ponto Triplo
6	54,3584	-218,7916	O ₂	Ponto Triplo
7	83,8058	-189,3442	Ar	Ponto Triplo
8	234,3156	-38,8344	Hg	Ponto Triplo
9	273,16	0,01	H ₂ O	Ponto Triplo
10	302,9146	29,7646	Ga	Ponto de Fusão
11	429,7485	156,5985	In	Ponto de Solidificação
12	505,078	231,928	Sn	Ponto de Solidificação
13	692,677	419,527	Zn	Ponto de Solidificação
14	933,473	660,323	Al	Ponto de Solidificação
15	1234,93	961,78	Ag	Ponto de Solidificação
16	1337,33	1064,18	Au	Ponto de Solidificação
17	1357,77	1084,62	Cu	Ponto de Solidificação

¹ Todas as substâncias, exceto ³He, são de composição isotópica natural, E-H₂ é o hidrogênio, na concentração de equilíbrio das formas moleculares orto e para.

² Os valores de temperatura dos pontos de fusão e de solidificação correspondem ao estado de equilíbrio das fases sólida e líquida à pressão de 101325 Pa.

2 - Ponto Triplo da Água

O ponto triplo de uma substância é um estado no qual se estabelece o equilíbrio dos estados sólido, líquido e vapor em uma determinada pressão e temperatura, que varia de uma substância para outra. A figura 1 ilustra como é o modelo do ponto triplo da água.

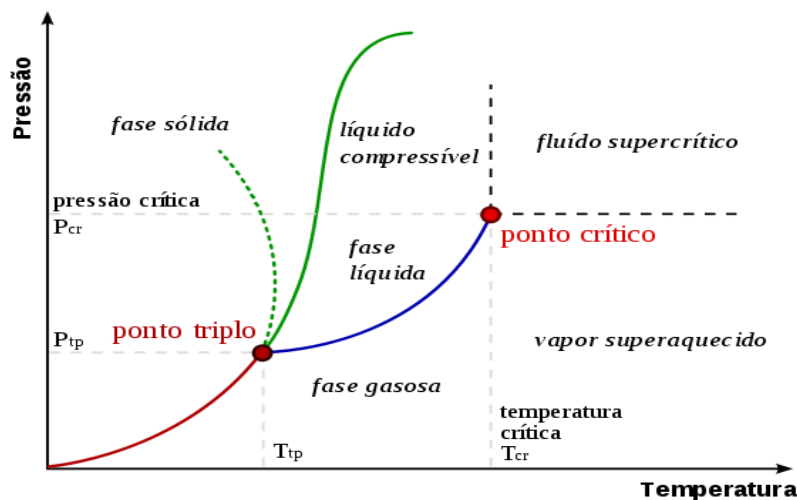


Figura 1 – Ponto Triplo da Água

A Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90) tem como principal ponto fixo termométrico, o ponto triplo da água ($0,01^{\circ}\text{C}$). Ele é usado como referência para as medições dos Termômetros Padrão de Resistência de Platina (TPRP), utilizado como termômetros de interpolação da Escala, sendo assim, um importante padrão primário de temperatura que garante a confiabilidade metrológica de medições.

A célula do ponto triplo começou a ser construída em 1996 pelo INMETRO, tendo como referência um protótipo feito através de uma célula alemã. Em 1999 em São Paulo foi construído o primeiro protótipo, desde então esse protótipo é comparado à célula de referência do INMETRO, fabricada no Laboratório Nacional de metrologia do México (CENAM).



Figura 2 – Célula do Ponto Triplo da Água

3 – Padrões de Medida

Padrão de medida é o instrumento ou sistema de medição destinado a definir e reproduzir valores conhecidos de uma grandeza para transmitir por comparação a outros instrumentos de medição (VIM, 2008). Conforme as suas características metrológicas um padrão pode ter várias denominações.

3.1- **Padrão internacional:** é um padrão reconhecido por um acordo internacional para ser utilizado mundialmente. Exemplos de padrão internacional são os pontos fixos, pois possuem o mesmo valor em qualquer parte do mundo, eles são usados para fazer a calibração dos demais padrões.

3.2- **Padrão primário:** é um padrão que apresenta as mais elevadas características metroológicas num dado domínio. O termómetro de resistência padrão é um exemplo de padrão primário. É utilizado na calibração por comparação do padrão secundário.

3.3- **Padrão secundário:** é um padrão cujo valor é fixado por comparação com um padrão primário de uma grandeza comum. O termómetro de resistência também pode ser um exemplo de padrão secundário, mas com uma qualidade inferior ao primário. O padrão secundário é calibrado pelo primário.

3.4- **Padrão de referência:** é um padrão usado para a calibração de outros padrões de grandezas da mesma natureza numa dada organização ou num dado local.

3.5- **Padrão de trabalho:** é um padrão utilizado para calibrar ou verificar os instrumentos de medida de utilização mais comum, assim ele deve ser mantido em boas condições de conservação e deve ser verificados em intervalos de tempo definidos. Ele geralmente é calibrado por comparação a um padrão de referencia. Também podendo ser como exemplo de padrão de trabalho o termómetro de resistência padrão.

4 – Termómetro de Resistência

4.1-Funcionamento

A calibração usando termómetros de resistência baseia-se na variação do valor da resistência eléctrica de um condutor metálico em função da temperatura. Os termómetros de resistência são considerados sensores de alta precisão e ótima repetitividade de leitura. O termómetro de resistência mais conhecido é o termómetro de resistência de platina. A figura a seguir ilustra um TPRP.



Figura 3 – Termômetro de Resistência de Platina Padrão

4.2-Termômetro de Resistência de Platina

A rastreabilidade é uma das características fundamentais de qualquer instrumento de medição. Este conceito refere-se à possibilidade de seguir uma cadeia metrológica, estabelecida por sucessivas calibrações, até chegar ao padrão primário internacional que define direta ou indiretamente a grandeza a ser medida.

O Termômetro de Resistência de Platina de 100 ohms opera entre -200 °C e 850 °C . O Termômetro de Resistência de Platina de 25 ohms é o instrumento de interpolação da ITS-90 na faixa entre -200 °C e 660 °C . Os TRPs de 2,5 ohms ou de 0,25 ohms são os instrumentos de interpolação da ITS-90 na faixa entre 0 °C e 960 °C .

Os termômetros de resistência de platina possuem duas configurações básicas: Termômetro de Resistência de Platina Padrão e Termômetro de Resistência de Platina Industrial.

4.2.1-Termômetro de Resistência de Platina Padrão (TRPP)

Para calibração de termômetros, é usado como padrão de interpolação o Termômetro de Resistência de Platina Padrão. Para a realizar a interpolação são usadas as funções citadas a baixo que foram retiradas da Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90).

- **Função desvio para faixa entre -189,3442 °C e 0,01 °C:**

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a_4 [W(T_{90}) - 1] + b_4 [W(T_{90}) - 1] \ln [W(T_{90})]$$

- **Função desvio para a faixa entre -38,8344 °C e 29,7646 °C:**

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a_5 [W(T_{90}) - 1] + b_5 [W(T_{90}) - 1]^2$$

- **Função desvio para a faixa entre 0 °C e 29,7646 °C:**

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a_{11} [W(T_{90}) - 1]$$

- **Função desvio para a faixa entre 0 °C e 156,5985 °C:**

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a_{10} [W(T_{90}) - 1]$$

- **Função desvio para a faixa entre 0 °C e 231,928 °C:**

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a_9 [W(T_{90}) - 1] + b_9 [W(T_{90}) - 1]^2$$

- **Função desvio para a faixa entre 0 °C e 419,527 °C:**

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a_8 [W(T_{90}) - 1] + b_8 [W(T_{90}) - 1]^2$$

- **Função desvio para a faixa entre 0 °C e 660,323 °C:**

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a_7 [W(T_{90}) - 1] + b_7 [W(T_{90}) - 1]^2 + c_7 [W(T_{90}) - 1]^3$$

- **Função desvio para a faixa entre 0 °C e 961,78 °C:**

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a_6 [W(T_{90}) - 1] + b_6 [W(T_{90}) - 1]^2 + c_6 [W(T_{90}) - 1]^3 + d_6 [W(T_{90}) - W(660,323 \text{ °C})]^2$$

- Função de referência de -259,3467 °C a 0,01 °C:

$$\ln[W_r(T_{90})] = A_0 + \sum_{i=1}^{12} A_i \left\{ \frac{[\ln(T_{90} / 273,16 \text{ K}) + 1,5]}{1,5} \right\}^i$$

- Função inversa:

$$\frac{T_{90}}{273,16 \text{ K}} = B_0 + \sum_{i=1}^{15} B_i \left\{ \frac{[W_r(T_{90})]^{\frac{1}{6}} - 0,65}{0,35} \right\}^i$$

- Função de referência de 0 °C a 961,78 °C:

$$W_r(T_{90}) = C_0 + \sum_{i=1}^9 C_i \left[\frac{T_{90}/\text{K} - 754,15}{481} \right]^i$$

- Função inversa:

$$T_{90}/\text{K} - 273,15 = D_0 + \sum_{i=1}^9 D_i \left[\frac{W_r(T_{90}) - 2,64}{1,64} \right]^i$$

Principais características são:

- O sensor é feito com platina com pureza melhor que 99,999%;
- Sua montagem é feita de maneira que a platina não fique submetida a tensões;
- São usados materiais de inércia química e alta pureza, tais como quartzo na fabricação do tubo e mica na confecção do suporte do sensor de platina.

A justificativa para sua utilização como padrão de interpolação da ITS-90 é a grande estabilidade do termômetro e a precisão das medições. A tabela 1.3 a baixo representa os valores dos coeficientes utilizados nas equações citadas acima.

Tabela 1.3 – Valores dos coeficientes das equações anteriores:

	Valor		Valor		Valor		Valor
A ₀	-2,13534729	B ₀	0,183324722	C ₀	2,78157254	D ₀	439,932854
A ₁	3,1832472	B ₁	0,240975303	C ₁	1,64650916	D ₁	472,41802
A ₂	-1,80143597	B ₂	0,209108771	C ₂	-0,1371439	D ₂	37,684494
A ₃	0,71727104	B ₃	0,190439972	C ₃	-0,00649767	D ₃	7,472018
A ₄	0,50344027	B ₄	0,142648498	C ₄	-0,00234444	D ₄	2,920828
A ₅	-0,61899395	B ₅	0,077993465	C ₅	0,00511868	D ₅	0,005184
A ₆	-0,05332322	B ₆	0,012475611	C ₆	0,00187982	D ₆	-0,963864
A ₇	0,28021362	B ₇	-0,03226713	C ₇	-0,00204472	D ₇	-0,188732
A ₈	0,10715224	B ₈	-0,07529152	C ₈	-0,00046122	D ₈	0,191203
A ₉	-0,29302865	B ₉	-0,05647067	C ₉	0,00045724	D ₉	0,049025
A ₁₀	0,04459872	B ₁₀	0,076201285				
A ₁₁	0,11868632	B ₁₁	0,123893204				
A ₁₂	-0,05248134	B ₁₂	-0,02920119				
		B ₁₃	-0,09117354				
		B ₁₄	0,001317696				
		B ₁₅	0,026025526				

4.2.2-Termômetro de Resistência de Platina Industrial (TRPI)

As configurações de montagem dos TRPI's tem como objetivo ajustá-los às condições de utilização em uma indústria, onde serão submetidos a condições mais agressivas. O comportamento da variação da resistência em função da temperatura é dado por:

$$R(t) = R_0 (1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3)$$

Os valores das constantes do termômetro de resistência de platina industrial são:

R₀: 100 Ohms;

A: 3,908 x 10⁻³ °C⁻¹;

B: -5,80 x 10⁻⁷ °C⁻²;

C: $4,27 \times 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$ para $t < 0^\circ\text{C}$ e zero para $t > 0^\circ\text{C}$;

A diferença entre o Termômetro de Resistência de Platina Industrial em relação ao Termômetro de Resistência de Platina Padrão é que o TRPI utiliza platina com pureza menor, entretanto, sua faixa de utilização é menor que a do TRPP, tendo como maior temperatura de utilização 850°C . A principal qualidade do TRPI é sua excelente precisão.

5-Calibração

A calibração de um sensor de temperatura consiste em determinar o seu valor indicado em função de um número de temperaturas conhecidas, e através de métodos de interpolação, conhecer o seu comportamento para uma faixa especificada ou para uma faixa de interesse. Tal processo geralmente requer um termômetro padrão de referência que indique o valor da temperatura conforme uma escala padrão, um método ou um procedimento adequado e um ambiente controlado no qual, tanto o termômetro a ser calibrado quanto o termômetro de referência, estejam em um mesmo valor de temperatura.

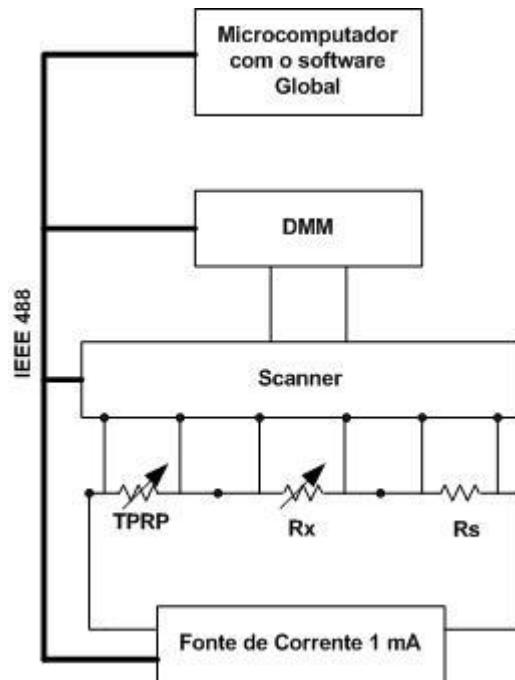


Figura 4 – Método Potenciométrico

5.1 – Procedimento para calcular a temperatura

As temperaturas são determinadas por funções interpolação de acordo com a norma ITS-90. Para encontrá-las é necessário primeiramente medir a resistência $R(T_{90})$ em uma temperatura T , através de calibração usando o método potenciométrico, ilustrado na figura 4. Depois de possuir os valores, é preciso encontrar o $W(T_{90})$ através da equação:

$$W(T_{90}) = \frac{R(T_{90})}{R(273,16K)}$$

O valor de $R(273,16K)$ é dado no certificado.

Depois de encontrado o valor de $W(T_{90})$ é preciso encontrar o ΔW pela função de acordo com a faixa de temperatura adequada, no caso do laboratório a função será:

- Função desvio para faixa entre -189,3442 °C e 0,01 °C:

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a_4 [W(T_{90}) - 1] + b_4 [W(T_{90}) - 1] \ln [W(T_{90})]$$

- Função desvio para a faixa entre 0 °C e 419,527 °C:

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a_8 [W(T_{90}) - 1] + b_8 [W(T_{90}) - 1]^2$$

*As constantes a , b , c e d são encontradas no certificado do equipamento.

Depois de encontrar o valor de W_r é possível calcular o valor da temperatura através das funções de referência:

- Função de referência de -259,3467 °C a 0,01 °C:

$$\ln[W_r(T_{90})] = A_0 + \sum_{i=1}^{12} A_i \left\{ \frac{[\ln(T_{90} / 273,16 \text{ K}) + 1,5]}{1,5} \right\}_i$$

- Função inversa:

$$\frac{T_{90}}{273,16 \text{ K}} = B_0 + \sum_{i=1}^{15} B_i \left\{ \frac{[W_r(T_{90})]^{\frac{1}{6}} - 0,65}{0,35} \right\}_i$$

- Função de referência de 0 °C a 961,78 °C:

$$W_r(T_{90}) = C_0 + \sum_{i=1}^9 C_i \left[\frac{T_{90}/\text{K} - 754,15}{481} \right]^i$$

- Função inversa:

$$T_{90}/\text{K} - 273,15 = D_0 + \sum_{i=1}^9 D_i \left[\frac{W_r(T_{90}) - 2,64}{1,64} \right]^i$$

Assim escolhendo função de acordo com a faixa de temperatura correta é possível calcular o valor da temperatura. E como a temperatura estará em Kelvin se preciso transformá-la em graus Celsius é só usar a equação:

$$t_{90} = T_{90} - 273,15$$

6-Conclusão

Com a demanda de serviços de calibração de equipamentos, tanto de clientes externos como internos, é necessário possuir sempre o padrão de referência calibrado. Mas o Laboratório de Metrologia Física possui, entre os pontos fixos necessários para a calibração dos padrões, apenas a célula do ponto triplo da água, o que não torna possível a realização da calibração dos padrões de temperatura por pontos fixos. Sendo necessário desenvolver o método para que seja possível calibrá-los por comparação, espera-se com esse trabalho desenvolver esse método para que o laboratório possa realizar a calibração não sendo mais necessário enviar os padrões a outro instituto para fazê-la.

Dando continuidade a esse projeto pretende-se futuramente elaborar um procedimento de calibração validado de calibração, de padrões de temperatura por pontos fixos, um procedimento de cálculo dos parâmetros de calibração e um procedimento de cálculo de incertezas da calibração.

Assim espera-se incrementar a confiabilidade operacional e metrológica dos dados adquiridos na calibração de temperatura, melhorar a produtividade e aumentar a confiabilidade dos serviços prestados pelo Laboratório de Metrologia Física do INPE/LIT, promover a diminuição dos níveis de incertezas, do tempo da calibração e do número de intervenção do operador nos processos de calibração e promover a formação de recursos humanos em metrologia.

Referências Bibliográficas

- NBR ISO/IEC 17.025 - “Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração”, 2005.
- ASTM E 344 - "Terminology Relating to Thermometry and Hydrometry" - ASTM - American Society for Testing Materials.
- ASTM E 644 - “Standard Test Methods for Testing Industrial Resistance Thermometers” - ASTM - American Society for Testing Materials.
- ASTM E 1137 - "Specification for Industrial Platinum Resistance Thermometers" - ASTM - American Society for Testing Materials.
- THOMAS, H. Preston - "The International Temperature Scale of 1990" - Metrologia 27, 3-10 (1990).
- BIPM – “Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990” – em: http://www.bipm.org/en/publications/its-90_supplementary.html, acessado em Julho de 2011.
- VIM - "Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia" – INMETRO.
- LIT29-LIT09-PC-012 - Procedimento de Calibração no Ponto Triplo da Água
- LIT29-LIT09-PC-007 - Procedimento de Calibração de Termômetros de Resistência
- ABNT NBR 13772 - Termorresistência – Calibração por comparação com termorresistência de Referência
- ABNT NBR 13773 - Termorresistência industrial de platina – Requisitos e ensaio