



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



## **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](mailto:priscila.ferreira@lit.inpe.br)**

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

### **COLABORADORES**

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

**Julho de 2012**

# Índice

## 1 - Introdução

## 2 - Escala Internacional de Temperatura (ITS-90)

### 2.1 - Escala Prática Internacional de Temperatura

### 2.2 - Instrumentos e faixas de interpolação da ITS-90

## 3 - Termômetro de Resistência

### 3.1 - Funcionamento

### 3.2 - Termômetro de Resistência de Platina

#### 2.2.1 - Termômetro de Resistência de Platina Padrão (TRPP)

#### 2.2.2 - Termômetro de Resistência de Platina Industrial (TRPI)

## 4 - Calibração

### 4.1 - Procedimento para calcular temperatura

### 4.2 - Procedimento de Calibração

## 5 - Conclusão

### **Tabelas**

Tabela 1.1 - Comparação dos valores 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 - Termômetro de Resistência de Platina Padrão

Figura 2 - Método Potenciométrico

Figura 3 - Configuração para calibração de termômetros de resistência.

## **1 - 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 possibilitou incrementar a capacitação do Laboratório de Metrologia Física do LIT/INPE nos serviços de calibração de sensores e medidores de temperatura.

Assim, foi elaborado um método para 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**

Todas as etapas propostas foram concluídas e estão descritas a seguir: (1) revisão bibliográfica, com intuito de adquirir embasamento teórico dos tópicos de metrologia e a preparação e execução de calibração de sensores de temperatura, (2) realização do trabalho de pesquisa, avaliação e desenvolvimento da técnica de medição, elaboração de como analisar e apresentar os resultados, (3) elaboração da documentação necessária para operação e configuração da técnica de medição, procedimento e cálculo de incertezas.

## 2 - Escala Internacional de Temperatura (ITS-90)

### 2.1 - 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  $-190\text{ °C}$  até acima de  $1063\text{ °C}$ . 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 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.

## 2.2 – Instrumentos e faixas de interpolação da ITS-90

- Entre  $-272,5\text{ }^\circ\text{C}$  e  $-268,15\text{ }^\circ\text{C}$  são usados termômetros de pressão de vapor. A temperatura  $T_{90}$  é definida através da relação entre pressão de vapor do  $^3\text{He}$  e  $^4\text{He}$  e temperatura.
- Entre  $-270,15\text{ }^\circ\text{C}$  e o ponto triplo do neônio ( $-248,5939\text{ }^\circ\text{C}$ ),  $T_{90}$  é definida por um termômetro de gás hélio calibrado em três temperaturas realizáveis experimentalmente para as quais foram atribuídos valores numéricos (pontos fixos de definição), e utilização de procedimentos especificado.
- Entre o ponto triplo do hidrogênio em equilíbrio ( $-259,3467\text{ }^\circ\text{C}$ ) e o ponto de solidificação da prata ( $961,78\text{ }^\circ\text{C}$ ),  $T_{90}$  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 ( $961,78\text{ }^\circ\text{C}$ ),  $T_{90}$  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  $-259,3467\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $961,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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 <sup>1</sup>	Estado <sup>2</sup>
	T <sub>90</sub> [K]	t <sub>90</sub> [°C]		
1	3 a 5	-270,15 a -268,15	He	Ponto de pressão de vapor
2	13,8033	-259,3467	e-H <sub>2</sub>	Ponto Triplo
3	17,035	-256,115	e-H <sub>2</sub> (ou He)	Ponto de pressão de vapor ( ou de termômetro de gás)
4	20,27	-252,88	e-H <sub>2</sub> (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 <sub>2</sub>	Ponto Triplo
7	83,8058	-189,3442	Ar	Ponto Triplo
8	234,3156	-38,8344	Hg	Ponto Triplo
9	273,16	0,01	H <sub>2</sub> 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

<sup>1</sup> Todas as substâncias, exceto <sup>3</sup>He, são de composição isotópica natural, E-H<sub>2</sub> é o hidrogênio, na concentração de equilíbrio das formas moleculares orto e para.

<sup>2</sup> 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.

## 3 – Termômetro de Resistência

### 3.1-Funcionamento

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



Figura 1 – Termômetro de Resistência de Platina Padrão

### 3.2-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  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O Termômetro de Resistência de Platina de 25 ohms é o instrumento de interpolação da ITS-90 na faixa entre  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Os TRPs de 2,5 ohms ou de 0,25 ohms são os instrumentos de interpolação da ITS-90 na faixa entre  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $960\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Os termômetros de resistência de platina possuem duas configurações básicas: Termômetro de Resistência de Platina Padrão e Termômetro de Resistência de Platina Industrial. O procedimento descrito nesse trabalho pode ser utilizado para qualquer termômetro de resistência de platina, inclusive o Termômetro de Resistência de Platina Industrial.

### 3.2.1-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 realizar a interpolação são usadas as funções citadas abaixo que foram retiradas da Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90).

- **Função desvio para faixa entre  $-189,3442\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ :**

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

- **Função desvio para a faixa entre  $-38,8344\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $29,7646\text{ }^{\circ}\text{C}$ :**

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

- **Função desvio para a faixa entre  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $29,7646\text{ }^{\circ}\text{C}$ :**

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

- **Função desvio para a faixa entre  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $156,5985\text{ }^{\circ}\text{C}$ :**

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



- **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:

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

- 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:

- a) O sensor é feito com platina com pureza melhor que 99,999%;
- b) Sua montagem é feita de maneira que a platina não fique submetida a tensões;
- c) 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 abaixo representa os valores dos coeficientes utilizados nas equações citadas no item 2.2.1.

Tabela 1.3 – Valores dos coeficientes das equações anteriores:

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

### 3.2.2-Termômetro de Resistência de Platina Industrial (TRPI)

As configurações de montagem dos TRPI's têm 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:

$R_0$ : 100 Ohms;

A:  $3,908 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

B:  $-5,80 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$ ;

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  $850 \text{ } ^\circ\text{C}$ . A principal qualidade do TRPI é sua excelente precisão.

## **4 - 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 precisa de 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.

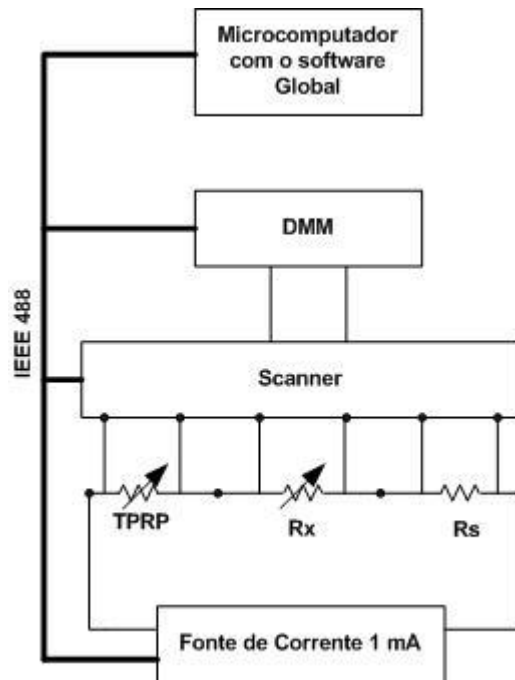


Figura 2 – Método Potenciométrico

#### 4.1 – Procedimento para calcular a temperatura

Para realização da calibração do Termômetro de Resistência de Platina Padrão foi desenvolvido o processo de automação dos cálculos. Para efetuar esse procedimento foi utilizado um software livre denominado R.

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 2. 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  $\Delta W$  pela função de acordo com a faixa de temperatura adequada, no caso do Laboratório de Metrologia Física do INPE/LIT 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  $a$  e  $b$  podem ser calculadas pelo método dos mínimos quadrados, correlacionando o valor da resistência ( $R_x$ ) do objeto com a temperatura ( $t_{90}$ ) indicada pelo padrão :

Sistema de equação:

$$\begin{cases} b_0 + b_1 * x_1 = y_1 \\ b_0 + b_1 * x_2 = y_2 \end{cases} \quad \begin{cases} y_1 = a + b * x_1 \\ y_2 = a + b * x_2 \end{cases}$$

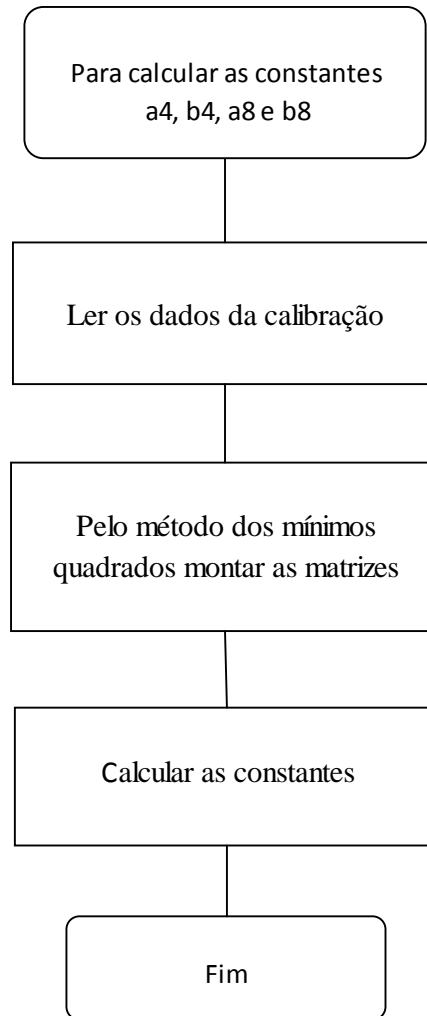
Pode ser escrito em notação matricial:

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} b_0 \\ b_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \end{bmatrix}^T * \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \end{bmatrix}^T * \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \end{bmatrix}^T * \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \end{bmatrix} \right)^{-1} * \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \end{bmatrix}^T * \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix}$$

O fluxograma a seguir descreve processo para se calcular o valor das constantes de calibração:



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

➤ Função de referência de  $-259,3467\text{ °C}$  a  $0,01\text{ °C}$ :

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

➤ 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:

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

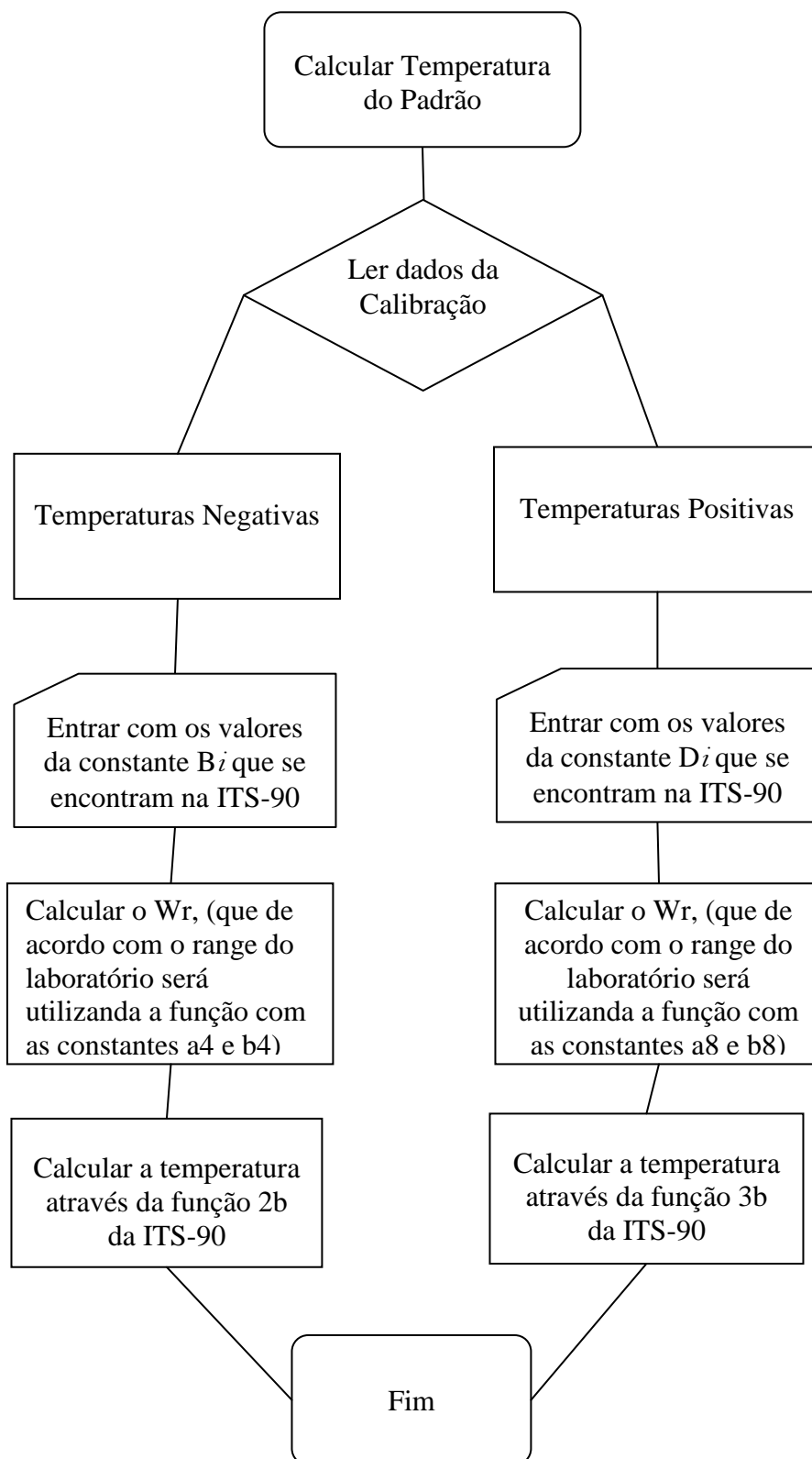
➤ Função inversa:

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

Assim escolhendo função de acordo com a faixa de temperatura correta é possível calcular o valor da temperatura. O resultado obtido será em Kelvin que pode ser transformado para graus Celsius utilizando a equação abaixo:

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

O fluxograma a seguir demonstra o processo para realização dos cálculos para se determinar o valor da temperatura do padrão:





## 4.2 - Procedimento de Calibração

As condições ambientais do Laboratório de Metrologia Física do INPE/LIT devem ser controladas, temperatura de  $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  e umidade de  $50\% \text{ ur} \pm 10\text{ ur}$ , para condicionar os equipamentos utilizados na calibração. O sistema de calibração é composto pelos equipamentos descritos abaixo, ilustrado na figura 3:

- Fonte de corrente
- Multímetros
- Scanner
- Meio térmico de calibração;
- Resistores Padrão de 25 e 100 ohms;
- Termômetros de Resistência de Platina Padrão de Referência e de Trabalho;
- Frasco Dewar com gelo de água destilada triturado.
- Microcomputador com sistema operacional Windows 9x ou superior

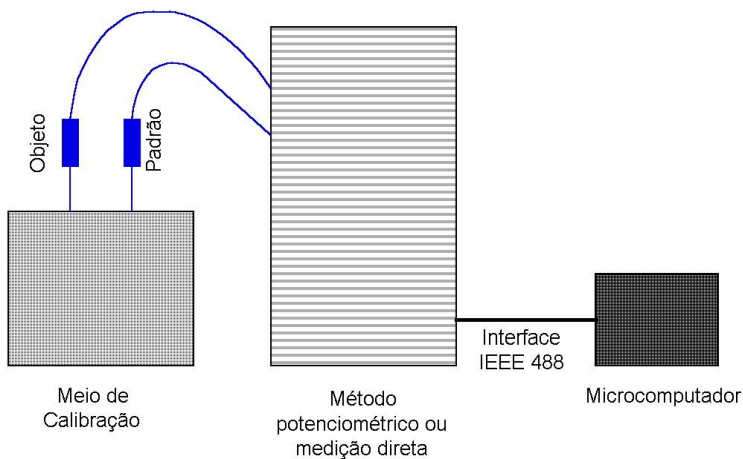


Figura 3: Configuração para calibração de termômetros de resistência.

A calibração é feita por comparação a um Termômetro padrão de referência, em um meio térmico estável utilizando o método potenciométrico, a faixa de calibração atual do Laboratório de Metrologia Física do INPE/LIT é de  $-196\text{ °C}$  a  $232\text{ °C}$ .

As informações adquiridas nas medições devem ser salvas em um arquivo de texto e em um registro interno do laboratório, a análise dos resultados deve ser realizada com o auxílio da pasta de planilhas de cálculo tipo “Excel”. A Incerteza da calibração deve ser calculada por ponto de medida ou por faixa de temperatura, e estar baseada no EA-4/02 – “Expressão de Incerteza na Calibração” – INMETRO; SBM – Programa RH-Metrologia, 1ª. Edição Brasileira do “Expression of Uncertainty of Measurement in Calibration EAL-R2”, 1999. O procedimento de cálculo de incerteza deve compreender um nível de confiança de pelo menos 95% (2 sigma). O certificado de calibração é gerado a partir dos dados coletados na calibração.

## 5 - Conclusão

No desenvolvimento deste projeto de iniciação científica, o objetivo principal foi atingido, ou seja, desenvolver o método para a calibração dos padrões de temperatura. A realização desse projeto nos permite dizer que o Laboratório de Metrologia Física do INPE/LIT é capacitado para fazer a calibração de seus padrões não necessitando mais enviá-los a outra instituição para fazê-la.

Além do método de calibração também foi elaborado um procedimento de calibração validado, de padrões de temperatura por pontos fixos e um procedimento de cálculo dos parâmetros de calibração, o procedimento de cálculo de incertezas da calibração é uma proposta para um trabalho futuro.

Assim é possível 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.

## 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.
- EIT-90 - "The International Temperature Scale of 1990" - Metrologia 27, 3-10 (1990).
- 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
- [http://www.bipm.org/en/publications/its-90\\_supplementary.html](http://www.bipm.org/en/publications/its-90_supplementary.html) - Informações suplementares sobre a Escala Internacional de Medida.
- [http://www.bipm.org/en/publications/its-90\\_techniques.html](http://www.bipm.org/en/publications/its-90_techniques.html) - Técnicas para aproximar a Escala Internacional de Temperatura de 1990.
- <http://www.its-90.com/> - Escala Internacional de Temperatura (ITS-90) .
- <http://cran.r-project.org/doc/manuals/R-intro.html> - Uma introdução ao R.
- <http://cran.r-project.org/doc/contrib/Short-refcard.pdf> - Cartão de referência ao R.