



**PCI/MCTIC/INPE  
RELATÓRIO TÉCNICO DE ATIVIDADES**  
<v9>

**[Referente ao período: 01/08/2018 a 31/12/2018]**

**Número do Processo Institucional: [ 454779/2015-1 ]**

**Número do Processo Individual: [ 300578/2017-2 ]**

**Bolsista: [Dianne Cristina Rodrigues]**

**Supervisor: [Ricardo Suterio]**

**Área: [LIT - Laboratório de Integração e Testes]**

**Vigência original da bolsa: [01/08/2018 a 31/12/2018]**

**Modalidade da bolsa: [PCI-DE]**

## RELATÓRIO TÉCNICO

### DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE CORPO NEGRO PARA CALIBRAÇÃO DE TERMÔMETRO INFRAVERMELHO

#### 1. Histórico

O Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) foi especialmente projetado e construído para atender às necessidades do Programa Espacial Brasileiro e representa atualmente um dos instrumentos mais sofisticados e poderosos na qualificação de produtos industriais que exijam alto grau de confiabilidade.

Visando atender tais necessidades, o Laboratório de Metrologia Física (MTF) do LIT é essencial para assegurar a confiabilidade metrológica dos sistemas e equipamentos de medida.

O Laboratório de Metrologia Física (MTF) foi concebido para calibrar os sensores e medidores de temperatura, umidade, vácuo, acústica e vibração utilizados pelo LIT em ensaios ambientais de satélites e subsistemas do Programa Espacial Brasileiro.

O MTF é acreditado pela Cgcre (Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO) nas áreas de temperatura, umidade, vácuo, vibração e acústica, e busca capacitar-se para manter-se atualizado com o desenvolvimento de novos métodos de calibração, utilizar novos dispositivos para aumentar a confiabilidade dos resultados na execução da calibração de Temperatura e Umidade, otimizar o tempo e recursos gastos, implementar melhorias nos procedimentos de calibração seguindo a norma NBR ISO/IEC 17025:2017 “Requisitos gerais para competência de laboratórios de Ensaio e Calibração”, planilhas de cálculo de incerteza baseado no “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”, adotar melhorias nos processos para garantir a rastreabilidade e qualidade dos instrumentos utilizados para a Montagem, Integração e Testes.

## 2. Resumo do Projeto

Com o intuito de atender a demanda do Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE, foi proposto ao Laboratório de Metrologia Física do LIT/INPE a implantação de um método para calibrar termômetros de radiação infravermelha. A bolsista iniciou o projeto no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) desenvolvendo o método de calibração e um protótipo, que embora tenha apresentado resultados satisfatórios, identificou-se a necessidade de melhorias, como por exemplo, a adaptação do sistema de calibração.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do protótipo de corpo negro para adaptação do sistema de calibração de termômetro infravermelho, a elaboração da planilha para cálculo de incerteza de medição e do procedimento de calibração.

## 3. Objetivo

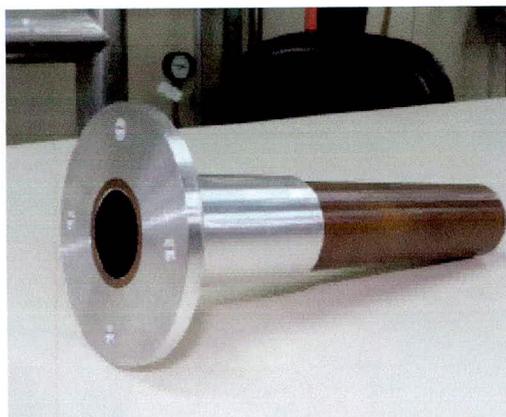
Adequar o protótipo de corpo negro ao sistema de calibração, desenvolver o procedimento de calibração de termômetro infravermelho e a planilha de cálculo de incerteza do processo de calibração.

## 4. Atividades Desenvolvidas durante o período da bolsa

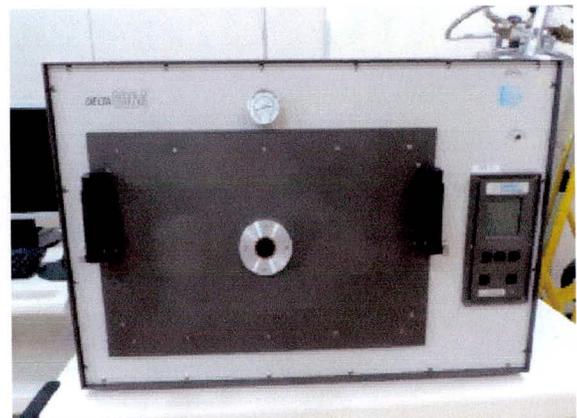
No sistema de calibração do projeto inicial a cavidade de corpo negro (figura 1-a) era posicionada na câmara através de um suporte de alumínio parafusado na porta da câmara térmica, conforme ilustrado na figura 1-b.

Figura 1: sistema de calibração

(a)



(b)



Após a realização de alguns testes foi identificado que a cavidade de corpo negro não atingia a uniformidade térmica necessária para execução da calibração

de termômetro infravermelho. Após analisar os dados obtidos no testes, constatou-se que a cavidade de corpo negro não atingia a uniformidade térmica devido à transferência de calor entre o suporte de alumínio e a cavidade de corpo negro.

Conforme descrito no primeiro parágrafo, a cavidade de corpo negro era posicionada na câmara térmica por meio de um suporte de alumínio desenvolvido. O suporte era parafusado na porta da câmara ficando exposto a temperatura ambiente.

O alumínio é um condutor térmico, desta forma houve transferência de calor por condução, o fluxo de calor da temperatura ambiente transmitiu calor para o suporte de alumínio e este transmitiu calor à cavidade de corpo negro.

Por conseguinte se fez necessário a adaptação da cavidade de corpo negro no sistema de calibração. Os tópicos subsequentes descrevem a adaptação e desenvolvimento da cavidade de corpo negro no sistema de calibração, bem como a elaboração do procedimento de calibração e da planilha para cálculo de incerteza de medição.

#### **a. Adaptação do sistema de calibração**

Para evitar a transferência de calor da temperatura ambiente para a cavidade de corpo negro, foi desenvolvido um suporte de teflon (isolante térmico) para posicionar a cavidade na porta da câmara térmica e arruelas de teflon para isolar a cavidade da superfície interna da porta da câmara. A figura 2 e 3 ilustra a porta da câmara térmica do sistema de calibração.

Figura 2: Porta da câmara térmica com cavidade de corpo negro

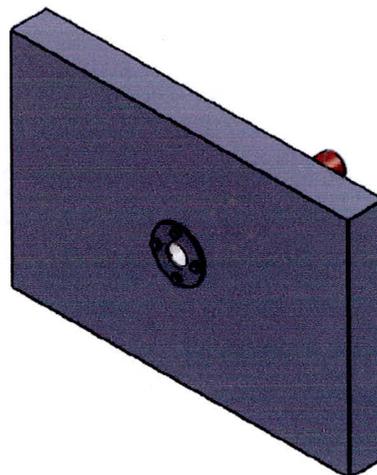
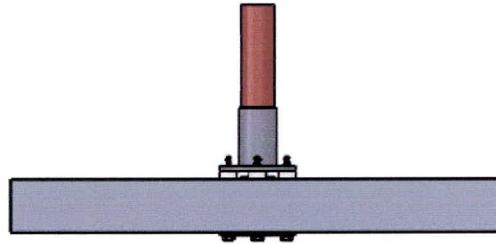


Figura 3: Vista superior da porta da câmara térmica

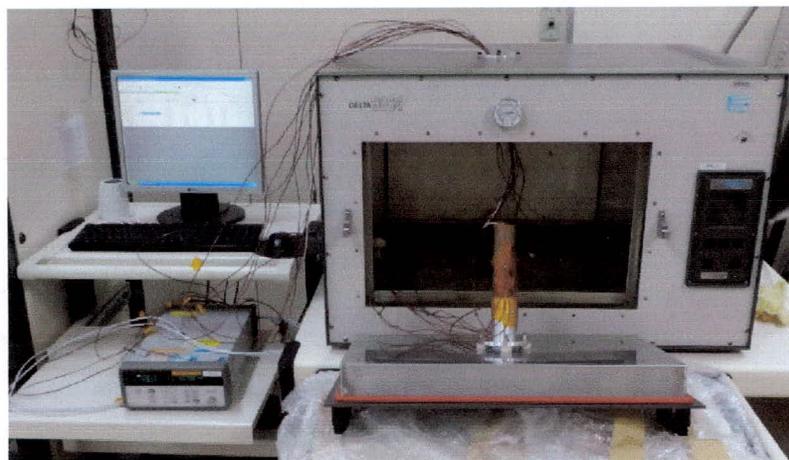


Após as devidas adequações o sistema foi validado posicionando 9 sensores termopar e 01 sensor termorresistivo PT100 na cavidade de corpo negro, afim de avaliar a uniformidade e estabilidade térmica da cavidade de corpo negro. As figuras 4 e 5 ilustram a montagem dos sensores na cavidade e o *set-up* da validação.

Figura 4: montagem dos sensores na cavidade



Figura 5: *set-up* da validação



A validação foi realizada de 50 °C a 240 °C, avaliando a uniformidade e estabilidade térmica da cavidade de corpo negro. Aguardou-se a estabilização da temperatura em cada ponto selecionado em um período de, no mínimo, 2 horas. Após se certificar que a temperatura estava estável foi realizada uma análise da uniformidade e estabilidade térmica dos dados num período de 30 minutos. A tabela 1 demonstra o resultado obtido.

Tabela 1: Resultado da validação

Temperatura						
t90	t prog	Desvio	Uniformidade Térmica	Estabilidade Térmica	U	k
°C	°C	°C	°C	°C	°C	
50.20	50.00	-0.20	0.20	0.07	0.66	2.00
74.20	75.00	0.80	0.23	0.08	0.68	2.00
97.60	99.00	1.40	0.25	0.07	0.71	2.00
122.80	125.00	2.20	0.35	0.10	0.73	2.00
146.70	150.00	3.30	0.99	0.20	1.31	2.00
170.60	175.00	4.40	0.94	0.14	1.30	2.00
194.30	200.00	5.70	1.39	0.14	1.69	2.00
217.20	225.00	7.80	2.00	0.19	2.39	2.00
241.10	250.00	8.90	2.51	0.21	2.97	2.00

Os resultados demonstram que a cavidade de corpo negro possui uma uniformidade e estabilidade térmica aceitável.

Na validação realizada antes das adaptações, a uniformidade térmica da cavidade de corpo negro, a aproximadamente 97 °C, era 11,97 °C e a estabilidade térmica era 0,38 °C. Após as melhorias, conforme demonstrado na tabela 1, a uniformidade térmica, nesse mesmo ponto, é de 0,25 °C e a estabilidade térmica é de 0,07 °C. Comprovando assim que a cavidade de corpo negro está apta para realizar calibração de termômetro infravermelho.

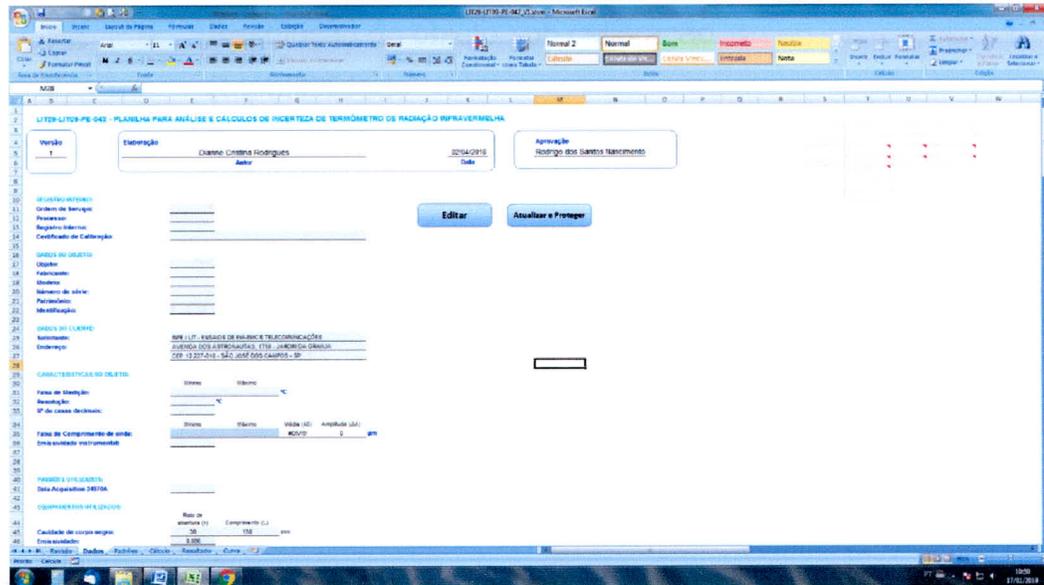
#### **b. Procedimento de calibração**

Foi elaborado o Procedimento de calibração de termômetro de radiação infravermelha, LIT29-LIT09-PC-023 – versão 01, em que é descrito o método de calibração, as condições ambientais necessárias para realização da calibração, os equipamentos e materiais utilizados, o padrão de trabalho, o sistema de calibração, a execução da calibração e as fontes de contribuições de incertezas.

### c. Planilha de cálculo de incerteza de medição

Foi desenvolvida a planilha para análise e cálculos de incerteza de termômetro de radiação infravermelha, conforme figura 4.

Figura 5: Planilha LIT29-LIT09-PE-042



A planilha é dividida em 5 abas (Revisão, Dados, Padrões, Cálculo e Resultado) com as seguintes funções:

**Revisão:** Nesta aba é realizado o controle de versões da planilha, a data que foi gerada a nova versão, o motivo, o autor, o responsável pela revisão e se é necessário validar.

**Dados:** O técnico responsável pela calibração insere os dados referente ao equipamento a ser calibrado e dos padrões utilizados. Nesta aba também é realizado os cálculos pertinentes à medição, há uma tabela dinâmica e macros para atualizar, proteger e editar os dados.

**Padrões:** Contém os dados do Certificado de Calibração dos padrões de acordo com os equipamentos selecionados na aba Dados.

**Cálculo:** Nesta aba são calculadas as contribuições de incerteza, detalhadas abaixo, de acordo com os valores inseridos na aba “Dados” e “Padrões”.

- $X_1$  = Desvio padrão do termômetro digital de referência
- $X_2$  = Resolução do termômetro digital de referência
- $X_3$  = Certificado de calibração do termômetro digital de referência
- $X_4$  = Deriva do termômetro digital de referência

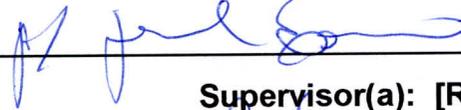
## 6. Conclusões Gerais

Os resultados obtidos na validação realizada comprovam que, com as adaptações realizadas, o protótipo de corpo negro atingiu o objetivo proposto e está apto para realizar calibração de termômetro infravermelho. A elaboração do procedimento de calibração e da planilha de cálculo de incerteza também foram concluídas, viabilizando assim as etapas subsequentes de validação do método de calibração, treinamento da equipe e emissão de Certificado de Calibração.

**São José dos Campos-SP, 21 de Janeiro de 2019**



**Bolsista: [Dianne Cristina Rodrigues]**



**Supervisor(a): [Ricardo Suterio]**

  
**Coordenador(a) PCI da área: [Ricardo Suterio]**