



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

[Referente ao período: 01/04/2018 a 31/10/2018]

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

Número do Processo Individual: [300442/2018-1]

Bolsista: [Ewerton Henrique Souza da Silva]

Supervisor: [Ricardo Suterio]

Área: [LIT - Laboratório de Integração e Testes]

Vigência original da bolsa: [01/04/2018 a 31/12/2018]

Modalidade da bolsa: [PCI-DE]



RELATÓRIO TÉCNICO

Título do Projeto Científico: **Desenvolvimento de dispositivos para fixação de medidores de umidade.**

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, além disso, também presta suporte necessário para as demais áreas do LIT.

O Laboratório de Metrologia Física (MTF) foi concebido para calibrar os sensores e medidores de temperatura, umidade, vácuo 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

Visando atender uma necessidade do Laboratório de Integração e Testes em adequar os processos de calibração executados no Laboratório de Metrologia Física, é necessário implementar técnicas de calibração, dispositivos, procedimentos e planilhas de cálculo de incerteza para garantir rastreabilidade e qualidade dos instrumentos utilizados na Montagem, Integração e Testes de Satélite.

Este trabalho visa desenvolver dispositivos para fixação de medidores de umidade que serão utilizados no processo de calibração em conjunto com o gerador de ponto de orvalho para a Área de Metrologia do LIT.

Desta forma, o bolsista participou das seguintes atividades:

- 1) Avaliação do sistema de geração do ponto de orvalho;
- 2) Definição dos meios de fixação dos medidores de umidade;
- 3) Desenvolvimento do projeto mecânico do dispositivo de fixação;
- 4) Confeção do dispositivo de fixação;
- 5) Medições utilizando o novo dispositivo;
- 6) Validação do dispositivo de fixação;
- 7) Relatório com os resultados obtidos.

3. OBJETIVO

O objetivo desta concessão de bolsa foi ampliar a abrangência do método de calibração de medidores de umidade adotados pelo laboratório, principalmente aqueles utilizados pelo INPE/LIT para a montagem, integração e testes de dispositivos espaciais, além de aumentar o escopo de calibração de umidade na Área de Metrologia do LIT.

4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DA BOLSA

As atividades desenvolvidas pelo bolsista no laboratório tiveram o objetivo de atender às solicitações de calibração para os programas espaciais e também do Laboratório de Metrologia do LIT para se capacitar em calibração de equipamentos, medidores e sensores usados na Integração e Testes de Satélites.

A Área busca implementar melhorias em seu sistema de calibração de Umidade com a utilização do gerador de ponto de orvalho em conjunto com dispositivos fixadores, otimizando o tempo e os recursos, respeitando o plano de trabalho proposto descrito abaixo.

4.1 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE PONTO DE ORVALHO

Nesta etapa o bolsista avaliou os principais problemas e dificuldades para a utilização do gerador de ponto de orvalho com o método atual, além da possibilidade de inserção do sistema gerador de ponto de orvalho como um meio de calibração.

Os principais problemas levantados foram:

1. Calibração apenas de medidores que possuam sondas e com diâmetro inferior a 18 mm;
2. Adequação do procedimento de calibração e planilha de cálculo de incerteza para a utilização do gerador;
3. Impossibilidade da utilização de diferentes tipos de padrões;
4. Tempo de estabilização e falta de repetibilidade das medições.

Para solucionar estes problemas, o dispositivo de fixação foi desenvolvido não somente para calibração de sondas de umidade, mas também para higrômetros e termo-higrômetros que possuam sensores internos ligados à eletrônica, além de ser um meio térmico estável e com fluxo de ar constante.

4.2 DEFINIÇÃO DOS MEIOS DE FIXAÇÃO DE MEDIDORES DE UMIDADE

Em seguida, o bolsista definiu os novos meios de fixação dos medidores de umidade com base nas avaliações feitas no sistema de geração de ponto de orvalho e suas dificuldades.

A primeira decisão foi de que o dispositivo teria de abranger tanto sondas quanto higrômetros e termo-higrômetros com sensores internos. Para isso, o dispositivo deveria ser desenvolvido de maneira que os objetos a serem calibrados fossem colocados inteiramente dentro dele, e que caso possuíssem sondas, qualquer diâmetro pudesse ser calibrado.

Foi definido que a melhor maneira de fixar medidores de umidade, utilizando o gerador de ponto de orvalho, seria construindo um novo meio térmico capaz de acolher qualquer tipo de higrômetro ou sonda e suportar variações de -75 °C a 20 °C de temperatura de ponto de orvalho. Este dispositivo deveria ser vedado para evitar vazamentos e erros de medição, mas possuir uma saída para circulação do fluxo de ar gerado.

4.3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO MECÂNICO DO DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO

Com relação ao desenvolvimento do projeto, foi primeiramente escolhido o material a ser utilizado para a fabricação do dispositivo de fixação, visto que o efeito das características de absorção/liberação de partículas de um material tem grande influência no desempenho do sistema.

Para a maioria dos casos, aço inoxidável, vidro e níquel são as melhores opções de materiais não higroscópicos, podendo ser usados para aplicações de baixo ponto de orvalho. Já materiais higroscópicos foram evitados, especialmente materiais orgânicos, sais ou qualquer outro que possuíssem pequenos poros, pois poderiam armazenar umidade em sua estrutura. Por esse motivo, foi dada uma atenção especial ao acabamento superficial do dispositivo.

O gerador produz ar entre $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura de ponto de orvalho e para esta aplicação, o material mais indicado é o aço inoxidável, como mostra a figura 1.

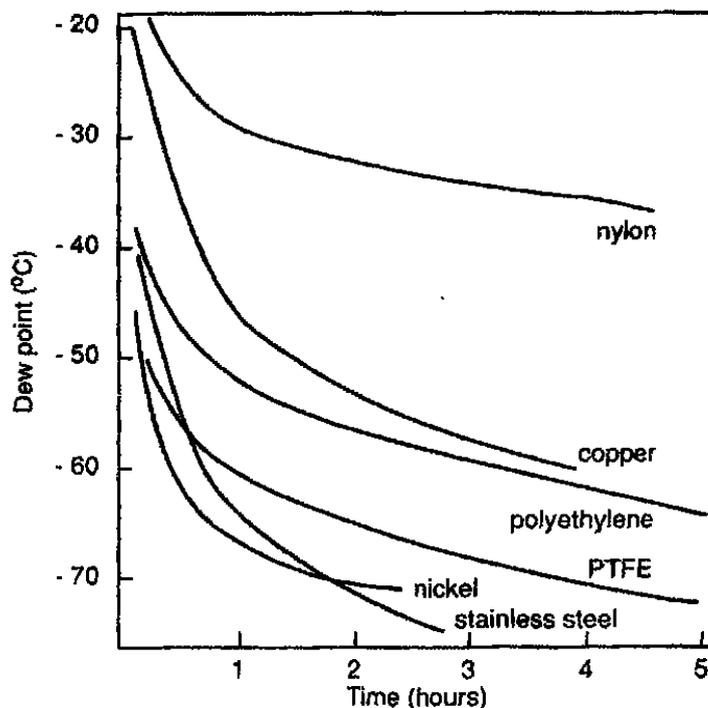


Figura 1. Ilustração da umidade resultante usando-se diversos materiais com fluxo de ar seco após estarem expostos à umidade ambiente. (National Physical Laboratory 1996)

A segunda preocupação quanto ao desenvolvimento, foi a prevenção aos problemas de vazamentos. Durante a medição de ponto de orvalho, torna-se mais crítico este problema conforme o aumento da diferença entre a temperatura de ponto de orvalho ambiente e aquela que se deseja medir.

Outro fator importante na minimização do erro resultante dos vazamentos é a pressurização do sistema com uma pressão mais alta que a atmosférica, a fim de que o vazamento ocorra de dentro para fora, ocasionando um fluxo de ar.

O grau de influência do vazamento depende fortemente da temperatura de ponto de orvalho a ser medida, sendo inversamente proporcional a ela, ou seja, quanto menor a temperatura a ser medida, maior será o erro introduzido para uma mesma taxa de vazamento.

Deve-se considerar que pontos de vazamento podem surgir com a introdução de conexões (válvulas, cotovelos, etc.) e sondas ou cabos sem a vedação adequada no sistema de medição, portanto todos os tubos e conexões foram

feitos de aço inox e em medidas adequadas ao sistema, evitando assim perdas desnecessárias durante as medições.

Com relação às características construtivas, os tubos de amostragem desenvolvidos foram os mais curtos possíveis e com a área minimizada pela diminuição do diâmetro até os limites impostos pelas condições de fluxo. Foram evitados cantos mortos, devido a difícil eliminação da contaminação exercida pelo fluxo de ar, e colocado manípulos sobre uma borracha, para prender a tampa do dispositivo e evitar vazamentos.

Os desenhos mecânicos do dispositivo de fixação estão ilustrados nas figuras 2 e 3 a seguir:

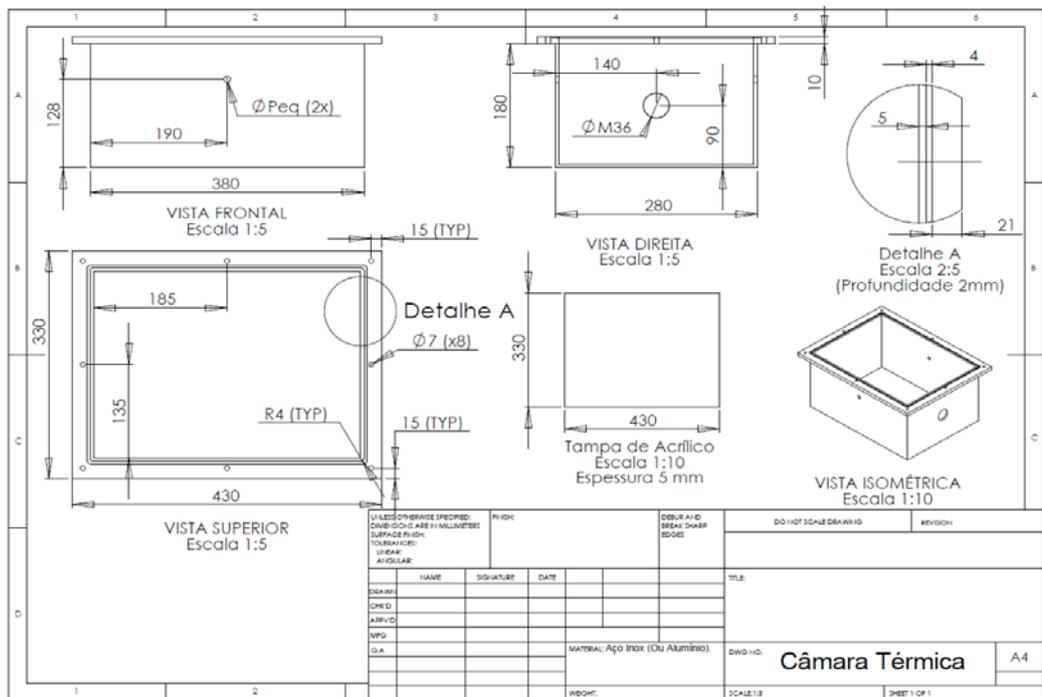


Figura 2. Desenho técnico esquemático do dispositivo de fixação



Figura 3. Desenho ilustrativo do dispositivo de fixação

4.4 CONFEÇÃO DO DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO

Para a confecção do dispositivo de fixação, foi necessário á ajuda do Serviço de Manufatura (SMF) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que usinou e soldou as chapas de aço inox para a construção do meio térmico.

O resultado final do dispositivo está exibido nas figuras 4, 5, 6 e 7 a seguir:



Figura 4. Dispositivo para fixação e calibração de medidores de umidade – Vista frontal



Figura 5. Dispositivo para fixação e calibração de medidores de umidade – Vista superior



Figura 6. Dispositivo para fixação e calibração de medidores de umidade – Vista lateral direita



Figura 7. Dispositivo para fixação e calibração de medidores de umidade – Vista lateral esquerda

4.5 MEDIÇÕES UTILIZANDO O DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO

Para a realização das medições utilizando o dispositivo de fixação, o gerador de ponto de orvalho teve sua saída de gases conectada através de um tubo de inox e conexões dupla-anilha, conforme mostra a figura 8.



Figura 8. Conexão do dispositivo com a saída do gerador de ponto de orvalho

O artefato escolhido para os testes foi o sensor de temperatura e umidade fabricado no INPE/LIT, que atua na faixa de 0 %ur até 100 %ur.



Figura 9. Sensor de Temperatura e Umidade

O sistema de calibração é formado por um higrômetro óptico de ponto de orvalho S4000, um gerador de ponto de orvalho DG-4, um pressurizador PSD-2, um compressor de ar e um multímetro 6_{1/2} dígitos Keithley 2000.



Figura 10. Sistema de calibração utilizando o dispositivo de fixação

4.6 VALIDAÇÃO DO DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO

Foram comparadas as medidas realizadas no certificado de calibração LIT09-LIT09-CC-10130, emitido em outubro de 2017, com o novo sistema de calibração, utilizando o dispositivo de fixação. Os resultados foram verificados através do Erro Normalizado, a fim de validar o novo sistema de calibração para medidores de umidade e ponto de orvalho.

$$EN = \frac{|(C_A - C_B)|}{\sqrt{U_A - U_B}} \leq 1,0$$

Onde:

EN = Erro Normalizado;

C_A = Correção da calibração anterior;

C_B = Correção da medição do sistema atualizado;

U_A = Incerteza Expandida da Calibração Anterior;

U_B = Incerteza Expandida da Calibração do sistema atualizado.

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos na validação usando como referência os pontos 10 %ur, 35 %ur, 50 %ur e 65 %ur.

Tabela 1 – Validação do Método de Calibração

Umidade de Referência	LIT09-LIT09-CC-10130 out/2017		Medição no Sistema set/2018		Erro Normalizado $EN \leq 1$	Status
	Correção C_A %ur	Incerteza da Calibração U_A %ur	Correção C_B %ur	Incerteza da Calibração U_B %ur		
10	-3,3	1,3	-1,9	1,3	0,8	OK
35	-5,1	1,3	-4,5	1,3	0,3	OK
50	-4,6	1,3	-4,7	1,3	0,1	OK
65	-3,5	1,6	-4,1	1,6	0,3	OK

O resultado foi considerado satisfatório devido ao erro normalizado ser menor que 1 em todos os pontos verificados.



4.7 RELATÓRIO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Esta etapa não foi finalizada devido ao pedido de encerramento da bolsa antes do prazo vigente.

5. RESULTADOS OBTIDOS EM FUNÇÃO DO PLANO DE TRABALHO PROPOSTO

O principal resultado obtido foi a garantia da capacitação da área de metrologia física (MTF) do laboratório de integração e testes (LIT) para o desenvolvimento de novos meios de fixação, sem perder a qualidade de prestar serviços de calibração com êxito a fim de atender as demandas dos programas espaciais, são algumas das metas concluídas com sucesso:

- Utilização do gerador de ponto de orvalho DG-4 para calibração de sensores de umidade;
- Calibração de medidores com sensores internos e sondas de variados diâmetros;
- Ampliação da abrangência do método de calibração de medidores de umidade adotados pelo laboratório.

6. CONCLUSÕES GERAIS

Por meio do projeto de desenvolvimento de dispositivos para fixação de medidores de umidade, foram implementadas melhorias na área de calibração de higrômetros, termo-higrômetros e sondas de umidade, instrumentos utilizados pelo laboratório de metrologia física e nos programas espaciais do INPE/LIT.

Conclui-se que no período vigente deste projeto, o bolsista realizou as atividades contempladas com êxito satisfazendo os itens propostos 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6.

Desta forma, o laboratório garante a confiabilidade metrológica na área de umidade melhorando a produtividade e especialização do laboratório na área de calibração de medidores de umidade.

Devido ao pedido de encerramento da bolsa antes do prazo vigente, o item 4.7 não foi concluído.

Este projeto somou grande conhecimento à equipe de trabalho como um todo, levantando discussões, debates e estudos pertinentes.

Por fim, também é creditado o sucesso do projeto ao supervisor e toda a equipe de trabalho que tiveram contribuições significativas no desenvolvimento do bolsista e do trabalho desenvolvido.

São José dos Campos-SP, 31 de outubro de 2018

Ewerton H S Silva

Bolsista: [Ewerton Henrique Souza da Silva]

Ricardo Suterio
Coordenador do PCI/LIT

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