



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



IMPLANTAÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA CALIBRAÇÃO DE PAQUÍMETROS E MICRÔMETROS UTILIZADOS NA MONTAGEM E INTEGRAÇÃO DE SATÉLITES DO INPE/LIT

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

Marcelo Vinícius Bianco de Castro (UNIP, Bolsista PIBIC/CNPq).
E-mail: marcelo.castro@lit.inpe.br

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

COLABORADORES

Angela Akemi Tatekawa Silva (LIT/INPE)

Julho de 2014

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. RESUMO DO PLANO INICIAL | 4 |
| 2. RESUMO DAS ETAPAS REALIZADAS | 5 |
| 2.1 Paquímetro..... | 7 |
| 2.2 Micrômetro..... | 8 |
| 3. DETALHAMENTO DOS PROCESSOS REALIZADOS | 9 |
| 3.1. Método de Calibração..... | 9 |
| 3.2. Equipamentos Utilizados..... | 9 |
| 3.3. Condições Ambientais..... | 10 |
| 3.4. Atividades Preliminares..... | 10 |
| 3.5. Execução da Calibração..... | 10 |
| 3.5.1. Sequência que deve ser feita na calibração de paquímetros | 11 |
| 3.6. Incerteza de medição..... | 12 |
| 3.7. Cálculos utilizados na calibração de paquímetro..... | 12 |
| 4. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES | 15 |
| 4.1. Etapas a Concluir..... | 15 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 16 |

Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Calibração de micrômetro externo..... | 5 |
| Figura 2 – Calibração de paquímetro..... | 6 |
| Figura 3 – Calibração de balança..... | 6 |
| Figura 4 – Calibração de torquímetro..... | 6 |
| Figura 5 – Paquímetro digital | 7 |
| Figura 6 – Micrômetro digital..... | 8 |
| Figura 7 – Padrões utilizados na calibração de paquímetros e micrômetros externos..... | 10 |

Tabela

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Incertezas utilizadas na calibração de paquímetro..... | 12 |
|--|----|

1. RESUMO DO PLANO INICIAL

O Laboratório de Metrologia Mecânica do LIT/INPE é responsável pela calibração de equipamentos mecânicos nas áreas de Força e Torque, Massa, e Dimensional. A Metrologia Mecânica busca constantemente aprimorar seu padrão de excelência quanto às atividades de montagem, integração e testes de satélites, de modo a atender a crescente demanda por serviços especializados decorrentes dos programas espaciais e também das indústrias e para tanto foi proposto este trabalho de iniciação científica na área dimensional (Paquímetros e Micrômetros).

O trabalho pode ser dividido em algumas fases, a primeira delas adquirir embasamento teórico dos tópicos de metrologia, normalização e qualidade. A segunda, pesquisar sobre a calibração de paquímetros e micrômetros. A terceira, desenvolver o procedimento para a calibração dos equipamentos. A última fase, realizar experimentos práticos para validação dos procedimentos e cálculos desenvolvidos neste trabalho.

As etapas concluídas são: (1) revisão bibliográfica, realização do trabalho de pesquisa, com intuito de adquirir embasamento teórico dos tópicos de metrologia e da preparação e execução de calibração de paquímetros e micrômetros, (2) avaliação e desenvolvimento da técnica de medição, elaboração de como analisar e apresentar os resultados, elaboração da documentação necessária para operação e configuração da técnica de medição, (3) utilizando o conhecimento adquirido nas etapas anteriores foi possível dar início ao processo de desenvolvimento do procedimento para a calibração de micrômetros externo, e fazer o aprimoramento no procedimento de calibração de paquímetro. Também já se concluiu a parte do desenvolvimento do cálculo de incerteza de medição que é utilizado na calibração de paquímetros.

2. RESUMO DAS ETAPAS REALIZADAS

Nas primeiras fases do projeto foi buscado o embasamento teórico dos tópicos de metrologia, normalização e qualidade através da leitura de procedimentos, das normas existentes no laboratório e de literaturas específicas da área de metrologia.

Em seguida pesquisou-se especificamente sobre a calibração de paquímetros e micrômetros, através de livros e apostilas.

Em seguida deu-se início ao desenvolvimento do procedimento para calibração de micrômetros externos e o aprimoramento do procedimento de paquímetros.

Com o procedimento de calibração de paquímetro pronto, e também já finalizamos o processo de desenvolvimento dos cálculos de incertezas utilizados na calibração de paquímetro. Pode-se então dar início ao desenvolvimento do procedimento de micrômetro externo.

O bolsista teve participação nos processos de calibração de paquímetros e calibrações experimentais de micrômetros externos onde estamos buscando o melhor método para a elaboração do procedimento que atenda a norma técnica de referência, e também em outras áreas do laboratório tais como na calibração de balanças, dinamômetros e calibradores de torquímetros. (Figuras 1, 2, 3 e 4)



Figura 1 – Calibração experimental de Micrômetro externo.



Figura 2 – Calibração de paquímetro



Figura 3 – Calibração de balança



Figura 4 – Calibração de torquímetro

2.1 Paquímetro

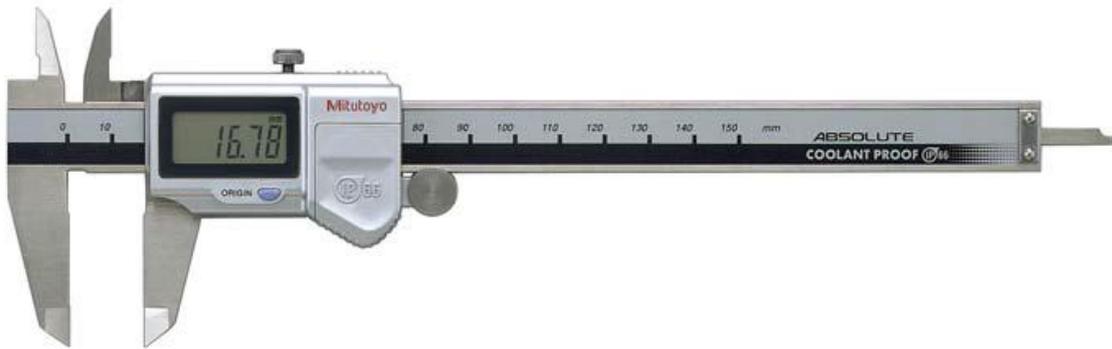


Figura 5 – Paquímetro digital

É um instrumento de medição que apresentam larga aplicação na medição em geral devido a sua grande versatilidade e precisão. Tais instrumentos são fabricados com altos padrões de qualidade a fim de se obter as melhores características possíveis. No paquímetro, devemos identificar:

Faixa de Medição: É definida como a faixa de utilização do instrumento, dentro do qual se admite que o erro do instrumento de medição mantenha se, dentro dos limites especificados. Os paquímetros geralmente são fabricados com faixa de operação de 150 mm a 2000 mm ou no sistema inglês de 6” a 80”.

Resolução: Menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida, ou seja menor leitura do instrumento.

A resolução da escala do paquímetro é obtida por:

$$\text{Resolução} = \frac{\text{valor da menor divisão da escala fixa}}{\text{número de divisões da escala móvel}}$$

2.2 Micrômetro



Figura 6 – Micrômetro digital

O micrômetro é um instrumento de medição utilizado onde se faz necessário uma exatidão superior a exigida para o paquímetro. Ou seja, quando se necessita medir com tolerâncias mais apertadas daquelas que o paquímetro pode oferecer, usa-se o micrômetro. Os micrômetros obedecem ao “princípio de Abbe”. Segundo “Abbe”, um instrumento de medição deve possuir como condição ideal a escala alinhada com a posição na qual o objeto a medir é colocado.

No micrômetro, devemos identificar:

Faixa de Medição: É definida como a faixa de utilização do instrumento, dentro do qual se admite que o erro do instrumento de medição mantém se, dentro dos limites especificados.

Faixa Nominal: É a faixa de indicação que se pode obter em uma posição específica de um instrumento de medição.

Amplitude: A amplitude será definida como sendo a diferença em módulo, entre os dois limites de uma faixa nominal

Resolução: Menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida, ou seja menor leitura do instrumento.

3. DETALHAMENTO DOS PROCESSOS REALIZADOS

Nessa fase do projeto, com os estudos bibliográficos realizados, foi possível iniciar a elaboração do procedimento de calibração de micrômetros externos e a implantação da calibração de paquímetros.

As calibrações de micrômetros externos e paquímetros são feitas pelo método de comparação com padrões calibrados, figuras 4.

Os procedimentos englobam desde a definição dos equipamentos utilizados (padrões) até os métodos e a sequência de operações necessárias para a calibração de paquímetros e micrômetros externos como detalhado a seguir:

3.1 Métodos de Calibração:

O paquímetro e o micrômetro são calibrados pelo método de comparação com blocos padrões calibrado.

3.2 Equipamentos Utilizados (Padrões):

Conjunto Bloco Padrão MITUTOYO – Código 516-106-10 – Set BM1-10M-0/D – s/n 507237

Conjunto Bloco Padrão MITUTOYO – Código 516-939 – Set BM1-112-1 – s/n 239004

Conjunto Bloco Padrão MITUTOYO – Código 611682-03 – s/n 890003 / 890041 / 890055 / 890063 e 890069

Paralelo Óptico MITUTOYO – Código 157-101 – s/n 004414 O valor nominal do paralelo óptico é de Ø30x12 mm (Para micrômetro).



Figura 7 – padrões utilizados na calibração de paquímetros e micrômetros externos

3.3 Condições Ambientais:

A calibração deve ser realizada em laboratório com temperatura e umidade controladas.

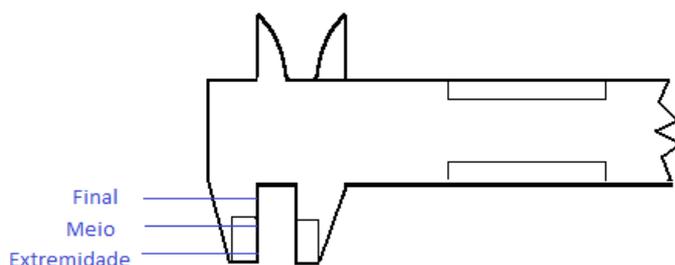
3.4 Atividades Preliminares:

Devem ser observados o tempo de estabilização térmica, limpeza dos equipamentos, verificação inicial do equipamento.

3.5 Execução da calibração

Calibrar os bicos dos paquímetros em 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da escala e as orelhas, hastes e ressaltos calibrar em 30% da escala. Em ambos os casos podem ser escolhidos valores próximos adequados conforme a disponibilidade dos padrões do laboratório;

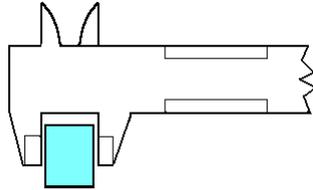
Deverão ser efetuadas 3 séries de medidas para cada ponto, distribuídos nas posições extremidade, meio e final do curso, no caso dos bicos. Para as orelhas utilizar o anel padrão nas posições 0°, 90° e 180°.



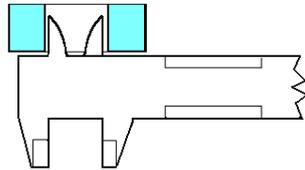
3.5.1 Sequência de calibração de paquímetros

A calibração deve ser realizada conforme a sequência abaixo nos pontos definidos em 3.5

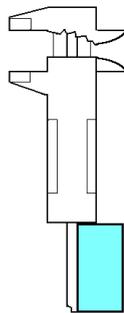
Calibração externa (Bicos):



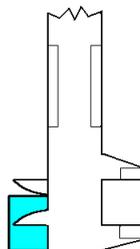
Calibração interna (Orelhas):



Calibração da haste:



Calibração do encosto (Para ressaltos):



Observações: A força de medição deve ser constante durante toda a calibração;

Deve se evitar qualquer tipo de choque mecânico (quedas, batidas, etc) dos blocos padrões;

Após o uso os padrões devem ser limpos com benzina ou similar e untados com uma camada de vaselina. Este material de limpeza deve ser de preferência de uso exclusivo dos blocos padrões;

Os padrões devem ser sempre armazenados nas suas respectivas embalagens quando fora de uso.

3.6 Incerteza de medição

Apresentação dos cálculos das incertezas consideradas na calibração dos equipamentos em questão.

3.7 Cálculos utilizados na calibração de paquímetro

Na tabela a seguir estão listadas as fontes de incerteza consideradas na calibração de paquímetros.

| i | Componente | Fonte de Incerteza | Tipo | Distribuição de Probabilidade |
|---|------------|----------------------------|------|-------------------------------|
| 1 | u (x1) | Repetitividade das medidas | A | normal |
| 2 | u (x2) | Incerteza do padrão | B | normal |
| 3 | u (x3) | Resolução do objeto | B | retangular |
| 4 | u (x4) | Deriva do padrão | B | retangular |
| 5 | u (x5) | Temperatura | B | retangular |

Tabela 1 – Incertezas utilizadas na calibração de paquímetro

Avaliação das Incertezas Padrão Tipo A

- (a) Calcular a estimativa ou média aritmética dos valores individuais observados no objeto sob calibração, x_1 :

$$x_1 = \frac{(L_1 + L_2 + \dots + L_n)}{n} \quad [\text{mm}]$$

$n \Rightarrow$ número de medidas realizadas

- (b) Calcular o desvio padrão experimental da média, $s(x_1)$ e a incerteza padrão associada à estimativa de entrada, $u(x_1)$ (Avaliação Tipo A) :

$$s(x_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - x_1)^2}{n-1}} \quad [\text{mm}]$$

$$u(x_1) = \frac{s(x_1)}{\sqrt{n}} \quad [\text{mm}]$$

Avaliação das Incertezas Padrão Tipo B

- (a) Calcular a incerteza padrão associada ao certificado do padrão, $u(x_2)$:

$$u(x_2) = \frac{U(x_2)}{k} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_2) \Rightarrow$ incerteza expandida declarada no certificado de calibração
 $k \Rightarrow$ fator de abrangência declarada no certificado de calibração

- (b) Calcular a incerteza padrão associada à resolução do objeto sob calibração, $u(x_3)$:

$$u(x_3) = \frac{U(x_3)}{\sqrt{q}} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_3) \Rightarrow$ resolução do objeto sob calibração
 $q = 3$ para distribuição retangular
 $q = 6$ para distribuição triangular

- (c) Calcular a incerteza padrão associada à estabilidade ao longo do tempo do padrão (deriva), $u(x_4)$:

$$u(x_4) = \frac{U(x_4)}{\sqrt{3}} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_4) \Rightarrow$ incerteza associada à estabilidade ao longo do tempo do padrão

(d) Calcular a incerteza padrão associada à diferença entre a temperatura de referência e a temperatura durante a calibração, $u(x_5)$:

$$u(x_5) = \frac{U(x_5)}{\sqrt{3}} \quad [\text{mm}]$$

onde: $U(x_5) \Rightarrow L \times \alpha \times dt$

L = comprimento do padrão

α = coeficiente de dilatação térmica linear do aço

dt = diferença de temperatura (referência/calibração)

3.7.1 Cálculo da Incerteza Padrão Combinada

A incerteza padrão combinada, u_C , é a raiz quadrada positiva da variância combinada u_C^2 , que é dada por:

$$u_C^2 = u^2(x_1) + u^2(x_2) + u^2(x_3) + u^2(x_4) + u^2(x_5)$$

3.7.2 Cálculo da Incerteza Expandida

(a) Calcular o grau de liberdade efetivo, v_{eff} :

$$v_{eff} = \frac{u_C^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad \text{onde } v_i \text{ são os graus de liberdade.}$$

(b) Obter o fator de abrangência, k , para um nível de confiança de 95,45%, através do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição;

(c) Calcular a Incerteza Expandida de Medição, U :

$$U = u_C * k$$

Arredondar o valor numérico do valor indicado (para cada ponto calibrado) para o último algarismo significativo do valor da incerteza expandida atribuída a este resultado.

4. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

O bolsista está realizando o trabalho de iniciação científica de acordo com o cronograma apresentado abaixo:

| PROGRAMA DE TRABALHO | ANO 01 | | | | | | | | | | | | ANO 02 | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1. Revisão Bibliográfica: | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| 2. Trabalho de Pesquisa: | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 3. Documentação: | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| 4. Divulgação dos Resultados: | | | | | ■ | | | | | | | ■ | | | | | | | ■ | | | | | ■ |

Atividades realizadas
 Atividades Previstas

4.1. Etapas a Concluir:

Finalizar o procedimento de micrômetro externo, onde estamos aguardando a documentação necessária. E dar início ao desenvolvimento dos cálculos de incerteza de medição que serão mais bem aplicados na calibração de micrômetros externos. Fazer experimentos para determinar o melhor método para a calibração dos equipamentos, conferir se os cálculos estão atendendo a norma de paquímetro e micrômetro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Walter Link. **Metrologia mecânica: expressão da incerteza de medição.** Editora da Mitutoyo Sul América Ltda., 174 p., julho, 1997.

Walter Link. **Tópicos Avançados da Metrologia Mecânica.** Editora da Mitutoyo Sul América Ltda., 1ª edição, novembro de 2000; 263 p.

CAVACO, M.A.M. **Apostila de Metrologia Parte II.** Laboratório de Metrologia e Automatização, Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil, 2003.

GONÇALVES Jr., A.A. **Apostila de Metrologia Parte I.** Laboratório de Metrologia e Automatização, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil, 2002.

ISO. **NBR NM-ISO 3611 Micrômetro para medições externas.** Janeiro, 1997.

ADEQUAÇÃO DA CALIBRAÇÃO DO MICRÔMETRO PARA EXTERNOS À NBR ISO/IEC 17025. Cláudio Costa Souza, Rosenda Valdés Arencibia.

Site: <http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/6350>.

Apostila de Instrumentação. AUTORES: SAMUEL MENDES FRANCO - OSNI PAULA LEITE - LUIS ALBERTO BÁLSAMO. Fatec Sorocaba - 10 / 2010
http://www.fatecsorocaba.edu.br/principal/pesquisas/metrologia/apostilas/apostila_paquimetro.pdf

Apostila de Instrumentação. AUTORES: SAMUEL MENDES FRANCO - OSNI PAULA LEITE - LUIS ALBERTO BÁLSAMO. Fatec Sorocaba - 10 / 2008
http://www.fatecsorocaba.edu.br/principal/pesquisas/metrologia/apostilas/apostila_micrometros.pdf