

# **Calibración del Comparador de Carátula Utilizando una Máquina de Medición Universal**

Monique Alves Franco de Moraes – monique\_afm@hotmail.com

Cláudio Costa Souza – claudio\_costasouza@hotmail.com

Lucas Lopes Lemos – supremolucas@gmail.com

Rosenda Valdés Arencibia – arvaldes@mecanica.ufu.br

UFU, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Brasil

Este trabajo tiene por objeto proponer un procedimiento de calibración de comparadores de carátula utilizando una máquina universal de medición de longitudes. Con este fin, son propuestas las siguientes etapas: estudio de las características constructivas y del principio de funcionamiento de los comparadores de carátula; adecuación de la Máquina Universal de Medición de longitudes para los fines previstos; adopción y ejecución de un procedimiento de calibración; trazado de la curva de calibración y estimativa de la incertidumbre. Al finalizar este trabajo se logró aumentar la fiabilidad de los procedimientos de medición utilizando comparadores de carátula y su trazabilidad a los patrones metrológicos, además de adecuar los procesos de medición a la norma ISO/IEC 17025. También hubo un incremento en el rigor científico de las investigaciones y de las publicaciones derivadas de las mismas.

Palabras-clave: comparador de carátula, calibración, incertidumbre, histéresis.

## **1. Introducción**

La invención del comparador de carátula, a principios de los años 40, por el norteamericano John Logan Walthan representó un importante avance en la medición de las desviaciones lineales. El proyecto inicial previa la utilización de los comparadores de carátula en bancadas industriales o mesas de medición. Sin embargo, el crecimiento de la economía capitalista en las décadas posteriores a la Segunda Guerra Mundial aumento el entorno competitivo y el desarrollo de nuevas tecnologías relacionadas con la productividad industrial y la calidad. En este contexto aumentó la demanda por la medición de las desviaciones lineales en las líneas de producción. El comparador ideado por Logan fue, entonces, adaptado de tal manera que permitiera la comparación de longitudes con un patrón predeterminado.

Actualmente, los comparadores de carátula representan una importante categoría de instrumentos de medición y se utilizan a menudo para evaluar las desviaciones de planitud, circularidad, cilíndricidad, batimiento radial y axial con bastante eficacia. Sin embargo, para que los resultados de estas mediciones sean trazables a los patrones nacionales e internacionales es esencial que el comparador de carátula esté calibrado. Además, para que esos resultados sean presentados de acuerdo con las normas vigentes es necesario obedecer un conjunto de requisitos técnicos, entre ellos el cálculo de la incertidumbre de la medición. La incertidumbre debe ser declarada conjuntamente con la media aritmética de un conjunto de lecturas de la magnitud evaluada.

La calibración de los comparadores de carátula no es una tarea fácil, ya que requiere un equipamiento con gran precisión y un operador altamente capacitado.

Esta calibración gana doble sentido pues permite la evaluación de los errores de indicación y de la histéresis. Por tal motivo, el presente trabajo tiene por objeto aplicar un procedimiento de calibración normatizado de los comparadores de carátula utilizando una Máquina Universal de Medición de Longitudes. Paralelamente, se propone desarrollar una metodología para estimar la incertidumbre de medición relacionada con la calibración.

## 2. Fundamentos Teóricos

En la actualidad, el mercado pone a disposición varios modelos de comparadores de carátula con las más variadas aplicaciones y rangos de medición. Según el sistema o mecanismo de amplificación los comparadores de carátula se pueden clasificar en:

- ✚ Comparadores de amplificación mecánica;
- ✚ Comparadores de amplificación óptica;
- ✚ Comparadores de amplificación neumática;
- ✚ Comparadores de amplificación electrónica.

A pesar de la gran variedad de comparadores los de amplificación mecánica por engranaje son los más comunes. El principio de funcionamiento de estos se basa en un conjunto de engranajes y cremallera piñón que amplifica el movimiento lineal del husillo y lo convierte en movimiento angular de un puntero sobre la carátula del dispositivo (Figura 1). Esta característica constructiva hace que los comparadores de carátula presenten un error de medida conocido como histéresis. La histéresis puede ser determinada mediante la calibración del instrumento y posteriormente compensada.

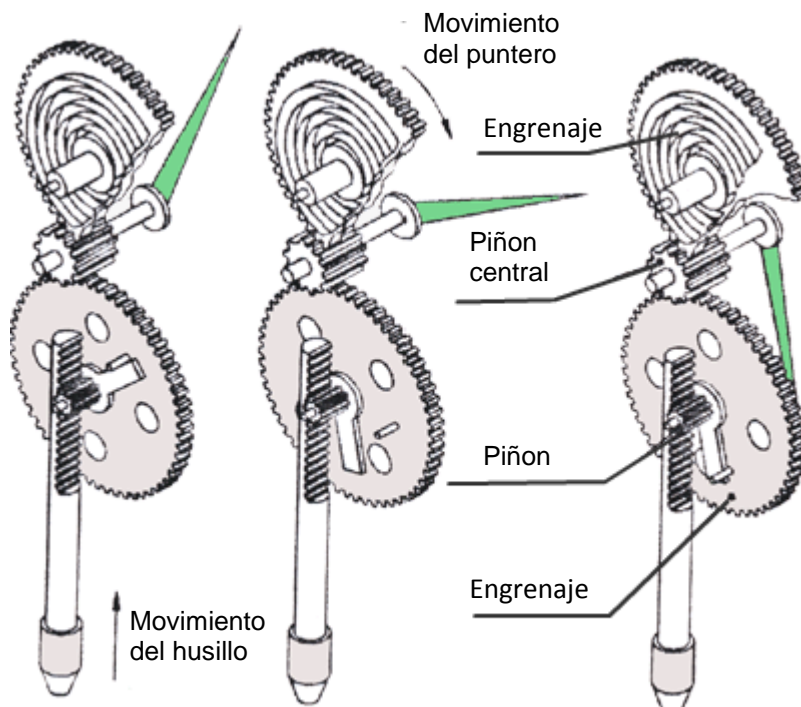


Figura 1. Mecanismo de funcionamiento del comparador de carátula.

El comparador de carátula no es capaz de realizar una medición por sí solo, debiendo ser utilizado conjuntamente con otros dispositivos y accesorios, los cuales

dependen de la medición que se desea realizar. Por ejemplo: mesa de medición de acero o granito, brazo articulado con base magnética, bloques en V, soporte entre puntas, entre otros. Las características metrológicas de estos dispositivos también afectaran los resultados y la incertidumbre de medición.

### **2.1. Calibración del Comparador de Carátula**

La NBR 6388 (1983) presenta el procedimiento que debe ser aplicado para calibrar los comparadores de carátula con resolución de 0,01 mm. Este procedimiento consiste en determinar el error de indicación, la histéresis y la repetibilidad del instrumento en todo el rango de medición.

La repetibilidad del comparador se define como la capacidad de repetir las lecturas durante la medición de una longitud determinada, en las siguientes condiciones de uso:

- a) accionamiento del husillo varias veces, con diferentes velocidades, hasta una placa fija de metal duro e indeformable;
- b) movimiento de la placa o cilindro en cualquier dirección perpendicular al eje de la columna y volviendo al mismo punto;
- c) medición de pequeños desplazamientos del orden de 25 micrómetros;
- d) accionamiento del puntero lentamente, en la misma división de la escala varias veces, primero en una dirección y luego en la otra.

Las mediciones realizadas en una de las condiciones descritas no pueden presentar un error de repetición superior a 3 micrómetros. Las pruebas de repetibilidad deben ser realizadas al menos cinco veces para cada punto dentro del rango evaluado. Estas pruebas deben incluir el comienzo, la mitad y el final del curso útil del husillo.

A su vez, el error de indicación se evalúa a partir de lecturas realizadas en puntos espaciados que representen debidamente todo el rango de indicación. Se recomienda realizar una lectura para cada décima parte de una revolución en las direcciones creciente y decreciente permitiendo el análisis de la histéresis del instrumento. Este procedimiento debe repetirse por lo menos cinco veces y los resultados presentados en un gráfico para un mejor análisis.

## **3. Metodología**

Siguiendo la norma citada, se inició la calibración del comparador de carátula analógico del fabricante Mitutoyo, con resolución de 0,01 mm y rango de medición de 10 mm. Para tanto fueron utilizados una máquina universal de medición de longitudes, dos brazos articulados con base magnética y una cabeza de micrómetro (Figura 2).

Observe en la Figura 2 que el comparador fue montado en la línea opuesta a la cabeza del micrómetro.

La temperatura ambiente durante la calibración fue monitoreada y mantenida a  $20 \pm 1$  °C, según lo dispuesto por la NBR NM ISO-1. Un termo-higrómetro digital con resolución de 0,1 °C y rango de medición de -20 a 60 °C se utilizó para medir la temperatura. El sistema de condicionamiento del aire del laboratorio fue activado 12 h antes del comienzo de la calibración y todos los dispositivos quedaron expuestos para que entrasen en equilibrio térmico.

Antes de iniciar la calibración fue efectuado un análisis visual completo del instrumento revelando que el mismo está en buenas condiciones de uso.

En seguida se verificó el funcionamiento del montaje donde el husillo del comparador debe desplazarse gradualmente a través del husillo de la Máquina

Universal. La indicación del desplazamiento del husillo observada a través del ocular de la máquina universal se toma como valor patrón y se compara con el valor indicado por el comparador.



Figura 2. Montaje efectuado para la calibración del comparador de carátula.

Un total de diez puntos, igualmente espaciados, del rango de indicación del comparador fueron evaluados en los sentidos creciente y decreciente, cubriendo todo el rango de medición del mismo.

El procedimiento fue realizado cinco veces en ambas direcciones y anotados los valores indicados por el comparador y por la máquina universal. El valor de indicación ( $VI$ ) del comparador en cada punto analizado es el promedio de los valores obtenidos durante la ejecución de cada ciclo de medición. El error de indicación es, entonces, calculado como la diferencia entre los valores indicados por el comparador de carátula ( $VI$ ) y por la máquina universal ( $VVC$ ), conforme la Ecuación (1).

$$E = VI - VVC \quad (1)$$

Los errores así calculados representan la tendencia del instrumento en cada punto evaluado y pueden ser sustraídos de los resultados de las mediciones posteriores a la calibración.

#### 4. Resultados y Discusiones

A seguir son presentados y discutidos los resultados encontrados. Inicialmente, los resultados de la calibración y después el cálculo de la incertidumbre asociada a la calibración.

La Figura 3 muestra la curva de los errores referente a la calibración del comparador de carátula. En ella son representadas las curvas de los errores de indicación en ambos sentidos (ida y vuelta) y las curvas que representan los límites de la parcela aleatoria de los errores para 95,45 % de confiabilidad.

Observe en la Figura 3 que los errores de indicación en ambos sentidos de medición son similares, presentando valores entre  $-5$  y  $2 \mu\text{m}$ . En cuanto que la

parcela aleatoria alcanza su máximo valor de  $\pm 13 \mu\text{m}$  en el último punto evaluado, en el fin del rango de medición.

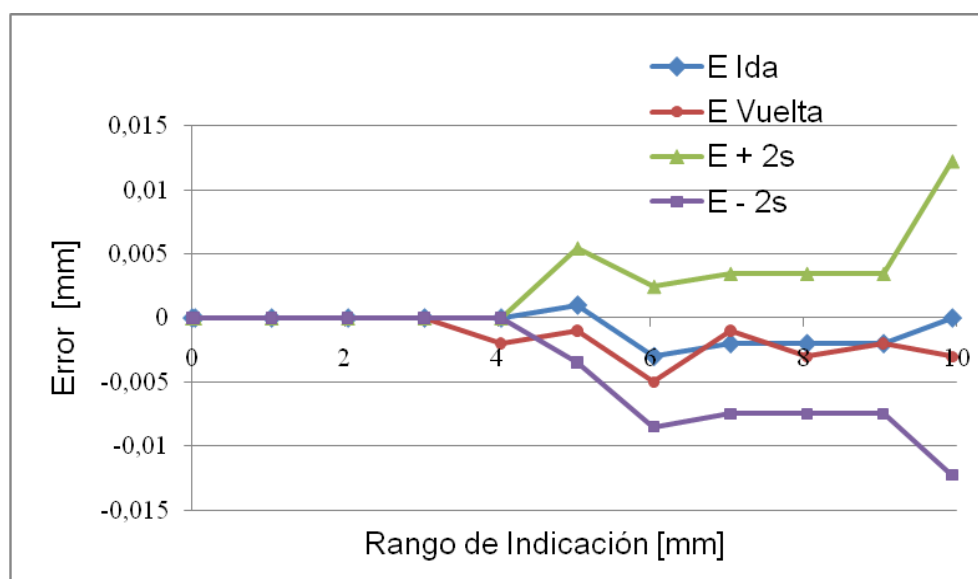


Figura 3. Curva de calibración del comparador de carátula.

Posteriormente fue calculada la histéresis. Los valores encontrados están en la Tabla 1.

Tabla 1. Histéresis del comparador calibrado.

VVC [mm]	Histéresis [mm]
0,00	0,000
0,04	0,000
1,04	0,000
2,04	0,000
3,04	0,000
4,04	0,002
5,04	0,002
6,04	0,002
7,04	-0,001
8,04	0,001
9,04	0,000
9,94	0,003

Segundo la tabla 1, la histéresis atingió el valor máximo de  $3 \mu\text{m}$  en el final del rango de medición.

Los datos referentes al cálculo de la incertidumbre de la calibración del comparador de carátula son mostrados a seguir. Las tablas 2 y 3 presentan de forma resumida el cálculo de la incertidumbre para el octavo punto evaluado (6,04 mm) del rango de indicación del comparador para ambos los sentidos de medición.

En las tablas aparecen los valores medios de cada magnitud, la distribución de probabilidad adoptada para cada caso, según el tipo de evaluación, los grados de libertad correspondiente, el coeficiente de sensibilidad, la incertidumbre estándar, la

estándar combinada, el grado de libertad efectivo, el coeficiente de cobertura y por fin, la incertidumbre expandida.

En los cálculos fueron consideradas las siguientes variables de influencia: Indicación del comparador de carátula ( $L_{CC}$ ); Resolución del comparador de carátula ( $R_{CC}$ ); Resolución de la máquina universal de medir longitudes ( $R_{MU}$ ); Incerteza asociada a la calibración de la máquina universal ( $I_{MU}$ ); Diferencia de temperatura con relación a 20 °C ( $\Delta T$ ); Coeficientes de dilatación térmica lineal de los materiales del comparador de carátula y de la máquina universal respectivamente ( $\alpha_{CC}$  y  $\alpha_{MU}$ ).

Tabla 2. Incertidumbre asociada al punto 6,04 en el sentido ascendente.

Magnitud $X_i$	Valor estimado $x_i$	Dist. de Probabilidad	Coeficiente de Sensibilidad	Grados de Libertad	Incertidumbre Estándar
$L_{CC}$	6,037 mm	Normal	1	4	1,22 $\mu\text{m}$
$R_{CC}$	1 $\mu\text{m}$	Rectangular	1	$\infty$	$\pm 2,8867 \mu\text{m}$
$R_{MU}$	2 $\mu\text{m}$	Rectangular	1	$\infty$	$\pm 0,0577 \mu\text{m}$
$I_{MU}$	1 $\mu\text{m}$	Normal	1	4	$\pm 0,0732 \mu\text{m}$
$\Delta T$	0,8 °C	Rectangular	0,0228 $\mu\text{m}^\circ\text{C}^{-1}$	$\infty$	$\pm 1,3326 \mu\text{m}$
$\alpha_{CC}$	1,1x10 <sup>-5</sup> °C <sup>-1</sup>	Rectangular	832 $\mu\text{m}^\circ\text{C}$	$\infty$	$\pm 6,35 \times 10^{-7} \mu\text{m}^\circ\text{C}^{-1}$
$\alpha_{MU}$	1,1x10 <sup>-5</sup> °C <sup>-1</sup>	Rectangular	832 $\mu\text{m}^\circ\text{C}$	$\infty$	$\pm 6,35 \times 10^{-7} \mu\text{m}^\circ\text{C}^{-1}$
Incertidumbre estándar combinada ( $u_c$ ) en $\mu\text{m}$					$\pm 3,14$
Grado de libertad efectivo ( $u_{eff}$ )					173,30
Factor de cobertura (95,45 %)					k=1,96
Incertidumbre expandida ( $U_P$ ) en $\mu\text{m}$					$\pm 6,16$

Observe en la tabla 2 que la incertidumbre estándar combinada asume valores de  $\pm 3,14 \mu\text{m}$ , mientras que la incertidumbre expandida atinge  $\pm 6,16 \mu\text{m}$  para  $k = 1,96$  y 95,45 % de cobertura. Efectuando el cálculo para la totalidad de los puntos se obtienen los siguientes resultados.

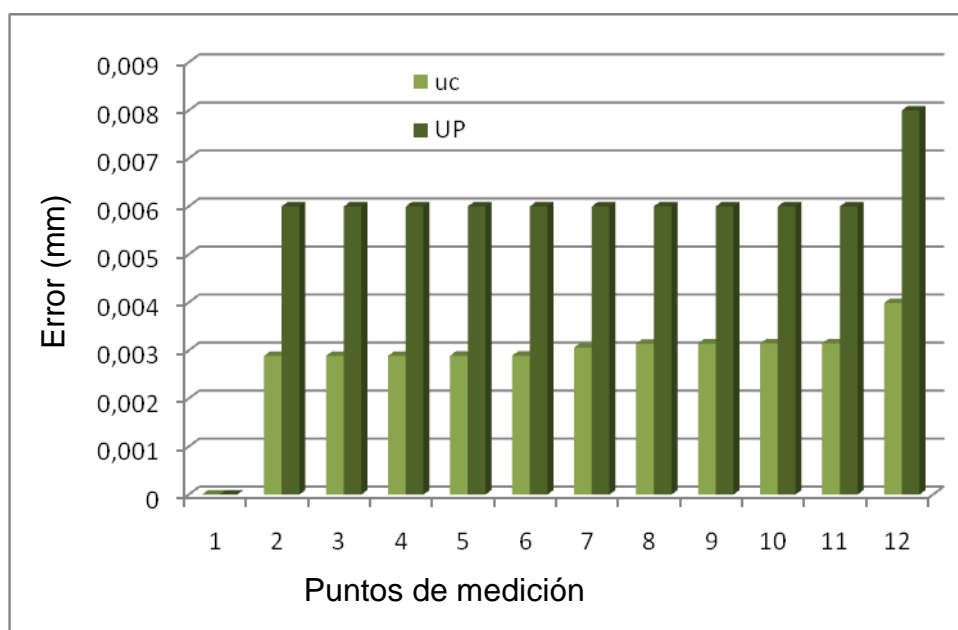


Figura 4. Incertidumbre para el sentido creciente.

En la Figura 4, los valores de incertidumbre se presentan de forma homogénea para todos los puntos de medición. Los mismos pueden ser considerados buenos.

Tabela 3. Incertidumbre asociada al punto 6,04 mm en el sentido decreciente.

Magnitud $X_i$	Valor estimativa $x_i$	Dist. de Probabilidad	Coefficiente de Sensibilidad	Grados de Libertad	Incertidumbre Estándar
$L_{CC}$	6,035 mm	Normal	1	4	0 $\mu\text{m}$
$R_{CC}$	1 $\mu\text{m}$	Rectangular	1	$\infty$	$\pm 2,8867 \mu\text{m}$
$R_{MU}$	2 $\mu\text{m}$	Rectangular	1	$\infty$	$\pm 0,0577 \mu\text{m}$
$I_{MU}$	1 $\mu\text{m}$	Normal	1	4	$\pm 0,0732 \mu\text{m}$
$\Delta T$	0,8 $^{\circ}\text{C}$	Rectangular	$0,0228 \mu\text{m}^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\infty$	$\pm 1,3326 ^{\circ}\text{C}$
$\alpha_{CC}$	$1,1 \times 10^{-5} ^{\circ}\text{C}^{-1}$	Rectangular	$832 \mu\text{m}^{\circ}\text{C}$	$\infty$	$\pm 6,35 \times 10^{-7} ^{\circ}\text{C}^{-1}$
$\alpha_{MU}$	$1,1 \times 10^{-5} ^{\circ}\text{C}^{-1}$	Rectangular	$832 \mu\text{m}^{\circ}\text{C}$	$\infty$	$\pm 6,35 \times 10^{-7} ^{\circ}\text{C}^{-1}$
Incertidumbre estándar combinada ( $u_c$ ) e $\mu\text{m}$					$\pm 2,89$
Grado de libertad efectivo ( $v_{eff}$ )					9737675,05
Factor de cobertura (95 %)					$k=1,96$
Incertidumbre expandida ( $U_P$ ) en $\mu\text{m}$					$\pm 5,67$

Observe en la tabla 3 que la incertidumbre estándar combinada asume valores de  $\pm 2,89 \mu\text{m}$ , mientras que la incertidumbre expandida atinge  $\pm 5,67 \mu\text{m}$  para  $k = 1,96$  y 95,45 % de cobertura. Efectuando el cálculo para la totalidad de los puntos se obtienen los siguientes resultados.

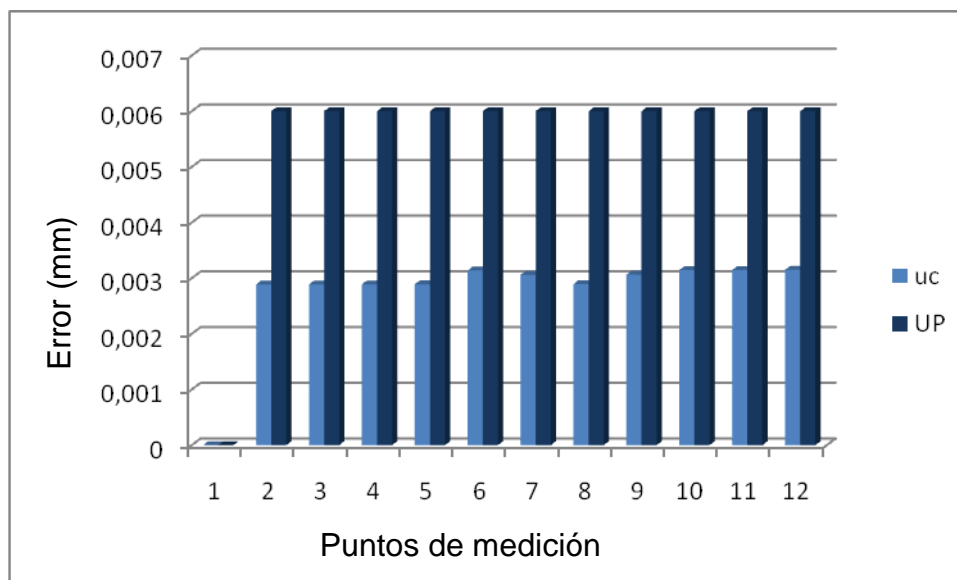


Figura 5. Incertidumbre para el sentido descendente.

Los valores de la incertidumbre asociada a los errores en el sentido decreciente, también, se presentan de forma homogénea.

## 5. Conclusiones

Al concluir el trabajo las siguientes conclusiones pueden ser formuladas.

El procedimiento aplicado para calibración del comparador de carátula es eficiente, así como, la máquina universal de medir longitudes.

Tanto la histéresis como el error de indicación del comparador fueron evaluados y cuantificados a través de los testes desarrollados. El error de indicación atingió el valor máximo de -0,003 mm en el punto correspondiente a 6,04 mm del rango de medición. Ya en el sentido decreciente el mayor error fue de -0,005 mm en el mismo punto. Por su vez, el valor máximo de histéresis fue registrado en el final del curso útil del comparador, siendo igual a 0,003 mm.

La incertidumbre expandida relativa a la calibración fue de 6  $\mu\text{m}$ , excepto en el punto equivalente a 9,94 mm del rango de medición cuando el mismo era atingido por valores crecientes. En este caso, la incertidumbre fue de 8  $\mu\text{m}$ .

Observando todos los valores de errores encontrados, puede afirmarse que el comparador de carátula calibrado atiende los requisitos de la NBR 6388:1983 y, por tanto, está apto para uso.

## **6. Agradecimientos**

Los autores agradecen a La Universidad Federal de Uberlândia – UFU y a la Fundación de Amparo a la Pesquisa en el Estado de Minas Gerais - FAPEMIG por las bolsas concedidas.

## **7. Referencias Bibliográficas**

INMETRO. ISO GUM - Guia para Expressão da Incerteza de Medição. Rio de Janeiro, 1997. 120 p.

INMETRO. SI - Sistema Internacional de Unidades. Rio de Janeiro, 2007. 114 p.

INMETRO. VIM 2008 - Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados. Rio de Janeiro, 2009. 78 p.

LINK, W. Metrologia Mecânica: Expressão da Incerteza de Medição. Mitutoyo Sul América. Rio de Janeiro, 1997. 174 p.

NBR 10125. Relógios Comparadores com Leitura de 0,001 mm. Rio de Janeiro, Novembro, 1987. 8 p.

NBR 6388. Relógios Comparadores com Leitura de 0,01 mm. Rio de Janeiro, Outubro, 1983. 5 p.

NBR ISO/IEC 17025. Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, Janeiro, 2001. 20 p.

NBR NM-ISO 1 Temperatura padrão de referência para medições industriais de comprimento. Rio de Janeiro, Dezembro, 1997. 2 p.

SUGA, N. Metrologia Dimensional: A Ciência da Medição. Mitutoyo do Brasil. São Paulo, 2007. 243 p.