



Medições de batimento radial (Fr) de engrenagens cilíndricas utilizando uma MMC

Autores: Victor Hugo Chagas de Souza; João Antônio Pires Alves; Paulo Roberto Guimarães Couto

Email: vhsouza@inmetro.gov.br; jaalves@inmetro.gov.br; prcouto@inmetro.gov.br

26/11/2019

1. Introdução

➤ Engrenagens



Engrenagens Cilíndricas Retas



Engrenagens Cilíndricas Helicoidais



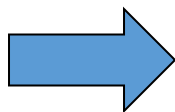
Parafuso Sem fim - Coroa



Engrenagens Cilíndricas Cônicas



Engrenagem Pinhão Cremalheira



Aplicações



Relógios



Automóveis



Máquinas

➤ Principais Padrões de engrenagens



Padrão de Evolvente



Padrão de Inclinação da Hélice



Padrão de Passo

1. Introdução

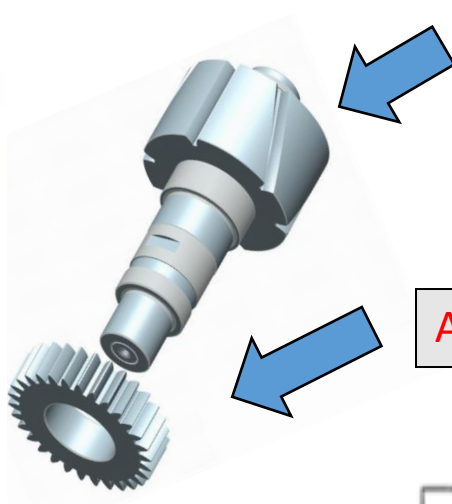
➤ Objetivos do trabalho:

- ✓ Apresentar um estudo metrológico sobre medições do parâmetro de batimento radial (F_r) de engrenagens cilíndricas
- ✓ Implantação dos serviços de calibração de artefatos (padrões de medição) de engrenagens no Laboratório de metrologia dimensional do Inmetro (Lamed).



2. Materiais e Métodos

2.1 Padrão de engrenagem do Lamed



Artefato A

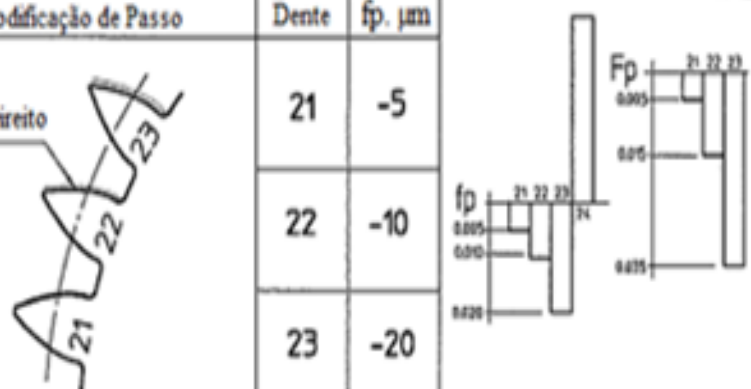
- Desvios de perfil (F_{α} , f_{α} e $f_{H\alpha}$)
- Desvios da linha de flanco (hélice) (F_{β} , f_{β} e $f_{H\beta}$)

Artefato B

- Desvios de Passo (f_{pi} , f_p , F_{pi} e F_p)
- Batimento radial (F_r)

✓ Fabricante Alemão

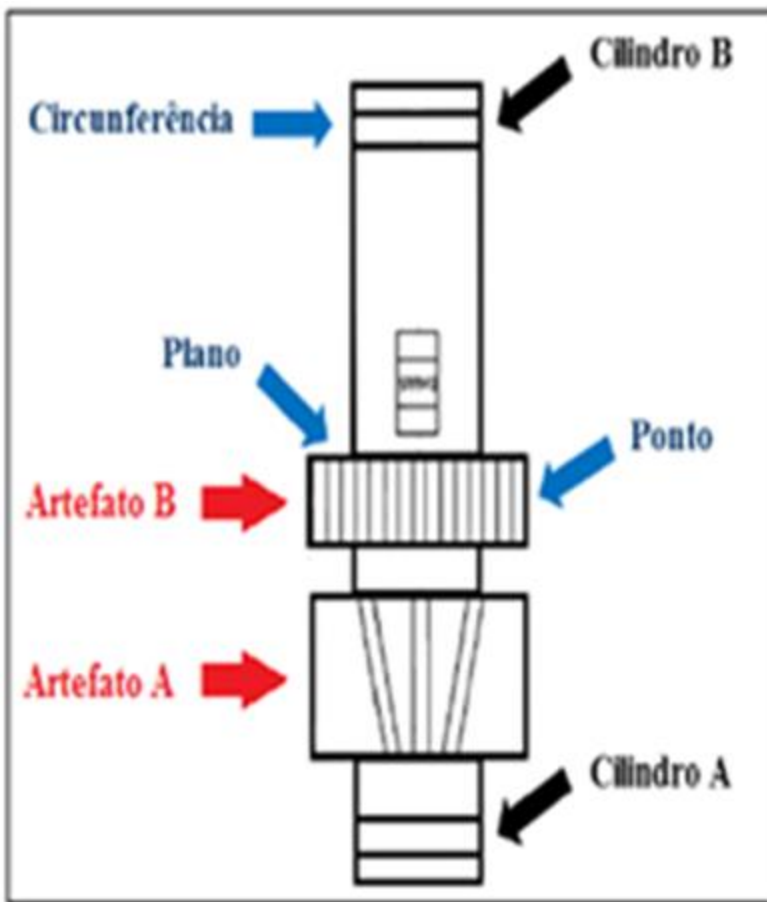


B - Modificação de Passo	Dente	f_p , μm	
Flanco Direito	21	-5	
	22	-10	
	23	-20	

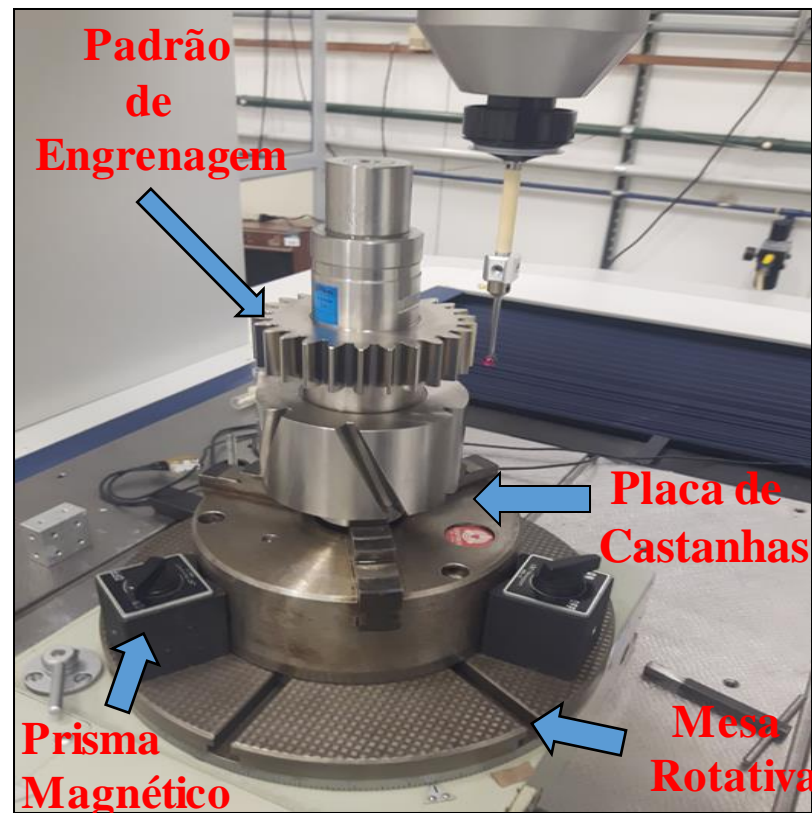
✓ Comprado pelo Projeto

2. Materiais e Métodos

2.2 Máquina de medição por coordenadas (MMC), mesa rotativa e acessórios de fixação



Elementos para SC do Padrão



Montagem do Padrão na MMC

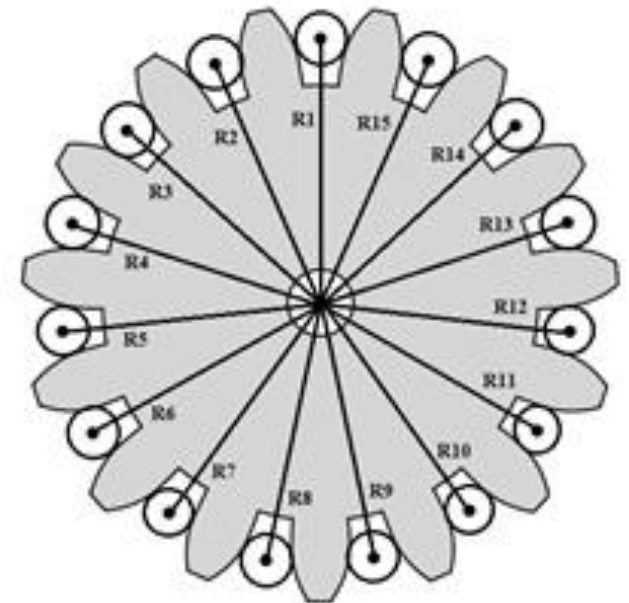
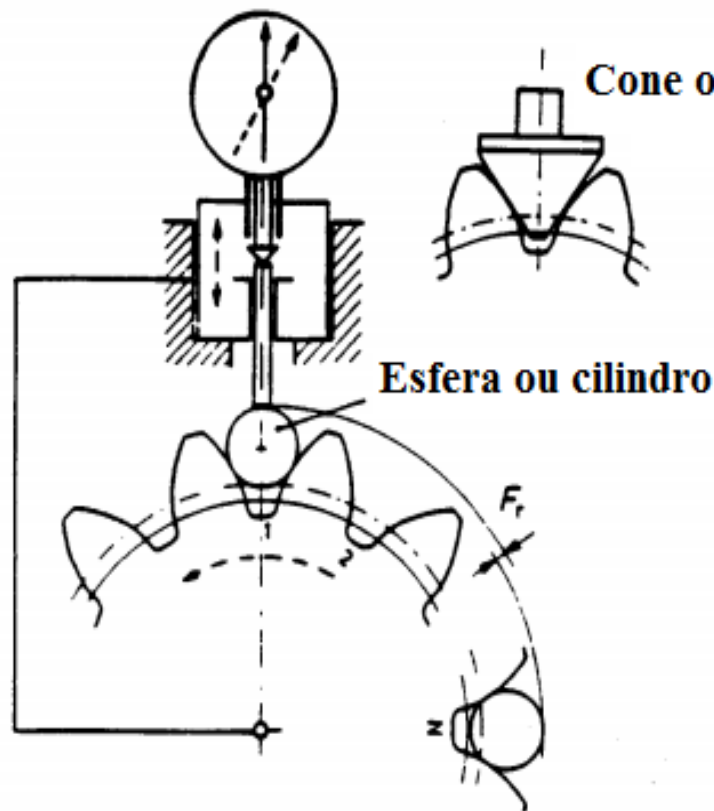
2.3 Padrão de referência do Lamed

Para prover rastreabilidade metrológica e determinar os erros sistemáticos da MMC nas medições dos raios, foi utilizado um bloco-padrão calibrado com valor nominal de 50 mm.

2. Materiais e Métodos

2.4 Procedimento de Medição

- O batimento radial (F_r) representa a diferença entre a distância radial máxima e mínima de uma sonda (esfera, cilindro, prisma ou cone) em relação ao eixo de giro da engrenagem.



$R_{m\acute{a}x}$ = Raio máximo medido

$R_{m\acute{i}n}$ = Raio mínimo medido

$$F_r = (R_{m\acute{a}x} - R_{m\acute{i}n})$$

2. Materiais e Métodos

2.4 Condições de medição - (F_r)

➤ FRESCO



Foi utilizado um apalpador com esfera de 3 mm de diâmetro nominal e o batimento radial (F_r) foi calculado a partir dos pontos de medição dos passos considerando um diâmetro nominal de esfera de 7 mm.

➤ Lamed / Inmetro



Foi utilizado um apalpador com diâmetro nominal de esfera de 7 mm de diâmetro nominal.

✓ Limitações do Lamed

- Não possui mesa rotativa automática;
- Software específico de medição;
- Apalpadores para montar uma configuração estrela; e
- Determinação do SC e a estratégia de medição diferente.

2. Materiais e Métodos

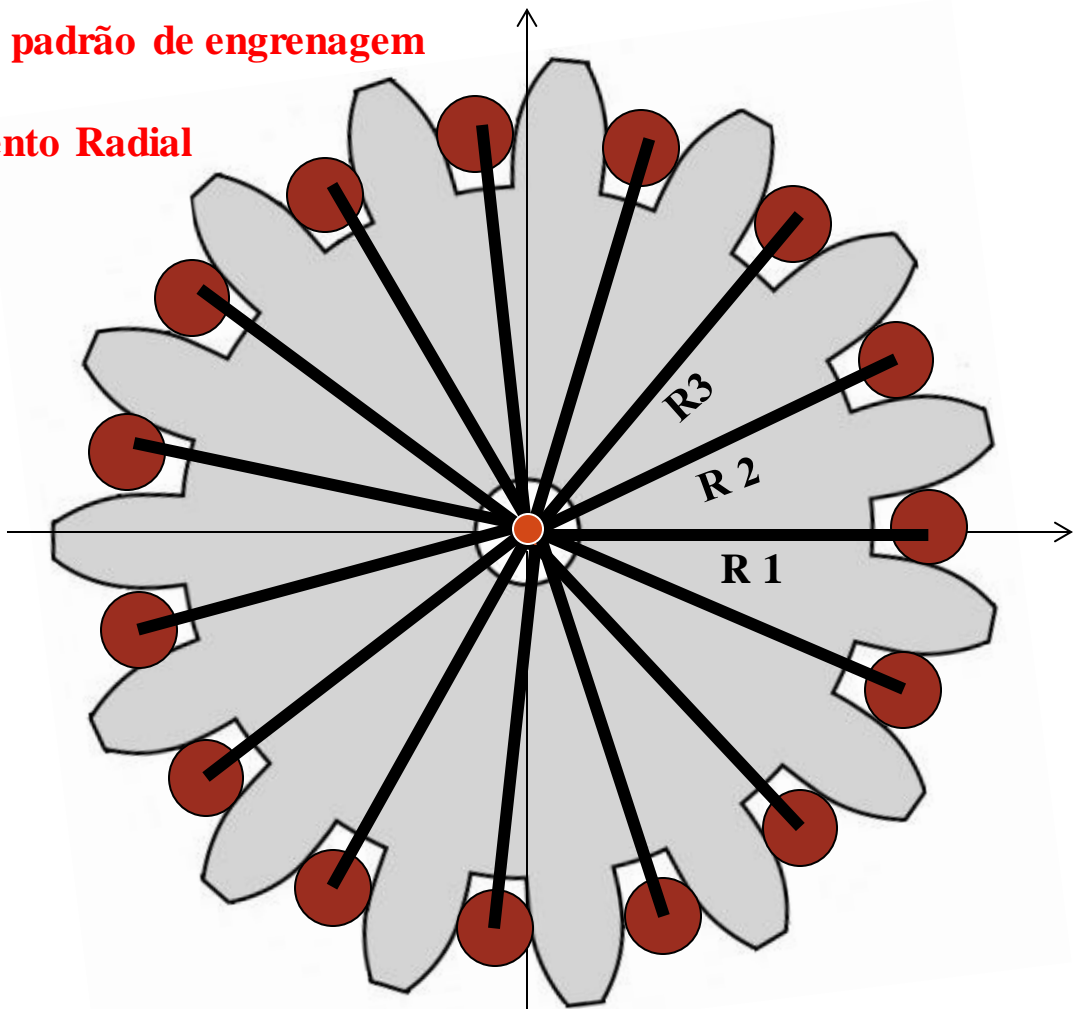
2.4.2 Programa de medição – Batimento radial (F_r)

- 1º Etapa – Definição de parâmetros
- 2º Etapa – Definição do SC do padrão de engrenagem
- 3º Etapa – Medição do Batimento Radial

$$F_r = (R_{m\acute{a}x} - R_{m\acute{i}n})$$

$R_{m\acute{a}x}$ = Raio máximo medido

$R_{m\acute{i}n}$ = Raio mínimo medido



3. Avaliação dos Resultados e Incerteza de Medição

- Guia para expressão da incerteza de medição (GUM) [6].
- Baseando-se na comparação internacional EURAMET.L-S24 [7], o Erro normalizado (E_n) foi o parâmetro escolhido.

$$E_n = \left| \frac{V_{lab} - V_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \right|$$

V_{lab} = valor obtido pelo Lamed;

V_{ref} = valor obtido pelo laboratório de referência (FRENCO);

U_{lab} = incerteza expandida obtida pelo Lamed; e

U_{ref} = incerteza expandida obtida pelo laboratório de referência (FRENCO).

- **Um valor de resultado é considerado aceitável, adequado ou compatível quando $|E_n| \leq 1$.**
- **Principais fontes de incerteza para medição do Batimento radial (Fr)**
 - ✓ **A repetibilidade dos raios medidos;**
 - ✓ **A incerteza do padrão de medição de referência (bloco-padrão de 50 mm);**
 - ✓ **O erro na definição do sistema de coordenadas (SC) do padrão; e**
 - ✓ **A resolução da MMC.**

3. Avaliação dos Resultados e Incerteza de Medição

3.1 Resultados do Batimento radial (F_r) – Em 26 posições - Lamed e FRENCO



Posição na mesa	Ângulo na mesa (°)	F_r - (μm) Lamed	U (μm) Lamed	F_r - (μm) FRENCO	U (μm) FRENCO	E_n
1	0,00	43,9	0,6	44,2	1,0	0,23
2	13,85	43,8	0,6	44,2	1,0	0,33
3	27,69	43,4	0,6	44,2	1,0	0,66
4	41,54	43,5	0,6	44,2	1,0	0,64
5	55,38	43,4	0,6	44,2	1,0	0,73
6	69,23	43,4	0,6	44,2	1,0	0,66
7	83,08	43,4	0,6	44,2	1,0	0,65
8	96,92	43,8	0,6	44,2	1,0	0,38
9	110,77	44,0	0,6	44,2	1,0	0,14
10	124,62	44,4	0,6	44,2	1,0	0,18
11	138,46	44,3	0,6	44,2	1,0	0,09
12	152,31	44,0	0,6	44,2	1,0	0,15
13	166,15	44,1	0,6	44,2	1,0	0,10

Tabela 1 - Resultados obtidos do batimento radial (F_r) – Lamed e FRENCO.

3. Avaliação dos Resultados e Incerteza de Medição

3.1 Resultados do Batimento radial (F_r) – Em 26 posições - Lamed e FRESCO

Posição na mesa	Ângulo na mesa (°)	F_r - (μm) Lamed	U (μm) Lamed	F_r - (μm) FRESCO	U (μm) FRESCO	E_n
14	180,00	44,1	0,6	44,2	1,0	0,09
15	193,85	44,0	0,6	44,2	1,0	0,18
16	207,69	43,6	0,6	44,2	1,0	0,51
17	221,54	43,5	0,6	44,2	1,0	0,63
18	235,38	43,5	0,6	44,2	1,0	0,57
19	249,23	43,3	0,6	44,2	1,0	0,78
20	263,08	43,8	0,6	44,2	1,0	0,36
21	276,92	44,0	0,6	44,2	1,0	0,21
22	290,77	43,8	0,6	44,2	1,0	0,35
23	304,62	44,2	0,6	44,2	1,0	0,01
24	318,46	44,2	0,6	44,2	1,0	0,01
25	332,31	44,0	0,6	44,2	1,0	0,19
26	346,15	43,8	0,6	44,2	1,0	0,35

Tabela 1 - Resultados obtidos do batimento radial (F_r) – Lamed e FRESCO. (continuação)

3. Avaliação dos Resultados e Incerteza de Medição

3.1 Resultados do Batimento radial (F_r) – Em 26 posições - Lamed e FRESCO

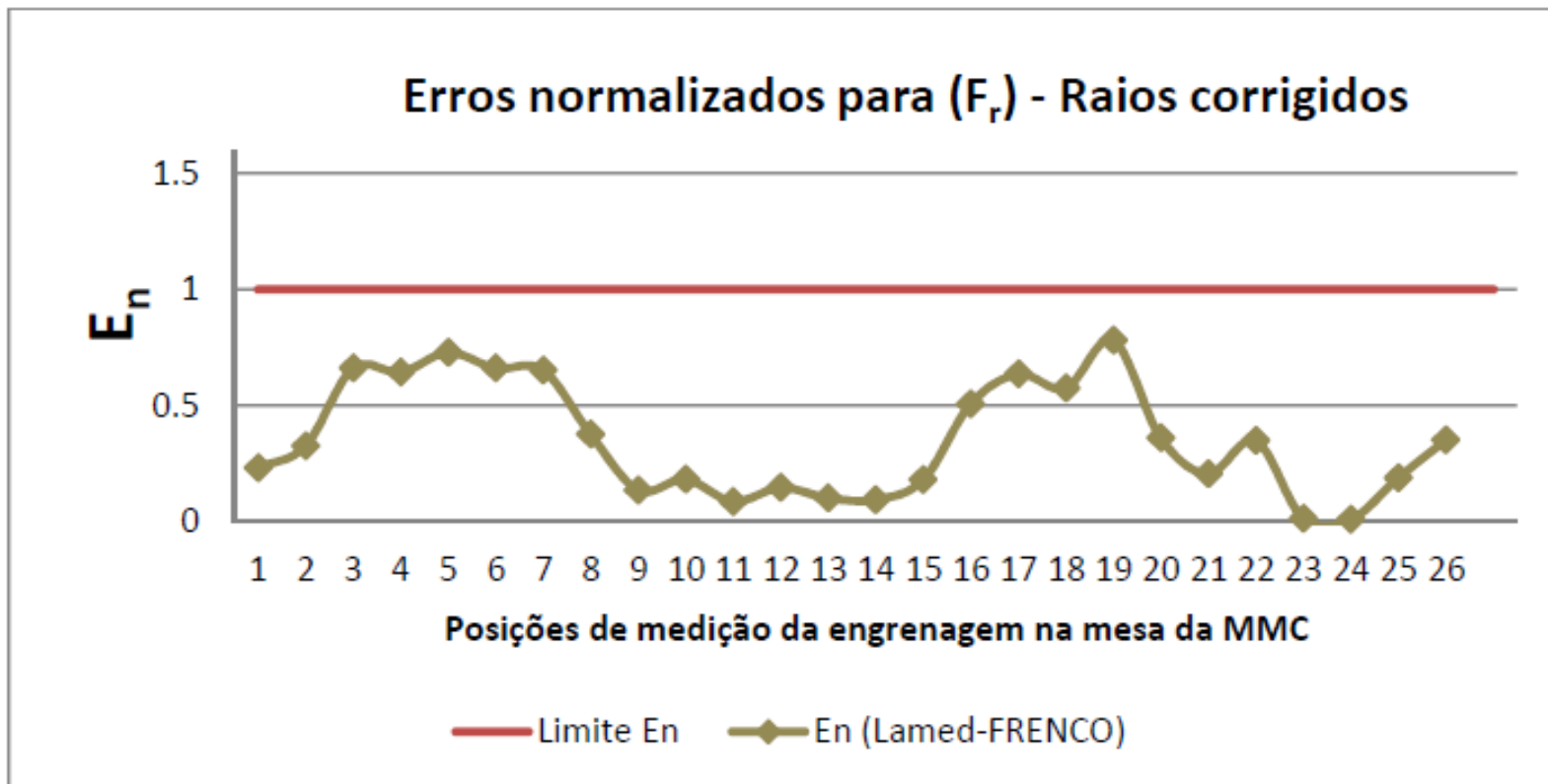


Gráfico com Erros normalizados (F_r) em 26 posições com raios medidos corrigidos.

4. Conclusões

- Todos os resultados obtidos para batimento radial (F_r) mostraram-se compatíveis, mesmo utilizando uma montagem do padrão de engrenagem na mesa da MMC diferente do certificado de calibração da FRESCO.
- O programa de medição elaborado atende as necessidades e o procedimento de medição desenvolvido pode ser utilizado para executar este tipo de serviço.
- Estudos estão sendo realizados visando à redução de incerteza de medição desse parâmetro.

5. Referências

- [1] RBC. Rede Brasileira de Calibração / INMETRO. Disponível em:<<http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rbc/>>.
- [2] FRESCO. Disponível em: <<https://www.fresco.de/en/>>.
- [3] GEMAQUE, M. J. A. Abordagem para Solução de um Problema Metrológico na Indústria - Medição de Engrenagens. 2004. 132 p. Dissertação (Mestrado em Metrologia) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Santa Catarina, Brasil, 2004.
- [4] ISO. 1328-2: Cylindrical Gears - ISO system of accuracy - Part 2. Definitions and allowable values of deviations relevant to corresponding flanks of gear teeth, 1997.
- [5] ISO/TR. 10064-2: Code of inspection practice - Part 2: Inspection related to radial composite deviations, runout, tooth thickness and backlash, 1996.
- [6] INMETRO. Guia para a expressão de incerteza de medição. Tradução de Grupo de trabalho para tradução do GUM 2008. 1ª. ed. Duque de Caxias: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012. 141 p. ISBN 978-85-86920-13-4. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/gum_final.pdf>. 1ª Edição Brasileira da 1ª Edição do BIPM de 2008.
- [7] EURAMET. Supplementary comparison EURAMET.L-S24 - Involute gear standards. Disponível em: <<http://kcdb.bipm.org>>.

FIM !

Muito obrigado pela atenção!

Agradecimentos Especiais:

