

MEDIÇÃO DE ESCALAS GRADUADAS UTILIZANDO REGISTRO DE IMAGENS

*Pedro Bastos Costa*¹, *Fabiana Rodrigues Leta*²

¹ Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial, Duque de Caxias, Brasil, pbcosta@inmetro.gov.br

² Universidade Federal Fluminense – Departamento de Engenharia Mecânica, Niterói, Brasil, fabiana@ic.uff.br

Resumo: Atualmente os avanços na metrologia dimensional podem ser vistos através da evolução dos sistemas de medição sem contato. De forma similar, a utilização de técnicas de processamento de imagens para a medição de objetos tem sido alvo de recentes estudos em visão computacional. Acompanhando esses avanços na busca por técnicas que facilitem cada vez mais as medições sem contato, neste trabalho será apresentada a aplicação da técnica de registro de imagem para medição de escalas graduadas. De forma convencional as escalas são medidas em pontos pré-estabelecidos, geralmente em intervalos de 10% do comprimento total da escala. Através desta aplicação torna-se possível fornecer resultados para todas as marcas da escala de forma rápida e automática, o que de modo convencional demandaria tempo e custo elevado para a realização desta medição.

Palavras chave: Visão Computacional, Escala Graduada, Registro de Imagem.

1. INTRODUÇÃO

As escalas graduadas são padrões materializados utilizados, na maioria dos casos, para a verificação e calibração de sistemas de medição por meio óptico (sem contato). Esse tipo de sistema de medição requer que essas escalas sejam calibradas com alto nível de exatidão. Ultimamente os institutos nacionais de metrologia têm desenvolvido e aprimorado sistemas de calibração para atender esse tipo de exigência [1, 2].

O sistema utilizado pelo laboratório de metrologia dimensional do inmetro, o Lamed, para medição de micro escalas (Fig. 1) é composto por uma mesa de deslocamentos, um microscópio, uma câmera CCD, um sistema laser de medição e um programa computacional para a determinação do centro das marcas da escala.

Neste sistema a escala é alinhada paralela ao feixe do laser e ao retículo do microscópio como forma de eliminar erros, como o erro de Abbè e o erro co-seno [3]. Com a escala alinhada, a mesa é movimentada até que a primeira marca da escala possa ser visualizada, a imagem capturada pela câmera acoplada ao microscópio é enviada ao programa computacional que realiza a determinação do centro da marca. Neste primeiro ponto o laser é “zerado” e o mesmo procedimento é repetido nos pontos a serem medidos ao longo da escala, sempre com os comprimentos referenciados ao ponto de zero [4].

Os deslocamentos realizados pela mesa são medidos pelo laser interferométrico e os valores são inseridos no modelo matemático da calibração onde as distâncias entre os centros das marcas ao longo da escala são obtidas.

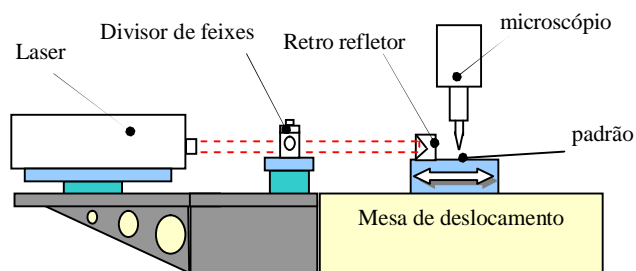


Figura 1: Montagem do sistema

A calibração deste tipo de padrão é um serviço prestado pelo laboratório onde os resultados são emitidos em um certificado de calibração. Neste certificado são fornecidos os resultados para intervalos de 10% da faixa total da escala. Por exemplo, um cliente solicita a calibração de uma escala de 10 mm de comprimento. Os pontos que serão medidos e informados no certificado serão os pontos de 1 mm, 2 mm, ..., 10 mm. Em casos particulares o cliente informa quais os pontos ele necessita que sejam calibrados.

No entanto, a periodicidade para a calibração deste tipo de padrão pode chegar a 4 anos dependendo da frequência com a qual este é utilizado. Durante esse grande intervalo de tempo, se alguma característica no sistema for alterada e o cliente necessite utilizar a escala em algum ponto diferente dos pontos contidos no certificado ele perderá a rastreabilidade do sistema. Em uma escala graduada os erros para cada comprimento medido são completamente independentes, o que não permite que seja feita uma interpolação dos erros ao longo da escala para se encontrar erros intermediários que não foram contemplados no certificado de calibração.

Com o objetivo de auxiliar neste tipo de necessidade a calibração das escalas graduadas deveria ser realizada em todos os pontos, fornecendo resultados no certificado para todos os comprimentos da escala. No entanto, esse tipo de calibração seria inviável, pois o custo seria bastante elevado e a necessidade da calibração desses pontos extraordinários não é freqüente.

Como forma de atender estes casos, o Lamed está implementando uma nova metodologia para a calibração de

escalas graduadas onde, através da utilização da técnica de registro de imagens, a escala continuará a ser calibrada com incertezas pequenas nos pontos convencionais (a cada 10%) mas poderá conter resultados para todos os comprimentos da escala, embora com incertezas relativamente maiores, mas que poderão auxiliar os usuários até que seja realizada uma nova calibração.

2. REGISTRO DE IMAGEM

A técnica de registro de imagem surge da necessidade de se comparar imagens obtidas em diferentes espaços de tempo, ou por diferentes sensores. Sendo assim, o principal objetivo de um registro de imagem é a justaposição destas. Esse procedimento é realizado através de pontos redundantes em diferentes imagens [5], ou seja, pontos que podem ser vistos em duas imagens diferentes e que devem passar a ocupar o mesmo espaço em uma nova imagem, causando a realocação de todos os outros pontos.

A aplicação da técnica de registro na calibração de uma escala graduada consiste na aquisição de várias imagens da escala, desde seu início até o término das marcações. Mantendo entre as fotos algumas marcas redundantes para a aplicação da técnica, é possível realizar a reconstrução da escala, com uma boa definição, em apenas uma imagem.

A partir da imagem registrada da escala, torna-se possível a medição de todas as suas distâncias sem a necessidade do aparato descrito na figura 1. No entanto, este procedimento, por ser mais simples, causa um aumento na incerteza de medição para essas escalas em comparação às incertezas obtidas pelo método convencional.

Para a aplicação da técnica de registro na medição das escalas o processo segue as etapas de um processo normal de visão computacional (figura 2).

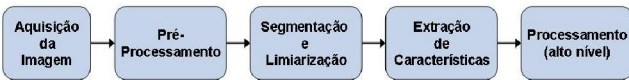


Figura 2. Etapas do processo de visão computacional.

A aquisição da imagem foi realizada através de uma câmera do tipo CCD acoplada ao microscópio de medição. A câmera utilizada possui uma resolução de 768x576 e uma interface firewire. Durante a aquisição das imagens é necessário sempre ter o cuidado para que entre as fotos consecutivas apareçam sempre pontos em comum para que seja possível a aplicação da técnica de registro (fig. 3).

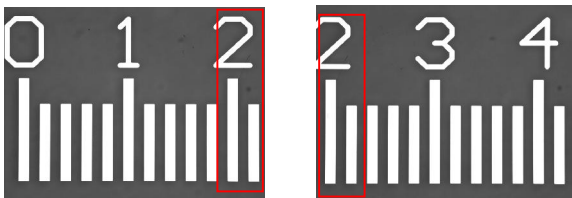


Figura 3. Região em comum nas duas imagens.

Na etapa de pré-processamento o objetivo é tentar encontrar variações ou descontinuidades nas imagens para que seja possível identificar as marcas da escala. Essa identificação é necessária devido ao posicionamento das

marcas serem utilizados como referência para a aplicação do registro.

Como forma de realizar essa identificação foi utilizado o método de Canny [6] para detecção de bordas, que se baseia no estabelecimento de critérios para que se possam obter resultados melhores que os métodos conhecidos.

Após a aplicação do método de Canny, os pontos considerados como borda, e todo o seu interior, têm a sua intensidade trocada para 255 (branco) e os pontos que não fazem parte de nenhuma borda são trocados para 0 (preto). É realizada assim a segmentação da imagem, onde todas as marcas da escala são destacadas da imagem tendo as suas bordas realçadas em relação ao fundo da escala.

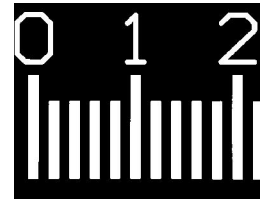


Figura 4. Resultado da aplicação do método de Canny.

No processo de registro, a extração das características é o ponto chave para esta metodologia. Nesta etapa o algoritmo deve identificar os pontos redundantes nas imagens seqüenciadas.

Os pontos escolhidos são os centros de massa das marcas que se repetem nas fotos (Fig. 5). O algoritmo realiza um scaneamento na imagem e procura os centros das marcas em ambas a imagens, guardando as coordenadas x e y de cada centro.

Com os valores das coordenadas dos centros dos traços que se repetem em duas fotos, torna-se possível realizar o registro das imagens. O registro é feito conforme o seguinte procedimento:

- São armazenadas as coordenadas de dois traços na primeira imagem – x_1 , y_1 , x_2 e y_2 .
- Na segunda imagem são guardadas as novas coordenadas dos mesmos traços da primeira imagem - X_1 , Y_1 , X_2 e Y_2 .
- É formado um sistema linear com as coordenadas da primeira e da segunda imagem (Eq. 1).

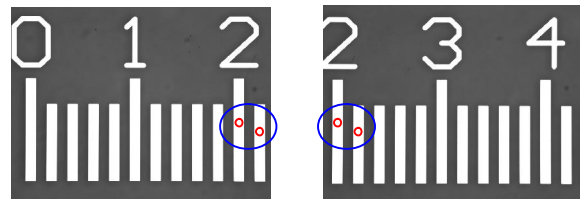


Figura 5. Pontos utilizados para o registro da imagem.

$$\begin{cases} X_1 = a_{11} + a_{21}X_1 \\ X_1 = a_{31} + a_{41}X_1 \\ X_2 = a_{11} + a_{21}X_2 \\ X_2 = a_{31} + a_{41}X_2 \end{cases} \quad (1)$$

O sistema é resolvido expandindo as matrizes

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_1 \\ X_2 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ a_{31} \\ a_{41} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Renomeando as matrizes;

$$A = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_1 \\ X_2 \\ X_2 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ a_{31} \\ a_{41} \end{bmatrix} \quad (3)$$

A solução do sistema para a realização do registro das imagens é dada pela equação 4.

$$C = B^{-1} \cdot A \quad (4)$$

Após a determinação dos polinômios, uma terceira imagem é gerada com as novas coordenadas obtidas.



Figura 6. Imagem completa da escala após o registro.

3. RESULTADOS

O objetivo da utilização do registro de imagem na medição de escalas graduadas é a determinação de todos os comprimentos da escala de forma rápida. Isto pode ser realizado de duas formas diferentes.

No primeiro caso não se tem conhecimento nenhum do comprimento da escala. Sob esta hipótese a determinação dos resultados é feita a partir da determinação do tamanho dos *pixels* na imagem. Essa determinação é realizada utilizando como padrão de referência o laser interferométrico do sistema, como descrito no item 1.

A segunda forma de se obter os comprimentos da escala é quando se tem informações sobre alguns valores previamente medidos.

Estes pontos medidos através da metodologia tradicional serão os valores utilizados como referência para obter os demais comprimentos da escala pelo registro de imagem.

A primeira escala utilizada foi à escala previamente mostrada na figura 6. Esta escala possui comprimento

nominal de 6 mm, com menor divisão de 0,2 mm. Para a determinação do centro de todas as marcas da escala a imagem foi novamente binarizada, como mostrado na figura 7.

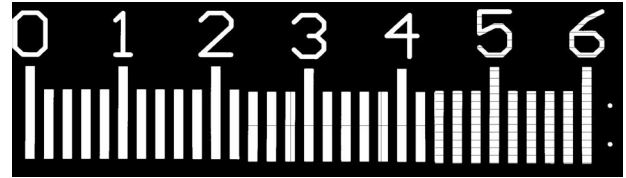


Figura 7. Imagem da escala binarizada.

Para obter os resultados para os comprimentos desta escala, foi utilizado como referência o valor para o ponto de 6 mm contido do certificado de calibração da escala. Os resultados estão contidos na tabela 1.

Tabela 1. Resultados obtidos para os comprimentos da escala de 6mm.

Valor Nominal (mm)	Valor Medido (mm)	Valor Nominal (mm)	Valor Medido (mm)	Valor Nominal (mm)	Valor Medido (mm)
0,2	0,2018	2,2	2,1984	4,2	4,2016
0,4	0,4003	2,4	2,3986	4,4	4,4017
0,6	0,6005	2,6	2,5987	4,6	4,5986
0,8	0,8006	2,8	2,8005	4,8	4,7971
1,0	1,0008	3,0	2,9990	5,0	4,9973
1,2	1,1976	3,2	3,1992	5,2	5,1958
1,4	1,3978	3,4	3,3993	5,4	5,3943
1,6	1,5979	3,6	3,5962	5,6	5,5912
1,8	1,7981	3,8	3,7980	5,8	5,7897
2,0	1,9982	4,0	3,9998	6,0	5,9915

Este mesmo procedimento foi utilizado para uma segunda escala, com comprimento nominal diferente e quantidade de imagens registradas diferente, para avaliar a eficiência do método sob diferentes situações.

Esta escala possui comprimento nominal de 1 mm, e distância entre as marcas de 0,01 mm. A figura 9 apresenta a imagem desta escala registrada a partir da união de 10 imagens.



Figura 9. Resultado do processo de registro de uma escala de 1mm

Para esta escala foi utilizado como referência seu certificado de calibração que contém valores para os comprimentos de 0,1mm, 0,2mm, ..., 1,0mm. Através da razão entre a quantidade de *pixels*, contados na imagem registrada, e o comprimento informado no certificado da escala, pode ser determinado o tamanho dos pixels na imagem e, conseqüentemente através deste valor, são obtidos todos os comprimentos para a escala (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados obtidos para os comprimentos da escala de 1 mm.

Valor Nominal (mm)	Valor Medido (mm)	Valor Nominal (mm)	Valor Medido (mm)	Valor Nominal (mm)	Valor Medido (mm)
0,01	0,0101	0,34	0,3407	0,67	0,6705
0,02	0,0200	0,35	0,3506	0,68	0,6805
0,03	0,0302	0,36	0,3607	0,69	0,6905
0,04	0,0402	0,37	0,3708	0,70	0,7003
0,05	0,0503	0,38	0,3808	0,71	0,7102
0,06	0,0602	0,39	0,3908	0,72	0,7207
0,07	0,0703	0,40	0,4007	0,73	0,7303
0,08	0,0804	0,41	0,4107	0,74	0,7402
0,09	0,0905	0,42	0,4206	0,75	0,7503
0,10	0,1003	0,43	0,4305	0,76	0,7603
0,11	0,1103	0,44	0,4406	0,77	0,7702
0,12	0,1204	0,45	0,4506	0,78	0,7803
0,13	0,1304	0,46	0,4608	0,79	0,7903
0,14	0,1404	0,47	0,4706	0,80	0,8001
0,15	0,1504	0,48	0,4808	0,81	0,8101
0,16	0,1604	0,49	0,4908	0,82	0,8201
0,17	0,1705	0,50	0,5005	0,83	0,8302
0,18	0,1806	0,51	0,5104	0,84	0,8402
0,19	0,1906	0,52	0,5205	0,85	0,8501
0,20	0,2005	0,53	0,5305	0,86	0,8602
0,21	0,2105	0,54	0,5406	0,87	0,8702
0,22	0,2205	0,55	0,5506	0,88	0,8802
0,23	0,2305	0,56	0,5606	0,89	0,8908
0,24	0,2405	0,57	0,5706	0,90	0,8999
0,25	0,2506	0,58	0,5806	0,91	0,9099
0,26	0,2607	0,59	0,5905	0,92	0,9198
0,27	0,2706	0,60	0,6004	0,93	0,9298
0,28	0,2806	0,61	0,6103	0,94	0,9399
0,29	0,2906	0,62	0,6203	0,95	0,9500
0,30	0,3006	0,63	0,6303	0,96	0,9600
0,31	0,3105	0,64	0,6403	0,97	0,9700
0,32	0,3206	0,65	0,6504	0,98	0,9801
0,33	0,3306	0,66	0,6603	0,99	0,9900
				1,00	1,0000

Para avaliar os resultados foram comparados os valores obtidos através do método de registro de imagem e os comprimentos informados no certificado de calibração das duas escalas. O parâmetro escolhido para comparar os resultados foi o erro normalizado (EN), calculado de acordo com a equação 5.

$$EN = \frac{|VV - VM|}{\sqrt{U_V^2 + U_{VM}^2}} \quad (5)$$

VV Valor Verdadeiro

VM Valor Medido

U_V Incerteza de medição expandida do valor verdadeiro

U_{VM} Incerteza de medição expandida do valor medido

A incerteza expandida para o método de registro de imagem utilizada no cálculo de EN para a escala de 6 mm foi de 2 μ m.

Tabela 3. Validação dos resultados para o método de registro de imagem para a escala de 6 mm.

Valor Nominal (mm)	Valor Verdadeiro (mm)	Valor Medido (mm)	EN
1,0	1,0008	0,9993	0,64
2,0	1,9982	1,9990	0,35
3,2	3,1992	3,1989	0,13
4,0	3,9998	3,9982	0,72
5,2	5,1958	5,1969	0,52
6,0	5,9915	5,9915	0,00

Na tabela 4 estão contidos os resultados para o cálculo do EN para a escala de 1 mm. A incerteza expandida para o método de registro de imagem nesta escala foi de 2 μ m.

Tabela 4. Validação dos resultados para o método de registro de imagem para a escala de 1 mm.

Valor Nominal (mm)	Valor Verdadeiro (mm)	Valor Medido (mm)	EN
0,0	0,000000	0,000000	0,00
0,1	0,099993	0,100339	0,34
0,2	0,199981	0,200522	0,54
0,3	0,299981	0,300600	0,62
0,4	0,400027	0,400730	0,70
0,5	0,500030	0,500494	0,46
0,6	0,599936	0,600363	0,43
0,7	0,699939	0,700336	0,40
0,8	0,800000	0,800101	0,10
0,9	0,899947	0,899917	0,03
1,0	0,999995	0,999995	0,00

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados foram considerados satisfatórios, pois em todos os casos o erro normalizado (EN) obtido foi menor que 1 [7], quando comparados ao certificado de calibração das escalas, o que torna válida a utilização da técnica de registro de imagem para a medição de escalas graduadas.

A partir desta implementação torna-se possível a determinação de todos os comprimentos das escalas com rapidez, o que seria inviável através da metodologia convencional.

A metodologia de medição através do registro de imagem não tem como objetivo substituir a metrologia tradicional. Portanto, a calibração da escala em determinados pontos ao longo do comprimento nominal continuará sendo executada.

Recomenda-se para um trabalho futuro o estudo aprofundado para estimativa da incerteza de medição para este tipo de calibração, onde devem ser avaliadas, dentro do modelo de registro de imagens, outras fontes de erro além de contribuições dos padrões utilizados, condições ambientais, entre outras.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Lassila, E. Ikonen, K. Riski. - Interferometric line scale calibrator with a moving CCD camera as a line detector. Verein Deutscher Ingenieure (VDI) Berichte N°1118, p105-110. 1994.
- [2] A. Lassila. - Software of line scale interferometer of MIKES. Presentation from Length workshop at Dublin. EUROMET. 2003.
- [3] G. Lipinski, F. Larsonnier. - Calibration of the line standards at the BNM-LNE. 1st EUSPEN Topical Conference on the Fabrication and Metrology in Nanotechnology, Copenhagen, Denmark, 28-30 May 2000.
- [4] Beers, J. S. and Penzes, B. P. – The NIST Length Scale Interferometer. Journal of the NIST, Vol.104, N°3, p225-252. 1999.
- [5] B. Zitová, J. Flusser, F. Sroubek., Image Registration: A Survey and Recent Advances. ICIP 2005 Tutorial. Czech Republic, 2005.
- [6] Canny J (1986) A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-8, 6:679-698.
- [7] Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (ISO GUM - 2005).