

# MEDIÇÃO DO ERRO DE RETILINEIDADE UTILIZANDO O MÉTODO DA REVERSÃO

**B. Giacomo(1), R.C.A. Magalhães(1) e R.V. Arencibia(1)**

(1) Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São-carlense, 400, centro, São Carlos SP, cep: 13566-590.

Palavras chaves: Régua Padrão, Erro de Retilidade, Método da Reversão.

## Resumo

Os processos produtivos evoluíram muito pela necessidade de redução de custos e tempo de produção. Este ambiente em que os processos de fabricação são cada vez mais curtos, rápidos e de melhor qualidade tornam o controle dimensional caro e demorado. Surge, então, a necessidade de sistemas de medidas mais flexíveis, rápidos e confiáveis para a execução do controle dimensional. Assim, a metrologia mecânica convencional auxiliada por computadores é candidata em potencial para as operações integradas com o processo de manufatura.

Durante o projeto de um componente, a especificação de dimensões e formas tem por base geometrias que são ideais. Entretanto, devido a possíveis erros geométricos das Máquinas Ferramentas utilizadas durante o processo de fabricação, as superfícies não são perfeitas, apresentando erros e portanto devem ser previstos durante a fase de projeto.

As guias das Máquinas-Ferramenta e das Máquinas de Medir a Três Coordenadas (MM3C) são os elementos responsáveis pela movimentação dos carros e têm grande influência na qualidade da usinagem e na medição das peças. Durante o movimento do carro porta-ferramentas sobre a guia há movimentos indesejáveis de translação nas direções perpendiculares à direção preferencial. Tais movimentos são conhecidos como erro de retilidade. Assim, o objetivo deste trabalho é o estudo e a montagem de um sistema para medição do erro de retilidade associado ao método da reversão.

Como consideração geral pode-se dizer que toda peça possui erros. Dentre os de forma o erro de retilidade é de fundamental importância para as Máquinas-Ferramenta e Máquinas de Medir a Três Coordenadas. Segundo a ABNT/NBR 6409(1980) este erro é definido como a distância entre as duas retas paralelas que contêm o perfil. Para a medição do erro de retilidade pode-se utilizar diversos tipos de equipamentos como régua padrão, interferômetro laser, autocolimador, etc..

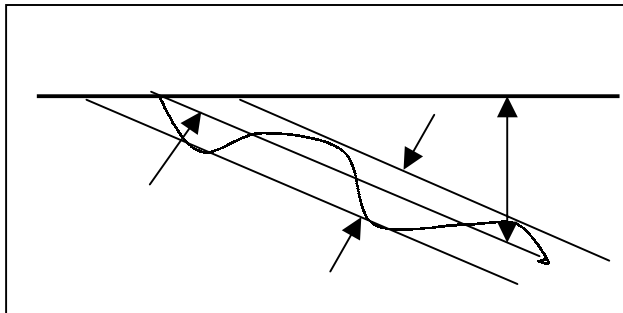


Figura 1 : Desalinhamento entre guia e régua padrão

Durante a medição as leituras obtidas incluem além dos erros de retilidade deslocamentos devido a um provável desalinhamento entre o artefato de medição e o eixo de movimentação. Tal desalinhamento deve ser eliminado dos dados antes de qualquer outra manipulação numérica, isto pode ser feito através de métodos matemáticos como, por exemplo, o método dos "Pontos Extremos" e dos "Mínimos Quadrados".

O Método dos Pontos Extremos tem como característica a determinação da reta base pela união do primeiro e último ponto de medição. Conhecida a reta base elimina-se a inclinação ao longo do caminho de medição através da expressão abaixo:

$$Y_{\text{Verdadeiro}} = Y_{\text{Apalpador}} - Y_{\text{Reta}}$$

O Método dos Mínimos Quadrados tem como característica o ajuste de uma reta sobre os pontos através da minimização do quadrado dos resíduos. Da mesma forma, a inclinação pode ser eliminada através da equação acima.

Sabe-se que mesmo uma régua padrão não tem a face de medição perfeitamente retilínea. Então os seus erros de forma se misturam com os erros da máquina dificultando a medição. Este problema pode ser resolvido por uma técnica conhecida como técnica da reversão da régua (CAMPBELL, 1995). Segundo EVANS et al (1996) a técnica da reversão da régua padrão é talvez a melhor técnica conhecida na literatura para a medição de erros de retilineidade.

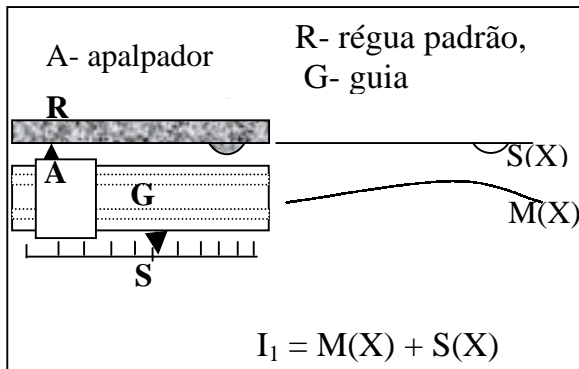


Figura2: Antes da Reversão

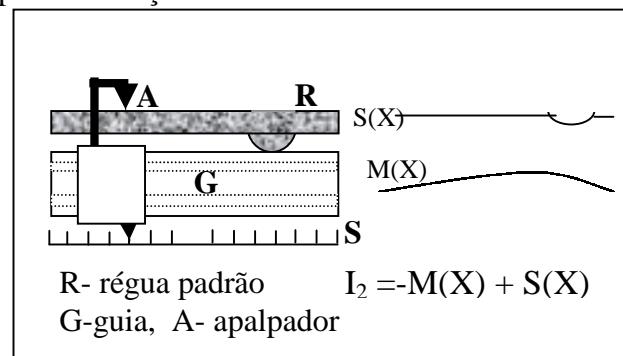


Figura3: Após a Reversão

A Figura 2 mostra uma montagem típica para a medição de retilineidade de uma guia utilizando-se uma régua padrão. Pode-se observar a régua (R), a escala (S) e um apalpador (A), que mostra o valor  $I_1$ . Na Figura 3 tem-se a régua padrão girada em  $180^\circ$ . No apalpador tem-se a saída  $I_2$ . Assumindo-se que o erro de retilineidade do carro da máquina é dado por  $M(x)$  e que o desvio da régua padrão é dado por  $S(x)$ , o indicador de saída  $I_n(x)$  para as duas posições e valor do erro para guia e régua é dado pelas expressões:

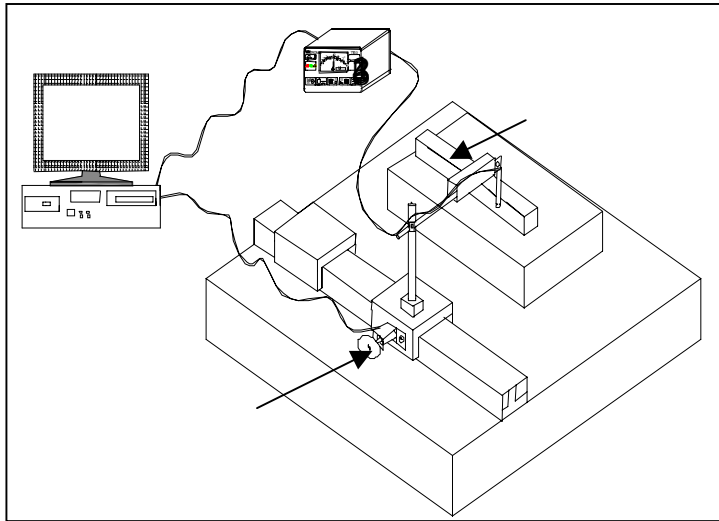
$$I_1(x) = M(x) + S(x); \quad I_2(x) = -M(x) + S(x); \quad M(x) = \frac{I_1(x) - I_2(x)}{2} \quad \text{e} \quad S(x) = \frac{I_1(x) + I_2(x)}{2}$$

Este projeto envolveu as atividades de desenvolvimento e implementação, em linguagem Delphi, de algoritmos matemáticos para a medição do erro de retilineidade de guias. Os algoritmos são baseados no método dos pontos extremos e para a medição dos erros foi utilizada a régua padrão juntamente com o método da reversão. Para determinação dos erros foram utilizados apalpador eletrônico, e ainda, um potenciômetro que determina a posição do apalpador sobre a régua padrão. Os sinais elétricos destes dois instrumentos foram enviados para o microcomputador por uma placa de aquisição de dados. Através das curvas de calibração pré-determinadas estes sinais são transformados em deslocamentos. O programa computacional faz o cálculo do erro de retilineidade da régua e da guia mostrando estes valores em gráficos de erro por deslocamento.

Para a medição do erro de retilineidade da guia foram utilizados: régua padrão, apalpador eletrônico, potenciômetro, placa de aquisição de dados e microcomputador.

Primeiramente o apalpador foi fixado sobre um carro de movimentação da guia. A régua foi colocada sobre uma mesa de ferro fundido e então foi feito o alinhamento da régua. O alinhamento foi realizado zerando o apalpador no primeiro ponto de medição e em seguida ajustando, de forma manual, o último ponto de medição no zero do apalpador. Assim, o primeiro e o último ponto de medição indicam bom alinhamento.

Junto ao carro de movimentação foi fixado um potenciômetro que gira quando o carro se movimenta, isto faz variar a resistência, e portanto, a tensão do potenciômetro. Desta forma pode-se saber a posição do apalpador sobre a régua. O programa computacional zera a posição inicial de medição e a partir de então pega pontos com incremento de 20mm, ou seja quando o



potenciômetro acusa um deslocamento de 20mm o dado do apalpador é armazenado. Foram coletados dados para 3 trajetórias de ida e 3 trajetórias de volta. Em seguida, reverteu-se a régua de  $180^0$  sobre o eixo de movimentação e utilizou-se o mesmo processo de leitura. Depois de feita a medição o programa aplica as equações do método da reversão e desenha os gráficos de erro por deslocamento para a régua e para a guia. O sistema pode ser representado pela figura ao lado.

Com o sistema construído foi obtido para a régua padrão um erro de retilineidade de  $45\mu\text{m}$  e para a guia um erro de  $56\mu\text{m}$ . Para avaliar o sistema a retilineidade da guia foi medida com o interferômetro laser e o erro obtido foi de  $82\mu\text{m}$ . Portanto, a confiabilidade do sistema é de 69%. Outros ensaios estão programados para a melhoria do sistema.

Neste trabalho foi apresentada uma interface eletrônica e computacional para a medição do erro de retilineidade. Podem ser destacados os seguintes pontos essenciais:

- Não é necessário fazer uma pré-calibração da régua padrão pois o método da reversão permite separar erro desta;
- Os resultados obtidos apresentam média confiabilidade quando comparados com as medidas do interferômetro laser;
- O custo deste sistema é menor que o do sistema interferométrico laser;

A instrumentação mostrou-se eficiente na análise do erro de retilineidade.

**Os autores gostariam de agradecer ao CNPq e a FAPESP pelo suporte financeiro a este trabalho.**

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT/NBR 6409(1980). Tolerâncias de forma e tolerância de posição.**
- CAMPBELL, A(1995) Measurement of lathe Z-axis straightness and parallelism using a flat land, Precision Engineering Vol 17 no 3 pp 207-210.**
- EVANS, C.J.; HOCKEN, R.J.; ESTLER, W.T.(1996) Self-Calibration: reversal, redundancy, error separation, and “absolute testing”, CIRP Annals, Vol45/2.**