

Uma técnica alternativa para o ensaio geométrico de Centros de Usinagem

André Roberto de Sousa
ETFSC - Gerência de Metal-Mecânica
ars@labmetro.ufsc.br

Carlos Alberto Schneider
Engenharia Mecânica - UFSC
cas@certi.ufsc.br

Resumo

Um apalpador de medição é utilizado em um centro de usinagem vertical de 3 eixos para medir uma placa de furos pré-calibrada em uma máquina de medir por coordenadas (CMM). Através da comparação entre as posições medidas e calibradas dos centros dos furos da placa, determinam-se as principais componentes de erros da máquina-ferramenta, possibilitando uma ação preventiva para otimizar sua exatidão, por exemplo, utilizando-se os desvios determinados para uma correção eletrônica de erros pelo CNC da máquina. Este método de ensaio é prático e rápido de utilização, e resultados experimentais indicam que sua incerteza é comparável à de técnicas consagradas, a um custo bem menor.

Palavras-chave: Metrologia, Máquina-ferramenta, Ensaio Geométrico

1. INTRODUÇÃO

Os erros geométricos das máquinas-ferramenta são transferidos diretamente às peças usinadas, afetando sua exatidão e a produtividade do processo. Com o desenvolvimento do CNC, alguns destes erros mecânicos podem ser compensados eletronicamente, e esta compensação tem permitido a existência de máquinas-ferramenta com exatidão crescente a custos decrescentes. Para obter vantagem destes recursos, os usuários deveriam ensaiar e atualizar a correção periodicamente, já que a exatidão geométrica da máquina varia de acordo com o uso normal e/ou após de uma colisão, por exemplo. No entanto, apesar da maioria dos CNCs terem esses recursos, a maioria dos usuários nunca testa as suas máquinas e muito menos atualiza a tabela de compensação de erros no CNC. Uma das razões encontradas para essa negligência são dificuldades das técnicas de ensaio geométrico empregadas para verificar a exatidão da máquina: as técnicas clássicas normalmente apresentam alto custo e/ou são de aplicação difícil e demorada e, mais ainda, os resultados normalmente não estão com formatação configurada para a compensação de erros via CNC. Nos últimos anos, várias técnicas novas surgiram com a finalidade de superar essas limitações e motivar os usuários de máquinas a ensaios mais frequentes em seus equipamentos (Ziegert, 1994) (Liotto, 1997).

Neste artigo é apresentado uma técnica alternativa para o ensaio de máquinas, desenvolvida no **LABMETRO – UFSC**, em cooperação com a **Fundação CERTI, Diadur Ind. e Com.** e o **Laboratório de Mecânica de Precisão – LMP – UFSC**. O objetivo deste projeto é criar um método de ensaio geométrico confiável, mas de baixo custo e fácil aplicação, de forma a motivar os usuários de máquinas-ferramenta a realizarem verificações mais frequentes em seus equipamentos.

2. ERROS DA MÁQUINA-FERRAMENTA: CONSEQÜÊNCIAS

Vários fatores contribuem para que a máquina-ferramenta apresente um comportamento geométrico não ideal (Weck, 1984) (Pfeifer e Schneider, 1978). Efeitos térmicos, rigidez finita, erros na geometria da máquina e deficiências no controle causam alterações indesejáveis nas trajetórias programadas, afetando a geometria da peça usinada, com conseqüências óbvias: peças fora de tolerâncias levando ao refugo e retrabalho. No chão de fábrica, esses problemas são normalmente contornados através de ciclos de try-out, mudando-se o programa CNC por tentativa e erro até que a peça seja fabricada de acordo com as especificações. Essa prática é crítica para peças de alto valor financeiro e se torna problemática para lotes com pequeno número de peças.

Para verificar a influência dos erros da máquina-ferramenta na geometria da peça usinada, um centro de usinagem vertical foi ensaiado com laser interferométrico, para analisar os erros de posicionamento nos dois eixos de movimentação horizontais (x e y). Após este ensaio, foi usinada uma placa de furos, quando se fez o acabamento de 25 furos igualmente espaçados em forma de grid. A posição dos centros desses furos foi medido em uma Máquina de Medir por Coordenadas e o erro encontrado na peça foi comparado com o erro medido pelo laser. As figuras 1 e 2 mostram que os erros presentes na máquina-ferramenta, e medidos com o laser, se transferem diretamente para a peça usinada.

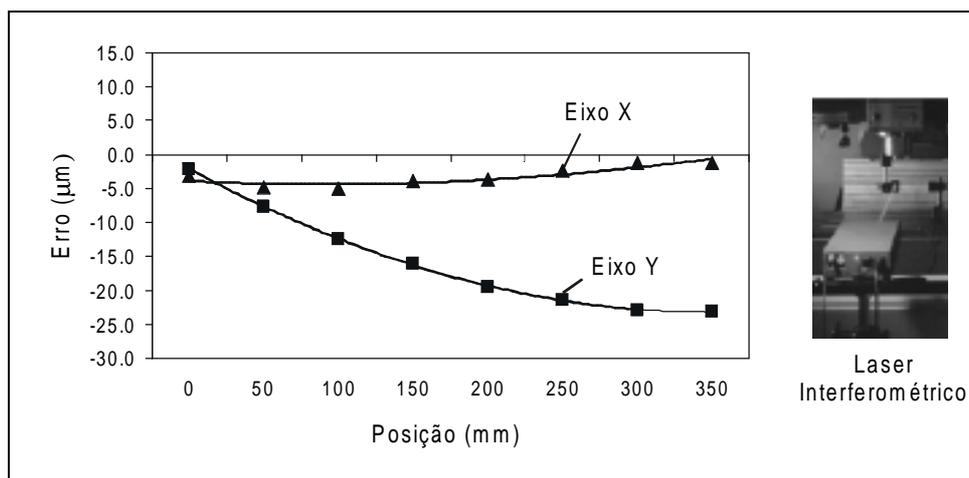


Figura 1: Erro de posicionamento medido com o laser

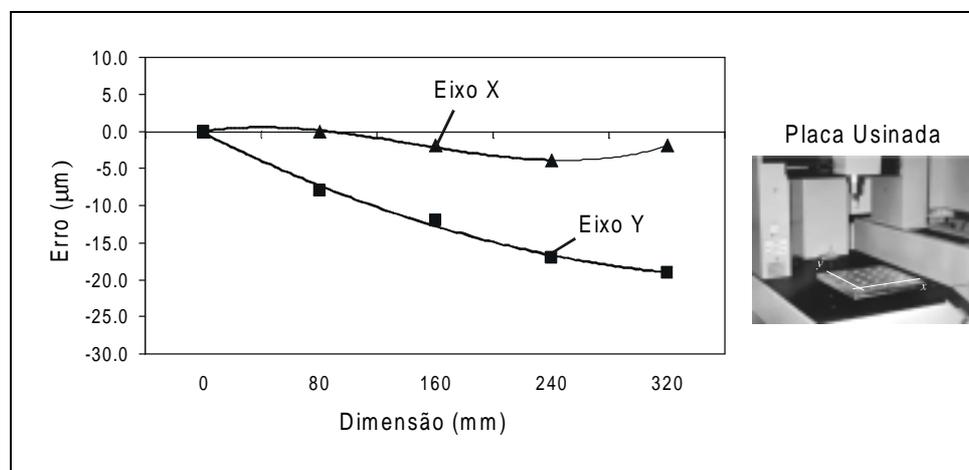


Figura 2: Erros na posição dos furos, medido na CMM

3. CORREÇÃO ELETRÔNICA DE ERROS

A forma tradicional para melhorar a exatidão de trabalho das máquinas-ferramenta sempre consistiu em aumentar a precisão de fabricação dos componentes mecânicos da máquina, mas com um aumento de custo considerável do equipamento (Krulwich, 1998). Com o desenvolvimento do CNC, a exatidão mecânica da máquina passou a ser auxiliada pela micro-eletrônica, através da correção de erros geométricos por software (*computer aided accuracy*), elevando a performance geométrica da máquina-ferramenta próximo a suas limitações mecânicas.

A maior parte dos controladores após a década de 80 possui recursos para corrigir algumas limitações mecânicas das máquinas-ferramenta, o que tem agregado exatidão às máquinas sem aumento considerável de custo. O processo de correção eletrônica de erros pode ser visto na figura 3 e ocorre após um ensaio geométrico na máquina-ferramenta, quando são determinados os valores dos erros, que são introduzidos na memória do controlador. Em operação (*on the fly*), o CNC irá utilizar esses erros como fatores de correção, trazendo os eixos da máquina às suas trajetórias corretas.

Para demonstrar a eficiência dessa correção eletrônica de erros para a melhoria de exatidão nas peças usinadas, os erros de posicionamento medidos com o laser (figura 1) foram usados para atualizar a tabela de compensação de erros do CNC da máquina. Após isso, uma outra placa de furos, semelhante à primeira, foi usinada e também medida em uma Máquina de Medir por Coordenadas. O resultado da medição pode ser visto na figura 4, indicando uma melhora significativa na precisão de posicionamento dos furos na direção *y*, em comparação com a primeira placa. Os erros na direção *x* já estavam dentro dos limites de especificação da máquina.

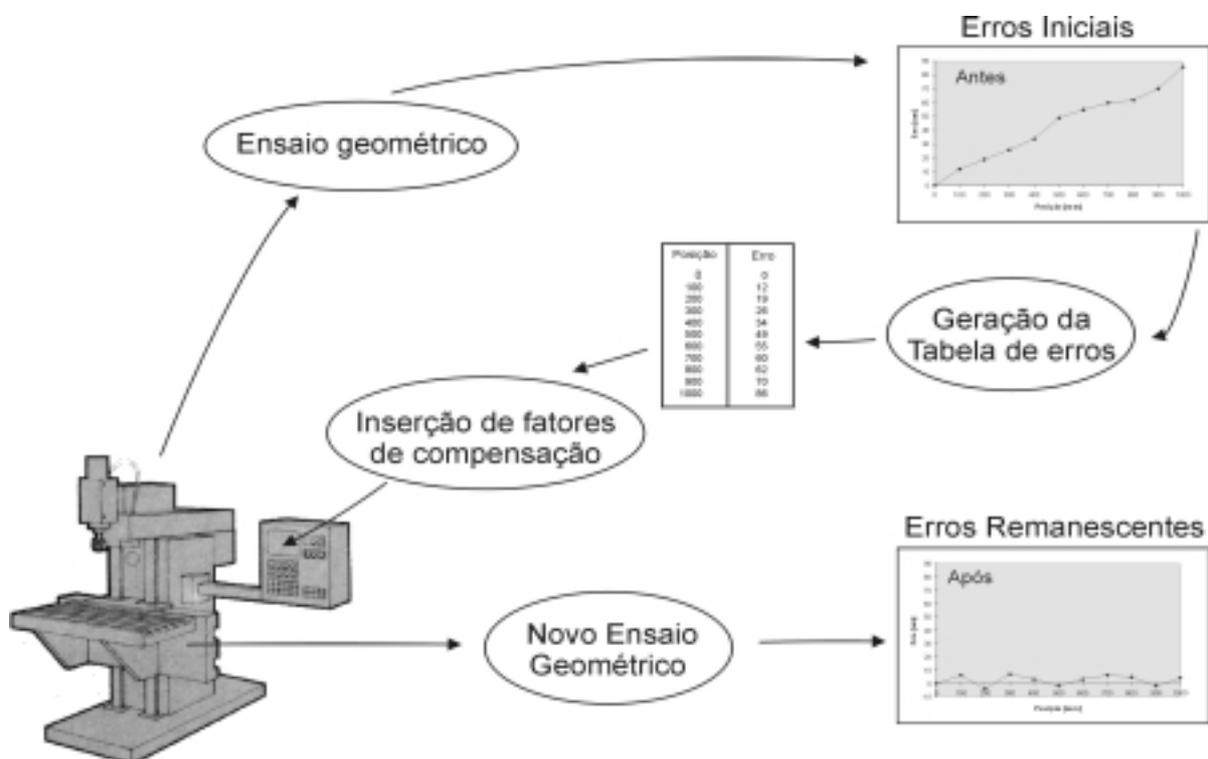


Figura 3: Etapas da correção eletrônica de erros

Atualmente, todos os controladores presentes no mercado apresentam, em maior ou menor grau (Sousa e Schneider, 1997), recursos para a compensação de erros, bastante acessíveis ao usuário mas que permanecem inexplorados pela grande maioria, que não realizam a qualificação geométrica de suas máquinas. Com isso, acabam por subtilizar a exatidão de trabalho de seus equipamentos.

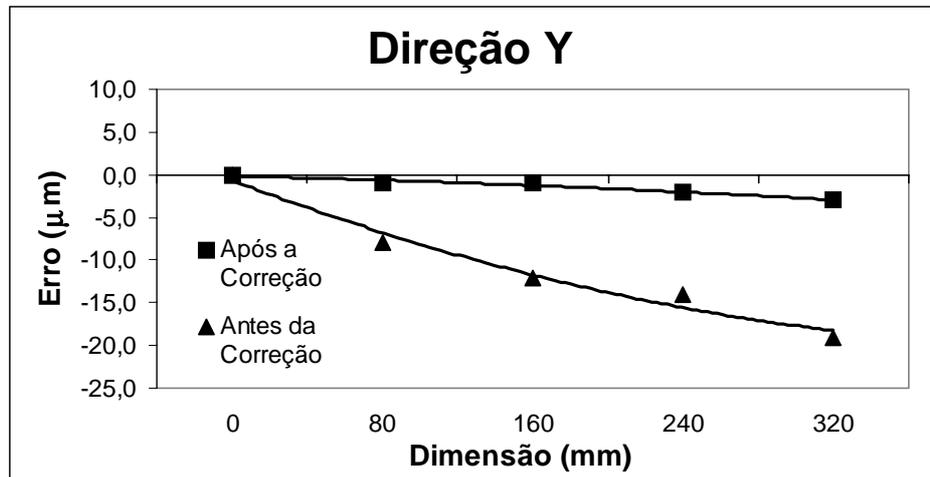


Figura 4: Melhoria obtida na peça usinada com a correção de erros

A confiabilidade do processo de compensação de erros reside, fundamentalmente, na confiabilidade dos valores obtidos no ensaio geométrico e, assim, é imperativo que o ensaio forneça valores confiáveis. Mas, além da confiabilidade metrológica, o método de ensaio geométrico deve apresentar, ainda, praticidade em sua execução e custo compensatório. Muitas técnicas surgiram nos últimos 15 anos tentando congregiar estas 3 qualidades simultaneamente. Embora avanços significativos tenham ocorrido, permanece o desafio tecnológico de desenvolver uma técnica de ensaio de baixo custo, prática de aplicação e confiável metrologicamente.

4. ENSAIO DE MÁQUINAS-FERRAMENTA COM ARTEFATOS CALIBRADOS

A utilização de apalpadores de medição em máquinas-ferramenta para a localização de peças, medição em processo e digitalização de formas, tem aumentando nos últimos anos, com boas vantagens para os seus usuários. No presente trabalho, o apalpador de medição é usado para uma outra (importante) função: verificar a exatidão de trabalho e atualizar os parâmetros de correção de erros no CNC.

O ensaio fundamenta-se na calibração de Máquinas de Medir por Coordenadas com padrões corporificados (Trapet e Wäldele, 1991). Uma placa de furos com posições previamente calibradas em uma Máquina de Medir por Coordenadas é medida na própria máquina-ferramenta, que é equipada com um apalpador de medição. As coordenadas dos pontos apalpados são transferidas para um computador portátil, onde um software as adquire e processa, comparando-as com as dimensões calibradas da peça. Da comparação entre os

resultados medidos e calibrados obtêm-se os erros geométricos da máquina-ferramenta. Durante todo o ensaio, as temperaturas do padrão e da máquina-ferramenta são monitorados, para as compensações de dilatação térmica a serem realizadas.

A figura ilustra o sistema experimental desenvolvido para a realização desse ensaio, integrando um apalpador de medição, uma placa de furos calibrada e um computador portátil, com um software que gerencia o ensaio, e processa as coordenadas para a obtenção dos erros geométricos. Para obter os erros de posicionamento, retlineidade e perpendicularidade nos 3 planos de trabalho da máquina, é necessário medir a placa nos 3 planos cartesianos (xy, xz e yz).

O método é uma alternativa para superar aquelas limitações das técnicas clássicas mencionadas anteriormente, configurando-se como uma técnica metrologicamente confiável, mas de baixo custo e fácil aplicação, para a verificação geométrica de máquinas-ferramenta de pequeno e médio portes.

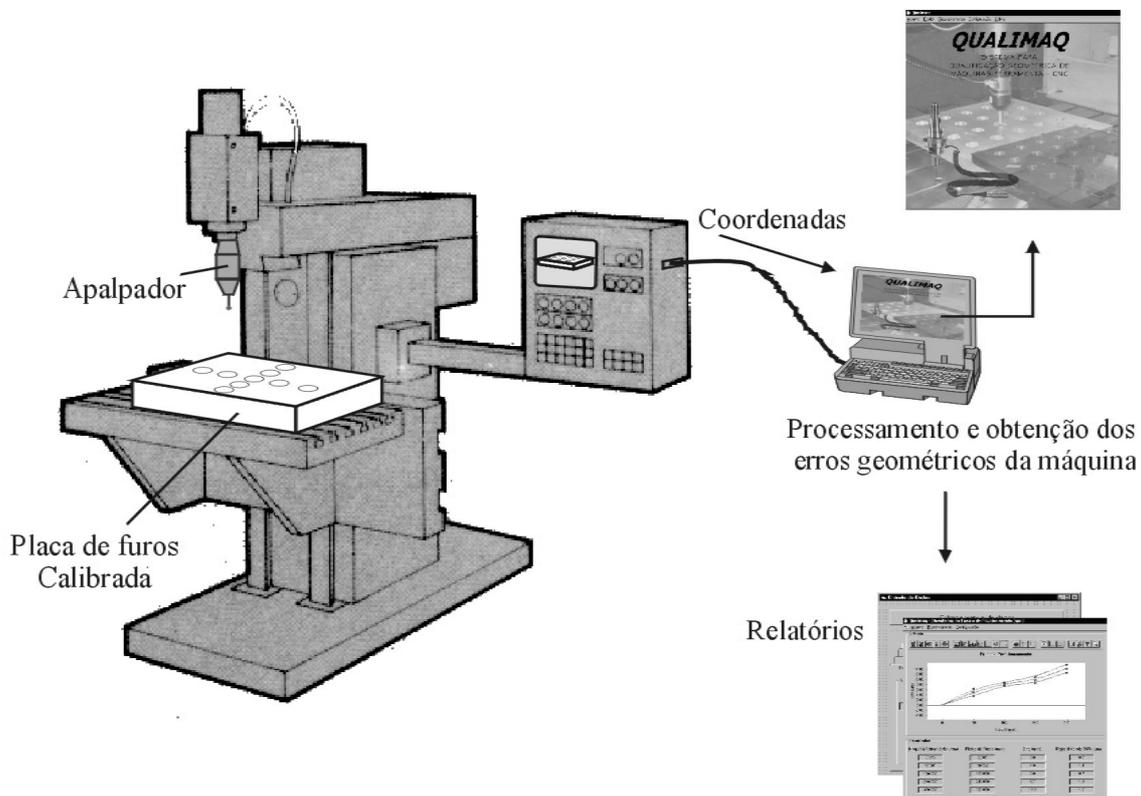


Figura 5: Ensaio Geométrico utilizando padrões corporificados

5. COMPARAÇÃO METROLÓGICA, ECONÔMICA E OPERACIONAL COM TÉCNICAS CLÁSSICAS

Para verificar se o sistema confirma as expectativas, foram realizados ensaios comparativos, testando-se uma mesma máquina-ferramenta com técnicas clássicas e com o método desenvolvido (figura 6). Foi testada a exatidão de posicionamento linear, retlineidade

de trajetória dos eixos e perpendicularidade entre eixos. Para os ensaios de posicionamento linear foi utilizado um laser interferométrico Renishaw, e para os ensaios de retilidade foram utilizados régua e esquadro de granito. Todos os sistemas de medição são rastreados aos padrões primários.

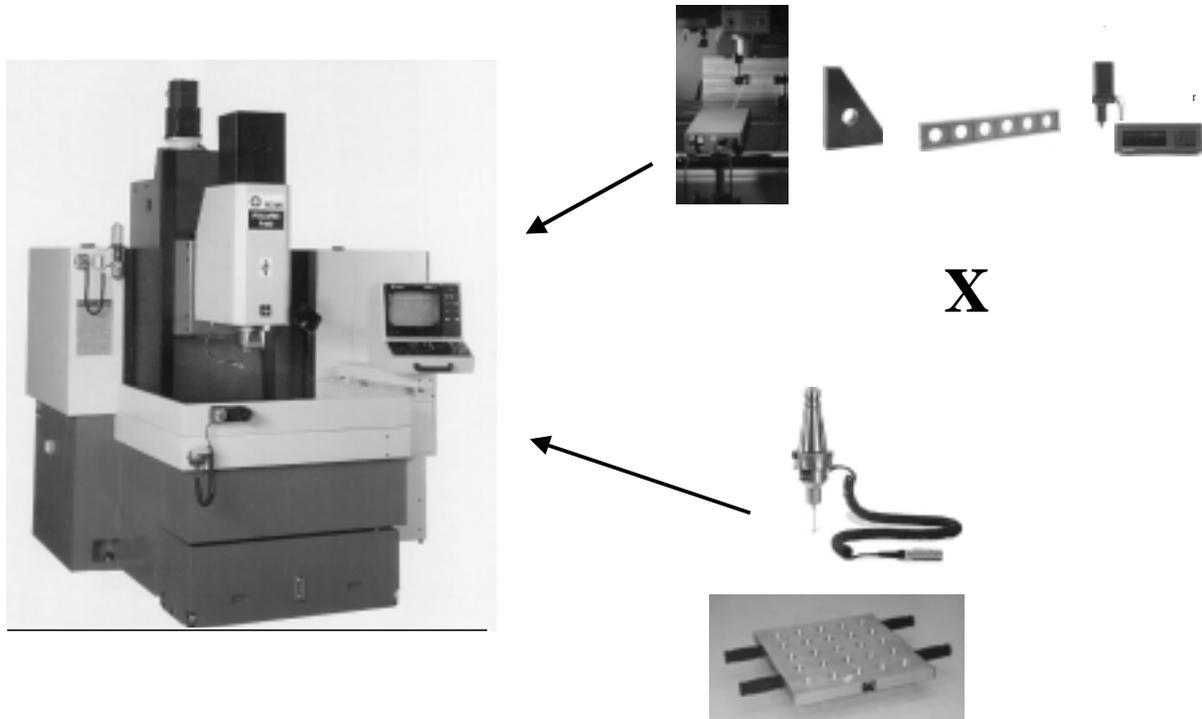


Figura 6 – Ensaio com técnicas clássicas e com a placa de furos

A comparação dos resultados obtidos para os ensaios de posicionamento linear (laser x placa) podem ser vistos nas figuras 7 e 8, para os 2 eixos de movimentação horizontais da máquina (x e y), observando-se uma estreita concordância de resultados entre as técnicas, bem como das respectivas incertezas. Nos resultados para os ensaios de retilidade (régua x placa) e perpendicularidade (esquadro x placa), observa-se também a mesma tendência, bem como incertezas semelhantes (figuras 9 e 10).

Todos esses números indicam que o método proposto apresenta uma confiabilidade metrológica próxima à de técnicas clássicas e, portanto, compatível para o ensaio de máquinas-ferramenta. Quando se comparam outros aspectos igualmente importantes para uma técnica de ensaio, custo e praticidade, os números deixam de ser próximos.

O custo envolvido com a instrumentação empregada para o ensaio com técnicas clássicas é estimado em torno de US\$ 50.000,00, cerca de 10 vezes mais do que o custo estimado com o método proposto. Em relação à praticidade do ensaio, foram necessários 9 horas de trabalho para a realização dos ensaios de posicionamento, retilidade e perpendicularidade com as técnicas clássicas. Os mesmos ensaios foram realizados, por completo, em 1 hora com o método proposto, sendo necessários apenas 14 minutos para a medição da placa.

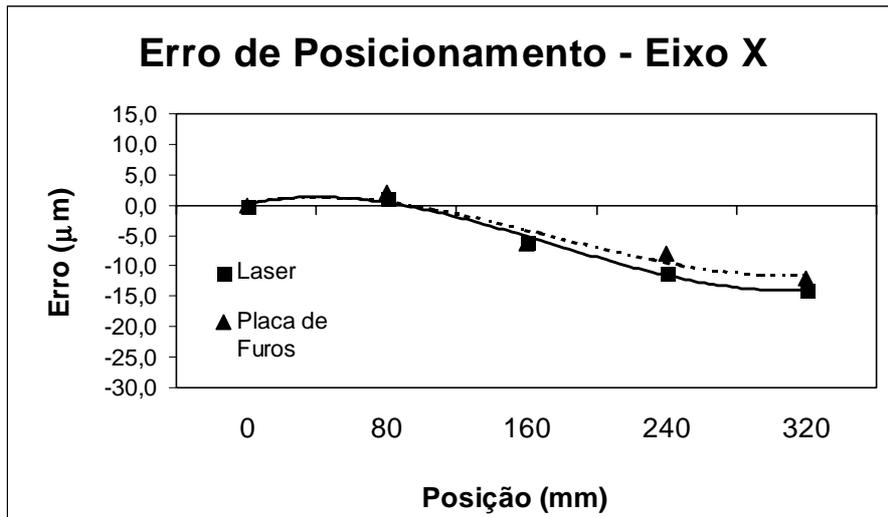


Figura 7 - Comparação em ensaio de posicionamento – Eixo x

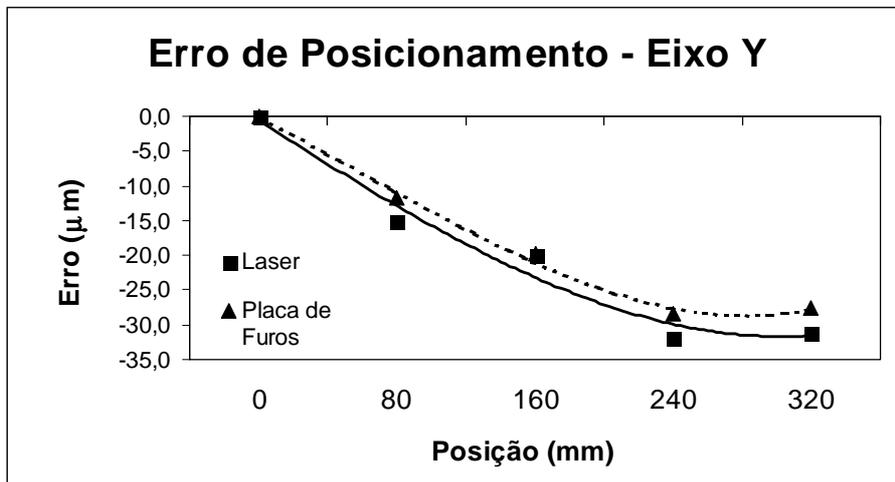


Figura 8 - Comparação em ensaio de posicionamento – Eixo y

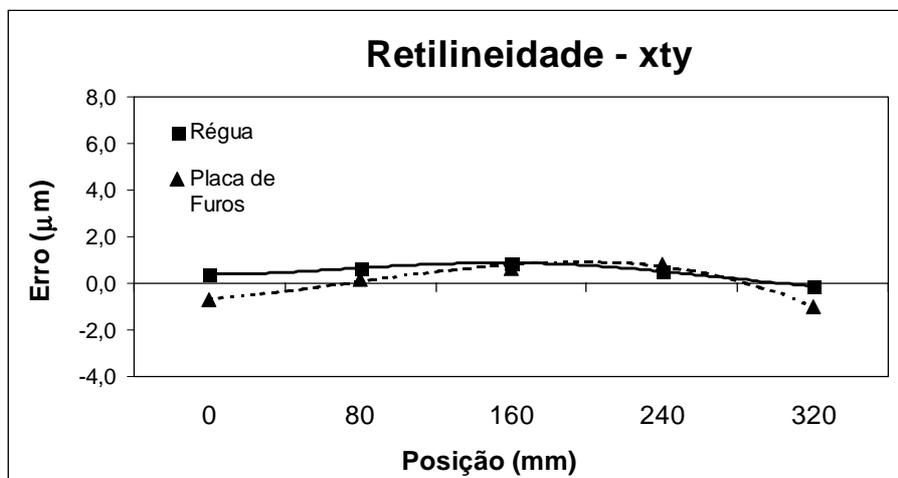


Figura 9 - Erro de retilneidade em y, ao mover na direção x

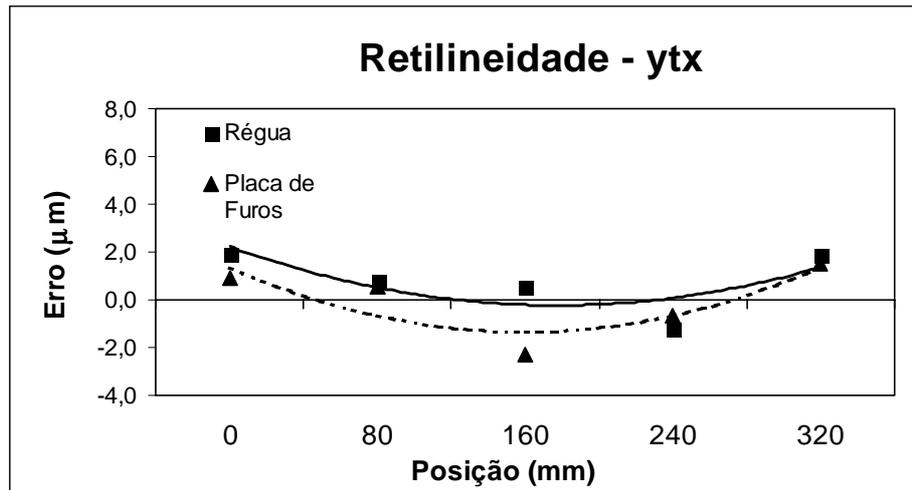


Figura 10 - Erro de retilidade em x, ao mover na direção y

6. Conclusões

A melhoria obtida para as peças usinadas neste trabalho, com a prática de ensaios geométricos em máquinas-ferramenta e compensações de erro via CNC, ilustram de forma prática o potencial da exatidão de trabalho das máquinas CNC que é desperdiçado pelo fato dos usuários não manterem uma prática freqüente de ensaios, às vezes nem no ato da compra da máquina. A possibilidade de diminuir o volume de peças refugadas e retrabalhadas, com a prática destes ensaios, não tem sido observada como deveria pelos usuários nacionais e uma das causas são dificuldades econômicas e operacionais das técnicas de ensaio geométrico classicamente empregadas para o teste de máquinas-ferramenta.

O ensaio geométrico de máquinas-ferramenta com padrões corporificados configura-se como uma alternativa promissora às técnicas clássicas, para o ensaio de máquinas-ferramenta. O baixo custo dos equipamentos, a praticidade e rapidez na condição do ensaio, e a confiabilidade metrológica do método são fatores positivos que podem motivar os usuários de máquinas-ferramenta de pequeno porte a verificações mais freqüentes em seus equipamentos, e atualizarem os parâmetros de correção de erros no CNC.

Neste trabalho, um centro de usinagem com um apalpador foi testado com o método proposto e, para permitir uma comparação, também com técnicas clássicas. Os resultados indicam confiabilidade metrológica semelhante entre os métodos, mas a custo 10 vezes menor e em 1/9 do tempo necessário para o mesmo ensaio com técnicas clássicas.

Em todos os ensaios, a principal fonte de incerteza foi a própria repetitividade da máquina, devido às suas folgas, que causavam histerese em sua movimentação. A variação de temperatura é uma outra fonte de incerteza significativa e, para a sua minimização, quanto mais rápido for realizado o ensaio menores as oscilações de temperatura. Para isso, novos dispositivos de fixação do padrão na mesa foram desenvolvidos, visto que há a necessidade de movimentar a mesa da máquina mais rapidamente, o que pode provocar deslocamentos indesejados do padrão. Outros padrões e estratégias de medição serão testados para tornar o sistema não só mais confiável, mas também ainda mais prático e de baixo custo.

7. Referências Bibliográficas

Diadur Ind. E Com.
www.diadur.com.br

Fundação CERTI - Centro Regional em Tecnologias Inovadoras
www.certi.ufsc.br

Krulwich, D. *Rapid mapping of volumetric machine errors using distance measurements*. Proceedings of the International Seminar on Improving machine tool performance, vol. 2, p. 487, 1998.

LABMETRO – Laboratório de Metrologia e Automação
www.labmetro.ufsc.br

Liotto, G.; Wang, C.P. *Laser Doppler displacement meter allows new diagonal measurement for large aspect ratio machine tool easily and accurately*. Proceedings of Lamdamap III, Laser Metrology and Machine Performance, 1997.

LMP – Laboratório de Mecânica de Precisão
www.lmp.ufsc.br

Pfeifer, T.; Schneider, C.A. *Einsatz neuer Laser-Technologien zur Messung der Abweichung von der Geradlinigkeit*. Westdeutscher Verlag GmbH, Opladen, 1978.

Sousa, A.R.; Schneider, C.A.; Scavone, R. *A compensação de erros geométricos via CNC é rápida e eficiente, mas pouco praticada*. Máquinas e Metais, Maio, 1997.

Trapet, E. and Wäldele, F. *A reference object based method to determine the parametric error components of coordinate measuring machines and machine tools*. Measurement, Vol. 9, No 1, pp. 17 - 21, 1991.

Weck, M. Handbook of Machine Tools, Vol. 4 – *Metrological Analysis and Performance Tests*. John Willey and Sons, 1984.

Ziegert, J.; Mize, C. *The laser ball bar: a new instrument for machine tool metrology*. Precision Engineering, vol. 4, N° 16, 1994.

AGRADECIMENTOS

- DIADUR Ind. e Com. – Subsidiária Brasileira da empresa *Dr. Johannes Heidenhain GmbH*
- Laboratório de Mecânica de Precisão, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC.
- Est. Eng. Eduardo Weingaertner.