



ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DAS MM3Cs

Benedito Di Giacomo

Eng. Mec. M.Sc. PhD. Professor Doutor

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - Depto de Engenharia Mecânica.
Av. Trabalhador São-carlense N. 400 Bairro Centro. São Carlos. SP. Brasil. CPF 13566-590

Rosenda V. Arencibia

Eng. Mecânico. M.Sc. Doutoranda

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - Depto de Engenharia Mecânica
Av. Trabalhador São-carlense N. 400 Bairro Centro. São Carlos. SP. Brasil. CPF 13566-590
e-mail: arvaldes@sc.usp.br tel: (0xx16) 273 9420

Alessandro Marques

Lic. Em Matemáticas. M.Sc. Doutorando

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - Depto de Engenharia Mecânica.
Av. Trabalhador São-carlense N. 400 Bairro Centro. São Carlos. SP. Brasil. CPF 13566-590

Resumo. Este trabalho tem por objetivo estudar o comportamento térmico das Máquinas de Medir a Três Coordenadas. Para tanto, foi feita uma análise minuciosa do sistema de medição e foram determinados os pontos quentes da estrutura, utilizando uma câmera de visão infravermelha. Ainda, foram levantados os erros geométricos de translação para diferentes estados de temperatura e os valores do drift térmico no ponto zero. Uma avaliação dos resultados obtidos mostrou que a grandeza e o comportamento dos erros de posição mudam quando a temperatura é alterada. Assim sendo, o erro volumétrico também muda comprometendo o resultado das medições efetuadas nestas máquinas.

Palavras-chave: Erros térmicos, erros translacionais, pontos quentes e erro volumétrico.

1. INTRODUÇÃO

Desde tempos remotos o homem se viu na obrigação de trocar produtos e serviços com seus semelhantes, para satisfazer suas necessidades cada vez mais crescentes. No início, os produtos trocados eram excedentes da caça, da pesca e das colheitas, dentro de uma mesma comunidade. Com o decorrer dos anos a lista de produtos negociados aumentou, assim como as fronteiras desta troca. Como consequência deste tipo de atividade surgiu a moeda permitindo a compra e venda de produtos, isto é, o comércio. Na atualidade se comercializam os mais diversos produtos, dentre eles, máquinas e peças de todos os tipos.

Porém, sabe-se que o planeta terra apresenta as mais diversas características climáticas. E sabe-se, ainda, que se a pressão externa permanece constante a maioria dos corpos se dilatam quando a temperatura aumenta. Assim sendo, os fabricantes de máquinas têm perante si um grande desafio, que consiste em garantir a intercambiabilidade das peças.

A intercambiabilidade garante que uma peça possa ser trocada por outra sem necessidade de retrabalho, independentemente do lugar ou país onde for fabricada.

Com o intuito de solucionar este problema, depois de longos anos de estudos e negociações no dia 15 de Abril de 1931 o Comitê Internacional de Pesos e Medidas adotou a temperatura de 20⁰C como sendo a temperatura de referência ou padrão, (ISSO R-1-1975). A razão desta escolha está dada pelo amplo uso dos blocos padrões, na indústria.

Na última década do século XIX, Carl Edvard Johansson concebeu e implementou a idéia de fabricar Blocos Padrões para garantir a intercambiabilidade de peças. No desenvolvimento de seus blocos, Johansson fixou a temperatura de 20⁰C como sendo a temperatura básica para calibração dos mesmos, pois esta era a temperatura média registrada nas suas oficinas, na Suécia. Sendo também um valor que resulta em um número inteiro na conversão para a escala Fahrenheit (68⁰F). Assim sendo, Johansson foi o primeiro a adotar esta temperatura de referência, a qual, posteriormente, viria a se tornar um padrão mundial em metrologia dimensional.

A maior preocupação com relação à temperatura de 20⁰C é o desconforto que gera para o ser humano. Por esta razão, em 1994, os integrantes do comitê ISO pensaram na possibilidade de mudar a temperatura de referência. Eles desistiram da idéia pelos custos que acarretaria tal mudança. Assim sendo, as medições são corretas somente se o sistema de medição estiver aproximadamente a 20⁰C.

A tendência atual de integrar as MM3Cs às linhas automatizadas de produção faz com que, freqüentemente, sejam instaladas em locais onde não há o devido controle ambiental. Devido a sua complexidade estrutural estas máquinas são muito sensíveis às mudanças nas condições ambientais. De todas as condições ambientais, são as variações de temperatura que produzem os maiores efeitos sobre a acuracidade e a repetibilidade das Máquinas de Medir, alterando a grandeza e o comportamento dos erros individuais e, conseqüentemente, do erro volumétrico. Assim sendo, torna-se fundamental para fins de compensação conhecer a grandeza e comportamento dos erros induzidos termicamente, isto é, o comportamento térmico das Máquinas de Medir.

2. ESTADO DA ARTE DOS ERROS TERMICAMENTE INDUZIDOS

Muitos estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de conhecer as características, grandezas e fontes dos erros termicamente induzidos, para assim poder minimizar seus efeitos. Se analisados cronologicamente, os trabalhos publicados sobre erros térmicos nota-se que estes têm sido estudados por mais de 40 anos. Apesar dos esforços dedicados, houve pouco progresso até a metade da década de 80, onde houve um incremento substancial do número de trabalhos publicados, especificamente, sobre compensação destes erros. Porém, os avanços alcançados nesta área permanecem muito distantes dos desejados.

Os erros térmicos, seus custos e fontes ficaram e continuam praticamente esquecidos. Por tal motivo, ainda hoje, presta-se a eles uma atenção especial por serem considerados uma das fontes de erros mais importantes e de não repetibilidade nas Máquinas Ferramentas.

Para Máquinas de Medir a Três Coordenadas o problema das influencias térmicas é, ainda mais crítico, devido à pouca disponibilidade de trabalhos e a insipiência dos resultados já publicados. Assim sendo, este assunto embora não seja recente apresenta grande atualidade.

As Máquinas de Medir apresentam muitas similaridades estruturais com as Máquinas Ferramentas, este fato torna possível que para o desenvolvimento deste trabalho sejam tomados como referência os trabalhos publicados sobre erros térmicos em Máquinas Ferramentas.

Na literatura estudada sobre o assunto destacam-se dois artigos publicados por Bryan em 1967 e 1990, respectivamente. Estes artigos marcaram pautas importantes na evolução do entendimento dos erros termicamente induzidos. Bryan teve o mérito de reunir, em poucas páginas, a experiência e os resultados alcançados por muitos pesquisadores, durante longos anos de trabalho.

O primeiro trabalho publicado em 1967 reúne o parecer de um conjunto de pesquisadores sobre o estado da arte e importância dos erros termicamente induzidos. A seguir estão apresentados de forma resumida alguns destes pareceres:

“Na maioria dos casos os erros causados pelas deformações térmicas tem a mesma grandeza ou são maiores que os erros devido à precisão cinemática, estática e dinâmica (Breev, 1951 e Opitz, 1963). Estas deformações afetam a precisão do processo de usinagem. Assim sendo, o significado econômico dos erros térmicos é elevado. Eles provocam de 50% a 60% do erro total Mottu (1957), de 40% a 70% Peklenik (1959). Esta porcentagem cresce na medida que aumenta a demanda pela precisão”.

No segundo trabalho é feita uma avaliação dos avanços alcançados durante o período 1967-1990. Na ocasião os cientistas destacaram:

“O problema relacionado aos erros térmicos é um dos mais importantes na metrologia dimensional e na engenharia de precisão, Zhang (1984). É preciso trabalhar para reduzir a sensibilidade térmica das Máquinas Ferramentas, Weck (1984). As deformações geométricas que a Máquina Ferramenta experimenta devido ao efeito estático e dinâmico das temperaturas é um dos fatores que mais afeta a acuracidade do desempenho das mesmas, Kaebernick (1986). Geralmente, estas deformações térmicas influenciam mais na precisão das peças usinadas que a rigidez mecânica, Sato et al (1988)”.

No período analisado foram introduzidos os computadores, o interferômetro laser, o torneamento com diamante, a usinagem a altas velocidades. As tolerâncias de fabricação foram diminuídas, os erros geométricos foram estudados e seus efeitos minimizados. Diante do desenvolvimento da indústria nestes últimos anos, a pouca atenção dada aos erros térmicos não tem explicação. Aparentemente este fato é justificado pela complexidade do fenômeno térmico e pelos custos que envolve o estudo do mesmo.

3. ERROS TERMICAMENTE INDUZIDOS E SUAS FONTES

A sensibilidade das MM3Cs às variações de temperatura fazem com que os erros de medição sejam sempre o resultado da combinação dos erros geométricos e das variações termicamente induzidas destes erros.

Os erros geométricos, decorrentes dos processos de fabricação e montagem dos componentes da Máquina de Medir são muito importantes. Por esta razão eles têm sido largamente estudados e seus efeitos minimizados. Para a temperatura de 20⁰C estes erros podem ser considerados constantes, uma vez que variam muito lentamente com o tempo. Porém, se a temperatura for diferente de 20⁰C estes erros mudam em grandeza e comportamento devido às deformações experimentadas pela estrutura da máquina, comprometendo a precisão e a repetibilidade das mesmas.

São diversas as fontes responsáveis pelas variações de temperatura, Fig. (1). O calor gerado pelas fontes descritas pode ser transferido por radiação, convecção e condução e pode ser classificado em dois grupos distintos que são: temperaturas uniformes diferentes de 20⁰C e temperaturas não uniformes. As únicas fontes de calor que podem criar temperaturas uniformes diferentes de 20⁰C são o ambiente e o sistema de refrigeração.

Fontes de calor tais como pessoas, outras máquinas e equipamentos, processo de usinagem e memória térmica criam temperaturas não uniformes. As temperaturas não uniformes envolvem gradientes de temperatura e variações de temperatura.

O fato de não existir processo de usinagem nas MM3Cs unido ao uso freqüente de mancais aerostáticos, que eliminam a maior parte dos atritos e a utilização de motores pouco potentes nas máquinas de medir automatizadas, fazem com que o calor gerado internamente seja mínimo. Isto não significa que o estudo dos efeitos térmicos, em tais máquinas, se torne mais simples, pois as mesmas exigem requisitos de precisão muito mais rigorosos.

Um aspecto muito importante, quando estudadas as influências térmicas, é a memória térmica. A peça transportada de um lugar para outro precisa de um certo tempo até alcançar o equilíbrio térmico com o novo ambiente. Durante este período a peça muda de tamanho e pode sofrer distorções geométricas temporárias. O intervalo de tempo necessário para que a peça entre em equilíbrio térmico com o novo ambiente é chamado, em inglês, de tempo de “soak-out”.

Somente depois de esquecido o ambiente anterior é dito que a peça está em equilíbrio com o ambiente novo. Isto de acordo com a ANSI B 89.6.2 (1973). Vale ressaltar que a memória térmica é uma característica física de todos os objetos.

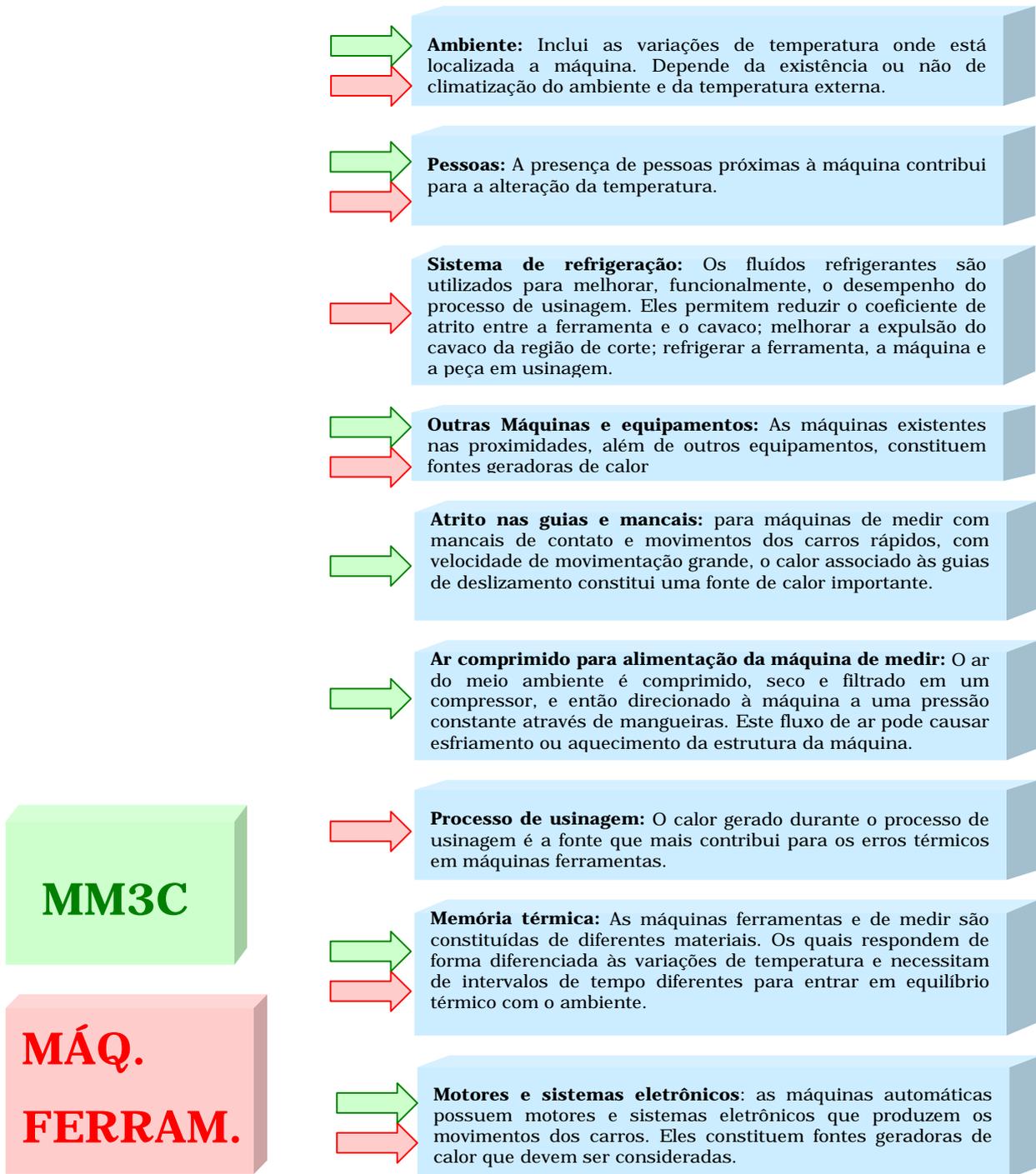


Figura 1. Fontes de calor em Máquinas Ferramentas e de Medir.

4. TESTES EXPERIMENTAIS, RESULTADOS E DISCUSÕES.

Os testes desenvolvidos foram levados a cabo numa MM3C pertencente ao Laboratório de Metrologia da Escola de Engenharia de São Carlos – USP e foram divididos nas seguintes etapas.

- 4.1. Estudo do sistema “Máquina de Medir”
- 4.2. Determinação dos pontos quentes da estrutura
- 4.3. Determinação do tempo de equilíbrio

4.1. Estudo do Sistema “Máquina de Medir”

A MM3C objeto de estudo é manual, de pequeno porte e do tipo “Ponte Móvel”. A partir de uma análise preliminar verificou-se que a mesma é fabricada de diversos materiais, com as mais diversas características. Dentre eles o alumínio e o aço que apresentam coeficientes de dilatação térmica elevados e o vidro e o granito cujos coeficientes de dilatação térmica são relativamente baixos. Desta forma, quando a máquina é submetida a variações de temperatura seus componentes dilatam-se ou contraem-se diferentemente, provocando diferentes estados de deformação. Assim sendo, a posição da sonda estará comprometida introduzindo erros nas medições.

Alguns dos componentes da máquina podem dilatar-se ou contrair-se livremente sem acarretar em mudanças significativas. Entre tanto, outros componentes não tem esta liberdade para se expandir, e se deformam mesmo perante a imposição de restrições à dilatação. Este fenômeno é conhecido como efeito bi-metálico.

Uma particularidade da máquina estudada, especificamente das guias é o fato delas serem de alumínio e ocas, com paredes finas. Isto unido ao elevado coeficiente de dilatação do alumínio permite que o efeito dos gradientes de temperatura seja minimizado, uma vez que o tempo necessário para atingir o estado de equilíbrio é mínimo. Porém a pouca espessura das paredes das guias permite que a mesmas sejam influenciadas facilmente pelas fontes localizadas de calor, podendo acontecer deformações em determinadas partes destes componentes.

4.2. Determinação dos Pontos Quentes da Estrutura

Como especificado acima a MM3C, objeto de estudo, está formada por diferentes materiais, que reagem de forma diferenciada às variações da temperatura ambiente. Isto, unido às mais dissimiles configurações geométricas de seus componentes mecânicos provocam uma distribuição não homogênea das temperaturas e estados complexos de deformação.

Para estudar a distribuição de temperatura da máquina foi utilizada uma câmera de visão infravermelha do tipo AGA Thermovisión 720, Fig. (2).



Figura 2. Montagem experimental para determinação dos pontos quentes da estrutura.

As Figuras mostradas a seguir foram obtidas fotografando as imagens mostradas no monitor da câmera, por esta razão a qualidade das mesmas não é muito boa.

Foram desenvolvidos dois grupos de testes, o primeiro com o sistema de medição a temperatura ambiente, aproximadamente de 25⁰C e o segundo com temperatura controlada de 20⁰C.

Como esperado o computador e o ar fornecido para alimentação da máquina constituem fontes geradoras de calor. Ambos estão representados por regiões claras indicando que a temperatura dos mesmos é maior que a ambiental. Este fato se comprovou para ambos os testes.

Cabe lembrar que as mangueiras estão dispostas nas cavidades das guias e das colunas o que pode provocar um possível aumento de temperatura no interior destas cavidades.

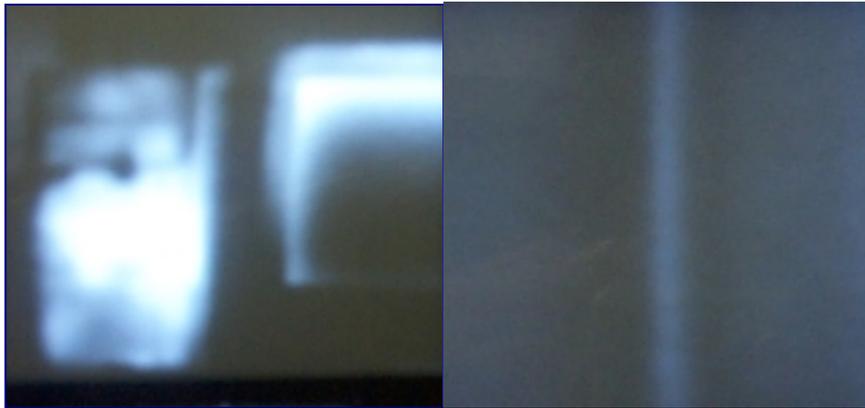


Figura 3. Representação do computador e da mangueira.

Na Fig. (4) se podem observar dois cabos de alimentação ligados às tomadas. Eles estão representados por duas regiões claras devido ao aquecimento durante o seu funcionamento. Se os mesmos estiverem localizados perto da estrutura da máquina podem constituir fontes localizadas de calor.



Figura 4. Cabos de alimentação.

Para determinar possíveis influencias do operador nas medições, o eixo “Z” da máquina foi segurado como feito durante as medições. A Fig. (5) a esquerda mostra a mão do operador, representada por uma região mais clara, indicando que a temperatura da mesma é maior que a ambiental. Após 15 segundos a mão foi retirada e tomada uma imagem Fig. (5) a direita. Nesta Fig. pode-se observar uma região clara no local do contato máquina-operador, indicando que foi transferido calor por condução.

Entre os tons de cinza dos componentes da máquina não foram observadas diferenças significativas, muito provavelmente porque a diferença de temperatura entre eles é pequena.

Porém, não pode ser descartada a diferença de temperatura entre componentes ou entre partes de um mesmo componente, nem a existência de gradientes de temperatura na máquina avaliada.

Como conclusão tem-se que o computador, os cabos de alimentação, o ar fornecido à máquina de medir e o operador constituem fontes geradoras de calor. Com relação as três primeiras fontes deve-se ter um cuidado muito especial com sua localização, para assim diminuir seus efeitos. Se faz, também, um alerta à importância da manipulação correta da máquina pelo operador durante as medições.

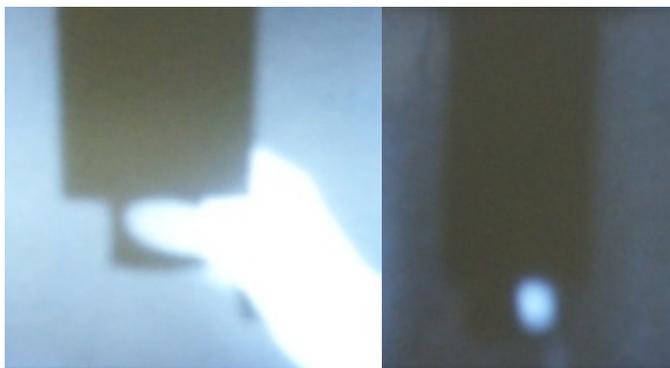


Figura 5. Imagem da mão do operador.

Ainda foram feitos testes utilizando peças. O primeiro, Fig. (6), mostra uma peça de alumínio que se encontrava a temperatura ambiente, aproximadamente 30°C , e transportada para o laboratório com temperatura de 20°C . Pode-se observar a peça em tons mais claros indicando temperatura maior que 20°C .

O segundo teste envolve uma peça de aço inox de 14,4mm e 11,5mm diâmetro e comprimento, respectivamente. Nesta peça foi praticado um rebaixo cônico, logo após a usinagem foi levada para o laboratório a temperatura ambiente, simulando procedimentos de medição efetuados nas linhas de produção. Na Fig. (6) pode-se observa uma região clara mostrando que a peça esta aquecida.



Figura 6. Imagem das peças de alumínio e de aço inox.

Ambos os testes envolvendo peças mostraram que o sistema de medição e as peças a serem medidas não se encontram a mesma temperatura. Assim sendo, se forem feitas medições nestas condições serão acrescentados erros ao resultado medido. Nestes casos recomenda-se aguardar o tempo necessário até o sistema de medição atingir o equilíbrio térmico conjuntamente com a peça.

4.3. Determinação do Tempo de Equilíbrio

Um aspecto a ser levado em consideração durante o levantamento dos erros geométricos para os diferentes estados de temperatura é o tempo que o sistema “Máquina de Medir” demora para atingir o equilíbrio térmico, isto é o tempo de soak-out.

Com o intuito de determinar o tempo de soak-out para a máquina avaliada foi desenvolvido o seguinte teste. O sistema se encontrava, inicialmente, a temperatura ambiente de 24,4 °C, a seguir foi ligado o sistema de controle de temperatura a 20 °C. Em quanto isso o sistema interferométrico laser montado e alinhado observava a variação da coordenada Y no ponto X=20 mm, Y=20 mm e Z=-150 mm.

O gráfico da Fig. (7) mostra uma curva que representa a variação do erro com relação ao tempo. Nesta Fig. Pode-se observar que após três horas o erro se estabiliza. Isto significa que o sistema entrou em equilíbrio térmico com o ambiente. Este tempo relativamente pequeno pode estar dado pelo fato da máquina objeto de estudo ser predominantemente de alumínio. Sabe-se que este material absorve ou libera calor com facilidade, devido a suas propriedades caloríficas. Por outro lado, a mesa da máquina que é o componente de maior espessura é fabricada de granito, cujo coeficiente de dilatação é relativamente baixo.

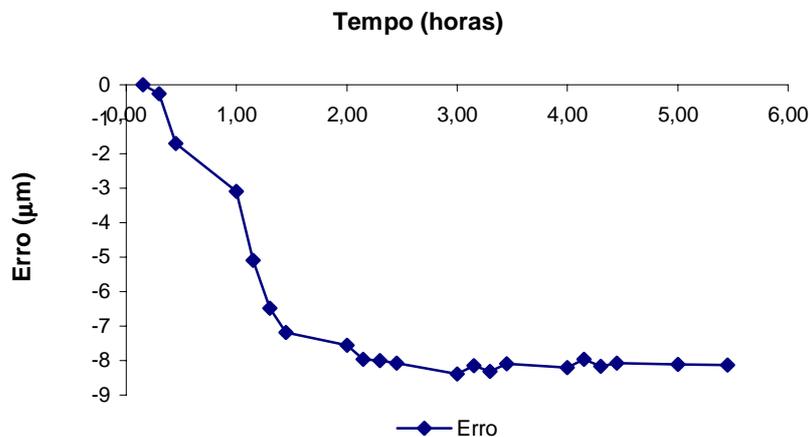


Figura 7. Curva descrevendo o tempo de equilíbrio térmico.

4.4. Levantamento dos Erros Geométricos (Erros Translacionais)

Foram levantados os erros geométricos de translação, ou seja, os erros de posição e de reticidade para diferentes estados de temperatura, isto é, 20, 22, 24 e 26 °C, respectivamente. Ao mesmo tempo, foi observado o drift de posicionamento no ponto zero.

A Fig. (8) mostra quatro curvas que descrevem o comportamento do erro de reticidade do eixo Z na direção Y. Estas curvas representam os trajetos de ida e estão espaçadas, no ponto zero, as quantidades correspondentes ao valor levantado durante o drift. Nesta Fig. pode-se observar que o comportamento do erro de reticidade permanece praticamente estável de um estado térmico para outro, enquanto que a grandeza varia. Desta forma se for conhecida a curva do erro para 20°C e seu comportamento no ponto zero para qualquer valor de temperatura, então é possível saber qual o comportamento deste erro para qualquer posição em qualquer estado de temperatura.

A Fig. (9) mostra as curvas que descrevem o comportamento do erro de posição do eixo Z para diferentes estados de temperatura. Pode-se observar que tanto a grandeza quanto o comportamento deste erro variam quando a temperatura é alterada. Muito provavelmente devido às dilatações diferenciadas que ocorrem. Assim sendo, para que se conheça o comportamento deste erro em qualquer ponto, para qualquer estado de temperatura é necessário o levantamento da curva correspondente à temperatura de 20°C e o drift térmico em pelo menos quatro pontos diferentes.

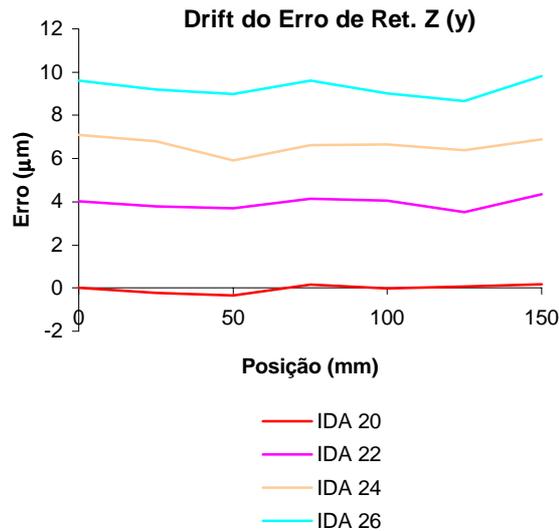


Figura 8. Gráfico do erro de retilidade do Eixo Z na direção Y

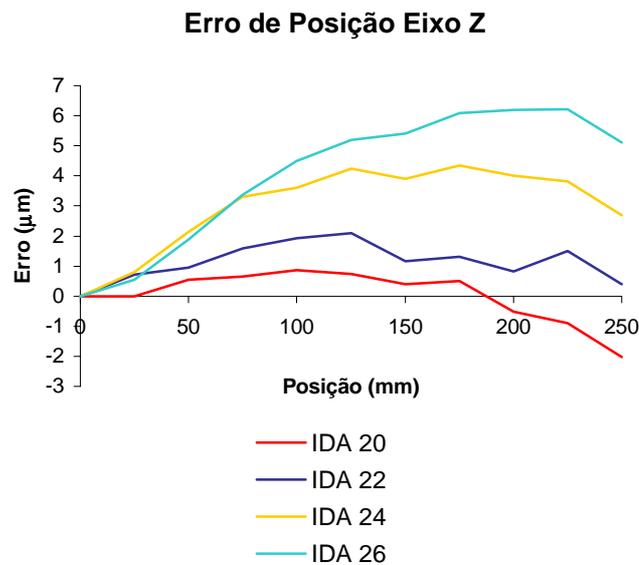


Figura 9. Gráfico do erro de posição do Eixo Z.

5. CONCLUSÕES

Ao finalizar este trabalho podem ser apresentadas as seguintes conclusões.

A Máquina de Medir é fabricada dos mais diversos materiais, com as mais diversas propriedades caloríficas.

O comportamento das Máquinas de Medir a Três Coordenadas muda quando acontecem variações de temperatura, comprometendo o resultado das medições.

Os erros de retilidade conservaram seu comportamento para os diferentes estados de temperatura, mudando apenas em grandeza.

A grandeza e comportamento dos erros de posição dos três eixos coordenados mudam.

O tempo de soak-out da Máquina de Medir, objeto de estudo é de aproximadamente três horas.

As principais fontes de calor para a máquina avaliada são: o computador, os cabos de alimentação, o ar fornecido à máquina de medir, o operador e a memória térmica.

Na Máquina de Medir esta presente o fenômeno conhecido como efeito bi-metal, dado pelo par formado entre as guias do eixo “Y” que estão pressas à base de ferro fundido através de parafusos.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro para desenvolvimento desta pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- ANSI/ASME B 89.1.12M, 1990, “Methods for Performance Evaluation of Coordinate Measuring Machines”.
- ANSI/ASME B 89.4.1, 1995, “Methods for Performance Evaluation of Coordinate Measuring Machines”.
- Breev, B.T., 1951, “The influence on accuracy of heat generated in grinding machines. *Stanki Instrum.* Vol.22, No.4 (1951) in Bryan, J., 1990, “International Status of Thermal Error Research”. *Annals of the CIRP*, Vol.39, No.2, pp.645-656.
- Bryan, J.B.; Brewer, W.; McClure, E.R. and Pearson, J.W., 1966, “Thermal Effects in Dimensional Metrology”, *Precision Engineering Consultant*. p. 24. Abril 1.
- Bryan, J.B., 1968, “International status of thermal error research”. *Annals of the CIRP*, Vol.16, pp. 203-215.
- Bryan, J.B., 1990, “International Status of Thermal Error Research”. *Annals of the CIRP*, Vol.39, No.2, pp. 645-656.
- Bryan, J.B, 1995, “Temperature fundamentals”. In: Bosch, J.A. “Coordinate Measuring Machines and Systems”. Marcel Dekker, Inc. Cap. 8, pp.227-264.
- Kaebnick, H., 1986, “Thermal behavior of machine tools”. *Symp. On Prec. Engrg. CSIRO, Sydney, 1986* in Bryan, J.B., 1990, “International Status of Thermal Error Research”. *Annals of the CIRP*, Vol.39, No.2, pp.645-656.
- Mottu, A., 1975, “Arbeitsgenauigkeit von werkzeugmaschinen am Beispiel von Koordinatenbohrmaschinen. *Werkst. Betr.* 90 No.3 in Bryan, J.B. (1990). “International Status of Thermal Error Research”. *Annals of the CIRP*, Vol.39, No.2, pp.645-656.
- Opitz, H. and Schunck, J. (1963). “Untersuchung des Einflusses von Wanme-dehnungen bei Werkzeugmaschinen auf die Fertigungsstabilitat. *Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen* in Bryan, J.B. (1990). “International Status of Thermal Error Research”. *Annals of the CIRP*, Vol.39, No.2, pp.645-656.
- Peklenik, J. (1959). *Zur fertigungsstabilitat messegesteuerter werkzeugmas-chine. Industrie-Anzeiger*, No.54 in BRYAN, J.B. (1990). “International Status of Thermal Error Research”. *Annals of the CIRP*, Vol.39, No.2, pp.645-656.
- Spur, G. et al. (1988). *Thermal behavior optimization of machine tools. Annals of the CIRP*, Vol.37, No.1, pp.401-405.
- Weck, M. (1984). “Handbook of machine tools - Metrological analysis and performance tests”. London, John Wiley & Sons, Vol.4.
- Weckenmann, A.; Knauer, M. e Killmaier, T. (2001). “Uncertainty of coordinate measurements on sheet-metal parts in the automotive industry”. *Journal of Materials Processing Technology* 115, pp. 9-13.

MM3CS – A STUDY OF THERMAL BEHAVIOUR

Benedito Di Giacomo

Eng. Mec. M.Sc. PhD. Professor Doutor.

Engineer School of São Carlos – USP. Avenue of Trabalhador Sãocarlense, N. 400. São Carlos. São Paulo. Brazil. Center, São Carlos, SP, Brazil.

Rosenda Valdés Arencibia

Eng. Mecânico. M.Sc. Doutoranda

Engineer School of São Carlos – USP. Avenue of Trabalhador Sãocarlense, N. 400. São Carlos. São Paulo. Brazil. Center, São Carlos, SP, Brazil. e-mail: arvaldes@sc.usp.br tel: (0xx16) 273 9420

Alessandro Marques

Lic. Em Matemáticas. M.Sc. Doutorando

Engineer School of São Carlos – USP. Avenue of Trabalhador Sãocarlense, N. 400. São Carlos. São Paulo. Brazil. Center, São Carlos, SP, Brazil.

Abstract. The work here presented aims to study the thermal behaviour of Coordinate Measuring Machines, ways for seeking for an improved measuring performance. In order to achieve this objective, a detailed analysis of the studied measuring system was accomplished and the hot points on the structure were determined by means of an infrared-sensitive camera. Moreover, the geometric translational errors were determined for different temperature conditions. An evaluation of the obtained results has proven that the magnitude and behaviour of the positioning errors change when temperature is altered. The, changes experimented by the volumetric error compromised the results of measurements provided by the machine.

Keyword. Thermal errors, positional error, hot points and volumetric error.