

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA CLIMATIZAÇÃO DE PEÇAS EM PROCESSOS DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS EM AMBIENTE INDUSTRIAL

André Roberto de Sousa¹, Alessandro Teixeira Medeiros²

¹IFSC – Depto. Mecânica – PósMecatrônica, Florianópolis, Brasil, asouza@ifsc.edu.br

²Tupy S.A. – Lab. Metrologia Tridimensional Usinagem, Joinville, Brasil, alessandro@tupy.com.br

Resumo: A climatização de peças produzidas em série como preparação para o controle dimensional empregando a medição por coordenadas é uma etapa crítica para a obtenção de resultados confiáveis especialmente no controle de peças usinadas. As tolerâncias muito precisas destas peças impõem que a peça esteja muito próxima à temperatura de 20° C, dado que as dilatações térmicas já se aproximam do nível das tolerâncias controladas. Este artigo aborda este tema, apresentando um método experimental prático e rápido para avaliar a eficiência de procedimentos de climatização de peças, permitindo orientar quanto aos tempos empregados nesta atividade.

Palavras chave: Medição por Coordenadas, Metrologia industrial, Confiabilidade Metrológica.

1. INFLUÊNCIAS TÉRMICAS SOBRE RESULTADOS DA MEDIÇÃO POR COORDENADAS

A medição por coordenadas realizada em ambiente industrial sofre constantemente a influência de fatores térmicos [1]. Salas de medidas localizadas próximas a ambientes de produção, peças produzidas em alta série com tempos de climatização pequenos, ambientes com alto trânsito de pessoas, peças e equipamentos, dentre outros, são exemplos de fontes de influência sobre os resultados.

A influência combinada dessas influências provoca alterações geométricas na máquina de medir por coordenadas e na peça, potencializando problemas de confiabilidade no controle dimensional de produtos e avaliação de capacidade de processos.

No controle de peças usinadas, que apresentam tolerâncias mais estreitas, essas influências têm que estar sob controle mais estrito, pois as dilatações térmicas da peça já se aproximam nos valores de tolerâncias de produto e de processo. A figura 1 mostra o erro causado pela dilatação em um cabeçote de alumínio de motor automotivo com 350 mm, comparativamente à sua tolerância dimensional ($\pm 0,05\text{mm}$). O erro é dado por [2]:

$$\text{Erro} = L \cdot \{[(T_1 - 20) \cdot \alpha_1] - [(T_2 - 20) \cdot \alpha_2]\} \quad (1)$$

onde:

L = comprimento da peça

T_1 e T_2 = Temperaturas da peça (T_1) e da máquina (T_2)
 α_1 e α_2 = Coeficientes de dilatação térmica da peça (α_1) e da escala da máquina de medir por coordenadas (α_2)

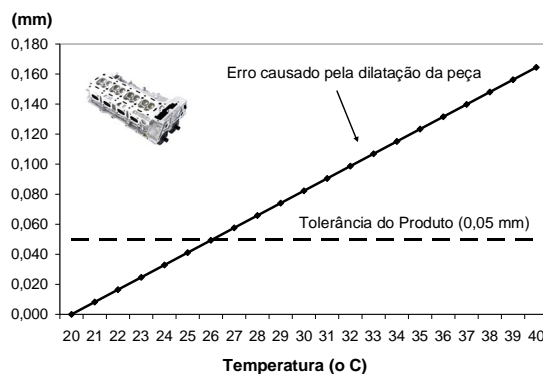


Fig.1. Dilatação térmica comparada à tolerância do produto

Para minimizar este problema, várias estratégias são utilizadas para eliminar as causas de variação (preventivas) e para corrigir o efeito de influências térmicas (corretivas), tais como:

- Maior controle dos ambientes
- Máquinas com recursos para compensação térmica
- Maior tempo de climatização das peças

O controle de temperatura nos ambientes é realizado por centrais de ar-condicionado, sendo crescente o uso de sistemas de ar-condicionado locais com compressor remoto, tipo *split*. Bons ambientes de medição, com boa vazão de ar e volume da sala são capazes, sob condições normais, de manter a temperatura da sala de medidas dentro de $20 \pm 1^\circ \text{C}$ sem dificuldades.

Para minimizar o efeito de dilatações térmicas na máquina e na peça, muitas máquinas de medir por coordenadas possuem sensores de temperatura nas escalas X, Y e Z, e sensores que são colocados na peça (Fig. 2). Com a informação dos coeficientes de dilatação térmica linear dos materiais da escala e da peça o software de medição calcula e compensa erros causados por influência térmica. Embora este recurso esteja disponível em muitos equipamentos de medição, existem incertezas neste processo de correção trazidas pela incerteza no coeficiente de

dilatação do material da peça e pelo fato de se medir a peça em sua superfície. No interior da peça, principalmente peças espessas e maciças recém trazidas da produção, a temperatura pode ser significativamente maior do que a temperatura da superfície. Por estas razões muitos usuários da medição por coordenadas não utilizam estes recursos mesmo quando presentes em seus equipamentos.

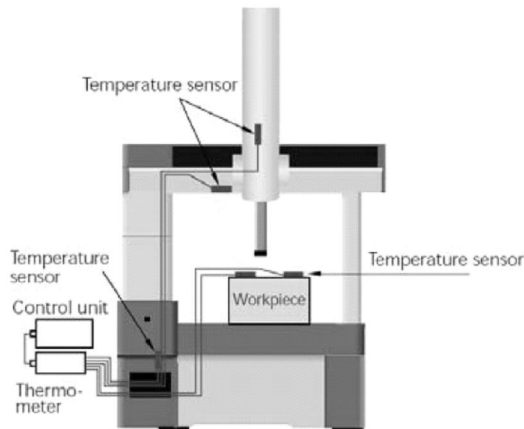


Fig. 2. Máquina de medir com compensação automática de efeitos térmicos (Mitutoyo)

O maior tempo de climatização das peças é um procedimento bastante empregado na indústria para assegurar que a temperatura de peças trazidas da produção atinja patamar bem próximo à temperatura da sala de medidas. O inconveniente desta prática é o maior tempo que pode impactar na produtividade da sala de medidas.

2. CLIMATIZACAO DE PEÇAS EM AMBIENTES DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS NA INDÚSTRIA

Localizadas em ambiente industrial, as salas de medição por coordenadas situam-se junto aos processos e destinam-se ao controle rápido de produtos com diferentes finalidades tais como [3]:

- Aprovação de setup de máquina
- Liberação de lote piloto
- Controle de produto
- Controle estatístico de processo

Todas essas atividades sofrem uma influência em comum que é a alta temperatura da peça. Ao deixar o processo de fabricação essas peças apresentam temperaturas bastante altas em função da própria transformação de material como também da temperatura dos ambientes de produção. Para que possam ser comparadas com suas especificações de engenharia é necessário certo tempo de espera da peça no ambiente da máquina de medir (20° C) antes de ser medida. Esse tempo de climatização é necessário para garantir a confiabilidade metrológica dos

resultados, embora reduza a produtividade da sala de medidas.

O quanto é necessário aproximar de 20° C dependerá das tolerâncias envolvidas do produto, e do material deste produto. Tolerâncias mais abertas em peças de material com coeficiente de expansão semelhante ao material das escalas da máquina de medir podem ser medidas com temperaturas mais afastadas de 20° C. Por outro lado, peças com tolerâncias mais estreitas e de material com coeficiente de expansão muito distinto da máquina, devem ser climatizados a 20° C.

Na maior parte das salas de medição por coordenadas, este tempo é determinado de forma empírica, e muitas vezes não se faz uma análise para verificar se o mesmo é insuficiente (provoca erros de medição) ou está muito longo (provoca perda de produtividade). Em muitas situações pode-se estar aguardando um tempo de climatização maior do que o necessário e em outras situações se trabalha em uma situação de pouca confiabilidade metrológica, potencializando erros de medição que levam a conclusões erradas acerca da conformidade de produtos e processos.

3. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E VALIDAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO DE PEÇAS

Para avaliar se o procedimento de climatização das peças não está causando problemas de confiabilidade metrológica, foi estabelecido um método de ensaio prático e rápido de aplicar em ambientes industriais. Este método consiste da medição de uma mesma peça em duas condições distintas.

Ao sair do processo em entrar na sala de medidas, uma peça será identificada e marcada. Esta peça passará pelo procedimento normal de climatização estabelecido, e será medida na máquina de medir por coordenadas, obtendo-se um primeiro resultado. Em seguida, esta peça será deixada neste ambiente a 20° C por 24 horas, e medida no dia seguinte na mesma máquina, pelo mesmo programa de medição, mantidas as mesmas configurações da primeira medição. Este segundo resultado será estabelecido como referência de climatização e comparado com o primeiro resultado. Avalia-se, assim, a reprodutibilidade dos resultados modificando-se a condição de climatização. A variação entre os dois resultados será significativa quando superar a incerteza do processo de medição por coordenadas para a característica geométrica avaliada. A figura 4 ilustra esquematicamente este método, que será detalhado no trabalho completo.

Caso a variação se mostre significativa, os tempos de climatização devem ser ampliados para melhor estabilidade térmica da peça. Se os resultados não mostram variação significativa e a produtividade da sala de medidas precisa ser aumentada, tempos menores de climatização podem ser tentando e avaliados por este método.

Este método experimental é sensível à variação de temperatura da própria sala de medidas. Caso a temperatura da sala seja instável, este efeito aparecerá nos resultados.

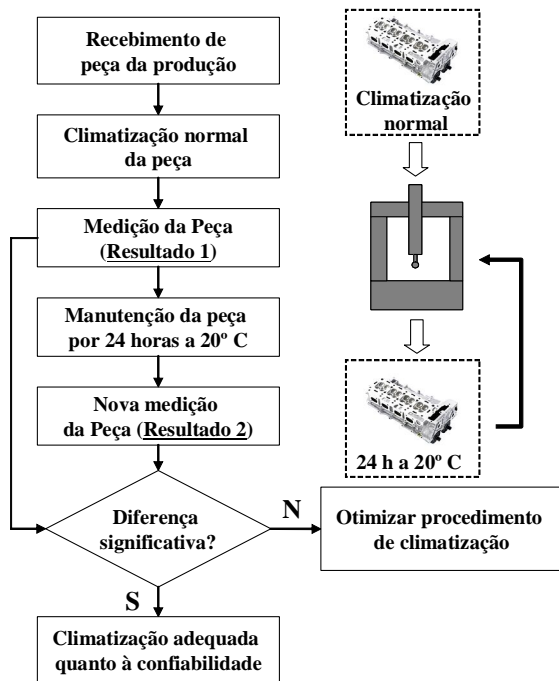


Fig.3. Representação esquemática do método proposto

4. RESULTADOS

Para a implementação prática do trabalho foi utilizada uma máquina de medir por coordenadas tipo portal, medindo 31 (trinta e uma) características geométricas em um bloco de motor. Para avaliar a repetitividade do procedimento foram medidos cinco blocos de motor, que foram identificados e medidos após sair do processo e aguardar o tempo de climatização normal, sendo medidos novamente após 24 horas de climatização na própria sala de medidas (Fig. 4).

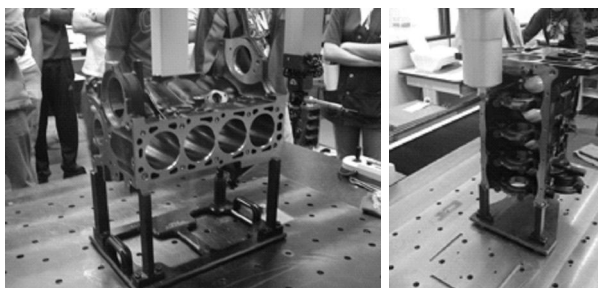
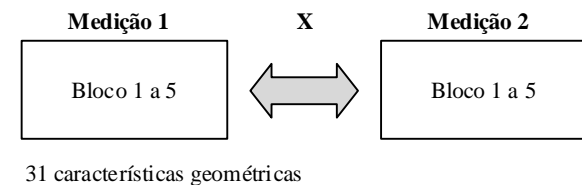


Fig. 4. Dinâmica do procedimento experimental realizado

Os resultados das medições de posição podem ser visualizados na Fig. 5, percebendo-se que a característica 3 apresentou variação significativa. Os valores mostrados no gráfico correspondem à média entre as variações e sua incerteza. Esta variação mostra uma maior sensibilidade do procedimento de medição ao controle de posição de furos, em que o alinhamento matemático da peça exerce uma influência direta sobre os resultados. Além disso, devido às distâncias significativas entre a origem da peça e o furo avaliado, os efeitos térmicos influenciam os resultados de modo mais significativo.

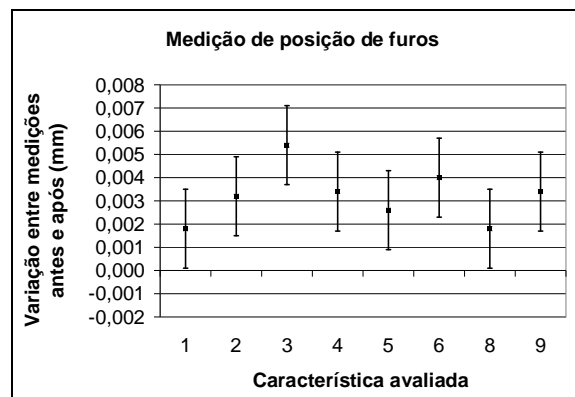


Fig. 5. Comparação na medição de posição de furos

Nestes mesmos blocos de motor foram medidos 4 diâmetros de furos, em cada um dos cinco blocos. As variações obtidas são mostradas na Fig. 6 onde se observa uma variação desprezível diante da incerteza do processo de medição. O processo de medição apresentou uma excelente reprodutibilidade no controle dessas características geométricas e o processo de climatização empregado mostrou-se bastante adequado para esta característica.

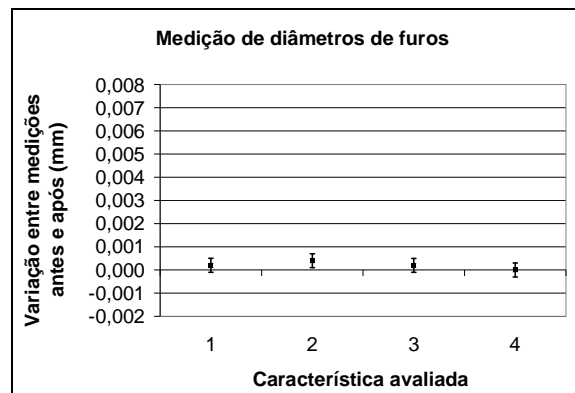


Fig. 6. Comparação na medição de diâmetros de furos

Finalmente foram medidas alturas da face superior do bloco em diversos pontos do plano superior. Os resultados

desta comparação mostraram resultados atípicos. Enquanto a medição de parte dos pontos a variação ficou em valores bastante pequenos, em outra parte dos pontos a variação ocorrida mostrou-se significativamente maior. Os resultados estão mostrados em gráficos separados nas figuras 7 e 8 mantendo a mesma escala para comparação.

Algumas causas são potencialmente responsáveis por esta diferença entre resultados. A seqüência com que o programa CNC apalpa os pontos permite maior tempo de climatização para regiões da peça medidas na metade final do programa. Apesar disso, esta variação é baixa quanto às tolerâncias dessa característica geométrica.

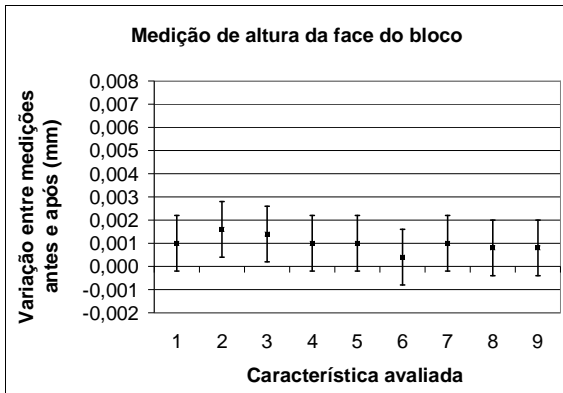


Fig. 7. Comparação na medição de alturas

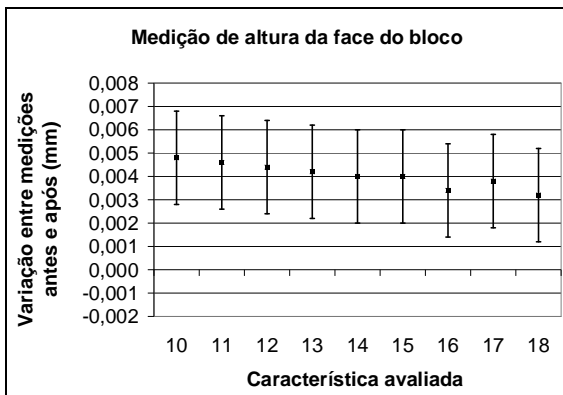


Fig. 8. Comparação na medição de alturas

5. CONCLUSÕES

Os procedimentos de climatização de peças para estabilizar a temperatura próxima de 20° C antes da medição por coordenadas são estabelecidos em sua maioria de forma empírica, sem maiores avaliações acerca da sua adequação quanto à confiabilidade e eficiência. Este trabalho apresentou um método experimental para avaliar a influência da temperatura da peça sobre os resultados de medições seriadas realizadas em ambiente industrial,

permitindo avaliar a adequação do tempo e procedimento de climatização estabelecido. O método é prático e rápido de aplicação, revelando resultados bastante conclusivos acerca do procedimento de climatização praticado.

Na implementação prática do método foram medidas 31 características geométricas em 5 blocos de motor automotivos em dois momentos distintos: após a produção dos blocos e 24 horas após, mantendo-se todas as demais características do processo de medição inalteradas: mesma máquina de medir, mesmo programa CNC, mesmas pontas, mesma estratégia de apalpação, etc.

Os experimentos realizados revelaram uma boa condição de climatização das peças medidas. As maiores variações situam-se dentro da incerteza do processo de medição e estão bem abaixo das tolerâncias dos produtos. O método é sensível à instabilidade de temperatura da sala de medidas e pode ser utilizado para inferir também sobre a adequação da própria sala, além do procedimento de climatização.

A adequação dos procedimentos de climatização é um aspecto muito importante para a confiabilidade metrológica em processos de medição seriada, devido à proximidade das salas de medidas do ambiente de produção e por causa da necessidade de medição de grande número de peças.

Nesse contexto, a investigação de métodos para avaliar se os procedimentos de climatização das peças são adequados deve ser uma preocupação permanente para as empresas que se preocupam com a precisão e com a qualidade daquilo que produzem. Otimizações no método apresentado neste trabalho estão sendo planejados e serão avaliados futuramente.

REFERÊNCIAS

- [1] Sousa A.R. Como utilizar a medição por coordenadas com eficiência e confiança. Máquinas e Metais, Maio 2001, p.114-127
- [2] Albertazzi, A.; Sousa A.R. Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial. Ed. Manole, 2008.
- [3] Sousa, A.R.; Métodos avançados para a garantia da confiabilidade dos resultados da medição por coordenadas. Programa de Formação Avançada de Metrologistas 3D. Apostila de curso, 2009.