

TOPOGRAFIA INDUSTRIAL: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES. João Naves de Moraes, João Carlos Chaves. – Inter-áreas – Engenharia Cartográfica – Departamento de Cartografia – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente.

A Metrologia é a ciência que abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza em qualquer campo da ciência ou tecnologia. Dá-se o nome de Metrologia Industrial ao conjunto de técnicas da área da metrologia aplicada às medições de características físicas e dimensionais dos materiais. Entre as áreas de aplicação dessa metrologia, destaca-se a Metrologia Dimensional, na qual insere-se a Topografia Industrial. Nesse contexto, a Metrologia Científica e Industrial é uma ferramenta fundamental no crescimento e inovação tecnológica, promovendo a competitividade e criando um ambiente favorável ao desenvolvimento científico e industrial em todo e qualquer país.

No Brasil, a Topografia Industrial teve sua maior ênfase a partir de 1981 quando notou-se que os serviços de alinhamento de máquinas eram efetuados de maneira rudimentar (corda de piano e nível manual) e que quase sempre acarretavam o acúmulo de erros. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é estudar os princípios, as técnicas desenvolvidas, a estrutura dos aparelhos industriais, os equipamentos de levantamento, os padrões nacionais e as principais utilizações da Topografia na indústria, por meio de observações angulares, lineares e combinações destas. Os métodos de levantamentos topográficos permitem estimar os parâmetros envolvidos no processo dimensional, colaborando com a Topografia Industrial. Este trabalho, ainda em desenvolvimento, mostra a grande complexidade que envolve as técnicas utilizadas na indústria brasileira.

A Topografia Industrial está revolucionando a indústria da precisão no sentido da velocidade, qualidade, segurança, capacidade e comodidade. Enfatiza-se a necessidade de um tratamento adequado das observáveis de campo, as quais devem ser coletadas com base em métodos específicos de calibração, atendendo às necessidades dos levantamentos topográficos e suas respectivas normas técnicas. Trata-se de um assunto com muitas oportunidades para a investigação científica, e com perspectivas de aplicações em diversos setores da indústria, p.ex. orientação na correção dos alinhamentos de máquinas através de equipamentos ópticos, mecânicos e/ou a laser. Com isso, esta pesquisa contribui com este tema da Metrologia Dimensional e pode-se concluir que há muito a ser pesquisado sobre Topografia Industrial, seus princípios e aplicações.

Principais usos da Topografia na indústria

➤ Levantamento/Alinhamento Óptico de Gaiolas (Cadeiras de Laminador), Mesas de Rolos, Base de Máquinas;

- Medição e Ajuste de Geometria de Pontes Rolantes;
- Medição e Ajuste dos Alinhamentos em Centrífuga Inclinada;
- Medição e Acompanhamento do Ajuste de Máquinas Operatrizes;
- Alinhamento de Máquinas Rotativas com Equipamento a Laser;
- Alinhamento de Prensas, Máquinas Construtoras de Pneus, AutoClave;
- Acompanhamento dos serviços de Usinagem de Campo no Alinhamento das Máquinas Operatrizes em relação ao objeto que vai sofrer a intervenção;
- Conferência do Paralelismo, Levantamento/ Alinhamento Horizontal e Vertical de Cilindros de Máquinas de Papel e de Celulose;
- Alinhamento de Máquinas Rotativas;
- Alinhamento de Esteiras Transportadoras;
- Alinhamento Horizontal e Vertical de Equipamento de Colagem de Papel;
- Alinhamento de Dimensões;
- Alinhamentos de Prensa de Madeira;

- Atuação em empresas de Pontes Rolantes e Equipamentos de Levantamento de Carga empregando o Levantamento/ Alinhamento de Caminhos de Rolamento, Esquadro do Quadro de Pontes;
- Posicionamento de Telescópios de Altíssima Resolução;
- Alinhamento de Robôs durante o processo de calibração com Equipamento a Laser;
- Alinhamento de grandes antenas com o uso de estações totais;
- Análise tridimensional das Lâminas de Rotor usando Equipamento a Laser com coordenadas

3D.

Padrões e métodos de calibração

Os principais padrões metrológicos do país sob a responsabilidade do Laboratório de Metrologia Dimensional (Lamin) são os seguintes:

- Sistema de referência gerador de pequenos ângulos;
- Sistema de referência para medição de comprimento composto de máquina tridimensional e laser interferométrico;
- Rugosímetro e padrões de rugosidade de referência;
- Sistema para medição de forma circular e respectivos padrões de referência;
- Comparador eletromecânico de blocos-padrão e blocos-padrão de referência de 0,5mm a 100mm;
- Sistema de medição para calibração de blocos-padrão acima de 100mm até 1000mm, composto de máquina universal de medição / laser interferométrico, assim como blocos-padrão de referência acima de 100mm a 1000mm;
- Lasers interferométricos;

Calibração de padrões escalonados

A Metodologia para calibração de padrões escalonados é apresentado a seguir (Oliveira, Alves & Quelhas, 2002).

Padrões escalonados são medidas materializadas que objetivam estabelecer comprimentos de referência na verificação de MMCs (Máquina de Medir por Coordenadas). A partir de um padrão escalonado devidamente calibrado pode-se determinar os erros de medição de comprimento nos três eixos de uma MMC e, conseqüentemente, determinar seus efeitos sobre resultados de medição obtidos nessa máquina.

Devido às rigorosas exigências metrológicas no controle dimensional de peças fabricadas que, conseqüentemente, requerem o uso de MMC's, torna-se necessário que as mesmas sejam periodicamente verificadas com a utilização de padrões escalonados, calibrados com uma alta exatidão, isto é, com uma baixa incerteza de medição.

O sistema laser interferométrico de medição linear está acoplado à máquina de medir por coordenadas. O laser, que substitui a escala da própria máquina registrando seu movimento na direção X, está interfaceado com um computador pessoal. Sensores devidamente calibrados são utilizados no monitoramento da pressão, da temperatura do ar no ambiente da medição e da temperatura do padrão, principais grandezas de influência.

Apóia-se o padrão escalonado sobre a mesa da MMC, alinhando-o, em seguida, da melhor maneira possível em relação à direção X. Programa-se a máquina por comando numérico de modo que seu sensor toque, no centro, de todas as superfícies de medição do padrão a calibrar. Para executar a calibração desloca-se automaticamente o sensor de modo que este toque, inicialmente, a superfície correspondente à posição “zero” do padrão (posição de referência) e a seguir, as demais superfícies. No instante da aplicação da carga de medição (sensor tocando as superfícies do padrão), os valores dessas posições medidas pelo laser interferométrico são registrados e corrigidos automaticamente, considerando-se os valores das grandezas de influência no instante da medição.

Com o padrão sendo tocado ao longo da direção X da máquina, em todas as suas superfícies de medição e considerando-se o diâmetro do sensor, chega-se aos valores medidos e corrigidos, correspondentes a todas as distâncias dessas superfícies em relação à posição de referência.

Devido à limitação da faixa de medição da MMC, na direção X, padrões com comprimentos acima de 420mm são calibrados por partes, deslocando-os sobre a mesa da máquina ou girando-os 180°, após a medição do trecho inicial (0 a 420mm).

Utilizando-se, para captação, correção e pós-processamento dos dados, um programa computacional desenvolvido no próprio laboratório. Os critérios para correção do comprimento de onda do laser interferométrico são baseados na “equação de Edlén”. Durante todo o processo de medição considera-se o “princípio de Abbe”, que estabelece como condição ideal, a coincidência do eixo de medição do padrão a calibrar (padrão escalonado) com o do sistema de medição (laser interferométrico e MMC). As medições são realizadas para temperatura do padrão na faixa de $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$. A umidade relativa é mantida na faixa de $(60 \pm 10)\%$.

Modelo matemático do experimento e incerteza de medição dos resultados

Modelo matemático representativo do experimento em questão é dado pela seguinte equação (Oliveira, Alves & Quelhas, 2002):

$$L_f = (n_r \cdot L) / n - L_n \cdot \alpha_p \cdot (T_p - T_r) - d - d_n \cdot \alpha_s \cdot (T_s - T_r) - E_{al} - F_l - R \quad (1)$$

onde:

L_f – Comprimento corrigido [mm]

L – Distância não corrigida obtida no laser [mm]

L_n – Comprimento nominal [mm]

d – Diâmetro do apalpador [mm]

d_n – Diâmetro nominal do apalpador [mm]

E_{al} – Erro de alinhamento [mm]

F_l – Erro devido à flutuação da indicação digital do laser [mm]

R – Reprodutibilidade das medições [mm]

T_p – Temperatura do padrão escalonado [$^\circ\text{C}$]

α_p – Coeficiente de expansão térmica do material padrão escalonado [$^\circ\text{C}^{-1}$]

T_s – Temperatura do sensor da MMC [$^\circ\text{C}$]

α_s – Coeficiente de expansão térmica do material padrão escalonado [$^\circ\text{C}^{-1}$]

T_r – Temperatura de referência [20°C]

n_r – Índice de refração do ar nas condições de referência

n – Índice de refração do ar nas condições de medição

A correção do diâmetro do sensor da MMC, devido à sua diferença de temperatura em relação à de referência, é desprezível porque a medição é realizada em temperatura próxima a 20°C e o diâmetro do sensor é de apenas 5mm (valor nominal). Com isto, a equação pode ser reduzida à seguinte forma:

$$L_f = (n_r \cdot L) / n \cdot 1 / (1 + \alpha_p(T_p - T_r)) - d - E_{al} - F_l - R \quad (2)$$

“n”, segundo a equação de Edlén, é dado por:

$$n = K_\lambda \cdot D_p - u_a \cdot [3,8020 - 0,0384 \cdot (1/\lambda)^2] \cdot 10^{-10} + 1 \quad (3)$$

onde:

K_λ – Fator de dispersão dependente do comprimento de onda do laser
 D_p – Fator de densidade dependente da temperatura do ar e da pressão
 λ – Comprimento de onda do laser no vácuo [μm]

Em consequência de tal modelo, a incerteza de medição para padrões escalonados, calculada com base no documento ISSO GUM citado por Oliveira, Alves & Quelhas (2002), leva em conta as seguintes componentes:

- Repetitividade das medições dos comprimentos L baseada no desvio-padrão do valor médio do número de ciclos de medição realizados.
- Estimativa do intervalo em que poderia estar contido um possível erro de alinhamento do laser interferométrico e do padrão escalonado.
- Estimativa do intervalo em que poderia ocorrer uma flutuação na indicação digital do laser.
- Incerteza no coeficiente de expansão térmica do material do padrão escalonado.
- Incertezas nas medições de temperatura do padrão escalonado e do ar.
- Estimativas dos intervalos em que poderiam ocorrer, durante a calibração, flutuações de temperatura do padrão escalonado e do ar.
- Incerteza na medição da pressão no ambiente de calibração.
- Incerteza do diâmetro do sensor da MMC.
- Incerteza do comprimento de onda do laser interferométrico.
- Possível diferença de resultados em condições de reprodutibilidade.

Em síntese, simplificando o que foi dito se pode concluir que desde a conferência da metragem e relevo da área onde vai ser edificada a planta industrial até a conferência de equipamentos em operação a Topografia Industrial é essencial para garantia, confiabilidade e rapidez nos serviços executados.

Bibliografia

OLIVEIRA, João Carlos Valente de; ALVES, João Antônio Pires; QUELHAS, Luis Gonçalves. Controle da Qualidade de Padrões Escalonados Utilizados na Verificação de Máquinas de Medir por Coordenadas. INMETRO (Diretoria de Metrologia Científica e Industrial), Rio de Janeiro, 2002.

Sites consultados

<http://www.seatitopografia.com.br>

<http://www.leicageosystems.com>