



II CIMMEC
2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE METROLOGIA MECÂNICA
DE 27 A 30 DE SETEMBRO DE 2011
Natal, Brasil

**PERFIL FUNCIONAL, COMPETÊNCIAS E
FORMAÇÃO NECESSÁRIAS AO METROLOGISTA 3D**

André Roberto de Sousa¹, Ricardo González²

¹IFSC – Depto. Mecânica – Metrologia/Eng. Precisão, Florianópolis, Brasil, asousa@ifsc.edu.br

²Mitutoyo Sul Americana, São Paulo – SP, Brasil, ricardogonzalez@mitutoyo.com.br

Resumo: Este artigo irá abordar o profissional Metrologista que atua na área de medição por coordenadas na indústria, enfatizando as características próprias da sua função, as competências desejadas e suas necessidades de formação para que exerça com confiabilidade e eficiência suas atividades. O artigo relata também as experiências e resultados de um programa de treinamento realizado para a formação deste profissional no Brasil.

Palavras chave: Educação e Treinamento, Formação metrológica, Medição por coordenadas.

1. A MEDIÇÃO POR COORDENADAS E O METROLOGISTA 3D NO BRASIL

A Tecnologia de Medição por Coordenadas é o recurso mais poderoso que a indústria possui para o desenvolvimento dimensional de produtos, controle dimensional de peças e melhoria da capacidade de processos. Por suas enormes potencialidades geométricas, boa exatidão, flexibilidade e capacidade de automatização, a Medição 3D tem sido crescentemente empregada nas diversas cadeias produtivas, ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos, do desenvolvimento do produto ao controle seriado [1]. A grande demanda pela tecnologia fez surgir diferentes princípios de medição (por contato e sem contato) e tipos de equipamentos com a capacidade de localizar pontos espaciais sobre a superfície do produto e processar matematicamente estes pontos para obtenção de informações geométricas de interesse. Há uma maior predominância de máquinas de medir estacionárias tipo cartesianas, mas tem crescido bastante a demanda por equipamentos de medição móveis, por contato como braços de medição e laser trackers, e sem contato com os sistemas ópticos (Figura 1).

Dada a grande capilaridade que a tecnologia possui no mercado, hoje a medição por coordenadas é empregada em empresas dos mais diversos setores e dos mais variados tamanhos, sendo o setor automotivo o maior demandante por este tipo de tecnologia de medição. Estima-se a

existência de mais de 6000 máquinas de medir por coordenadas no Brasil, empregando cerca de 15.000 profissionais metrologistas nessa área, os quais passaremos a chamar de Metrologistas 3D.



Fig. 1. Algumas tecnologias empregadas na medição por coordenadas: Máquina cartesiana, Braços de medição, Projeção de luz estruturada e Laser Tracker.

Durante esse processo de rápida disseminação da tecnologia, alguns mitos acabaram de certa forma se consolidando no mercado, dentre eles:

- A incerteza de medição por coordenadas é sempre muito pequena e adequada para qualquer tipo de peça;
- A aquisição da máquina é o único investimento necessário para utilizar a tecnologia;
- O operador não possui nenhuma influência sobre os resultados, pois a medição é automatizada;

- O treinamento na operação de hardware e software da máquina é suficiente para o metrologista desempenhar bem sua função.

Esses dois últimos mitos acabaram revelando-se especialmente problemáticos, pois os profissionais que atuam na medição por coordenadas ressentem-se de uma formação mais especializada do que outras áreas da metrologia dimensional. Pelo próprio caráter da tecnologia, e de sua grande importância na indústria, há uma necessidade de qualificação mais avançada.

2. PERFIS FUNCIONAIS E COMPETÊNCIAS DOS METROLOGISTAS 3D

Com o desenvolvimento da medição por coordenadas no mercado brasileiro, foram surgindo perfis funcionais típicos pela sua atuação. A saber:

- **Operador de máquinas de medir por coordenadas.** Profissional que executa procedimentos de medição pré-definidos. Possui perfil de atuação mais operacional, realizando as medições segundo procedimentos estabelecidos.
- **Programador de máquinas de medir por coordenadas.** Profissional encarregado de definir procedimentos de medição que serão executados e construir programas de medição para execução automática em máquinas de medir CNC.
- **Líder de sala de medidas.** Profissional que supervisiona as atividades de medição, com competências para auditar e validar qualquer atividade realizada por operadores e programadores de medição por coordenadas.

Cada perfil de atuação possui os seus requisitos em termos de competência. Em qualquer processo de medição, o pessoal empregado nas operações de medição deve ser competente, adequadamente qualificado e bem informado sobre todo o processo em que a medição está inserida [2]. Pessoas competentes e bem treinadas, que entendem os princípios envolvidos na medição, não só medem com maior eficiência e exatidão, mas também tendem a ser mais motivadas e aceitar mais facilmente a responsabilidade para desafios que levem à qualidade e confiabilidade nas medições.

Na medição por coordenadas a exigência de qualificação sobre os metrologistas 3D é mais ampla e multi-disciplinar do que em outros tipos de medição, em função de certas características da própria tecnologia de medição e do entorno no qual está inserida, como:

- A medição é essencialmente matemática exigindo do profissional conceitos matemáticos bem consolidados e um raciocínio espacial apurado;
- Os equipamentos são bastante sofisticados e a operação é informatizada e automatizada, exigindo boa habilidade na operação de hardware e software;

- Há uma intensa integração com quase todas as áreas da empresa, dado que a medição por coordenadas acompanha todo o ciclo de vida do produto;
- As especificações geométricas contidas nos desenhos de engenharia são cada vez mais complexas, exigindo um conhecimento de GD&T bem consolidado para interpretar os desenhos, analisar criticamente a especificação e definir estratégias de medição consistentes;
- As tarefas de medição podem ser complicadas, as geometrias a serem medidas complexas e as tolerâncias bastante precisas;
- O Metrologista 3D participa de diversas atividades ao longo da construção dimensional do produto, desde o design, a especificação de tolerâncias, o desenvolvimento do processo (aprovação de ferramental e dispositivos);
- Dentre outros.

Diante deste cenário o mercado exige do Metrologista 3D uma série de competências, separadas abaixo nas componentes: Conhecimentos, Habilidades e Atitudes.

Conhecimentos: Informações

Fundamentos de matemática e física
 Metrologia Industrial
 Estatística e Avaliação de Incerteza
 Computação gráfica
 Lógica e Programação
 Geometria e raciocínio espacial
 GD&T – Geometric Dimensioning and Tolerancing
 MSA – Measurement System Analysis
 Processos de Fabricação
 Normalização
 Qualidade Industrial
 Mecânica de Precisão

Habilidades: Saber Fazer

Operação da máquina de medir
 Operação do software de medição
 Operação dos dispositivos e meios auxiliares

Atitudes: Aspectos comportamentais

Honestidade e bom senso
 Obediência aos procedimentos
 Concentração e poder de análise
 Zelo com os equipamentos
 Cuidados com o ambiente de medição

A lista destas competências pode ser detalhada na forma indicada na tabela 1 a seguir.

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Entender a metrologia industrial inserida na garantia da qualidade da produção seriada. • Conhecer os princípios funcionais da tecnologia de medição por coordenadas, de todos os sub-sistemas de hardware e software da máquina de medir. • Conhecer as fontes de erro presentes em uma |
|--|

- medição 3D e saber aplicar estratégias para proteger a medição da influência de erros
- Saber estimar e corrigir erros de medição
 - Saber como planejar uma medição confiável e como validar um procedimento de medição
 - Conhecer e saber aplicar estratégias para evitar colisões e procedimentos para maximizar a vida útil dos componentes da máquina de medir
 - Saber avaliar a incerteza de medição de um procedimento de medição 3D e se esta incerteza de medição está adequada frente à tolerância do produto
 - Conhecer e saber aplicar métodos para verificar a exatidão da máquina de medir ao longo do tempo
 - Zelar pela conservação da máquina de medir por coordenadas e do ambiente de medição
 - Desenvolver uma atitude pessoal criteriosa quanto aos cuidados que devem cercar uma medição 3D
 - Conhecer de forma ampla o processo de gerenciamento dimensional de um produto
 - Reconhecer a importância estratégica da uma correta especificação geométrica do produto
 - Conhecer as normas e definições sobre tolerâncias dimensionais e geométricas: ABNT6158 e 6173, ASME Y 14.5 M, ISO1101, dentre outras.
 - Entender plenamente a especificação geométrica de produtos colocada nos desenhos de engenharia
 - Identificar erros e inconsistências de cotação nos desenhos
 - Conhecer as particularidades da aplicação da Medição 3D para o controle de tolerâncias GD&T
 - Definir estratégias de medição 3D para qualquer tipo de tolerância GD&T: forma, posição, orientação e batimento
 - Conhecer recursos e limitações do software de medição 3D para o cálculo de tolerâncias 3D
 - Saber avaliar a incerteza de medição 3D de tolerâncias GD&T
 - Saber validar um processo de medição 3D para uma tolerância GD&T
 - Saber construir um programa de medição CNC de forma estruturada
 - Conhecer e saber usar funções lógicas e estruturas de repetição em um programa CNC
 - Elaborar um programa de medição CNC seguro contra colisões
 - Conhecer métodos para gerenciamento, controle de uso e atualização de programas CNC
 - Conhecer as causas de erros na máquina de medir 3D
 - Saber analisar a influência dos erros da máquina de medir sobre a medição de tolerâncias GD&T
 - Conhecer formas de garantir a rastreabilidade de um resultado de medição 3D
 - Conhecer e saber aplicar a norma ISO10360 para avaliar a exatidão de máquinas de medir 3D
 - Conhecer estratégias para monitorar o comportamento geométrico da máquina de medir 3D
 - Saber estabelecer e aplicar um procedimento para

- verificar periodicamente a exatidão da máquina
- Conhecer os procedimentos contidos no guia MSA 3a edição para Análise de Sistemas de Medição
 - Saber analisar a tendência, estabilidade e linearidade de um processo de medição 3D
 - Saber realizar estudos de R&R em processos de Medição 3D
 - Saber conduzir um estudo de MSA para analisar um processo de Medição 3D
 - Utilizar adequadamente recursos computacionais em um estudo de MAS

Tabela 1 – Lista de competências do Metrologista 3D

3. NECESSIDADE DE FORMAÇÃO OPERACIONAL E METROLÓGICA PARA OS METROLOGISTAS 3D

Pela lista de competências mostrada, observa-se a diversidade de temas que devem fazer parte da formação do metrologista 3D, e a necessidade de que os treinamentos dessa área sejam amplos, porém ser perder a profundidade em cada tema.

Classicamente a formação destes profissionais tem ocorrido em cursos isolados, com prioridade para a formação operacional. A formação em cursos isolados fragmenta o conhecimento e dificulta a contextualização destes na área de medição por coordenadas, já que muitas vezes este conhecimento é adquirido em cursos não dedicados. São exemplos cursos de GD&T, MSA ou Incerteza de Medição em turmas com participantes de diversas áreas sem conexão direta com a medição por coordenadas.

No outro lado a formação operacional apenas, embora seja fundamental, deve ser complementada com a formação metrológica. Caso contrário o metrologista 3D irá desconhecer (e desconsiderar) uma série de fenômenos que ocorrem durante a medição, podendo comprometer a confiabilidade dos resultados. É desse contexto a declaração abaixo de um supervisor de sala de medida de uma grande indústria no Brasil [3]:

“Os operadores sabem muito bem como operar a máquina e o software, mas desconhecem cuidados e fatores de influência básicos sobre a medição, gerando resultados errados sem nenhuma desconfiança sobre isso.”

Assim, adicionalmente à formação operacional é indispensável uma **formação metrológica** do profissional em aspectos fundamentais para a garantia da confiabilidade dos resultados de medição. Além de ser competente na operação da máquina e do software de medição (formação operacional), há a necessidade de uma qualificação ampla e aprofundada em temas correlatos, que denominamos de formação metrológica. A junção destas formações proporciona ao profissional desempenhar com eficiência e confiabilidade as suas atividades (figura 2).

FORMAÇÃO OPERACIONAL

Habilidade na operação da Máquina e do Software de medição.



FORMAÇÃO METROLÓGICA

Conhecimentos, Habilidades e Atitudes para a garantia da confiabilidade metrológica dos resultados.



Fig. 2. Formação operacional e Formação metrológica

Esta necessidade se confronta com o baixo investimento em formação metrológica por parte de muitas empresas no Brasil, para as quais a formação operacional no uso dos equipamentos é suficiente, e para as quais a formação metrológica é muito teórica e sem aplicação.

Devido à atividade estratégica que o metrologista 3D exerce, as empresas devem investir na qualificação e manutenção desse profissional. Um bom metrologista 3D especialista em um determinado tipo de produto leva muitos anos para ser formado. Devido à sua complexidade, a medição por coordenadas requer uma formação mais especializada para os operadores, em temas específicos da medição 3D e em assuntos diversos como Metrologia Industrial, Geometria Espacial, Engenharia da Qualidade, Desenho, GD&T, Informática, Computação gráfica, Mecânica de Precisão e muitos outros.

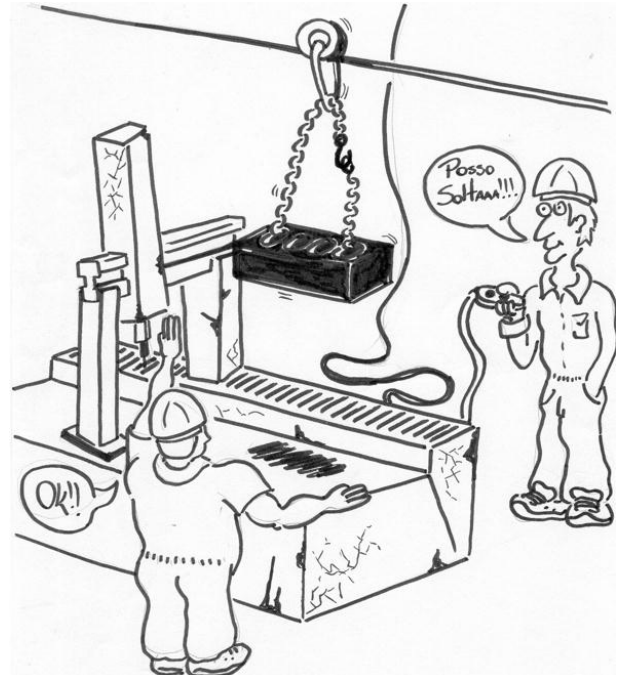
As perdas diretas e indiretas causadas por um metrologista 3D sem qualificação são muito maiores do que os custos com a sua adequada qualificação, que deve ocorrer nos aspectos operacional e metrológico (figura 3). No aspecto operacional os operadores devem bem qualificados para o uso da máquina de medir e do software de medição. No aspecto metrológico os operadores devem ser bem qualificados para conhecer as fontes de influência que afetam o resultado da medição e para estabelecer estratégias de medição consistentes, que levem a resultados confiáveis.

Parafraçando o Derek Curtis, então Reitor da Universidade de Harvard nos Estados Unidos, em sua célebre frase “*Se você acha a educação cara, experimente a ignorância*”, pode-se dizer: “*Se você acha a formação do Metrologista um custo, experimente o custo de medir sem confiabilidade*”.

4. FORMAÇÃO DE METROLOGISTAS 3D: PRÁTICA E RESULTADOS

Motivado pela necessidade de formação metrológica do pessoal técnico que trabalha com a medição por coordenadas no Brasil, um grupo composto por especialistas acadêmicos e da indústria idealizou, estruturou e produziu em 2004 um programa de formação metrológica independente e específico para a área de medição 3D, o FORMA3D [4] –

Programa de Formação Avançada em Metrologia 3D, que ocorre regularmente no Instituto Mitutoyo de Metrologia.



- Má uso e conservação da máquina
- Maiores custos com manutenção da máquina
- Resultados sem confiabilidade
- Erros de avaliação de processos
- Erros de classificação de peças e lotes
- Tomadas de decisão erradas
- Sub-aproveitamento das potencialidades da medição

Figura 3 – Conseqüências da baixa qualificação dos Metrologistas 3D

O FORMA3D é um programa de treinamento independente e generalista, focado em todos os **conhecimentos, habilidades e atitudes** necessárias para que o pessoal técnico que atua direta ou indiretamente com a medição por coordenadas possa desempenhar, com eficiência e confiabilidade, as suas atividades. O seu objetivo principal consiste em oferecer uma capacitação técnica ampla para os profissionais envolvidos com a Medição 3D na Indústria Brasileira, independente do tipo ou marca de equipamento de medição empregado.

Na sua idealização procurou-se delinear um conceito de treinamento que fosse acessível a todos, independente de tipo de equipamento utilizado, e que contemplasse os perfis de profissionais que atuam com a Medição 3D na indústria. O programa é composto por 3 níveis crescentes de especialização nos quais os profissionais são qualificados em aspectos fundamentais e avançados para a construção de sua competência metrológica nos itens listados na tabela 1. A figura xx mostra a estrutura curricular do programa.

Esta estrutura curricular do programa foi construída a partir de pesquisa junto a empresas e supervisores de metrologia de empresas nacionais. Essas pesquisas revelaram uma necessidade de formação de pessoal e

permitiu identificar os perfis de profissionais no mercado e as principais competências técnicas e comportamentais necessárias para o Metrologista 3D desempenhar suas atividades com eficiência e confiabilidade. A partir da definição e agrupamento destas competências foram desenvolvidos os conteúdos de cada módulo, os materiais didáticos impressos e eletrônicos, bem como delineada toda a estratégia didática a ser praticada nos cursos, incluindo as atividades práticas e o desenvolvimento de kits didáticos para aulas teóricas e práticas.

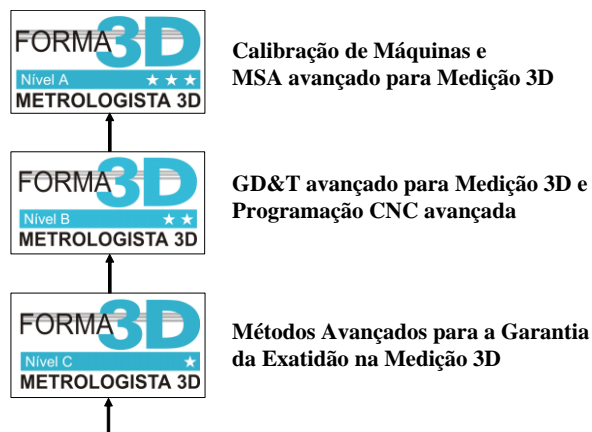


Fig. 4 – Estrutura do programa FORMA3D

Ao longo destes anos o programa teve uma procura bem acima do esperado inicialmente. Desde 2004 já formou quase 50 turmas e cerca de 700 metrologistas de quase 100 empresas no Brasil e no México. A figura 5 mostra alguns resultados condensados que ilustram a demanda por este tipo de formação de caráter metrológico para profissionais da área de medição por coordenadas [5].

Actaris	Embraer	Mercedes-Benz	Sew
Altona	Esmaltec	Métrica - México	Shaeffler
Arim	Estil	Mitsubishi Motors	Siadrex
Arvin Meritor	FAE	Mitutoyo Brasil	SLN
Autocam	FE Fundação	Mitutoyo México	Soma
Axe	FEI	Musashi	Soriani
Behr	FIAT Powertrain	MWM	Teksid
Benteler	Gama Matrizes	Pecval	Trans Tech
Bitzer	Grauna Aerospace	PETROBRÁS	Troller - Ford
Black and Decker	Honda	Peugeot-Citroën	TRW
Casa da Moeda	IFCE	Pilkington	Tupy
CENAM - México	IFRN	PUC-Rio	Turbomeca
Cidesi - México	Injetak	Rempel	UFC – LAMETRO
CMM – México	IVECO-FIAT	Renishaw	UFPE
Confab	Knorr-Bremse	Rolls-Royce	UFRN
Continental Aut.	Kobo	Romi	Unipac
Cummins	Kostal	Saintgobain	Usiminas
Dana	KS Pistões	Sandvik	Valeo – México
Demag	Lab. Nac. Sincroton	Senai – AM	Valeo Sist. Aut.
Denso	Luk	Senai – CE	Vescon
Durametal	Mahle	Senai – PE	Vibracoustic
Eaton	MAN Latin America	Senai – RJ	Volkswagen
Edag	Martins e Martins	Senai – SP	Wayne

Tabela 2 – Empresas e instituições com metrologistas 3D certificados

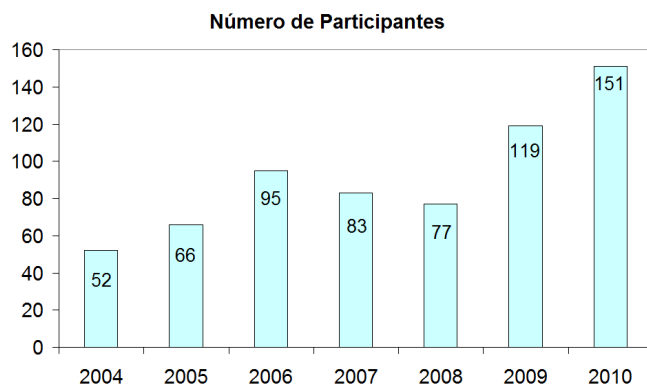


Figura 5 – Resultados parciais da formação de metrologistas 3D

A despeito dos aspectos quantitativos, é importante destacar alguns aspectos qualitativos desta experiência em educação continuada na área de medição por coordenadas, a saber:

- Há uma dificuldade inicial para o convencimento das empresas por parte dos metrologistas da necessidade de investir em um treinamento em que não seja em um tema operacional. Esta dificuldade praticamente não existe para um segundo participante da mesma empresa, dada o reconhecimento da grande validade da formação metrológica.
- O nível de satisfação e reconhecimento da importância deste tipo de formação metrológica são muito altos, desde o início do programa. A quase totalidade dos participantes tem as suas expectativas iniciais superadas.
- É comum o relato pós-curso de que este tipo de formação desmonta mitos acerca dos erros de medição e das próprias limitações dos equipamentos de medição, aumentando o comportamento crítico do metrologista acerca dos processos de medição para a obtenção de resultados confiáveis.
- É perceptível o aumento a auto-estima do metrologista, pois este reconhece a sua enorme importância para a confiabilidade dos processos de medição, melhoria de qualificação que tem se refletido em melhoria de empregabilidade.
- Relatos de que este tipo de formação ajuda a “abrir a cabeça e os olhos” para evitar erros de medição são bastante comuns, evidenciando a validade de um programa de treinamento voltado para a parte metrológica.

- Vários participantes deixam a sugestão de que se criem programas de formação metrológica equivalentes em outras áreas da metrologia dimensional (metrologia básica, rugosidade, etc.).

Estes indicadores quantitativos e qualitativos confirmam a grande importância e a mostram a grande necessidade por este tipo de formação no Brasil.

5. CONCLUSÕES

A tecnologia de medição por coordenadas possui características próprias que exige uma formação metrológica dedicada voltada para os profissionais que nela atuam. Esta formação complementa a formação operacional normalmente oferecida pelos fabricantes de equipamentos e softwares de medição e completa o conjunto de competências necessárias à condução de processos de medição de forma eficiente e confiável.

Pessoas bem qualificadas, que entendem os princípios e fenômenos que ocorrem durante uma medição, não só medem com maior exatidão, mas também são mais motivadas e comprometidas para realizar ações que levem à melhoria de produtos e processos. Neste contexto, a qualificação metrológica dos recursos humanos envolvidos nas tarefas de medição tem que ser uma preocupação permanente para quem zela pela qualidade e excelência daquilo que produz.

Este artigo abordou a necessidade de formação metrológica para os profissionais da metrologia 3D, citando os perfis de atuação destes nas empresas brasileiras e relacionando a lista de competências necessárias para a proficiência na sua atuação profissional.

REFERENCES

[1] Bosch, John. Coordinate Measuring Machines and Systems. Ed. Marcel Dekker, 1995.

[2] ISO/TS 16949:2002 Quality management systems – Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations

[3] Sousa, A.; Mariano, A.; Viana, C.; Orosco, D. A importância e necessidade da Formação de Metrologistas especializados em medição tridimensional na indústria nacional. Enqualab – Encontro para a Qualidade de Laboratórios, 2005.

[4] Sousa, A.; Gonzales, R. Importância de formação metrológica avançada na área de medição por coordenadas na indústria. Congresso Brasileiro de Metrologia, 2008.

[5] www.forma3d.com.br Website do Programa de Formação Avançada em Metrologia 3D, acessado em 10 de Julho de 2011.