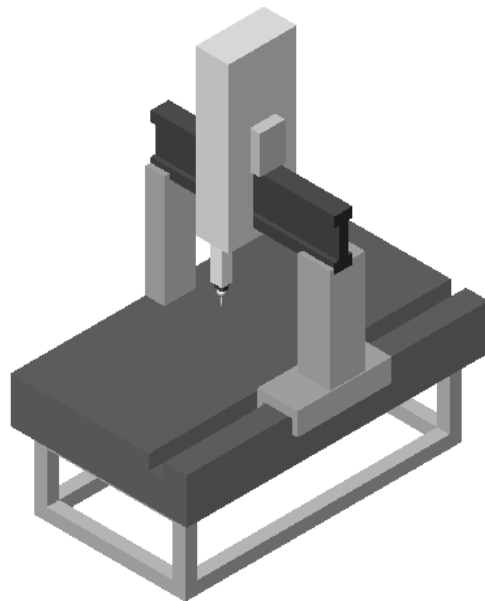


FORMA 3D

FORMAÇÃO REGULAR DE METROLOGISTAS 3D

MÓDULO 1

METROLOGISTA 3D – NÍVEL C



André Roberto de Sousa

"A Educação torna as pessoas fáceis de liderar, mas difíceis de manipular, fáceis de governar, mas impossíveis de escravizar."

Henry Peter Broughan

Esse material possui finalidade puramente didática e serve única e exclusivamente de material de apoio aos participantes dos cursos do programa **FORMA3D**. É proibida a sua venda como material em separado.

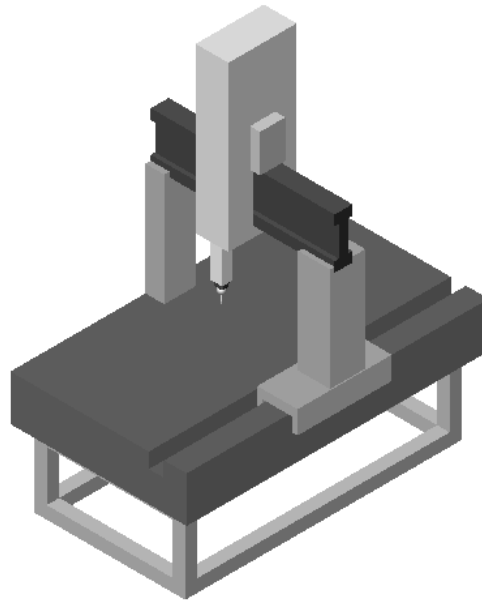
Ao longo do texto existem diversas ilustrações e imagens de máquinas de medir por coordenadas, software de medição e outros equipamentos metrológicos. Todas elas foram gentilmente cedidas pelos seus respectivos fabricantes para serem utilizados como exemplos didáticos nesse material.

Os textos e as ilustrações elaborados especificamente para esse material didático possuem os seus direitos autorais devidamente registrados.

PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO METROLÓGICA

FORMA3D

FORMAÇÃO REGULAR DE METROLOGISTAS 3D



André Roberto de Sousa

APRESENTANDO

A Tecnologia de Medição por Coordenadas ou Medição 3D é atualmente o recurso mais poderoso e estratégico que a Indústria metal-mecânica possui para garantir a precisão dimensional dos produtos e aumentar a eficiência dos processos. Por sua automatização, grande flexibilidade e enormes potencialidades geométricas, a Medição 3D apresenta grandes vantagens sobre outros métodos de medição e tem sido aplicada com cada vez mais frequência em todas as fases do ciclo produtivo de peças mecânicas, do desenvolvimento até o controle da produção seriada.

No entanto, como em todo processo de rápida absorção tecnológica, a disseminação da Medição 3D não foi acompanhada pela necessária adequação na formação do pessoal técnico. Por seu caráter matemático, sua sofisticação tecnológica e grande integração com o sistema de manufatura, a Medição 3D requer uma formação mais ampla do que somente a capacitação na operação da máquina e do software de medição, como ocorre atualmente.

A carência dessa formação mais ampla provoca um hiato entre as potencialidades da tecnologia e a capacidade do pessoal técnico em explorar os seus recursos de forma confiável e eficiente. O elo fraco da corrente para a qualidade dos processos de medição tem sido, inquestionavelmente, o elemento humano e, infelizmente, é grande o custo com retrabalhos e refugos causados por falta de confiabilidade metrológica nos processos de medição por coordenadas.

O Programa de Formação Regular de Metrologistas 3D nasceu dessa necessidade e tem o objetivo de oferecer uma capacitação ampla e padronizada para os usuários da medição 3D e, com isso, contribuir para mudar o panorama da qualificação do pessoal técnico envolvido com as operações de Medição 3D na Indústria Brasileira.

Sua concepção, estruturação e execução obedecem a critérios técnicos e pedagógicos muito bem planejados, de acordo com as diretrizes educacionais mais atuais do Ministério da Educação e adequado à realidade da Indústria Brasileira e ao nível educacional dos profissionais técnicos que nela atuam. Pela enorme presença e importância da Medição 3D nos processos da Indústria Brasileira, consideramos, sem dúvida, o FORMA3D um programa estratégico para a potencializar a qualidade e a produtividade da indústria metal-mecânica nacional.

A MOTIVAÇÃO PARA CRIAR UM PROGRAMA DE FORMAÇÃO EM METROLOGIA 3D

A rápida disseminação da tecnologia de Medição por Coordenadas no Brasil e no mundo não foi acompanhada pelo necessário cuidado na formação do pessoal técnico que trabalha com essa tecnologia, extremamente importante para a garantia da qualidade de processos e produtos na indústria atual.

Por sua sofisticação tecnológica e caráter matemático, a Medição por Coordenadas, ou Medição 3D, requer uma formação técnica mais ampla do que somente nos aspectos operacionais da máquina de medir, que depende de cada fabricante. O pleno entendimento da tecnologia e dos processos que ocorrem antes, durante e após uma medição requer uma capacitação bem mais ampla do que somente a qualificação para operar a máquina e o software de medição. Essa qualificação operacional é bem atendida pelos fabricantes de máquinas de medir, mas a qualificação ampla não é contemplada de modo padronizado.

Essa deficiência na formação faz com que as potencialidades de melhoria que a Medição 3D oferece sejam sub-aproveitadas e que, muitas vezes, a Medição 3D traga graves problemas para as empresas. Informações erradas são geradas, que levam à tomada de decisões erradas, com sérias conseqüências em termos de custo e qualidade. Infelizmente, o elemento humano é o elo fraco da corrente que leva à confiabilidade metrológica nos resultados da medição 3D.

Muito investimento se faz na aquisição da tecnologia de medição por coordenadas e preparação de sala de medidas, mas muito pouco se faz para a formação do profissional que trabalha com essa tecnologia, e essa realidade não é exclusiva do Brasil. Em todo o mundo esse problema ocorre.

Motivados por oferecer cursos de formação específicos para o pessoal técnico que trabalha com a Medição 3D, em vários países começam a surgir programas de formação amplos e independentes, com o suporte de instituições de ensino, de modo a padronizar a formação dos Metrologistas 3D.

Conhecendo profundamente as carências da realidade Brasileira nesse campo, especialistas técnicos e pedagógicos da Indústria e de Centros de Formação se uniram para formular e elaborar um conceito de treinamento inédito no Brasil e em boa parte do mundo, resultando no programa FORMA3D: um programa de capacitação amplo e independente de fabricantes de máquinas, ministrado por pessoas de reconhecida competência na área, com avaliação e certificação por uma Instituição de Ensino Tecnológico.

O PROGRAMA FORMA3D

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 e independente para os profissionais envolvidos com a Medição 3D na Indústria Brasileira.

A estruturação do programa é multi-institucional e foi realizada por profissionais de empresas e instituições de ensino com até 20 anos de experiência em Medição por Coordenadas, conhecendo profundamente as carências da realidade Brasileira nesse campo. Esses profissionais realizaram pesquisas em várias empresas usuárias da Medição 3D e, com base na observação da realidade Brasileira, condensaram todas as competências e habilidades necessárias à execução das funções do Metrologista 3D¹.

Com base nesse conjunto de competências e habilidades foi definida a estrutura curricular do FORMA3D, contemplando 3 níveis crescentes de especialização:

Módulo 1: Metrologista 3 D – Nível C

Profissional com competência para entender os princípios funcionais e fontes de erros da medição por coordenadas e operacionalizar uma medição pré-definida de forma eficiente e confiável.

Módulo 2: Metrologista 3 D – Nível B

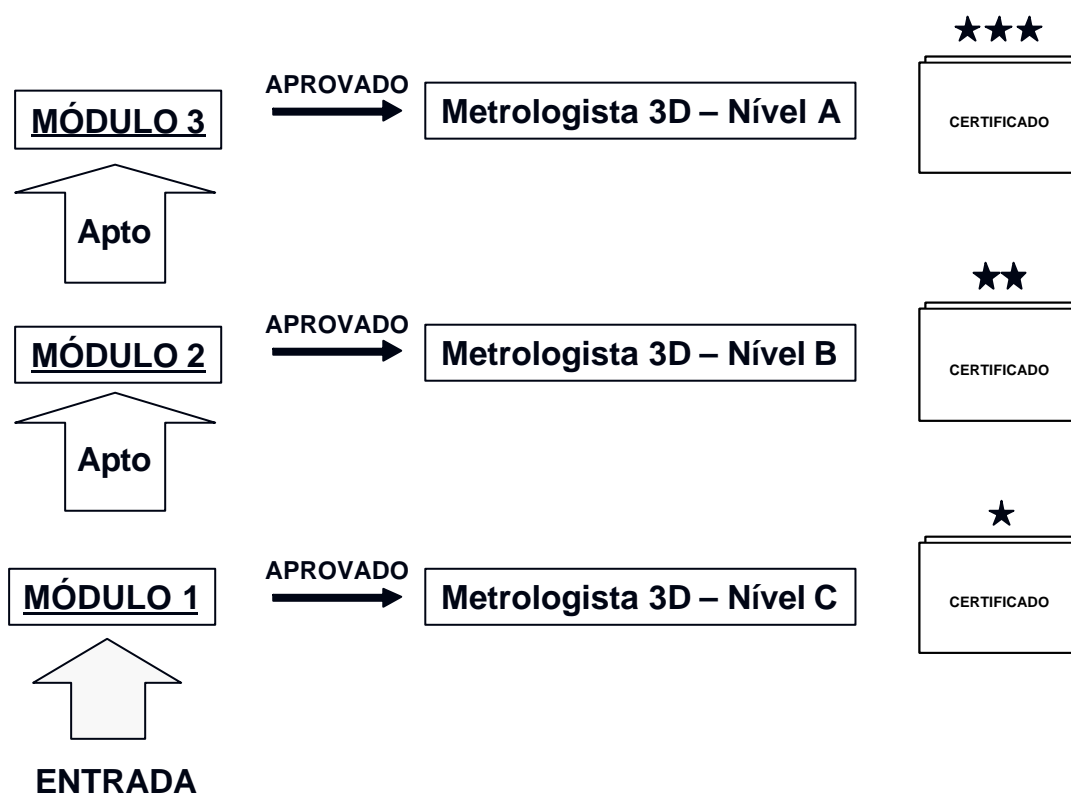
Profissional com competência para interpretar tolerâncias dimensionais e geométricas de acordo com normas internacionais, definir estratégias de medição consistentes, elaborar programas CNC, avaliar a incerteza da medição e verificar a sua confiabilidade em relação às tolerâncias.

¹ A estrutura do FORMA3D está organizada por competências, em conformidade com as novas diretrizes curriculares do Ministério da Educação para o ensino tecnológico. De acordo com o parecer 16/99 do Conselho Nacional de Educação, competência é entendida como “a capacidade de articular, mobilizar e colocar em ação: valores, conhecimentos e habilidades necessários para o desempenho eficiente e eficaz de atividades requeridas pela natureza do trabalho”.

Módulo 3: Metrologista 3 D – Nível A

Profissional com competência para coordenar equipes com operadores e programadores, participar de equipes para definição de projeto orientado à montagem no desenvolvimento de produtos, além de interagir com especialistas da produção para corrigir não conformidades dimensionais nas peças.

Os três módulos são cursados em seqüência. Ao longo e ao final de cada Módulo, as competências e habilidades dos participantes são avaliadas por pessoal técnico e pedagógico de uma Instituição de Ensino Tecnológico. Caso demonstre proficiência nessa avaliação de competências, o participante será certificado no seu respectivo módulo, como mostra a figura a seguir, estando apto a cursar o módulo seguinte. Os módulos serão ministrados por profissionais de reconhecida competência e somente após um processo de credenciamento pelo programa FORMA3D.



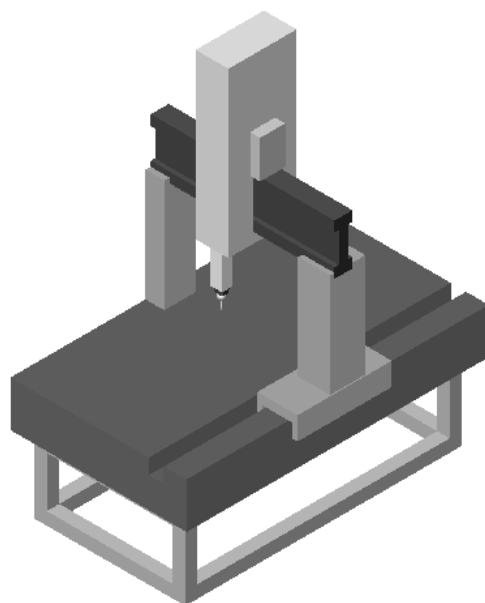
Progressão no Curso

Com base nessa estrutura curricular e forma de operação, o programa FORMA3D se caracteriza como um curso de formação amplo e independente, oferecendo à Indústria Brasileira a possibilidade de uma padronização na capacitação dos profissionais da Medição 3D. Essa padronização pode, no médio prazo, caracterizar a função de Metrologista 3D dentro das empresas e servir de base para a estruturação de planos de carreira do pessoal envolvido com a Medição por Coordenadas.

Para consolidar o programa nacionalmente como um curso de formação padronizado e reconhecido pelos usuários da Medição 3D e por órgãos envolvidos com a promoção da Metrologia e da Qualidade no Brasil, o programa FORMA3D permanece em constante articulação com empresas, entidades de classe, instituições de ensino e pesquisa e órgãos governamentais.

MÓDULO 1

METROLOGISTA 3D – NÍVEL C



André Roberto de Sousa

ÍNDICE

1. Introdução à Metrologia	19
1.1 A necessidade de Medir	20
1.2 Importância da Metrologia	24
1.2.1 No cotidiano da sociedade e do indivíduo	24
1.2.2 Nas atividades técnicas	25
1.3 O Sistema Internacional de Unidades	27
1.4 O Processo de Medição e suas imperfeições	33
1.5 Conceitos Metrológicos Básicos	40
2. Metrologia Dimensional integrada ao Processo de Manufatura	54
2.1 Evolução histórica do controle de qualidade	54
2.1.1 Na produção artesanal	56
2.1.2 Controle 100% ao final do processo	57
2.1.3 Controle 100% ao longo do processo	58
2.1.4 Controle estatístico da qualidade ao longo do processo	59
2.2 Integração e importância da Metrologia dimensional na manufatura atual	61
2.3 A importância da confiabilidade metrológica	65
3. Confiabilidade na Metrologia Dimensional	70
3.1 Fatores perturbadores do Processo de Medição	71
3.1.1 Sistema de medição	71
3.1.2 Operador	73
3.1.3 Ambiente	75
3.1.4 Peça a medir	80
3.2 As consequências: Erros e Incertezas de Medição	83
3.2.1 Conhecendo as parcelas do erro de medição	88
3.2.2 Estimando o Erro Sistemático	90
3.2.3 Estimando o Erro Aleatório	95
3.2.4 Curva de erros	100

3.3	Determinando o resultado de uma medição	104
3.3.1	Conhecendo e corrigindo a tendência	104
3.3.2	Conhecendo mas não corrigindo a tendência	105
3.3.3	Considerando a tendência já corrigida por ajuste no instrumento	106
3.4	Convivendo com os erros	109
4.	<i>A Tecnologia de Medição por Coordenadas</i>	114
4.1	Evolução da manufatura e a motivação para a medição 3D.	114
4.1	Princípios fundamentais	119
4.2	Evolução e disseminação da Tecnologia	123
4.2.1	Evoluções mecânicas	125
4.2.2	Evoluções eletrônicas	127
4.2.3	Evoluções computacionais	128
4.2.4	Disseminação da tecnologia	129
4.3	Potencialidades e aplicações na Indústria Mecânica	131
4.3.1	Potencialidades	131
4.3.2	Aplicações	134
4.4	O Metrologista 3D: Conhecimentos, Habilidades e Atitudes	136
5.	<i>Fundamentação matemática da Medição por Coordenadas</i>	141
5.1	Espaço Bi-dimensional	141
5.1.1	Sistema de Coordenadas Cartesiano	143
5.1.2	Sistema de Coordenadas Polar	145
5.2	Espaço Tridimensional	147
5.2.1	Sistema de Coordenadas Cartesiano	147
5.2.2	Sistemas de Coordenadas Cilíndrico e Esférico	149
5.2.3	Modificações no Sistema de Coordenadas	150
6.	<i>Geometria plana e espacial</i>	154
6.1	Vetores	154
6.1.1	O Vetor posição	155
6.2	Estudo dos Elementos geométricos regulares	162
6.2.1	Ponto	164
6.2.2	Linha	165

6.2.3	Plano	166
6.2.4	Círculo	168
6.2.5	Cilindro	171
6.2.6	Esfera	172
6.2.7	Cone	174
6.2.8	Elemento Toroidal	175
6.2.9	Identificando elementos geométricos regulares em peças reais	176
6.3	Projeções sobre plano	178
6.4	Associações entre elementos geométricos	180
6.4.1	Distância entre dois elementos geométricos	181
6.4.2	Ângulo entre dois elementos geométricos	185
6.4.3	Interseção de dois elementos geométricos	188
7.	Controle dimensional de peças na Indústria	193
7.1	Introdução à Especificação geométrica de produtos	194
7.2	Importância do Desenho Mecânico	196
7.3	Definições Geométricas normalizadas	200
7.3.1	Elemento geométrico nominal	200
7.3.2	Elemento geométrico real	201
7.3.3	Elemento geométrico extraído	202
7.3.4	Elemento geométrico associado	203
7.4	A Importância estratégica das Tolerâncias	205
7.5	Tolerâncias X Incertezas	210
7.5.1	Análise de aprovação	212
7.5.2	Consequências técnicas e econômicas de erros de classificação	217
7.5.3	Relação entre Incerteza e Tolerância	219
7.5.4	Zona de aceitação	221
8.	A Máquina de Medir por Coordenadas	226
8.1	Formas construtivas	226
8.1.1	– Tipo Coluna (<i>cantilever</i>)	227
8.1.2	– Tipo Portal (<i>Bridge</i>)	227
8.1.3	– Tipo Braço Horizontal (<i>Horizontal arm</i>)	229
8.1.4	– Tipo Ponte (<i>Gantry</i>)	230

8.2	Níveis de automatização	231
8.2.1	– Máquinas manuais	232
8.2.2	– Máquinas CNC	234
8.3	Nível de integração com o sistema de produção	236
8.4	Elementos construtivos	240
8.4.1	Mesa	241
8.4.2	Colunas e Braços	241
8.4.3	Guias	242
8.4.4	Mancais	243
8.4.5	Sistemas de acionamento e transmissão	245
8.4.6	Apalpador	247
8.4.7	Escalas de medição	254
8.5	CNC da máquina e computador do usuário	257
8.6	Software de Medição	260
8.6.1	Correções de parâmetros funcionais	260
8.6.2	Configuração de variáveis de máquina	262
8.6.3	Elaboração e execução de programas de medição	262
8.6.4	Transformações matemáticas de Coordenadas espaciais	263
8.6.5	Aquisição de pontos e cálculo dos elementos geométricos	263
8.6.6	Processamentos numéricos e gráficos	264
8.6.7	Emissão de relatórios de medição	265
8.7	Cuidados e Conservação	266
8.7.1	Mesa	268
8.7.2	Colunas e braços	269
8.7.3	Mancais	270
8.7.4	Apalpador	270
8.7.5	Escalas de Medição	272
8.7.6	Sistema computacional	272
9.	Formas de medição por Coordenadas	275
9.1	Medição Manual	275
9.2	Medição Automática	277
9.2.1	Programação por aprendizado	277

9.2.2	Programação Off-line	281
9.2.3	Programação gráfica off-line	284
10.	Preparando a peça e a Máquina para a Medição	288
10.1	Limpeza e estabilização térmica da peça	288
10.2	Ajuste do dispositivo e Fixação da peça	292
10.3	Inicialização da Máquina	294
10.4	Configuração do software	296
11.	Escolhendo e calibrando o apalpador	301
11.1	Análise da medição e Seleção do apalpador	301
11.2	Calibração do apalpador	306
11.3	Cuidados importantes	312
12.	Alinhando matematicamente a Peça	318
12.1	O sistema de coordenadas local	318
12.2	Influência na exatidão e utilidade dos resultados	321
12.3	Princípio matemático do alinhamento	327
12.3.1	Entendimento físico	327
12.3.2	Entendimento matemático	329
12.4	Alterações no sistema de coordenadas	337
12.4.1	Translação do sistema de coordenadas	337
12.4.2	Rotação do sistema de coordenadas	338
12.4.3	Inversão de eixos	339
12.5	Elementos geométricos de referência	339
12.6	Alinhamentos manual e automático	344
13.	Medindo os elementos geométricos das Peças	349
13.1	Características da peça e da medição	349
13.2	Número e distribuição de pontos	353
13.3	Estratégia de apalpação	358

13.4	Evitando as colisões	366
14.	Processando e avaliando os resultados das medições	373
14.1	Processamentos estatísticos básicos	373
14.1.1	Distribuição de dados	374
14.1.2	Caracterização do centro da distribuição dos dados	377
14.1.3	Quantificação da dispersão dos dados	379
14.2	Ajuste matemático de elementos geométricos	382
14.2.1	Gaussiano ou Mínimos quadrados	385
14.2.2	Máximo / Mínimo	386
14.2.3	Chebichev	388
14.3	Relatórios numéricos	389
14.4	Relatórios gráficos	391
14.5	Comparação contra modelo CAD	395
14.6	Identificando não conformidades	397
15.	Preservando a Confiabilidade Metroológica das medições	402
15.1	A Máquina de Medir como Fonte de Incerteza	402
15.1.1	Fontes de Incerteza da Máquina	403
15.1.2	Calibração e Correção de erros da Máquina	411
15.1.3	Ensaio de Verificação na Máquina de Medir	416
15.2	Operador	424
15.3	Ambiente de medição	425
15.3.1	Alimentação elétrica deficiente	427
15.3.2	Vibrações	428
15.3.3	Impurezas em suspensão no ar	431
15.3.4	Umidade excessiva	432
15.3.5	Climatização inadequada	432
15.3.6	Iluminação inadequada	434
15.4	Peça a medir	434
15.5	Validando o procedimento de medição	436
16.	Bibliografias	439

ANEXO	440
VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia	440