

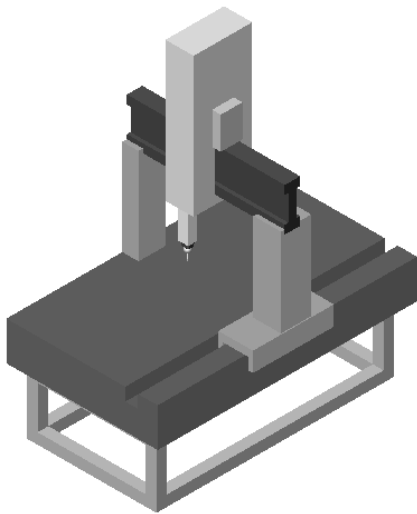
# FORMA 3D

FORMAÇÃO AVANÇADA DE METROLOGISTAS 3D

---

## MÓDULO 2

**METROLOGISTA 3D – NÍVEL B**



FORMA 3D  
Nível B ★ ★  
METROLOGISTA 3D

**André Roberto de Sousa**

Agradecimentos especiais a todos que contribuíram na elaboração deste material didático com a indicação de normas e livros relativos aos temas desta apostila, dentre estes:

**Eng. Daniel Carlos da Silva – EMBRAER – Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A.**

**Eng. Davison Barrera Orosco – Volkswagen do Brasil**

**Eng. Maurício Wandeck – GDT Engenharia Dimensional**

**Eng. Ademir Linhares de Oliveira (in memorian) – GDTMETRO**



[www.forma3d.com.br](http://www.forma3d.com.br)

***“Seja como for, a grandiosa Revolução Humana de uma única pessoa irá um dia impulsionar a mudança total do destino de um país e, além disso, será capaz de transformar o destino de toda a humanidade.”***

**Frase Budista**

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.

## 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 cada vez com 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 Avançada 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 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 consequências 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.

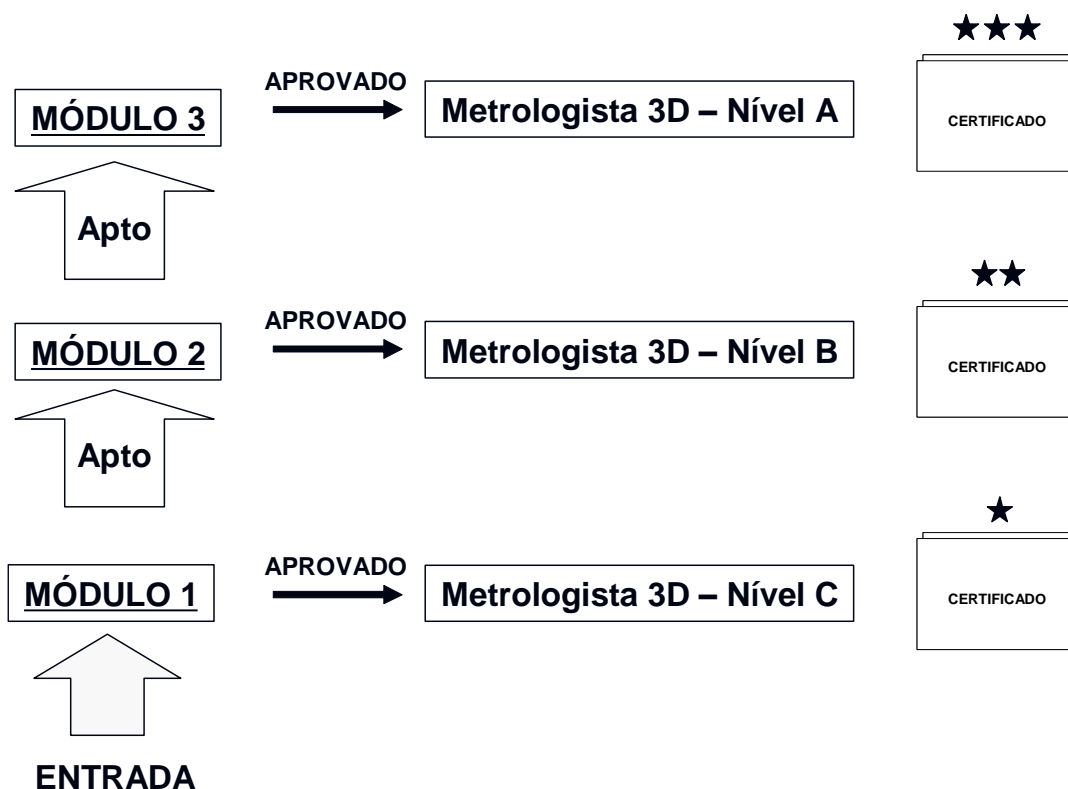
A estruturação do programa é multi institucional e foi realizada por profissionais de empresas e instituições de ensino com mais de 20 anos de experiência em Medição por Coordenadas, conhecendo profundamente as carências da realidade Brasileira nesse campo. Esses profissionais realizaram pesquisas em 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 3D<sup>1</sup>.

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

Os três módulos são cursados em sequência. 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.

---

<sup>1</sup> 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”.



### 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.



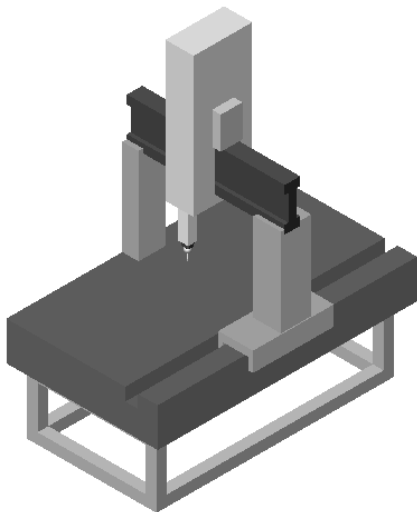
# FORMA3D

FORMAÇÃO AVANÇADA DE METROLOGISTAS 3D

---

## MÓDULO 2

**METROLOGISTA 3D – NÍVEL B**



FORMA3D  
Nível B ★ ★  
METROLOGISTA 3D

# ÍNDICE

<b>1. Especificação Geométrica de Produtos</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1 Variabilidade Dimensional de Componentes Mecânicos</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2 Importância de uma boa Especificação Geométrica do Produto</b> .....	<b>20</b>
<b>1.3 O Cenário Normativo: ISO1101 (GPS) e ASME Y 14.5 (GD&amp;T)</b> .....	<b>24</b>
<b>1.4 Importância da Especificação Geométrica dos Produtos para o Metrologista 3D</b> .....	<b>26</b>
<b>2. Tolerâncias Dimensionais em Acoplamentos</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1 Conceitos Fundamentais e Definições</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2 Tolerâncias Normalizadas</b> .....	<b>32</b>
2.2.1 Grupos de Dimensões .....	33
2.2.2 Qualidade de Trabalho .....	33
2.2.3 Unidade de Tolerância .....	35
2.2.4 Campo de Tolerância .....	37
<b>2.3 Ajustes</b> .....	<b>40</b>
2.3.1 Sistemas de Ajuste .....	40
2.3.2 Classes de Ajuste .....	43
<b>2.4 Considerações sobre a escolha do tipo de Ajuste</b> .....	<b>46</b>
<b>3. GD&amp;T – Fundamentação em Tolerâncias Geométricas</b> .....	<b>51</b>
<b>3.1 Definições e Conceitos Fundamentais</b> .....	<b>57</b>
3.1.1 Elementos (features) .....	58
3.1.2 Elemento Dimensional (Feature of Size – FOS) .....	59
3.1.3 Grupos de dimensões .....	59
3.1.4 Condição de Máximo Material (MMC) .....	60
3.1.5 Condição de Mínimo Material .....	61
3.1.6 Princípio de independência (ISO1101) .....	61
3.1.7 Princípio de Taylor (ASME Y14.5) .....	62
3.1.8 Requisito do Envelope (Normas ISO) .....	64
3.1.9 Regra #1 (ASME Y14.5) .....	65
3.1.10 Condição Virtual .....	67

3.1.11	Referência (Datum).....	67
3.1.12	Dimensão Teoricamente Exata – TED (Cota Básica).....	68
3.1.13	Quadros de controle.....	69
3.1.14	Tolerâncias cartesianas.....	70
3.1.15	Tolerâncias e símbolos.....	71
<b>3.2</b>	<b>Referenciamento de peças no espaço tridimensional .....</b>	<b>72</b>
3.2.1	Datum, Elemento Datum e Datum Simulado.....	75
3.2.2	Datum Primário, Secundário e Terciário.....	77
<b>3.3</b>	<b>Restrição de graus de liberdade pelo Datum primário.....</b>	<b>79</b>
<b>3.4</b>	<b>Elementos Geométricos utilizados para definir um Datum.....</b>	<b>80</b>
3.4.1	Linhas e Superfícies.....	80
3.4.2	Linha de Centro e Plano Médio.....	83
<b>3.5</b>	<b>Combinação de Elementos para definir um Sistema de Referência (Datum System).....</b>	<b>85</b>
<b>3.6</b>	<b>Requisito simultâneo e Requisito separado.....</b>	<b>88</b>
<b>3.7</b>	<b>Condição de estado livre (ⓕ).....</b>	<b>92</b>
<b>3.8</b>	<b>Requisito de Reciprocidade (ISO 2692).....</b>	<b>95</b>
<b>3.9</b>	<b>Tolerância zero na condição de máximo material.....</b>	<b>95</b>
<b>4.</b>	<b><i>Controle 3D de Tolerâncias Geométricas de Localização e Orientação .....</i></b>	<b><i>100</i></b>
<b>4.1</b>	<b>Posição.....</b>	<b>100</b>
4.1.1	Símbolo e formas da zona de tolerância.....	103
4.1.2	Modificador de Máximo Material.....	109
4.1.3	Modificador de Mínimo Material (Ⓛ).....	115
4.1.4	Modificador de Independência (Ⓢ) - RFS.....	117
4.1.5	Tolerância de Posição Composta (Norma ASME).....	117
4.1.6	Modificador de restrição de orientação (Norma ISO).....	119
4.1.7	Tolerância de Posição Múltipla.....	120
4.1.8	Zona de Tolerância Projetada.....	121
4.1.9	Controle de tolerância de posição.....	123
<b>4.2</b>	<b>Concentricidade e Coaxialidade.....</b>	<b>128</b>
4.2.1	Concentricidade.....	129
4.2.2	Coaxialidade.....	129

4.2.3	Controle geométrico da concentricidade e coaxialidade .....	130
<b>4.3</b>	<b>Simetria .....</b>	<b>135</b>
4.3.1	Controle geométrico da Simetria.....	136
<b>4.4</b>	<b>Paralelismo.....</b>	<b>138</b>
4.4.1	Paralelismo de uma linha em relação a um plano datum.....	140
4.4.2	Paralelismo de uma linha em relação a uma linha datum.....	141
4.4.3	Paralelismo de um plano em relação a um plano datum .....	142
4.4.4	Paralelismo de um plano em relação a uma linha datum .....	143
4.4.5	Controle geométrico do paralelismo .....	143
<b>4.5</b>	<b>Perpendicularidade .....</b>	<b>148</b>
4.5.1	Perpendicularidade de uma linha em relação a um plano datum.....	149
4.5.2	Perpendicularidade de uma linha em relação a uma linha datum.....	150
4.5.3	Perpendicularidade de um plano em relação a um plano datum .....	151
4.5.4	Perpendicularidade de um plano em relação a uma linha datum.....	151
4.5.5	Controle geométrico da perpendicularidade.....	152
<b>4.6</b>	<b>Angularidade (Inclinação) .....</b>	<b>155</b>
4.6.1	Angularidade de uma linha em relação a um plano datum.....	156
4.6.2	Angularidade de uma linha em relação a uma linha datum.....	157
4.6.3	Angularidade de um plano em relação a um plano datum.....	157
4.6.4	Angularidade de um plano em relação a uma linha datum.....	158
4.6.5	Controle geométrico da angularidade.....	158
<b>4.7</b>	<b>Perfil de Linha e de Superfície .....</b>	<b>161</b>
4.7.1	Tolerância de Perfil de linha .....	162
4.7.2	Tolerância de Perfil de superfície.....	163
4.7.3	Controle geométrico das tolerâncias de perfil .....	165
<b>5.</b>	<b>Controle 3D de Tolerâncias de Forma e Batimento.....</b>	<b>170</b>
<b>5.1</b>	<b>Tolerância de Retitude.....</b>	<b>175</b>
5.1.1	Retitude aplicada a superfícies .....	176
5.1.2	Retitude aplicada a eixos e linhas de centro .....	179
5.1.3	Controle geométrico da tolerância de retitude.....	181
<b>5.2</b>	<b>Tolerância de Planeza .....</b>	<b>187</b>
5.2.1	Controle geométrico da tolerância de planeza.....	189
<b>5.3</b>	<b>Tolerância de Circularidade.....</b>	<b>192</b>

5.3.1	Controle geométrico da tolerância de circularidade .....	193
<b>5.4</b>	<b>Tolerância de Cilindricidade .....</b>	<b>197</b>
5.4.1	Controle geométrico da tolerância de cilindricidade .....	199
<b>5.5</b>	<b>Tolerância de Batimento Circular .....</b>	<b>203</b>
5.5.1	Controle geométrico da tolerância de batimento circular .....	205
<b>5.6</b>	<b>Tolerância de Batimento Total.....</b>	<b>210</b>
5.6.1	Controle geométrico da tolerância de batimento total .....	212
<b>6.</b>	<b><i>Tópicos avançados sobre estratégias de medição por coordenadas .....</i></b>	<b>220</b>
<b>6.1</b>	<b>Medição orientada à característica .....</b>	<b>220</b>
<b>6.2</b>	<b>Determinação de referências para alinhamento .....</b>	<b>224</b>
<b>6.3</b>	<b>Elementos de medição e elementos auxiliares.....</b>	<b>228</b>
<b>6.4</b>	<b>Sequência e posição dos pontos para o alinhamento .....</b>	<b>229</b>
<b>6.5</b>	<b>Número e distribuição de pontos.....</b>	<b>232</b>
6.5.1	Definição da estratégia de apalpação. ....	233
6.5.1	Linha .....	236
6.5.2	Plano.....	236
6.5.3	Círculos .....	237
6.5.4	Esfera .....	240
6.5.5	Cilindro .....	241
6.5.6	Cones.....	244
6.5.7	Elementos parciais e arcos parciais .....	247
<b>6.6</b>	<b>Parâmetros estáticos de apalpação .....</b>	<b>250</b>
6.6.1	Diâmetro da ponta do apalpador .....	250
6.6.2	Configuração da haste .....	251
<b>6.7</b>	<b>Parâmetros dinâmicos de apalpação .....</b>	<b>253</b>
6.7.1	Força de apalpação .....	253
6.7.2	Velocidades de deslocamento e apalpação.....	257
<b>6.8</b>	<b>Padronização de estratégias de medição .....</b>	<b>260</b>
<b>6.9</b>	<b>Investigando conflitos entre resultados .....</b>	<b>266</b>
<b>7.</b>	<b><i>Programação de Máquinas de Medir por Coordenadas.....</i></b>	<b>272</b>
<b>7.1</b>	<b>Importância da correta programação .....</b>	<b>273</b>

<b>7.2</b>	<b>Formas de Programação.....</b>	<b>280</b>
7.2.1	Programação por aprendizado ( <i>Teach-in</i> ) .....	280
7.2.2	Programação <i>off-line</i> .....	282
<b>7.3</b>	<b>Organização do Programa.....</b>	<b>290</b>
7.3.1	Planejamento e estruturação do programa.....	290
7.3.2	Documentação do programa.....	291
7.3.3	Interface homem-máquina.....	294
<b>7.4</b>	<b>Modularização do Programa.....</b>	<b>296</b>
7.4.1	Funções e sub-rotinas .....	296
7.4.2	Macros.....	299
<b>7.5</b>	<b>Programação parametrizada.....</b>	<b>300</b>
<b>7.6</b>	<b>Funções matemáticas .....</b>	<b>302</b>
<b>7.7</b>	<b>Funções lógicas .....</b>	<b>304</b>
7.7.1	Estruturas de decisão .....	304
7.7.2	Estruturas de repetição .....	308
<b>7.8</b>	<b>Desenvolvimento do programa de medição .....</b>	<b>311</b>
<b>7.9</b>	<b>Debug e Otimização do programa de medição .....</b>	<b>317</b>
<b>7.10</b>	<b>Validação Operacional e Metrológica .....</b>	<b>319</b>
<b>7.11</b>	<b>Liberação e gerenciamento dos programas de medição .....</b>	<b>321</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>323</b>