

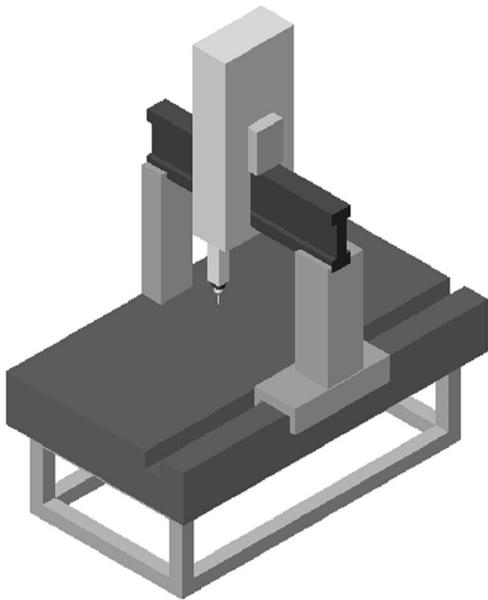
# FORMA 3D

FORMAÇÃO AVANÇADA DE METROLOGISTAS 3D

---

## MÓDULO 1

**METROLOGISTA 3D – NÍVEL C**



FORMA 3D  
Nível C ★  
METROLOGISTA 3D

**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.

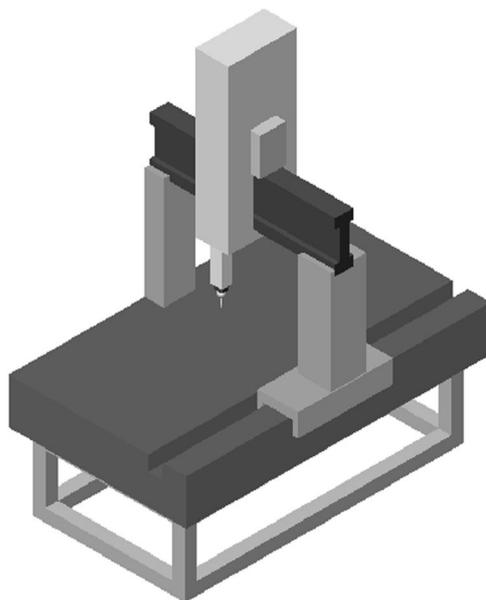
Ao longo do texto existem diversas ilustrações e imagens de máquinas de medir por coordenadas, software de medição e outros equipamentos metrológicos. Todas elas foram gentilmente cedidas pelos seus respectivos fabricantes para serem utilizados como exemplos didáticos nesse material.

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

# PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO METROLÓGICA

# FORMA3D

## FORMAÇÃO AVANÇADA 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 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 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 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:

### **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.*

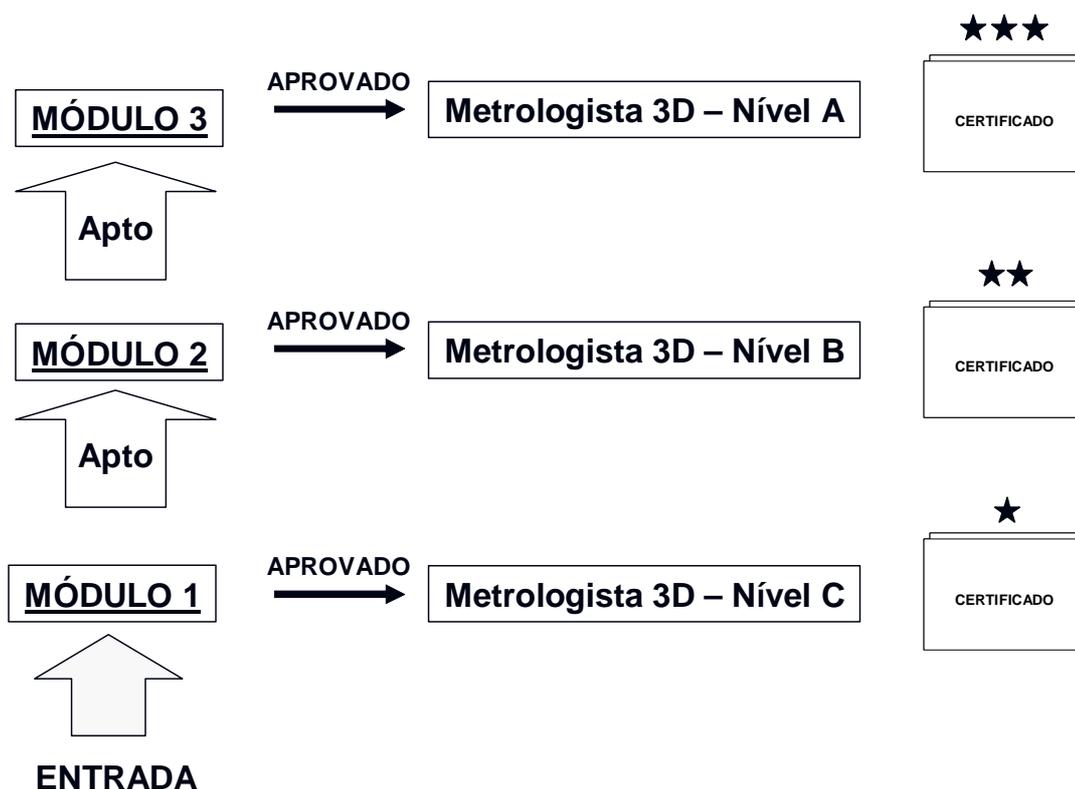
---

<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”.

### 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.

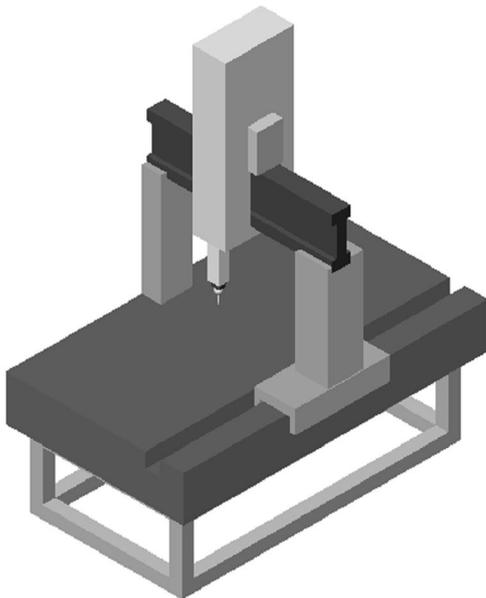
# FORMA3D

FORMAÇÃO AVANÇADA DE METROLOGISTAS 3D

---

## MÓDULO 1

**METROLOGISTA 3D – NÍVEL C**



FORMA3D  
Nível C ★  
METROLOGISTA 3D

**André Roberto de Sousa**

# ÍNDICE

<b>1. Fundamentos de Metrologia Científica, Industrial e Legal</b>	<b>19</b>
<b>1.1 A necessidade de Medir</b>	<b>20</b>
<b>1.2 Importância da Metrologia</b>	<b>24</b>
1.2.1 No cotidiano da sociedade e do indivíduo	24
1.2.2 Nas atividades técnicas	25
<b>1.3 O Sistema Internacional de Unidades</b>	<b>27</b>
<b>1.4 O Processo de Medição e suas imperfeições</b>	<b>33</b>
<b>1.5 Conceitos Metrológicos Fundamentais</b>	<b>40</b>
<b>2. Metrologia Dimensional integrada ao Processo de Manufatura</b>	<b>53</b>
<b>2.1 Evolução histórica do controle de qualidade</b>	<b>53</b>
2.1.1 Na produção artesanal	55
2.1.2 Controle 100% ao final do processo	56
2.1.3 Controle 100% ao longo do processo	57
2.1.4 Controle estatístico da qualidade ao longo do processo	58
<b>2.2 Integração e importância da Metrologia dimensional na manufatura atual</b>	<b>60</b>
<b>2.3 A importância da confiabilidade metrológica</b>	<b>64</b>
<b>3. Confiabilidade na Metrologia Dimensional</b>	<b>69</b>
<b>3.1 Fatores perturbadores do Processo de Medição</b>	<b>70</b>
3.1.1 Sistema de medição	70
3.1.2 Operador	72
3.1.3 Ambiente	74
3.1.4 Peça a medir	79
<b>3.2 As consequências: Erros e Incertezas de Medição</b>	<b>82</b>
3.2.1 Conhecendo as parcelas do erro de medição	87
3.2.2 Estimando o Erro Sistemático	89
3.2.3 Estimando o Erro Aleatório	94
3.2.4 Curva de erros	99

<b>3.3</b>	<b>Determinando o resultado de uma medição</b>	<b>103</b>
3.3.1	Conhecendo e corrigindo a tendência	103
3.3.2	Conhecendo mas não corrigindo a tendência	104
3.3.3	Considerando a tendência já corrigida por ajuste no instrumento	105
<b>3.4</b>	<b>Convivendo com os erros</b>	<b>108</b>
<b>4.</b>	<b><i>A Tecnologia de Medição por Coordenadas</i></b>	<b>113</b>
<b>4.1</b>	<b>Evolução da manufatura e a motivação para a medição 3D.</b>	<b>113</b>
<b>4.1</b>	<b>Princípios fundamentais</b>	<b>118</b>
<b>4.2</b>	<b>Evolução e disseminação da Tecnologia</b>	<b>122</b>
4.2.1	Evoluções mecânicas	124
4.2.2	Evoluções eletrônicas	126
4.2.3	Evoluções computacionais	127
4.2.4	Disseminação da tecnologia	128
<b>4.3</b>	<b>Potencialidades e aplicações na Indústria Mecânica</b>	<b>130</b>
4.3.1	Potencialidades	130
4.3.2	Aplicações	133
<b>4.4</b>	<b>O Metrologista 3D: Conhecimentos, Habilidades e Atitudes</b>	<b>135</b>
<b>5.</b>	<b><i>Fundamentação matemática da Medição por Coordenadas</i></b>	<b>140</b>
<b>5.1</b>	<b>Espaço Bi-dimensional</b>	<b>140</b>
5.1.1	Sistema de Coordenadas Cartesiano	142
5.1.2	Sistema de Coordenadas Polar	144
<b>5.2</b>	<b>Espaço Tridimensional</b>	<b>146</b>
5.2.1	Sistema de Coordenadas Cartesiano	146
5.2.2	Sistemas de Coordenadas Cilíndrico e Esférico	148
5.2.3	Modificações no Sistema de Coordenadas	149
<b>6.</b>	<b><i>Geometria plana e espacial</i></b>	<b>153</b>
<b>6.1</b>	<b>Vetores</b>	<b>153</b>
6.1.1	O Vetor posição	154
<b>6.2</b>	<b>Estudo dos Elementos geométricos regulares</b>	<b>161</b>
6.2.1	Ponto	163
6.2.2	Linha	164

6.2.3	Plano	165
6.2.4	Círculo	167
6.2.5	Cilindro	170
6.2.6	Esfera	171
6.2.7	Cone	173
6.2.8	Elemento Toroidal	174
6.2.9	Identificando elementos geométricos regulares em peças reais	175
<b>6.3</b>	<b>Projeções sobre plano</b>	<b>177</b>
<b>6.4</b>	<b>Associações entre elementos geométricos</b>	<b>179</b>
6.4.1	Distância entre dois elementos geométricos	180
6.4.2	Ângulo entre dois elementos geométricos	184
6.4.3	Interseção de dois elementos geométricos	187
<b>7.</b>	<b>Controle dimensional de peças na Indústria</b>	<b>192</b>
<b>7.1</b>	<b>Introdução à Especificação geométrica de produtos</b>	<b>193</b>
<b>7.2</b>	<b>Importância do Desenho Mecânico</b>	<b>195</b>
<b>7.3</b>	<b>Definições Geométricas normalizadas</b>	<b>197</b>
7.3.1	Elemento geométrico nominal	197
7.3.2	Elemento geométrico real	198
7.3.3	Elemento geométrico extraído	199
7.3.4	Elemento geométrico associado	200
<b>7.4</b>	<b>A Importância estratégica das Tolerâncias</b>	<b>202</b>
<b>7.5</b>	<b>Tolerâncias X Incertezas</b>	<b>207</b>
7.5.1	Análise de aprovação	209
7.5.2	Conseqüências técnicas e econômicas de erros de classificação	213
7.5.3	Relação entre Incerteza e Tolerância	216
7.5.4	Zona de aceitação	218
<b>8.</b>	<b>A Máquina de Medir por Coordenadas</b>	<b>223</b>
<b>8.1</b>	<b>Formas construtivas</b>	<b>223</b>
8.1.1	– Tipo Coluna ( <i>cantilever</i> )	224
8.1.2	– Tipo Portal ( <i>Bridge</i> )	224
8.1.3	– Tipo Braço Horizontal ( <i>Horizontal arm</i> )	226
8.1.4	– Tipo Ponte ( <i>Gantry</i> )	227

<b>8.2</b>	<b>Níveis de automatização</b>	<b>228</b>
8.2.1	– Máquinas manuais	229
8.2.2	– Máquinas CNC	231
<b>8.3</b>	<b>Nível de integração com o sistema de produção</b>	<b>233</b>
<b>8.4</b>	<b>Elementos construtivos</b>	<b>237</b>
8.4.1	Mesa	238
8.4.2	Colunas e Braços	238
8.4.3	Guias	239
8.4.4	Mancais	240
8.4.5	Sistemas de acionamento e transmissão	242
8.4.6	Apalpador	244
8.4.7	Escalas de medição	253
<b>8.5</b>	<b>CNC da máquina e computador do usuário</b>	<b>257</b>
<b>8.6</b>	<b>Software de Medição</b>	<b>260</b>
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
<b>8.7</b>	<b>Cuidados e Conservação</b>	<b>266</b>
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
<b>9.</b>	<b>Formas de medição por Coordenadas</b>	<b>275</b>
<b>9.1</b>	<b>Medição Manual</b>	<b>275</b>
<b>9.2</b>	<b>Medição Automática</b>	<b>277</b>
<b>9.2.1</b>	<b>Programação por aprendizado</b>	<b>277</b>

9.2.2	Programação Off-line	281
9.2.3	Programação gráfica off-line	284
<b>10.</b>	<b>Preparando a peça e a Máquina para a Medição</b>	<b>288</b>
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
<b>11.</b>	<b>Escolhendo e calibrando o apalpador</b>	<b>301</b>
11.1	Análise da medição e Seleção do apalpador	301
11.2	Calibração do apalpador	306
11.3	Cuidados importantes	312
<b>12.</b>	<b>Alinhando matematicamente a Peça</b>	<b>318</b>
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
<b>13.</b>	<b>Medindo os elementos geométricos das Peças</b>	<b>349</b>
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
<b>14.</b>	<b>Processando e avaliando os resultados das medições</b>	<b>373</b>
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
<b>15.</b>	<b>Preservando a Confiabilidade Metrológica das medições</b>	<b>402</b>
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	415
15.2	Operador	423
15.3	Ambiente de medição	424
15.3.1	Alimentação elétrica deficiente	426
15.3.2	Vibrações	427
15.3.3	Impurezas em suspensão no ar	430
15.3.4	Umidade excessiva	431
15.3.5	Climatização inadequada	431
15.3.6	Iluminação inadequada	433
15.4	Peça a medir	433
15.5	Validando o procedimento de medição	435
<b>16.</b>	<b>Bibliografias</b>	<b>438</b>

**ANEXO** \_\_\_\_\_ **439**

**VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia** \_\_\_\_\_ **439**

## 15.1.2 Calibração e Correção de erros da Máquina

Como já sabemos desde o capítulo 3, uma parcela do erro de medição possui característica sistemática e nas máquinas de medir isso não é diferente. Se alguns erros são previsíveis é possível compensá-los, desde que esses erros sejam determinados de forma confiável.

Durante um bom tempo, a exatidão das máquinas de medir dependeu exclusivamente da exatidão mecânica com que a máquina era produzida. Nesse tempo, para melhorar a exatidão de uma máquina eram necessários grandes investimentos na fabricação de componentes de ultra-precisão e de grandes cuidados na montagem do equipamento, o que tornava o custo e o tempo de produção muito elevados.

Com o passar do tempo, os fabricantes foram percebendo que era necessário cada vez mais investimento e aumento de custos, para melhorias cada vez menores. Isso indicava que a melhoria de exatidão da máquina de medir apenas otimizando a parte mecânica, já estava no limite e não era viável técnica e economicamente.

Então vieram os avanços na eletrônica e computação, que mudaram radicalmente a estratégia de melhorar a exatidão das máquinas. Nesse novo panorama surgiu a possibilidade de corrigir erros geométricos por meios eletrônicos (no CNC) e matemáticos (no software de medição), o que tornou a melhoria de exatidão das máquinas uma tarefa mais viável técnica e economicamente.

Se antes a parte mecânica era totalmente responsável por manter pequenos os erros aleatórios e sistemáticos, agora a parte mecânica é responsável principalmente por manter a máquina estável e com boa repetitividade, ou seja, com pequenos erros aleatórios. Uma vez que a máquina é repetitiva, os erros sistemáticos podem ser compensados por meios mecânicos, com a ajuda de meios eletrônicos e matemáticos, e essa ajuda foi muito bem vinda (figura 15.9).

Para que todo o processo de correção possa ser iniciado, é necessário que se conheçam os erros da máquina, e esses erros são levantados através da calibração da máquina de medir. Na calibração, a máquina é comparada com padrões como bloco-padrão, padrão escalonado, placa de esferas, laser, etc. e, como resultado, são obtidos os erros geométricos da máquina (figura 15.10).

Esses erros são utilizados pelo pessoal técnico para realizar as devidas correções na máquina. Após cada ajuste na máquina, novos ensaios são realizados para verificar a eficiência desse ajuste.

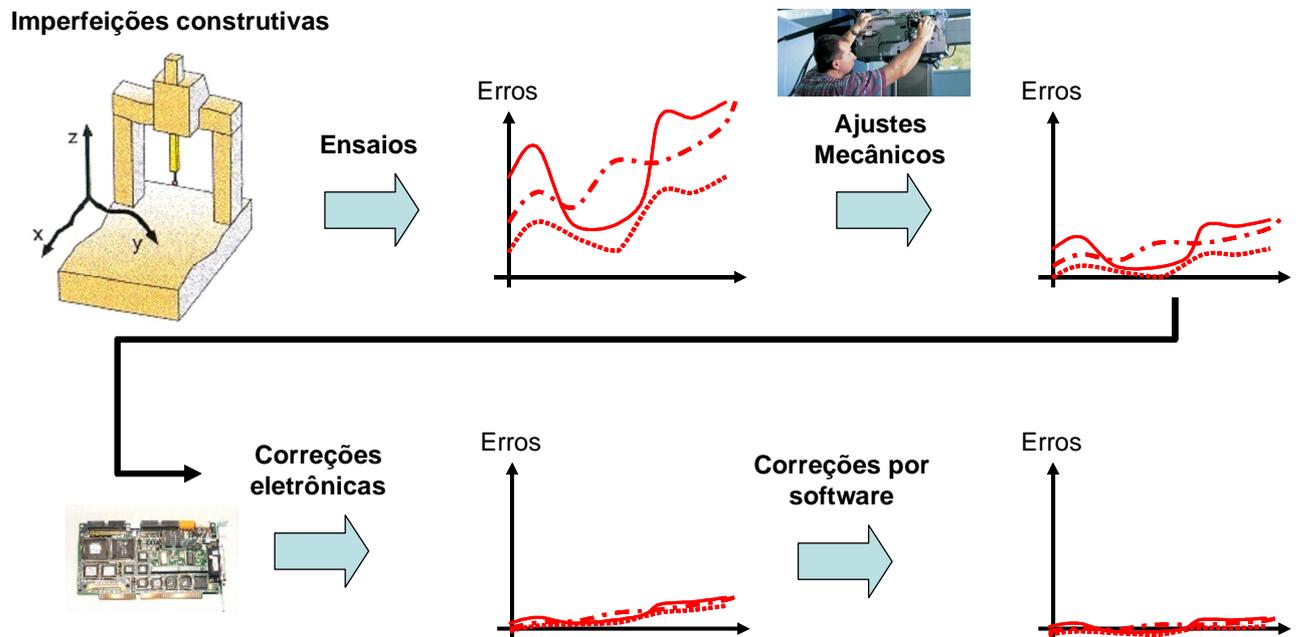


Figura 15.9 – Correção de erros sistemáticos nas máquinas de medir atuais

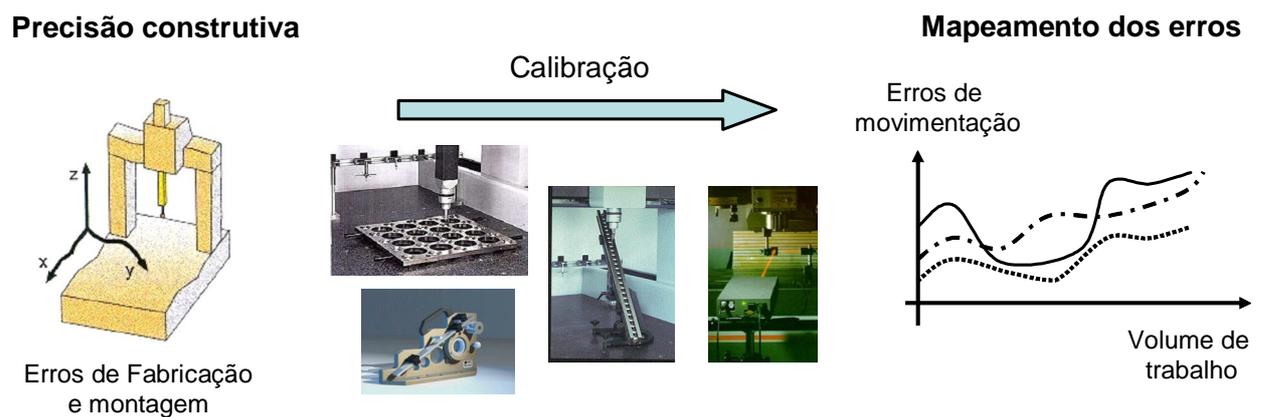


Figura 15.10 – Calibração da máquina de medir por coordenadas

A **correção mecânica** é a primeira etapa para reduzir os erros de medição, quando estes estão muito grandes. Isso é feito ajustando-se mecanicamente a posição e orientação de certos componentes da máquina, até que os erros se reduzam a valores bem pequenos. Se os erros já estão pequenos, muitas vezes não se fazem correções mecânicas. A correção mecânica é bem demorada e requer pessoal técnico altamente especializado na tecnologia da máquina de medir. Abaixo de certa magnitude, a correção de erros se torna inviável e, então, parte-se para as correções eletrônicas.

As **correções eletrônicas** são realizadas alterando-se parâmetros no hardware do CNC da máquina. Nem sempre essas correções são realizadas. Muitas vezes, após a correção mecânica parte-se direto para as correções matemáticas.

As **correções matemáticas** são sempre realizadas quando a máquina se encontra com erros acima dos especificado. O processo ocorre normalmente no software de medição e pode ser visualizado na figura 15.11. Uma vez que se conhecem os erros da máquina, levantados pelos ensaios durante a calibração é possível utilizar esses valores para compensar os erros. Após o ensaio, os erros são introduzidos em um arquivo específico do software de medição, que passa a utilizar os erros como fatores de correção. Os erros dos resultados das medições reduzem-se significativamente.

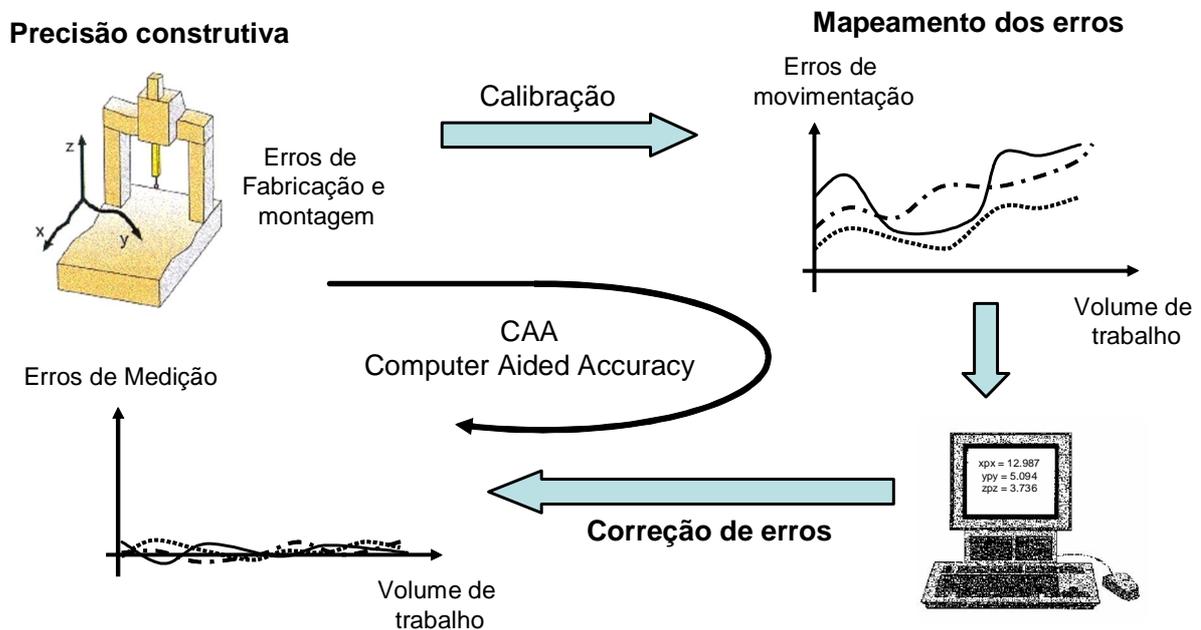
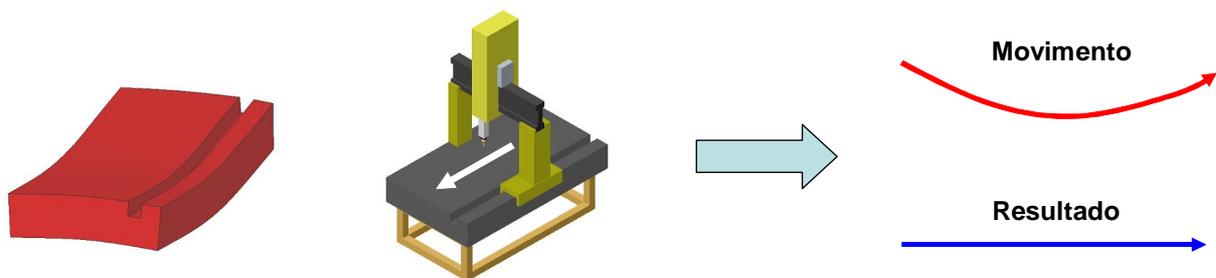


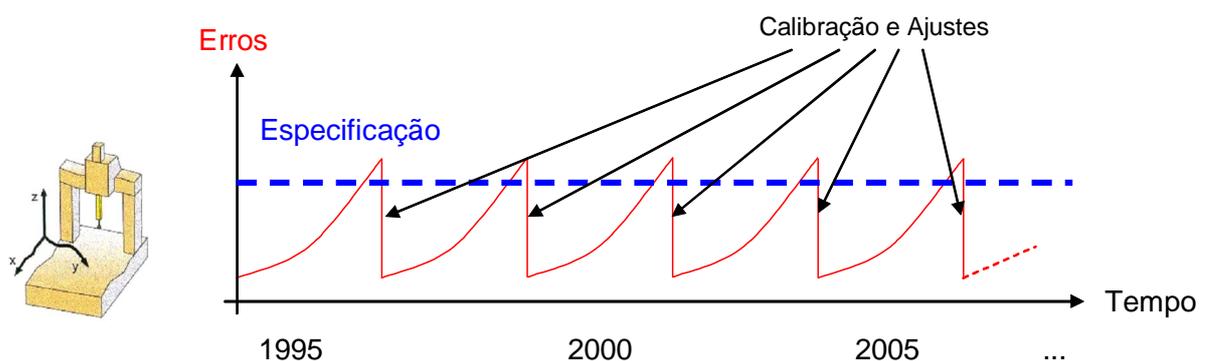
Figura 15.11 – Correção de erros pelo software de medição

A correção de erros por software pode ser feita de duas maneiras. Em algumas máquinas de medir a correção de erros por software corrige apenas o resultado da medição, ou seja, a máquina continua se movendo de forma incorreta. Quando os pontos são adquiridos, entram as correções matemáticas e o resultado é informado de forma corrigida (figura 15.12). Em outras máquinas a correção dos erros é feita na já movimentação da máquina, para os erros geométricos em que isso é possível.



**Figura 15.12 – Correção matemática somente no resultado da medição**

Seja qual for a forma de correção empregada na máquina de medir, é muito importante ressaltar que essa operação precisa ser feita periodicamente. As máquinas de medir, por melhores que sejam, sofrem os efeitos do uso e modificam o seu comportamento geométrico ao longo do tempo. Portanto, é necessário calibrar periodicamente a máquina de medir para manter a correção de erros sempre atualizada, e manter a sua incerteza de medição dentro dos limites especificados pelo fabricante da máquina de medir. A figura 15.13 ilustra essa sistemática de calibrações e ajustes periódicos.



**Figura 15.13 – A importância de calibrações e ajustes periódicos na máquina de medir**