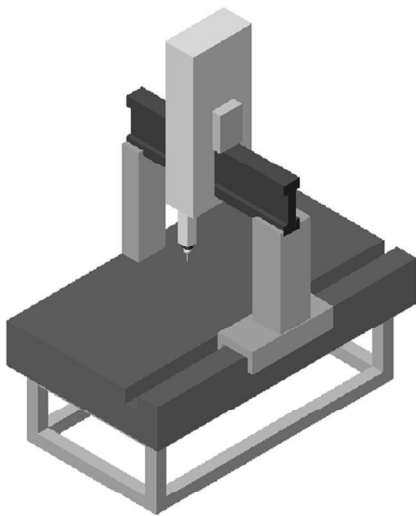


FORMA 3D

FORMAÇÃO AVANÇADA DE METROLOGISTAS 3D

MÓDULO 2

METROLOGISTA 3D – NÍVEL B



FORMA 3D
Nível B ★ ★
METROLOGISTA 3D

André Roberto de Sousa

FORMA3D

“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.”

Daisaku Ikeda

Este material possui finalidade puramente didática e serve única e exclusivamente de apoio aos participantes dos cursos do programa **FORMA3D**. É proibida a sua venda como material em separado ou o seu uso fora do contexto do curso.

FORMA3D

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

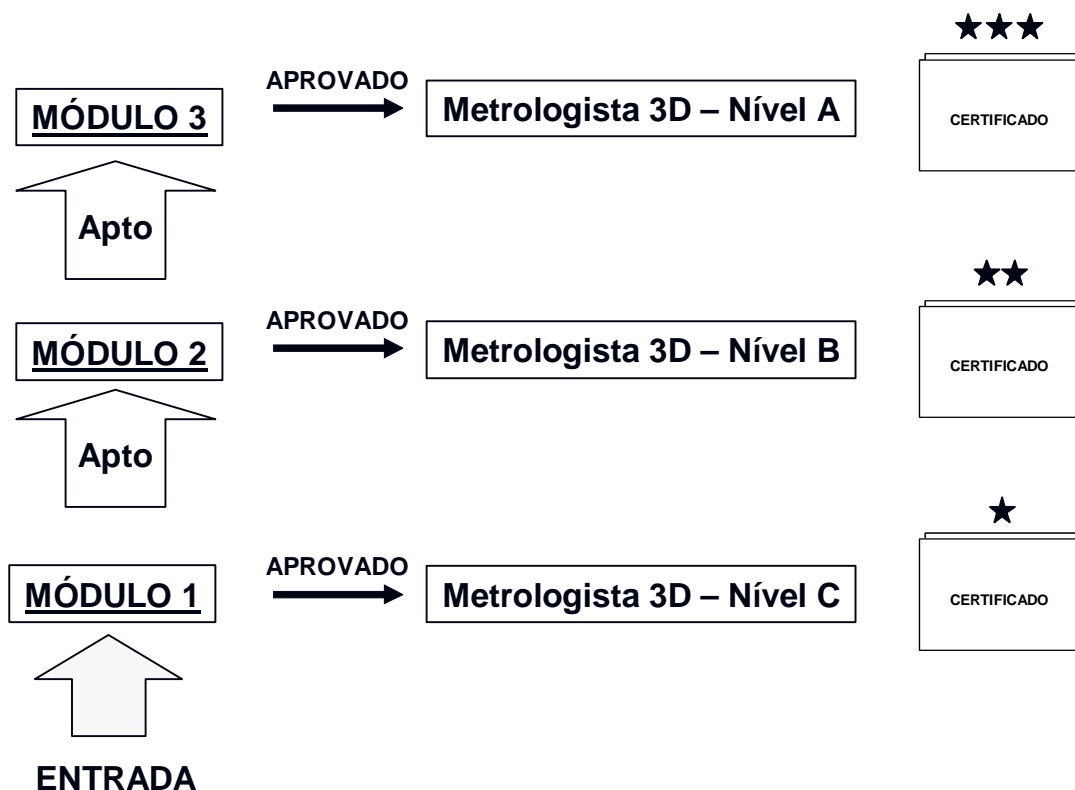
Profissional com competência para interpretar tolerâncias dimensionais e geométricas de acordo com normas internacionais, definir estratégias de medição consistentes, elaborar programas CNC, avaliar a incerteza da medição e verificar a sua confiabilidade em relação às tolerâncias.

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.

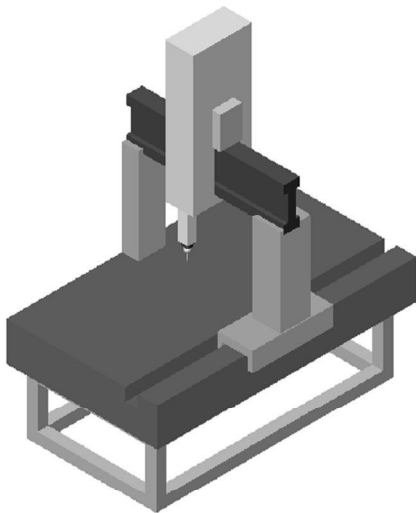
Para consolidar o programa nacionalmente como um curso de formação padronizado e reconhecido pelos usuários da Medição 3D e por órgãos envolvidos com a promoção da Metrologia e da Qualidade no Brasil, o programa FORMA3D permanece em constante articulação com empresas, entidades de classe, instituições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

FORMA3D

FORMAÇÃO AVANÇADA DE METROLOGISTAS 3D

MÓDULO 2

METROLOGISTA 3D – NÍVEL B



FORMA3D
Nível B ★ ★
METROLOGISTA 3D

ÍNDICE

1. Especificação Geométrica de Produtos.....	17
1.1 Variabilidade Dimensional de Componentes Mecânicos	17
1.2 Importância de uma boa Especificação Geométrica do Produto.....	21
1.3 O Cenário Normativo: ISO1101 (GPS) e ASME Y 14.5-M (GD&T).....	25
1.4 Importância da Especificação Geométrica dos Produtos para o Metrologista 3D ..	27
2. Tolerâncias Dimensionais em Acoplamentos	30
2.1 Conceitos Fundamentais e Definições	31
2.2 Tolerâncias Normalizadas	33
2.2.1 Grupos de Dimensões	34
2.2.2 Qualidade de Trabalho.....	35
2.2.3 Unidade de Tolerância.....	36
2.2.4 Campo de Tolerância.....	39
2.3 Ajustes	41
2.3.1 Sistemas de Ajuste	41
2.3.2 Classes de Ajuste	44
2.4 Considerações sobre a escolha do tipo de Ajuste	47
3. GD&T – Fundamentação em Tolerâncias Geométricas.....	50
3.1 Definições e Conceitos Fundamentais	56
3.1.1 Elementos (features).....	57
3.1.2 Elemento Dimensional (Feature of Size – FOS)	58
3.1.3 Grupos de dimensões.....	58
3.1.4 Condição de Máximo Material (MMC)	59
3.1.5 Condição de Mínimo Material.....	60
3.1.6 AMES (ASME Y14.5-M).....	Erro! Indicador não definido.

3.1.7	Princípio de independência	61
3.1.8	Princípio de Taylor e o Requisito do Envelope (ISO 1101).....	62
3.1.9	Regra #1 (ASME Y14.5-M)	64
3.1.10	Condição Virtual.....	66
3.1.11	Referência (Datum).....	67
3.1.12	Dimensões básicas	68
3.1.13	Quadros de controle.....	69
3.1.14	Tolerâncias cartesianas	70
3.1.15	Tolerâncias e símbolos	71
3.2	Referenciamento de peças no espaço tridimensional.....	72
3.2.1	Datum, Elemento Datum e Datum Simulado	75
3.2.2	Datum Primário, Secundário e Terciário	76
3.3	Elementos Geométricos utilizados para definir um Datum.....	78
3.3.1	Linhas e Superfícies	78
3.3.2	Linha de Centro e Plano Médio	82
3.4	Combinação de Elementos para definir um Datum	84
4.	Controle 3D de Tolerâncias Geométricas de Posição e Orientação.....	89
4.1	Posição	89
4.1.1	Símbolo e formas da zona de tolerância.....	92
4.1.2	Princípio de Máximo Material – Bônus de Tolerância m	98
4.1.3	Bônus de Tolerância I	104
4.1.4	Modificador de Independência \mathcal{S} - RFS.....	109
4.1.5	Tolerância de Posição Composta.....	109
4.1.6	Tolerância de Posição Múltipla.....	112
4.1.7	Zona de Tolerância Projetada	113
4.1.8	Controle de tolerância de posição	114
4.2	Paralelismo	119
4.2.1	Paralelismo de uma linha em relação a um plano datum	121
4.2.2	Paralelismo de uma linha em relação a uma linha datum	122
4.2.3	Paralelismo de um plano em relação a um plano datum	123
4.2.4	Paralelismo de um plano em relação a uma linha datum	124

4.2.5	Controle geométrico do paralelismo	124
4.3	Perpendicularidade	128
4.3.1	Perpendicularidade de uma linha em relação a um plano datum	129
4.3.2	Perpendicularidade de uma linha em relação a uma linha datum	130
4.3.3	Perpendicularidade de um plano em relação a um plano datum	131
4.3.4	Perpendicularidade de um plano em relação a uma linha datum	131
4.3.5	Controle geométrico da perpendicularidade	132
4.4	Angularidade	135
4.4.1	Angularidade de uma linha em relação a um plano datum	136
4.4.2	Angularidade de uma linha em relação a uma linha datum	137
4.4.3	Angularidade de um plano em relação a um plano datum	137
4.4.4	Angularidade de um plano em relação a uma linha datum	138
4.4.5	Controle geométrico da angularidade	138
4.5	Concentricidade e Coaxialidade	141
4.5.1	Concentricidade	142
4.5.2	Coaxialidade	142
4.5.3	Controle geométrico da concentricidade e coaxialidade	143
4.6	Simetria	149
4.6.1	Controle geométrico da Simetria	150
4.7	Perfil de Linha e de Superfície	153
4.7.1	Tolerância de Perfil de linha	154
4.7.2	Tolerância de Perfil de superfície	155
4.7.3	Controle geométrico das tolerâncias de perfil	157
5.	Controle 3D de Tolerâncias de Forma e Batimento	162
5.1	Tolerância de Retitude	167
5.1.1	Retitude aplicada a superfícies	168
5.1.2	Retitude aplicada a eixos e linhas de centro	170
5.1.3	Controle geométrico da tolerância de retitude	173
5.2	Tolerância de Planeza	179
5.2.1	Controle geométrico da tolerância de planeza	181
5.3	Tolerância de Circularidade	184

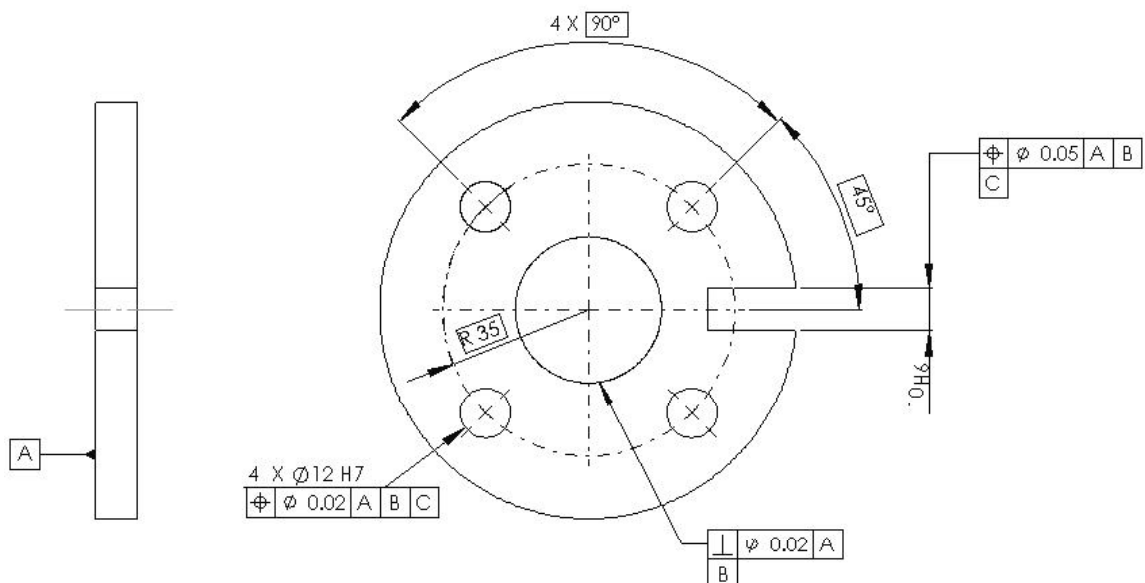
5.3.1	Controle geométrico da tolerância de circularidade	186
5.4	Tolerância de Cilindricidade	189
5.4.1	Controle geométrico da tolerância de cilindricidade	191
5.5	Tolerância de Batimento Circular	195
5.5.1	Controle geométrico da tolerância de batimento circular	198
5.6	Tolerância de Batimento Total	202
5.6.1	Controle geométrico da tolerância de batimento total	204
6.	<i>Tópicos avançados sobre estratégias de medição por coordenadas.....</i>	212
6.1	Medição orientada à característica	212
6.2	Determinação de referências para alinhamento	216
6.3	Elementos de medição e elementos auxiliares.	220
6.4	Seqüência e posição dos pontos para o alinhamento.....	221
6.5	Número e distribuição de pontos.....	225
6.5.1	Definição da estratégia de apalpação.....	225
6.5.1	Linha	228
6.5.2	Plano.....	229
6.5.3	Círculos	230
6.5.4	Esfera.....	232
6.5.5	Cilindro.....	233
6.5.6	Cones.....	237
6.5.7	Elementos parciais e arcos parciais	239
6.6	Parâmetros estáticos de apalpação.....	242
6.6.1	Diâmetro da ponta do apalpador	242
6.6.2	Configuração da haste	243
6.7	Parâmetros dinâmicos de apalpação.....	245
6.7.1	Força de apalpação	245
6.7.2	Velocidades de deslocamento e apalpação.....	249
6.8	Padronização de estratégias de medição.....	252
6.9	Investigando conflitos entre resultados	258

7. Programação CNC de Máquinas de Medir por Coordenadas.....	264
7.1 Importância da correta programação CNC.....	265
7.2 Formas de Programação	272
7.2.1 Programação por aprendizado (<i>Teach-in</i>)	272
7.2.2 Programação <i>off-line</i>	275
7.3 Organização do Programa	283
7.3.1 Planejamento e estruturação do programa.....	283
7.3.2 Documentação do programa.....	284
7.3.3 Interface homem-máquina	287
7.4 Modularização do Programa.....	289
7.4.1 Funções e sub-rotinas.....	289
7.4.2 Macros	292
7.5 Programação parametrizada	293
7.6 Funções matemáticas.....	295
7.7 Funções lógicas	297
7.7.1 Estruturas de decisão	297
7.7.2 Estruturas de repetição.....	301
7.8 Desenvolvimento do programa de medição.....	305
7.9 Debug e Otimização do programa de medição	311
7.10 Validação Operacional e Metroológica	313
7.11 Liberação e gerenciamento dos programas de medição	315
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 317

Capítulo 3

GD&T

Fundamentação em Tolerâncias Geométricas



Obs) Figura com erro intencional, para fins didáticos de discussão em sala de aula

3.1.6 Princípio de independência

O princípio de independência define que:

Cada requisito dimensional ou geométrico especificado no desenho da peça deve ser atendido individualmente, a não ser que alguma relação entre eles seja especificada.

Na prática, isso significa que cada tolerância precisa ser checada separadamente. Se uma determinada tolerância é especificada, o componente será aprovado ou não com referência a essa tolerância em específico. Todos os outros desvios e suas respectivas tolerâncias não serão considerados. O princípio da independência pode ser aplicado em todas as dimensões lineares (e suas tolerâncias), dimensões angulares (e suas tolerâncias) e tolerâncias geométricas. Cada dimensão linear é verificada com um instrumento de dois contatos. Não existe limite para os desvios de forma ou posição.

A figura 3.10 ilustra essa definição. O eixo, mesmo torto, será aceito se os seus diâmetros estiverem dentro da tolerância dimensional, medida localmente com um instrumento de dois pontos de contato (um paquímetro, por exemplo).

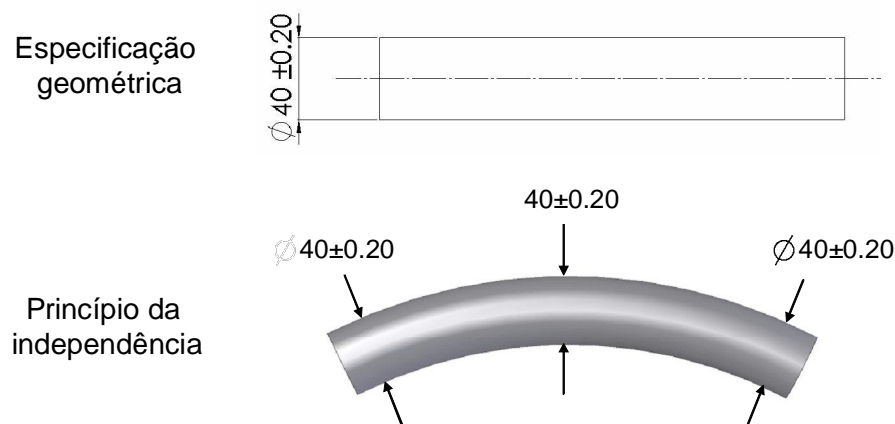


Figura 3.10 – Aplicação do princípio da independência

Embora geometricamente coerente, o princípio da independência possui limitações da sua aplicação visto que para a montagem de um componente os erros de forma e a sua dimensão estão combinados.

3.1.7 Princípio de Taylor

O princípio de Taylor foi definido por F.W. Taylor em 1905 e define que a dimensão de uma peça é a sua dimensão de montagem, ou seja, o diâmetro de um eixo é o diâmetro do furo onde esse eixo monta (figura 3.11).

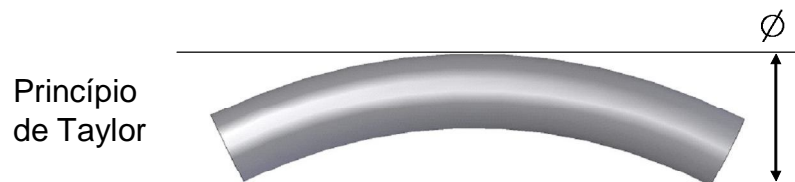


Figura 3.11 – Princípio de Taylor aplicado a um eixo

O princípio coloca que a parte externa de uma peça de acoplamento, por exemplo, um eixo, tem que ser capaz de entrar em um anel de forma perfeita, com diâmetro igual à condição de máximo material especificada para esse eixo, ao longo de todo o comprimento do acoplamento. De forma análoga, um furo tem que ser capaz de montar em um eixo com forma perfeita na sua condição de máximo material, ao longo de todo o comprimento do acoplamento. O diâmetro do eixo não pode ser maior do que o máximo limite em qualquer ponto de medição. A figura 3.12 ilustra esse princípio.

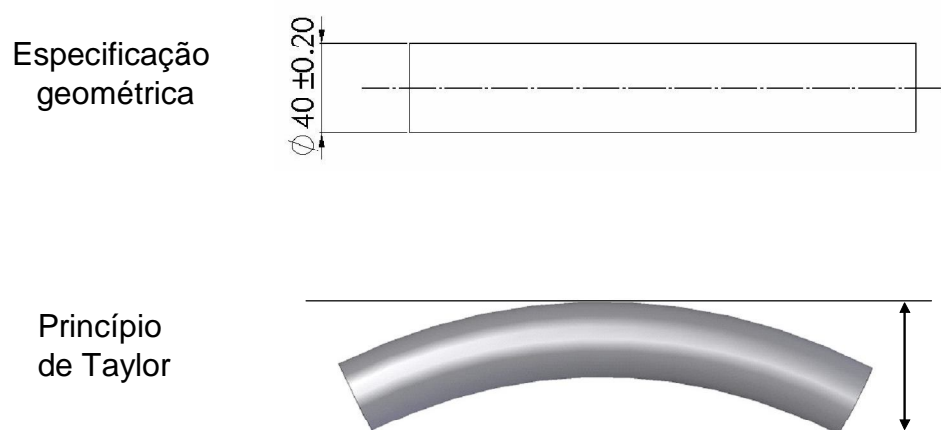


Figura 3.12 – Variação de forma aceitável, segundo o princípio de Taylor

Pelo princípio de Taylor a conformidade efetiva da peça deve ser verificada com um calibre tocando toda a geometria do elemento sendo controlado, enquanto a rejeição deve ser verificada com uma medição com dois contatos. O calibrador passa-não-passa da figura 3.13 ilustra essa condição. O lado passa possui uma geometria cilíndrica enquanto o lado não-passa possui dois contatos.

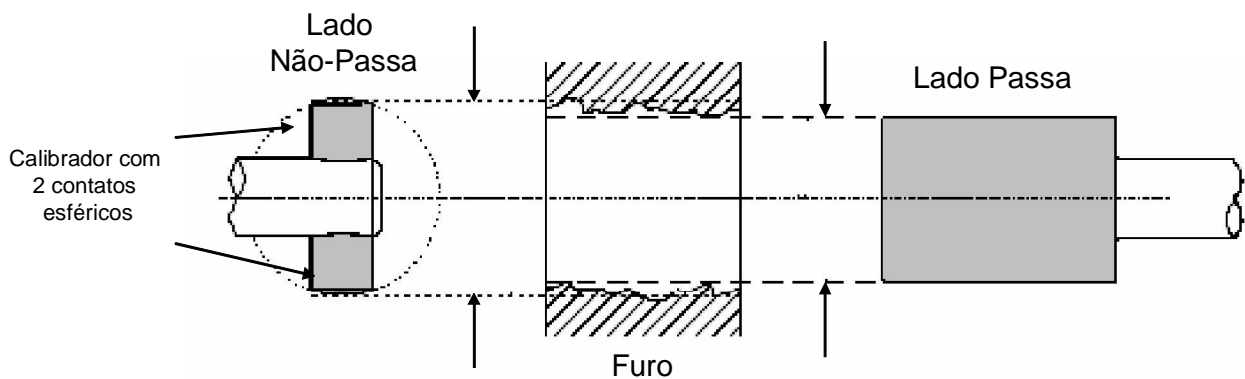


Figura 3.13 – Princípio de Taylor aplicado a um furo

3.1.8 Requisito do Envelope (ISO 1101)

Uma vez que a aplicação do princípio da independência possui limitações funcionais, a norma ISO1101 traz a opção de aplicar o princípio de Taylor. Isso ocorre quando a especificação traz o requisito de envelope, designada pelo símbolo { .

Ao se colocar a condição de envelope, a tolerância dimensional é reduzida dos desvios de forma do componente. Com isso, o envelope geométrico de forma perfeita na condição de máximo material não pode ser excedido. Deve-se ressaltar que o requisito de envelope só pode ser especificado para elementos dimensionais (FOS). Para melhor compreender o requisito de envelope, observe a figura 3.14, onde a mesma peça é tolerada com e sem o requisito de envelope.

Nesse ponto cabe ressaltar uma diferença fundamental entre as normas ISO e a norma ASME. Na norma ASME o requisito de envelope é uma condição normal (default) e não precisa ser destacado. Assim, os desvios de forma devem sempre estar contidos dentro da tolerância dimensional. Isso corresponde à regra #1 da norma ASME, como será visto mais à frente.

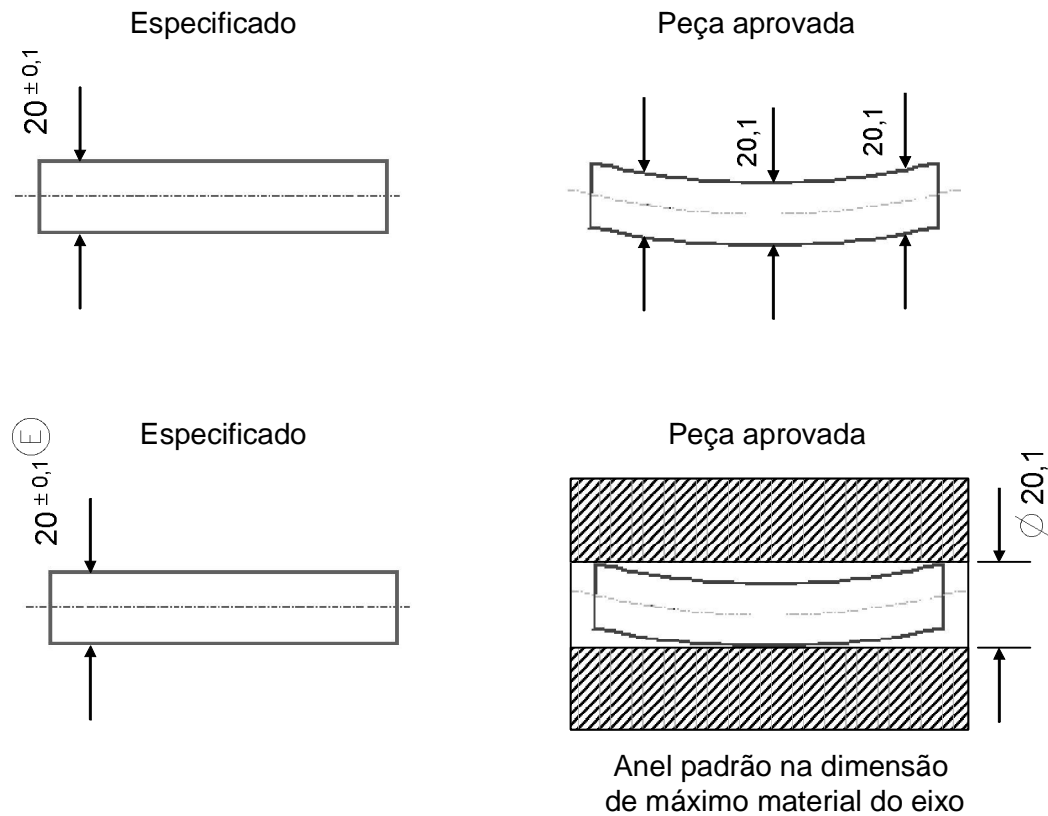


Figura 3.14 - Aplicação do requisito de envelope em um eixo

3.1.9 Regra #1 (ASME Y14.5-M)

Na norma ISO, como já visto, a tolerância dimensional exerce controle somente o tamanho da peça. Quando se quer que a tolerância dimensional também exerça controle sobre características de forma da peça, há a necessidade de vir indicado o requisito de envelope .

Na norma ASME essa condição é automática ou *default*. Ou seja, quando se utiliza somente tolerância dimensional em um elemento FOS, essa tolerância exerce controle sobre a dimensão e também sobre as características de forma dos elementos. A obediência ao princípio de Taylor é assim automática (figura 3.15).

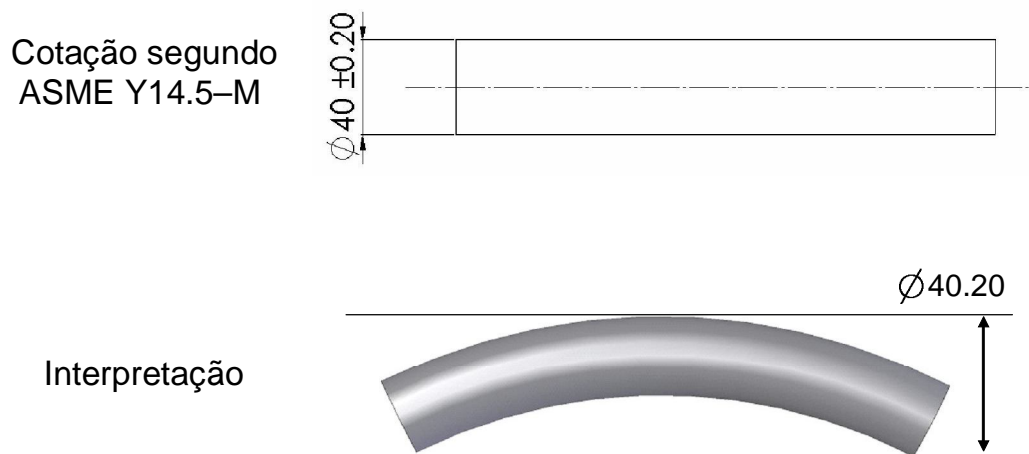


Figura 3.15 – Regra #1 da ASME

Essa é a regra #1 do GD&T segundo a norma ASME. Essa definição acaba por estabelecer três condições:

As variações dimensionais do elemento em qualquer seção devem estar dentro do envelope definido pela AMES (*Actual Mating Envelope Size*).

As superfícies de um elemento não devem ultrapassar o limite de forma perfeita na condição de máximo material (MMC).

Não há exigência de forma perfeita quando o elemento não estiver na condição de máximo material.

Como consequência da regra #1, a tolerância geométrica só faz sentido se for para refinar a tolerância dimensional, ou para garantir o inter-relacionamento entre os elementos.

A figura 3.16 resume esta diferença fundamental entre as normas ASME e ISO.

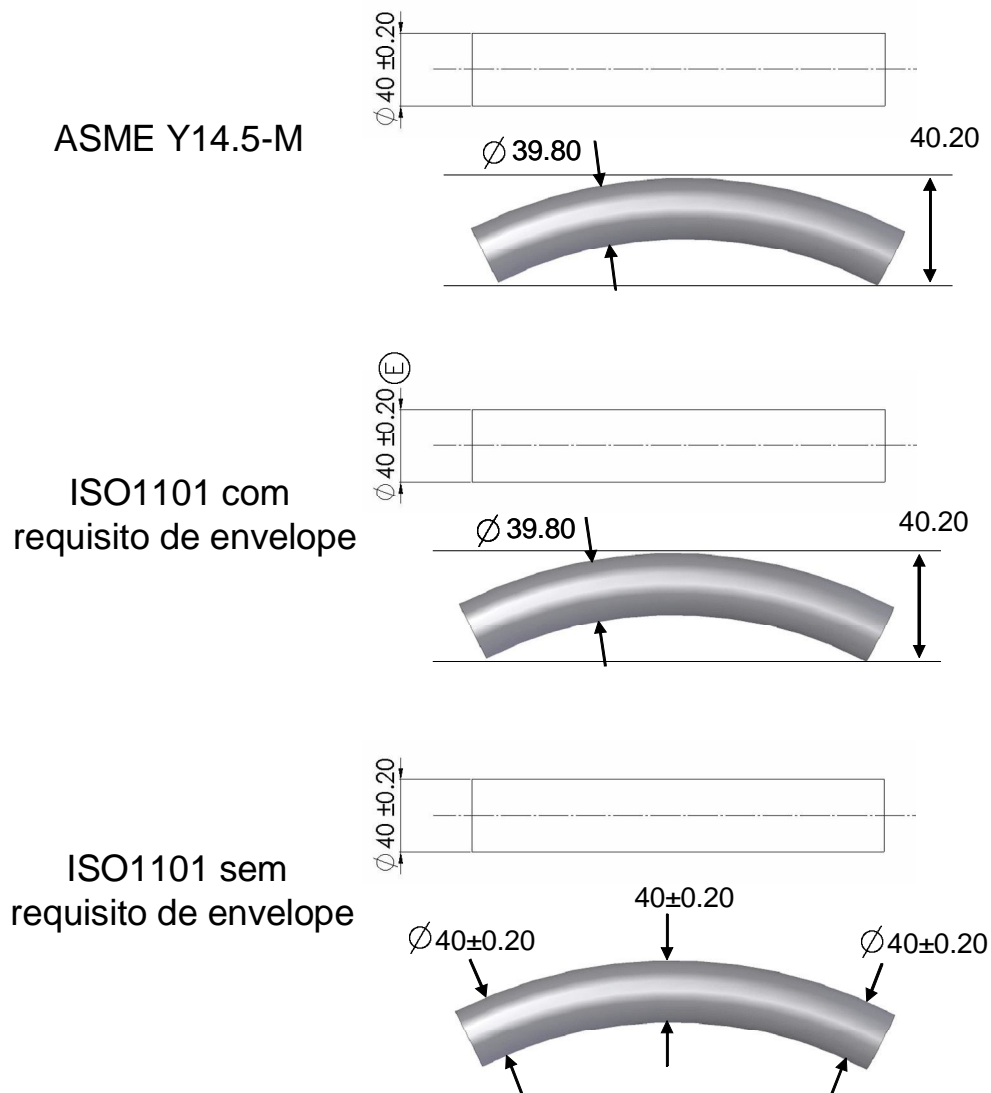


Figura 3.16 – Diferença fundamental entre normas ASME e ISO quanto ao princípio de independência e princípio de Taylor

3.1.10 Condição Virtual

Condição virtual é a dimensão gerada quando se soma ou subtrai o erro geométrico (forma ou posição) da condição de máximo material da peça. Corresponde ao pior caso de contra-peça que ainda garante montagem.