

DEFICIÊNCIAS DA METROLOGIA INDUSTRIAL NO BRASIL NO CORRETO ENTENDIMENTO DO GD&T E NA DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MEDIÇÃO CONSISTENTES PARA O SEU CONTROLE GEOMÉTRICO

André Roberto de Sousa¹, Maurício Wandek²

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

²GDT Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, mauricio.wandek@gdt.eng.br

Resumo: Este trabalho analisa um aspecto de grande importância e atualidade nos ambientes de metrologia da indústria brasileira, que é o entendimento da especificação geométrica de peças mecânicas contida nos desenhos de engenharia com base em normas como a ASME Y14.5 (GD&T) e as normas ISO-GPS, e a utilização dessa informação para a definição de estratégias de medição consistentes com as tolerâncias especificadas. Os autores, com base em suas experiências em projetos com a indústria e em programas de educação continuada em metrologia industrial no Brasil, abordam as principais deficiências observadas neste campo, listam suas conseqüências mais freqüentes e trazem recomendações para minimizar estes problemas.

Palavras chave: Metrologia dimensional, GD&T, Metrologia industrial.

1. O GD&T NA INDÚSTRIA ATUAL

O desafio de desenvolver bons produtos em qualidade e custo depende em muito de um projeto que considere de forma adequada as variações dimensionais admissíveis. Nesse contexto a especificação geométrica de um produto é de fundamental importância para a sua montagem, funcionalidade, segurança e estética. Formalizadas no projeto de produto através dos desenhos de engenharia, a especificação das tolerâncias têm duas funções básicas: expressar como os diversos elementos de um componente se relacionam e determinar o grau de precisão requerido para o produto montado.

Esta especificação permite a comunicação do projeto ao longo de todas as fases do ciclo de vida do produto na empresa, passando pela fabricação (construção geométrica) e pelo controle de qualidade (controle geométrico). É, assim, um meio de incorporar os requisitos do cliente à geometria do produto final (figura 1).

Para expressar esta especificação geométrica, é necessária a utilização de uma linguagem normalizada para a sua especificação e expressão nos desenhos de engenharia [1], e estas linguagens de especificação geométrica têm se disseminado com grande rapidez no Brasil. A mais difundida delas, principalmente em empresas americanas e

seus fornecedores, é a norma ASME Y14.5 [2] conhecida como GD&T (*Geometric Dimensioning and Tolerancing*). Como normalização internacional, o conjunto de normas ISO-GPS (*Geometric Product Specification*) [3] também trata deste tema.

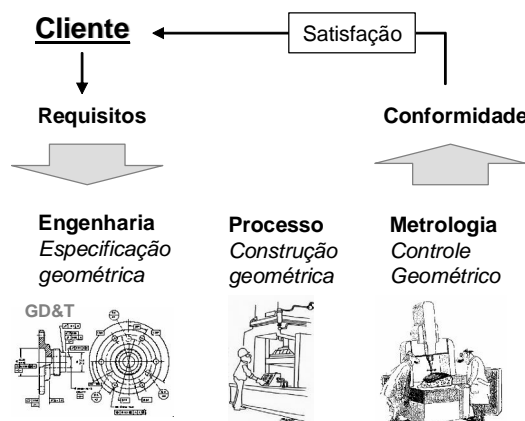


Fig. 1. Ciclo de definição geométrica do produto.

No Brasil se observou nos últimos 15 anos um grande aumento na utilização destas normas de cotação. A globalização no fornecimento de peças, a presença de empresas multinacionais na área metal-mecânica e a disseminação dos sistemas CAD estão entre as principais razões para a presença crescente de desenhos de engenharia com especificações GD&T cada vez mais avançadas.

Por tratar-se de um tema recente e de razoável complexidade, os conceitos de GD&T disseminados nas áreas de engenharia em muitas empresas no Brasil nem sempre ocorreram de acordo como especificam as normas, provocando problemas em várias etapas do desenvolvimento e produção do produto.

Dificuldade semelhante ocorre nos ambientes de metrologia industrial, onde o metrologista precisa entender a especificação GD&T contida nos desenhos e extrapolar esse entendimento para definir estratégias de controle geométrico consistentes com a especificação. Desenhos de engenharia mal cotados podem induzir à prática de procedimentos de medição incorretos, e metrologistas não qualificados no

entendimento e controle do GD&T adicionam mais incerteza na definição do procedimento de medição.

2. INTEGRAÇÃO GD&T/METROLOGIA

Em ambiente industrial a metrologia precisa ter uma competência consolidada no entendimento e uso do GD&T, pois tem o potencial de participar de todo o ciclo de vida dos produtos (figura 2).

A saber:

- Em empresas com prática de engenharia simultânea, o metrologista é chamado a participar do desenvolvimento do produto e da própria especificação geométrica do produto;
- No desenvolvimento dos processos, a construção e aprovação de ferramental e dispositivos de produção têm que utilizar as referências (datums) especificadas, e garantir as tolerâncias. Invariavelmente a metrologia é chamada a contribuir;
- No controle dimensional o metrologista precisa analisar o desenho de engenharia de forma crítica para identificar erros de projeto, ausência ou ambigüidade de informação, etc.
- Além de entender toda a especificação geométrica, o metrologista precisa extrapolar estes conhecimentos para o controle dimensional. Definir procedimentos, especificar equipamentos auxiliares e sistemas de medição que consigam medir a tolerância GD&T especificada nos desenhos de engenharia.



Fig. 2. Importância do GD&T para a Metrologia.

No contexto atual a metrologia industrial deve não somente realimentar o processo produtivo com informações para sua melhoria, mas atuar de forma mais ampla estendendo suas contribuições até a engenharia, e realimentar o processo de melhoria contínua projeto-processo-produto.

Existe assim a grande necessidade de incorporação plena dos conceitos do GD&T pela metrologia dimensional. A inconsistência destes conceitos do GD&T (interpretação e definição de estratégia de medição) provoca erros de medição gerando a “Incerteza do Método”. Em síntese, a Incerteza do Método é provocada pelo entendimento incorreto da necessidade de medição (definição incorreta do mensurando) e, embora se adotem todos os cuidados na

execução da medição, os resultados serão gerados com erros. A figura 3 traz um exemplo nesse sentido, ao se avaliar uma tolerância geométrica de retitude aplicada sobre a linha de centro de um eixo (caixa de controle da tolerância partindo da linha de cota do diâmetro). Caso o metrologista interprete essa tolerância como a retitude da superfície geratriz do eixo, irá estabelecer um procedimento bem diferente do correto.

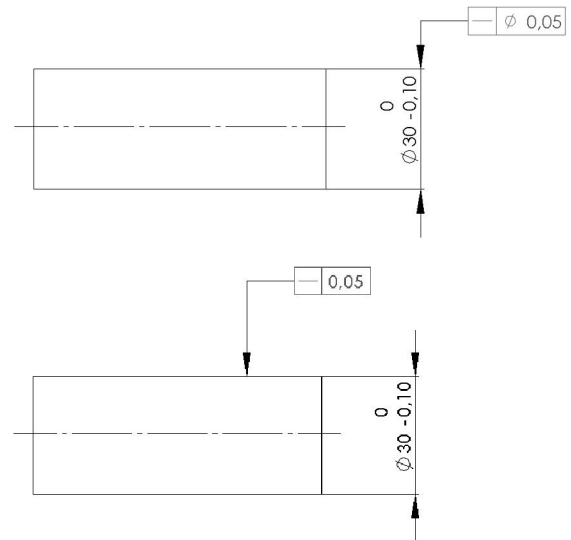


Fig. 3. Retitude aplicada em linha de centro e geratriz.

Outro exemplo pode ser visualizado na figura 4. Ao especificar a geometria da peça o projetista quis assegurar, por razões estéticas, a centragem do furo em relação às bordas da peça, por isso as referências B e C são os planos médios da peça (referências alinhadas com cotas dimensionais do retângulo). Caso o metrologista entenda que as referências B e C tratam-se das faces laterais da peça, vai controlar a posição do furo em relação a uma referência errada.

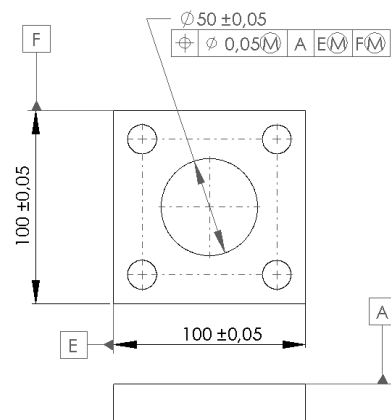


Fig. 4. Estabelecimento da referência por planos médios.

Esse dois exemplos simples ilustram como pequenas diferenças nos desenhos de engenharia implicam em grandes diferenças no entendimento e na estratégia de medição a ser implementada para o controle da tolerância. Esse quadro piora à medida que os desenhos de engenharia possuem uma especificação geométrica mais complexa.

3. DEFICIÊNCIAS NA INTEGRAÇÃO DO GD&T COM A METROLOGIA NA INDÚSTRIA NACIONAL

No Brasil percebem-se deficiências no entendimento e correta aplicação do GD&T em departamentos de engenharia e em salas de metrologia. O conhecimento superficial das normas de especificação geométrica de produtos e a pouca experiência na extrapolação desses conhecimentos para a definição de boas práticas de medição estão dentre as principais deficiências encontradas, causando problemas como:

- Erros no entendimento de referências e tolerâncias
- Desconhecimento ou entendimento errado de recursos de cotagem mais avançados
- Dificuldade em analisar o desenho de forma crítica, identificando inconsistências de cotagem
- Definição de procedimentos de medição incompatíveis com referências e tolerâncias
- Geração de resultados com nível de incerteza incompatível com a tolerância especificada
- Dentre outros

Além da dificuldade de lidar com as especificações GD&T em si, existe ainda a dificuldade de validar o procedimento de medição, ou seja, avaliar a incerteza de medição e verificar se está adequada frente à tolerância controlada.

Algumas práticas são bastante comuns nas salas de medidas de muitas indústrias no Brasil. A figura 5 mostra uma prática bastante disseminada que é o uso de dispositivos de controle para controlar tolerâncias geométricas em peças que estão cotadas sem bônus de máximo material (**m**). Somente peças cotadas com esse bônus podem ser controladas com dispositivos, pois o dispositivo representa a condição de montagem e no seu dimensionamento a existência de bônus de máximo material é sempre considerada.

Neste caso acabam ocorrendo conflitos em salas de medidas de peças que são reprovadas na medição por coordenadas, mas que acabam sendo aprovadas no dispositivo. Isso ocorre, pois na medição por coordenadas não se está considerando o bônus **m** o que acaba sendo um controle bem mais exigente do que somente a montagem no dispositivo.

Se o projetista não especificou o bônus de máximo material, deve-se considerar que o requisito principal não é a montagem, mas sim uma característica funcional ou estética. No eixo escalonado acima o bônus iria aumentar o erro de coaxialidade existente entre os dois diâmetros, potencializando vibrações caso essa peça trabalhe em rotação.

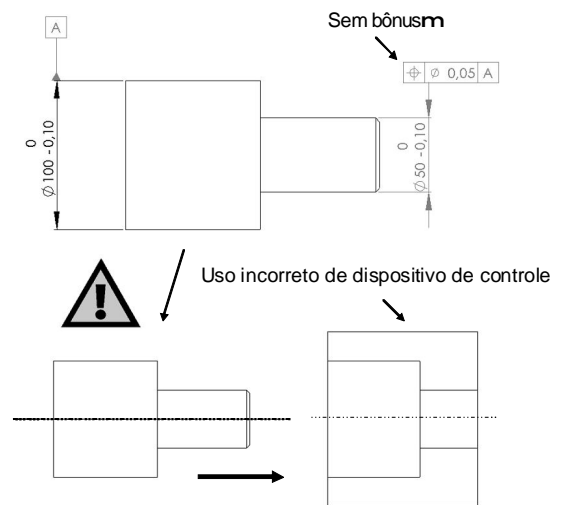


Fig. 5. Uso incorreto de controle com dispositivo em tolerância sem bônus **m**

Uma outra prática comum é a de desconsiderar a variação geométrica ao longo de todo o elemento tolerado. O GD&T considera que a tolerância aplicada a um elemento geométrico tem que ser atendida ao longo de todo o seu comprimento. A posição aplicada ao furo da peça mostrada na figura 6 tem que ser atendida ao longo de todo o elemento tolerado, e não somente em uma altura, como é prática. Para um controle confiável a medição deveria ser realizada em, pelo menos, duas alturas próximas às extremidades do furo.

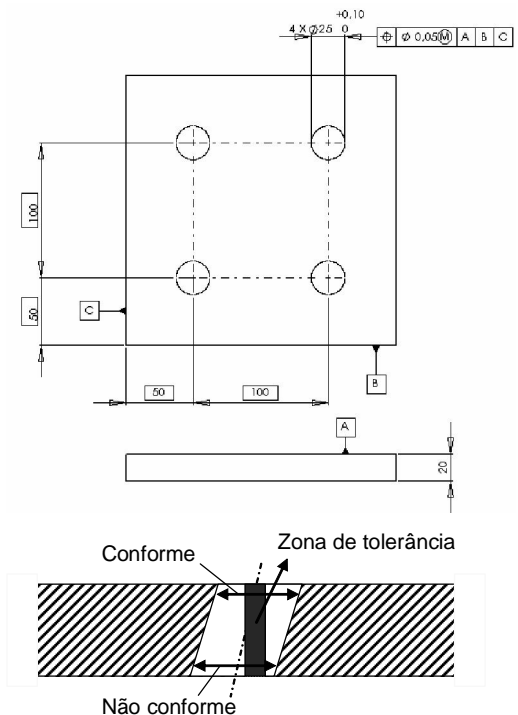
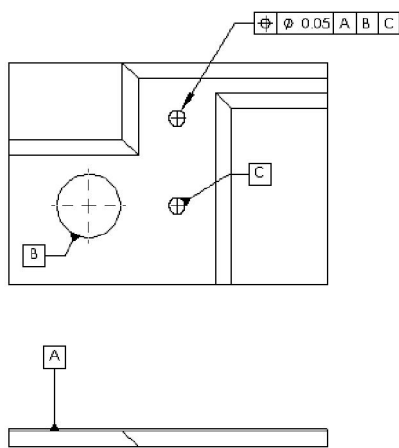


Fig. 6. Necessidade de controle da tolerância ao longo do elemento tolerado

A definição da seqüência com que as referências são estabelecidas na medição por coordenadas frequentemente gera erros de medição. É muito comum que as referências primária, secundária e terciária sejam medidas e que a origem do sistema de coordenadas seja estabelecida pela referência (datum) terciária. Na peça mostra anteriormente na figura 6, por exemplo, a origem do sistema de coordenadas é definida pela referência terciária (alinhamento 3-2-1). No entanto, em função do tipo de elemento geométrico empregado para definir a referência secundária na figura 7, já se define aí a origem do sistema de coordenadas. O furo 1 trava a posição da peça e define a origem XY. O furo 2 trava a rotação da peça em torno do eixo Z e define o alinhamento da peça. Nesse caso, a origem ficou na referência secundária e não na terciária.



- 1: Plano primário (eixo Z)
 2 e 3: Furos que definem a linha secundária (eixo Y)
 2: Furo que define origem dos eixos X e Y

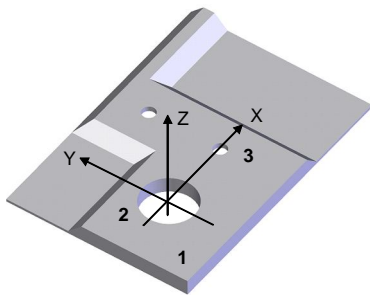


Fig. 7. Origem do sistema de coordenadas definido pela referência secundária

Além dessas dificuldades de entendimento do GD&T pelo metrologista, existem erros de cotagem que dão origem a dúvidas no momento da medição. Desenhos sem referências ou com referências em posições não funcionais para a peça, tolerâncias mal definidas, tolerâncias que conflitam entre si, etc. potencializam erros de medição com conseqüências sérias para a qualidade de produtos e eficiência de processos. Nesse caso o conhecimento do metrologista é muito útil para se ter um olhar crítico sobre

os desenhos de engenharia, identificando erros de cotagem antes de partir para a medição das peças.

Um outro problema comum nas salas de medidas, não exclusivo do controle de tolerâncias GD&T, diz respeito à incompatibilidade entre o nível da tolerância e a incerteza do processo de medição. Da mesma forma que na medição das tolerâncias dimensionais, é necessário que a incerteza de medição seja bem menor do que a tolerância geométrica controlada. Padrões representativos da geometria a ser controlada ou peças, calibradas ou não, podem ser empregados para avaliar a incerteza do processo de medição da tolerância GD&T.

4. RECOMENDAÇÕES PARA REDUZIR OS PROBLEMAS NA INTEGRAÇÃO DO GD&T COM A METROLOGIA

Para reduzir a ocorrência desses problemas é importante investir tempo e recursos em uma série de ações, tais como:

a) Qualificar o pessoal da Metrologia em GD&T.

A formação do pessoal envolvido nas tarefas de controle do GD&T é absolutamente necessária e a ação mais urgente a ser implementada. Infelizmente no Brasil o tema GD&T ainda é muito pouco abordado em cursos técnicos e de engenharia. A abordagem em geral é superficial e muitas vezes repleta de erros conceituais. A qualificação em cursos específicos de curta duração, presenciais e à distância, é a opção mais praticada no Brasil, para suprir a deficiência dos cursos de formação regulares [4].

b) Aproximar e integrar a engenharia com a metrologia.

No ambiente da manufatura atual é necessário que as atividades de engenharia, produção e qualidade estejam bem integradas, para potencializar a qualidade de produtos e a eficiência de processos. A integração entre a engenharia com a metrologia em muitas empresas é um grande facilitador do desenvolvimento mútuo dessas áreas no campo do GD&T, essencial em um ambiente de engenharia simultânea. Nesse ambiente, a especificação geométrica definida pela engenharia é realimentada por informações da metrologia proporcionando uma melhoria contínua da especificação GD&T e das estratégias de medição para o seu controle geométrico.

c) Desenvolver, validar, padronizar e documentar estratégias de medição para as tolerâncias GD&T.

As estratégias de medição, uma vez desenvolvidas, devem ser validadas metrologicamente para que se verifique na prática que a incerteza do processo de medição é bem inferior à tolerância controlada. Uma vez validadas, as estratégias de medição devem ser documentadas e arquivadas no sistema da qualidade da empresa. Muitas empresas possuem um banco de informações de estratégias de medição GD&T com procedimentos já validados em momentos anteriores. Esse histórico permite que se

padronize o uso de procedimentos de medição já aprovados, e facilita um contínuo desenvolvimento de práticas metrológicas aplicadas para o controle do GD&T.

d) Praticar o controle do GD&T.

Somente a prática contínua de medições de tolerâncias GD&T irá desenvolver no metrologista a capacidade de entendimento e um olhar analítico sobre a especificação geométrica dos desenhos de engenharia. O desenvolvimento de um olhar crítico sobre os desenhos deve ser motivado dentre os metrologistas, como forma de identificar inconsistências de cotação antes das medições, e realimentar o processo de melhoria dos desenhos.

e) Atualizar a norma técnica NBR 6409

A norma técnica brasileira de cotação geométrica está obsoleta. Os seus conceitos refletem a prática industrial dos anos 70. A demanda atual por produtos mecânicos complexos e de baixo impacto ambiental exige que os projetistas utilizem uma nova linguagem de projetos para especificar as características geométricas. A nova geração de produtos que está sendo desenvolvida pelos países industrializados já utiliza estes recursos, sem os quais não será possível fabricá-los. O primeiro passo para participar do mercado de produtos de classe mundial é o conhecimento das normas técnicas internacionais. Por exemplo, a norma ASME Y14.5 acaba de ser atualizada com mais de 100 modificações. A figura 8 ilustra alguns dos recursos de cotação desta norma.

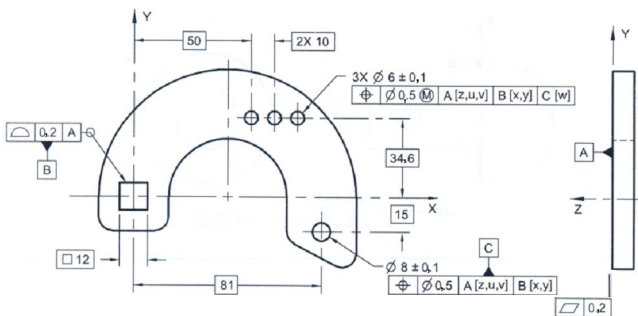


Fig. 8. Recursos de cotação da norma ASME Y14.5, atualizada em 2009

5. CONCLUSÕES

Este trabalho abordou alguns dos principais desafios existentes na integração da especificação geométrica dos produtos contidas nos desenhos de engenharia com os procedimentos de medição praticados para o controle geométrico das tolerâncias especificadas. O tema possui grande relevância das atividades de metrologia em ambiente industrial no Brasil, dada a disseminação de normas como a ASME Y14.5 e ISO1101 na cotação de

produtos mecânicos, e devido à pouca proficiência nesse tema ainda encontrada em muitos ambientes de metrologia na indústria nacional. O trabalho exemplificou algumas das principais deficiências na integração entre o GD&T e a metrologia, com exemplos de erros de medição que ocorrem com frequência por causa do entendimento incorreto do GD&T e/ou a incorreta extrapolação dos conceitos para a definição de procedimentos de medição. Foram listadas também algumas recomendações para minimizar problemas decorrentes de desenhos mal cotados e de estratégias de medição inadequadas para o controle de tolerâncias GD&T.

REFERÊNCIAS

[1] SOUSA, A.; SILVA, D.; WANDEK, M. GD&T e cálculo computacional de tolerâncias permite quantificar a qualidade ainda na fase de projeto. Revista Máquinas e Metais, 2004.
 [2] ASME Y14.5M – 2009 Geometric Dimensioning and Tolerancing.
 [3] Norma ISO 1101: Geometrical Product Specifications (GPS) — Geometric tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out, 2004.
 [4] http://www.gdt.eng.br/curs_gdtonline.php Website de Curso de GD&T à distância. Consultado em Julho e 2009.