



II CIMMEC
2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE METROLOGIA MECÂNICA
DE 27 A 30 DE SETEMBRO DE 2011
Natal, Brasil

DESAFIOS OPERACIONAIS E METROLÓGICOS DA MEDIÇÃO POR COORDENADAS NO AMBIENTE DE MANUFATURA DIGITAL

*Sousa, André R.*¹, *Wandeck, Maurício*²

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

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

Resumo: Com o surgimento e crescimento das tecnologias de manufatura digital e do conceito de *Model Based Definition (MBD)* nas empresas, caminha-se para a eliminação completa de desenhos 2D em papel, exigindo que todas as especificações técnicas de um produto estejam contidas em um único modelo CAD 3D, que será utilizado ao longo de todo o ciclo de vida deste produto, das simulações, passando pela sua manufatura e seu controle dimensional. Neste ambiente as atividades de medição precisam incorporar novos conceitos e tecnologias para operar de forma eficiente e, principalmente, confiável no controle geométrico de produtos. Este artigo situa-se nesse contexto, apresentando e discutindo as vantagens do conceito MBD e os desafios tecnológicos que a medição por coordenadas precisar vencer para incorporar-se no ambiente de manufatura digital.

Palavras chave: Metrologia Dimensional, Medição por Coordenadas, Manufatura Digital, Model Based Definition (MBD)

1. MANUFATURA DIGITAL E O *MODEL BASED DEFINITION*

A incorporação da computação e da automação ao ambiente de produção industrial provocou mudanças radicais na condução da manufatura. O projeto de produtos incorporou as tecnologias de CAD e CAE, a fabricação recebeu as tecnologias de CAM, dentre outras tecnologias CAX. Neste ambiente as definições técnicas do produto e a forma de produzir sofreram alterações profundas, com reflexos em toda a cadeia produtiva. Ao conjunto destas tecnologias de auxílio ao desenvolvimento de produtos e produção convencionou-se chamar de Manufatura Digital [1].

Como resultado do crescimento contínuo da presença destas tecnologias na produção industrial, muitos avanços e novos conceitos foram surgindo, e um dos últimos consiste no *MBD – Model Based Definition*, nascido nas empresas da área aeroespacial americanas [2]. Neste conceito, todas as

definições técnicas que um produto necessita para ser desenvolvido, fabricado e medido devem estar contidas em um único modelo CAD 3D, abolindo desenhos em papel e qualquer representação em 2D. Neste conceito de manufatura, um mesmo modelo CAD é empregado ao longo de todo o ciclo de vida do produto (figura 1). [2]

A essência do MBD consiste em concentrar em um só arquivo digital todas as informações necessárias para que o produto seja gerado. Com isso, facilita-se grandemente o gerenciamento das informações, a atualização destas informações e minimizam-se erros de comunicação. No ambiente de terceirização que predomina na indústria isto é extremamente vantajoso. Atividades de análises, simulações, prototipagem, produção, montagem, inspeções e mesmo manutenção e suporte pós-venda são realizadas com a informação contida em um único modelo 3D (figura 1).

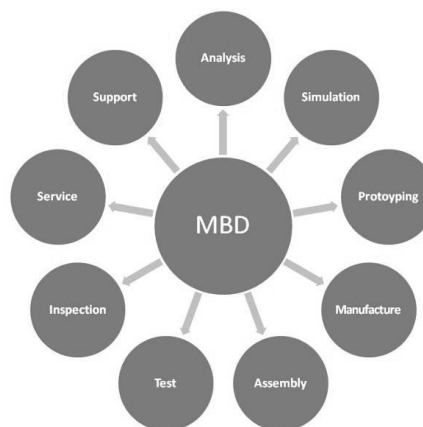


Fig. 1. Conceito do MBD – Model Based Definition [1]

2. A ESPECIFICAÇÃO GEOMÉTRICA DO PRODUTO E O CONTROLE DIMENSIONAL NO CONCEITO MBD

Dentre as definições que o modelo CAD 3D deve conter, estão as informações sobre a sua especificação geométrica:

suas dimensões, suas referências e suas tolerâncias. Ou seja, toda a especificação gerada com o GD&T (*Geometrical Dimensioning and Tolerancing*) [3] deve estar indicada sobre o modelo CAD 3D, eliminando os desenhos em 2D e suas representações de vistas, cortes, etc.

Em outras fases ao longo do ciclo de vida do produto (simulações CAE e manufatura CAM) (figura 2) a informação do material da peça e da geometria do produto é suficiente, mas para o controle geométrico do produto, a informação das especificações do GD&T é absolutamente necessária. As referências (datums) os quadros de controle com a especificação das tolerâncias e toda a simbologia normalizada do GD&T, tradicionalmente formalizada nos desenhos de engenharia, no conceito MBD são formalizadas diretamente no modelo 3D. A figuras 3 e 4 ilustram esta mudança de paradigma no que se refere à especificação geométrica de produtos.

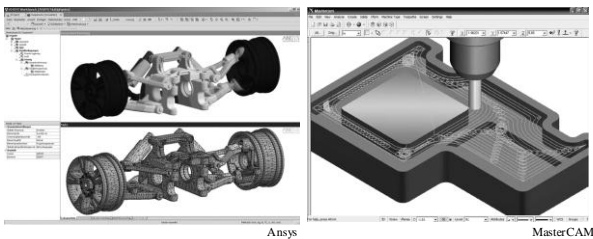


Fig. 2. Modelos CAD 3D em ambientes de CAE e CAM

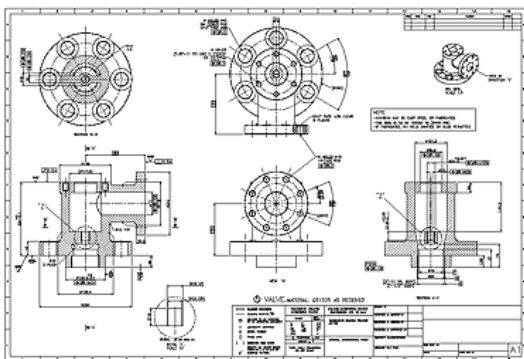


Fig. 3. Especificação GD&T do Produto indicada em desenhos 2D

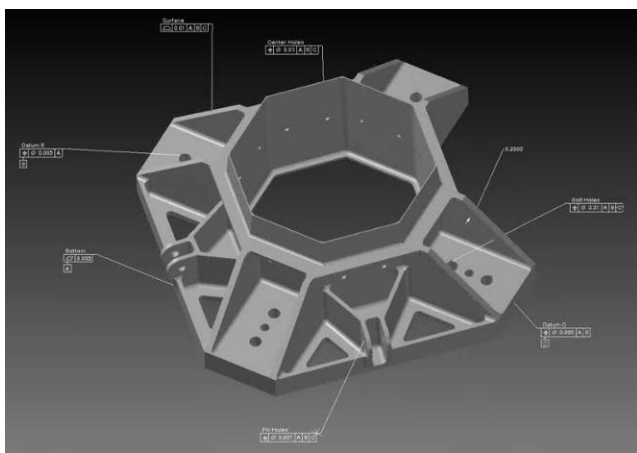


Fig. 4. Especificação GD&T do Produto indicada no modelo CAD 3D

3. DESAFIOS METROLÓGICOS NO AMBIENTE DE MANUFATURA DIGITAL

A mudança de conceito com o MBD traz novos desafios tecnológicos para a área de metrologia industrial, notadamente para a área de medição por coordenadas, dentre elas:

- Extrair a informação da especificação GD&T contida no modelo virtual 3D
- Interpretar corretamente esta especificação
- Definir e aplicar estratégias de medição adequadas
- Processar os resultados obtidos e comparar com as especificações geométricas

Estes desafios se ampliam cada vez mais à medida que a especificação GD&T fica cada vez mais complexa, dados os requisitos de desempenho, qualidade e custo cada vez mais exigentes nos produtos. Assim, para o atendimento destes requisitos de forma eficiente e confiável é fundamental que a metrologia incorpore na sua função os conceitos de manufatura digital, ou seja:

Um único modelo CAD 3D para Desenvolver, Produzir e Qualificar o produto.

Dada a medição por coordenadas ser a tecnologia mais empregada para o controle geométrico de produtos na indústria, o desenvolvimento de soluções de manufatura digital tem ocorrido principalmente nesta tecnologia. Os softwares de medição por coordenadas terão que passar por otimizações na direção de se adequarem à filosofia MBD, avançando em aspectos como:

- Interpretar arquivos digitais gerados com a especificação do GD&T já contida nos modelos CAD 3D;
- Interpretar a especificação GD&T contida em modelos CAD 3D;
- Orientar o operador da máquina de medir sobre a estratégia de medição;
- Processar os pontos medidos, construir os elementos geométricos e confrontar com a especificação geométrica contida no modelo CAD;
- Comparar em tempo real os resultados da medição contra o modelo CAD 3D, sinalizando sobre a conformidade ou não conformidade do produto;
- Emitir relatórios com os resultados das medições diretamente sobre o modelo CAD 3D.

Além disso, os softwares deverão incorporar funções normalmente presentes em sistema CAD, como a colocação de tolerâncias sobre modelos 3D, no caso deste ainda estar sem a especificação geométrica.

Observa-se que a lista de requisitos não é pequena, bem como a complexidade destes é considerável para a metrologia industrial se incorporar de forma plena ao ambiente de manufatura digital. Estes desafios têm merecido a atenção de fabricantes de sistemas de medição, notadamente de software de medição por coordenadas [4].

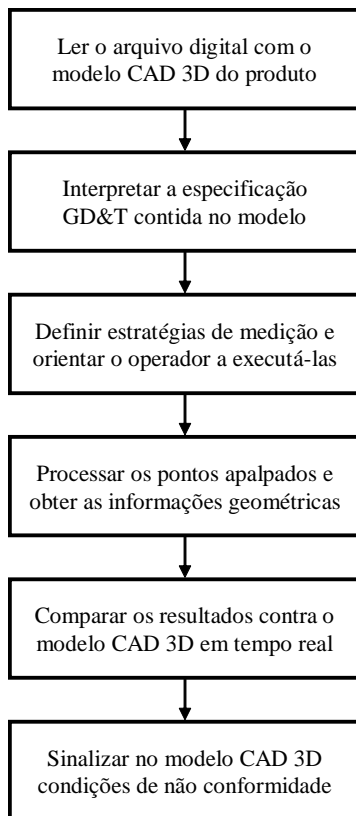


Fig. 5. Requisitos operacionais dos softwares de medição por coordenadas no conceito do Model Based Definition

4. CARACTERÍSTICAS DO CONCEITO MBD APLICADO NAS ATIVIDADES DE MEDIÇÕES

Nos últimos tempos o GD&T disseminou-se com muita velocidade nas empresas. A qualidade da especificação geométrica tem merecido cada vez mais atenção das empresas, dada a importância estratégica que o projeto de tolerâncias e referências possui na vida do produto.

Este crescimento do GD&T tem gerado desenhos com especificações geométricas cada vez mais avançadas para os produtos, e este avanço tem trazido dificuldades para a área de medição por coordenadas dado o aumento da dificuldade de interpretação dos desenhos 2D e suas tolerâncias. Como a interpretação dos desenhos é a primeira etapa no controle geométrico de produtos, potencializam-se erros na definição das estratégias de medição por coordenadas.

A figura 6, por exemplo, possui diversas tolerâncias geométricas e referências com certo grau de complexidade. Muitos desenhos incluem ainda tolerâncias de posição e de perfil compostas, duas das especificações mais complexas em peças aeronáuticas e que exigem boa capacidade de cálculo dos softwares de medição das máquinas de medir por coordenadas. Esta dificuldade de interpretação da especificação geométrica é causa freqüente de erros nas estratégias de medição por coordenadas. O metrologista define uma estratégia incorreta e a incorpora a um programa de medição automático, levando a erros de avaliação geométrica do produto com conseqüências graves. Algumas vezes o software de medição por coordenadas não possui

recursos de medição prontos para certos tipos de tolerâncias, obrigando uma adaptação e/ou improvisação por parte do metrologista para tentar medir certas tolerâncias geométricas, aumentando os riscos de erros nas estratégias de medição e processamento de resultados.

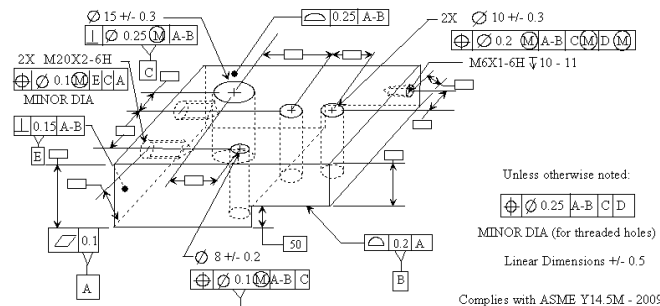


Figura 6 – Produto com especificação geométrica avançada

Neste aspecto o conceito MBD traz enormes vantagens em potencial pelo fato do software de medição possuir um interpretador de tolerâncias e orientar o operador do sistema de medição acerca de como medir. Com a evolução matemática destes programas de medição tem havido e haverá uma incorporação contínua de novos recursos de medição do GD&T aos softwares de medição por coordenadas, tornando mais fácil e segura a medição de peças mesmo com especificação geométrica avançada (figura 7).

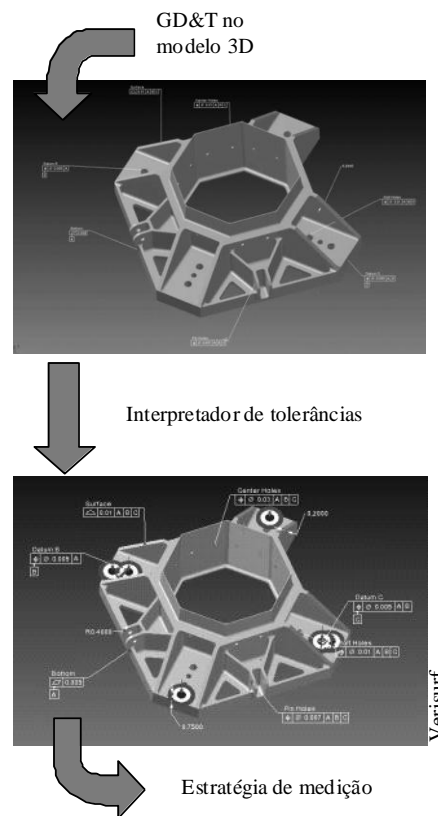
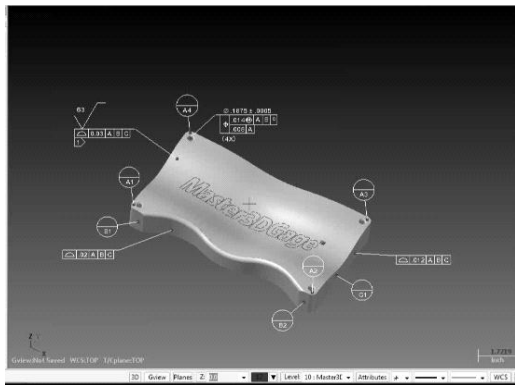
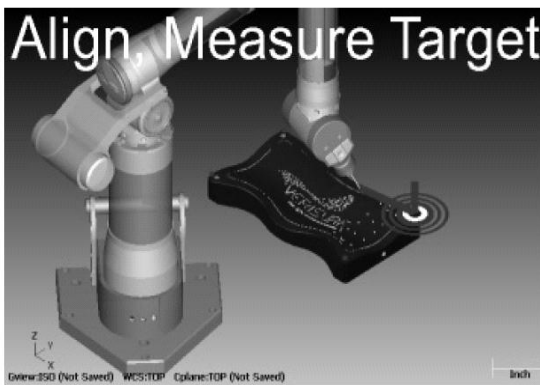


Figura 7 – Conceito MBD auxiliando a medição por coordenadas de peças com especificação geométrica avançada

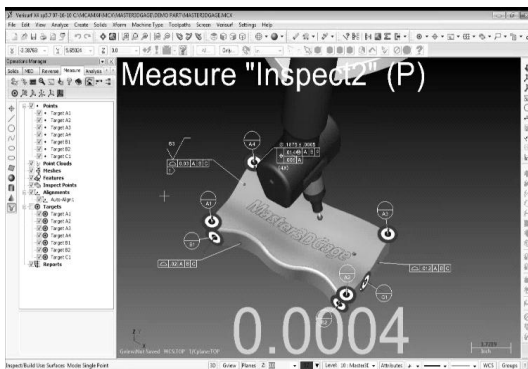
Outra vantagem deste conceito consiste na possibilidade de comparação em tempo real dos resultados medidos contra o modelo CAD 3D, que está presente em todo o processo de medição. Dessa forma, os resultados e eventuais não conformidades geométricas podem ser sinalizadas também em tempo real, possibilitando análises geométricas imediatas e bem mais ricas, como mostra a figura 8. Após finalizado o processo de medição o relatório é gerado também automaticamente, fechando o ciclo de qualificação geométrica do produto.



Interpretação da especificação GD&T



Orientação da estratégia de medição



Sinalização de resultados em tempo real

Figura 8 – Sinalização dos resultados em tempo real sobre o modelo CAD 3D e geração automática do relatório de medição [5].

Esta sinalização dos resultados em tempo real sobre o modelo CAD permite que a medição seja utilizada com

maior facilidade para ajuste de ferramental e dispositivos de produção, ou mesmo montagem de produtos. O software permite sinalizar um local teoricamente exato onde deve ser posicionada uma parte de um dispositivo ou mesmo uma peça em uma montagem mecânica. Neste caso, a máquina de medir pode ser utilizada como uma ferramenta valiosa de auxílio à montagem de ferramental ou produtos (figura 9).

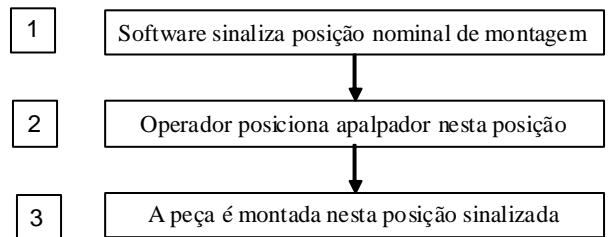
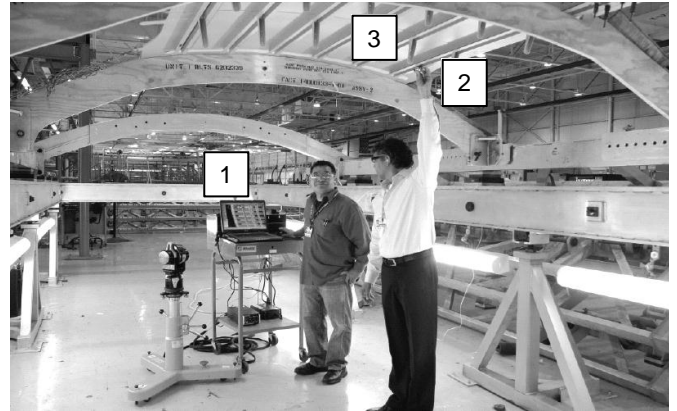


Figura 9 – Medição por coordenadas em processo em auxílio à montagem de produtos e dispositivos

5. ASPECTOS METROLÓGICOS DA APLICACAO DO CONCEITO MBD

Como toda automação de método, a implementação do conceito MBD nas medições possui aspectos metrológicos que devem ser muito bem analisados, sob o risco de automatizar procedimentos de medição e cálculo inadequados. O principal destes aspectos consiste na qualidade nos recursos matemáticos que os programas de medição por coordenadas possuem para avaliar com correção as tolerâncias geométricas contidas na especificação GD&T dos produtos.

A automatização na interpretação da especificação geométrica do produto e a definição da estratégia de medição por parte do software requer que este possua os conceitos de GD&T e os recursos matemáticos muito bem estabelecidos. Como o software se propõe a ser um interpretador automático das tolerâncias e um orientador do operador na estratégia de medição, a confiabilidade metrológica dos procedimentos de medição irá depender diretamente dos conceitos e recursos matemáticos presentes no programa de medição.

Uma vez diante de um sistema automático para a interpretação dos desenhos e definição de estratégias de

medição, o usuário da máquina de medir terá que confiar plenamente nas ações do software de medição. Com o uso contínuo desta tecnologia, pela sua própria comodidade operacional, poderá haver uma acomodação e relaxamento por parte do metrologista na análise crítica da especificação geométrica, o que pode ser arriscado em certas situações.

A automatização não deve substituir a capacidade de análise crítica do metrologista sobre todo o projeto do produto e todo o processo de medição. Se observado assim, o conceito MBD só trará vantagens ao ambiente de medição.

Com isso aumenta a importância de validação do software de medição por coordenadas por instituições isentas e de reconhecida competência metrológica, antes que este programa seja colocado em uso no mercado. Os recursos matemáticos utilizados para a interpretação das tolerâncias, medição dos produtos e processamento dos resultados devem ser verificados experimentalmente para avaliar a correção do software de medição (figura 10), preferencialmente em concordância à ISO10360-6 [6].

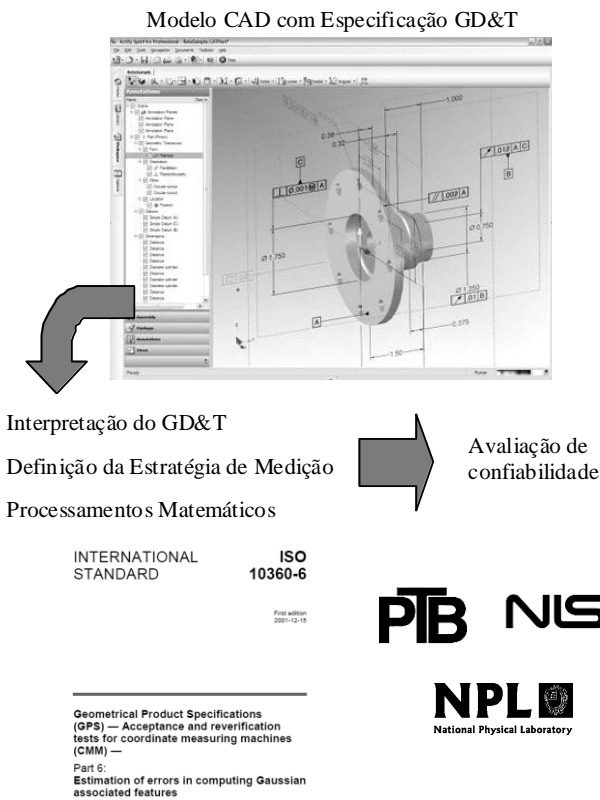


Figura 10 – Importância de validação do software de medição sob o conceito MBD

Outro aspecto que deve ser objeto de atenção são os erros presentes na própria especificação geométrica dos produtos. Não são raras as ocorrências de erros na especificação geométrica dos produtos, como a definição de referências e tolerâncias de modo incorreto. Os programas de medição que irão operar no conceito MBD devem incorporar funções de avaliação da especificação geométrica antes de definirem estratégias de medição, ou

haverá o risco de medir segundo procedimentos em discordância das normas de GD&T (figura 11).

Por fim, há de se assegurar que os conceitos de GD&T estejam atualizados segundo as normas mais recentes nos software de medição sob o conceito MBD.

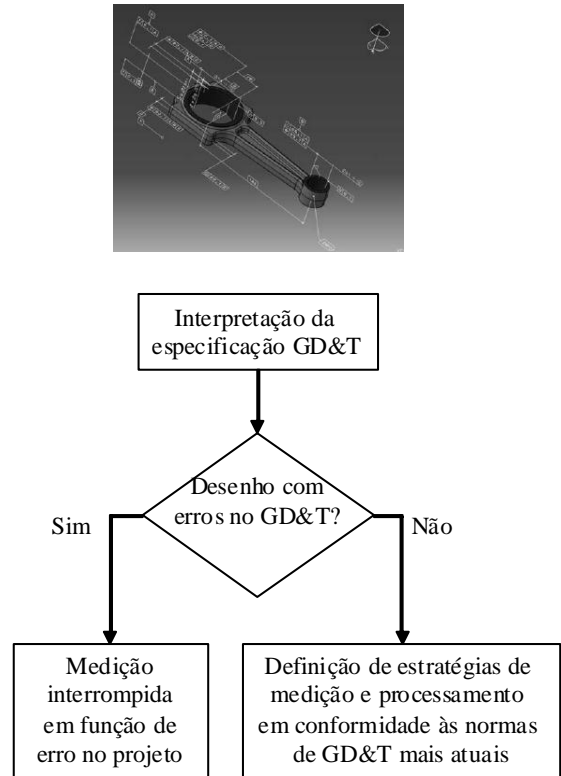


Figura 11 – Avaliação da adequação da especificação geométrica dos produtos

5. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou a tecnologia de MBD aplicada no ambiente de metrologia, mais especificamente na medição por coordenadas. O conceito de medição empregando o MBD possui enormes vantagens potenciais para as empresas devido à capacidade de interpretação de tolerâncias, orientação do operador da máquina de medir, e sinalização em tempo real dos resultados das medições diretamente sobre o modelo CAD 3D.

A característica de utilizar um único modelo CAD para planejar e executar todo o processo de medição minimiza os tempos de análises de desenhos em 2D (cada vez mais complexos) e aumenta a confiabilidade na definição e execução dos procedimentos de medição.

No entanto, como toda nova tecnologia, há que se certificar bem da correção com que as estratégias de apalpação são definidas e dos cálculos que são realizados com os pontos medidos para a obtenção das informações geométricas das peças.

Assim, é importante que os softwares de medição por coordenadas que trabalham sob o conceito MBD sejam

avaliados e validados por instituições neutras e de reconhecida competência metrológica. A automatização da interpretação da especificação geométrica do produto e a definição automática da estratégia de medição não substitui a necessidade de que o metrologista seja proficiente no entendimento do GD&T e na definição de procedimentos de medição consistentes.

REFERENCES

- [1] ASME Y14.41-2003. *Digital Product Definition Data Practices*. American Society of Mechanical Engineering, 2003
- [2] Quality Requirements & Information. Boeing Corp., 2010. Link: <http://www.boeing.com/dpd.html> Acessado em 15/03/2011.
- [3] ASME Y 14.5, 2009. Geometrical Dimensioning and Tolerancing. Norma ASME.
- [4] **Knoche, S.** Embrace Model Based Definition, Quality Magazine, Julho de 2006.
- [5] **Branch, Ron.** CAD Based Inspection. <http://www.verisurf.com/uploads/CAD-Based-Inspection-CNC-West-2011.pdf>. Acessado em 06/06/2011.
- [6] ISO10360-6 . Geometrical Product Specifications(GPS) — Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) — Part 6: Estimation of errors in computing Gaussian associated features