

# O USO DO GD&T ALIADO AO CÁLCULO COMPUTACIONAL DE TOLERÂNCIAS - QUANTIFICANDO A QUALIDADE AINDA NA FASE DE PROJETO

*O desafio de desenvolver produtos competitivos em performance e custo depende em muito de um projeto que considere as variações dimensionais. Produtos com dimensões e tolerâncias mal definidas não só perdem em performance como apresentam custos de desenvolvimento e produção mais altos. Acertar o projeto dimensional da primeira vez, para minimizar custos ao longo do ciclo produtivo, é o desafio de toda equipe de desenvolvimento. Esse desafio tem sido facilitado com as modernas tecnologias de especificação e simulação computacional de tolerâncias, possibilitando definir um produto que apresente um equilíbrio ótimo entre performance e custos de produção, com um nível de defeitos mensurável ainda na fase de projeto. Nesse artigo essas tecnologias são explicadas e aplicadas, demonstrando-se as potencialidades da sua utilização.*

André Roberto de Sousa<sup>1</sup>; Maurício Wandeck<sup>2</sup>; Daniel Carlos da Silva<sup>3</sup>

## 1. A importância da correta especificação geométrica do produto

Bons produtos começam por bons projetos. Desenvolver produtos melhores e mais baratos do que os concorrentes é vital para a competitividade das empresas. Se os novos produtos não forem competitivos, as empresas perdem seu *market share*, podendo inclusive chegar a situações extremas de falência. No panorama de competição acirrada atualmente vivido pelas empresas isso é ainda mais crítico, pois esses produtos bons e de custo atrativo precisam ser desenvolvidos em tempos cada vez menores e a máxima “a pressa é inimiga da perfeição” ainda é verdade para muitas empresas. No projeto dimensional dos produtos essa frase pode ser adaptada para “a pressa é inimiga da precisão”.

Há, pois, o desafio de aliar a rapidez no tempo de desenvolvimento do produto com a garantia de que este apresentará qualidade e performance adequadas e terá um custo competitivo (figura 1). A rapidez, portanto, também é muito importante e, dessa forma, existem cada vez menos oportunidades para modificações, adaptações e correções no projeto ou produto após o início do ciclo produtivo.

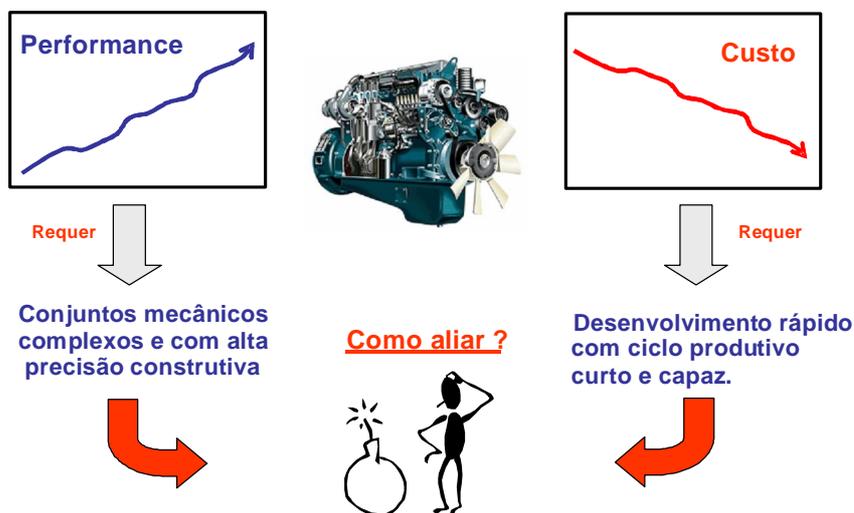


Figura 1 – O paradoxo atual no desenvolvimento do produtos.

<sup>1</sup> Professor do Departamento de Mecânica do IFSC ([www.ifsc.edu.br](http://www.ifsc.edu.br)).

<sup>2</sup> Consultor em dimensionamento e especificação de tolerâncias ([www.gdt.eng.br](http://www.gdt.eng.br)).

<sup>3</sup> Engenheiro de Desenvolvimento de Processos – Grupo de Manufatura Digital - EMBRAER ([www.embraer.com.br](http://www.embraer.com.br))

No passado admitia-se naturalmente que alguns erros dimensionais só fossem descobertos quando o produto entrava em produção. Como consequência disso, eram necessárias modificações no ferramental, adaptação de dispositivos, interação com fornecedores, e até mesmo alterações no projeto já na etapa de produção seriada o que provocava atrasos e aumento de custos. Atualmente muitas empresas continuam a sofrer com esses problemas, mas isso não é encarado de forma tão natural. Pelo contrário, hoje está claramente definida a necessidade do desenvolvimento do projeto orientado à montagem, que é aquele que garante a funcionalidade requerida do produto com os menores custos de produção.

Nesse projeto orientado à montagem, a especificação das tolerâncias exerce um papel decisivo para o sucesso do produto e para a redução dos custos de produção. Nesse contexto, as tolerâncias, formalizadas no projeto de produto através dos desenhos de engenharia, 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. A forma de relacionamento dos elementos determina quais tipos de tolerâncias dimensionais (acoplamentos) e geométricas (posição, perfil de superfície, datums, etc) serão usados. Já o grau de precisão é determinado pelos valores destas tolerâncias. Tanto o tipo de relacionamento quanto o grau de precisão têm influência direta sobre a performance e qualidade do produto final. O objetivo na etapa de desenvolvimento de produto é, portanto, aplicar as tolerâncias com foco na função dos componentes no conjunto e adequar os valores destas tolerâncias à melhor relação entre performance e custo, para se obter um quadro ótimo entre os custos da qualidade e os custos da não qualidade (figura 2).

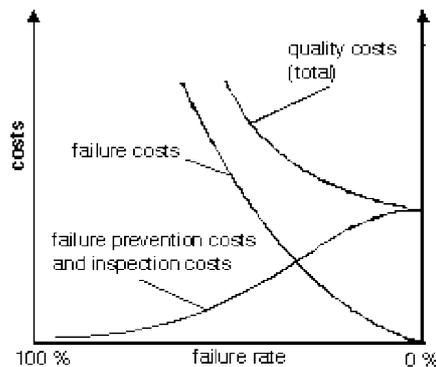


Figura 2 – Custos da qualidade e Custos da não qualidade [3]

Para auxiliar nesta especificação ótima de tolerâncias duas ferramentas são essenciais no desenvolvimento de produto. A primeira é a linguagem GD&T (*Geometric Dimensioning and Tolerancing*), uma linguagem para aplicação de tolerâncias em desenhos de engenharia cuja filosofia sustenta-se em três fundamentos básicos: na aplicação de tolerâncias em função do requisito do produto, na utilização de uma linguagem uniforme para expressão dessas tolerâncias minimizando controvérsias e erros de interpretação ao longo da cadeia produtiva e na normalização desta linguagem como garantia das relações comerciais entre as empresas, seus parceiros, fornecedores e prestadores de serviços [1]. Essa normalização do GD&T tem na ASME Y14.5M-1994 [2] e normas associadas o seu documento mais conhecido e adotado no meio industrial. A ISO e inúmeras outras entidades normalizadoras em diversos países também possuem documentos similares para o tema.

A segunda ferramenta para a especificação ótima de tolerâncias faz uso das tecnologias computacionais de auxílio na especificação geométrica dos produtos. Esses sistemas, chamados de CAT – *Computer Aided Tolerancing*, possuem recursos matemáticos capazes de identificar, e resolver por meio de simulações computacionais, erros de montagem e incompatibilidades entre tolerâncias. Os erros são identificados e resolvidos por intermédio de simulações enquanto o projeto está na engenharia, antes da fabricação de qualquer componente ou ferramental. Estes sistemas permitem também determinar as tolerâncias dos componentes que vão atender a um certo índice de capacidade estatística ( $C_{p_m}$  e  $C_{pk_m}$ ) pré-determinado para o conjunto mecânico, ou seja, determinam a aceitação do projeto dentro de um nível de não conformidades esperado.

As simulações identificam as dimensões críticas e, assim permitem definir planos de controle dimensional focados nas características realmente importantes dos componentes. Com isso, pode-se garantir a qualidade do produto com um custo mínimo em controle de qualidade.

## 2. Projeto orientado pela quantidade de falhas de montagem admissíveis

O desafio do paradigma colocado na figura 1 é grandemente diminuído se a especificação geométrica do produto é feita corretamente, buscando reduzir ao mínimo a quantidade de perdas e facilitando a fabricação dos componentes. A garantia da qualidade inicia-se na especificação geométrica e, nesse sentido, metodologias classicamente empregadas nas áreas de qualidade assegurada na produção, estão sendo incorporadas na fase de desenvolvimento de produtos. Atualmente, já se fala em um projeto “6 sigma”, para designar uma especificação geométrica que propicie um produto com um nível de falhas muito pequeno, inferior a 3,4 defeitos por milhão de unidades.

Projetar para que o produto apresente níveis pré-determinados de variabilidade e problemas dimensionais é uma tarefa bastante complexa. As tolerâncias são o reconhecimento de que a perfeição dimensional e geométrica não pode ser atingida e têm uma importância vital para a qualidade e para os custos de produção [7]. Como já vimos na figura 2, se as tolerâncias forem mal definidas, ou os custos de produção ou as não conformidades na montagem aumentam consideravelmente, podendo comprometer as metas de qualidade da empresa. Para atingir um determinado nível de defeitos é necessário, pois, que o projeto do componente já seja criteriosamente definido para atingi-lo. Para desenvolver produtos com um nível de falhas pré-determinado são necessários o emprego da **cotação funcional com o GD&T** e da **simulação computacional de tolerâncias**. Essas tecnologias permitem definir de forma consistente as variações dimensionais dos componentes e simular computacionalmente essas variações, garantindo uma condição ótima que permita atingir o nível de qualidade pré-determinado (figura 3).



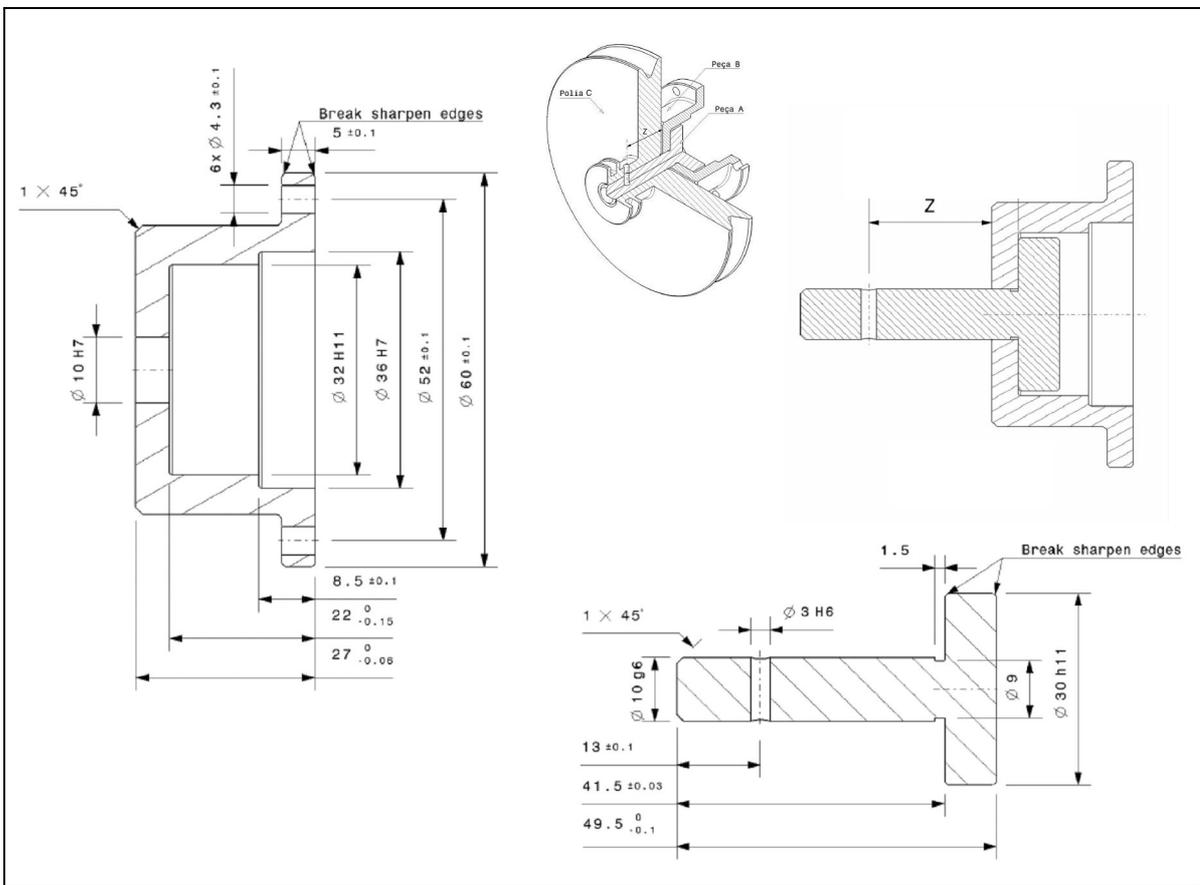
Figura 3 – Tecnologias empregadas em um projeto orientado a metas de qualidade

## 3. A Cotação funcional com o GD&T

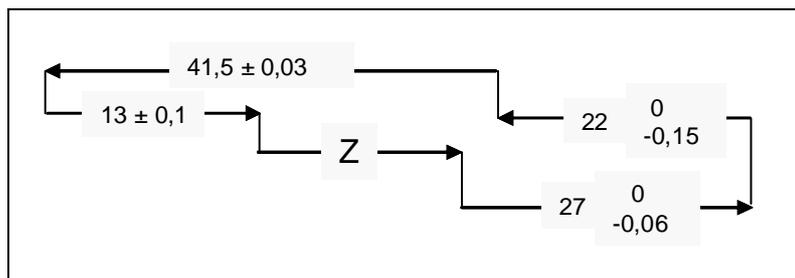
Bons projetos, sob o ponto de vista dimensional, são conseqüências de boas cotações. A cotação é o elo de ligação entre a concepção do produto e sua materialização, e possui enorme importância. As dimensões e suas tolerâncias são estabelecidas buscando garantir a funcionalidade, a performance, a estética e a segurança do produto, ao mínimo custo de produção. Para isso, a cotação deve ser uma atividade realizada dentro de um grande rigor técnico, obedecendo a princípios básicos de aplicação de tolerâncias. Essa cotação é chamada de cotação funcional. A cotação funcional deve ser realizada sempre com o objetivo de minimizar a propagação dos erros geométricos dos componentes para o conjunto. Como os erros dos componentes se propagam para o conjunto final, é necessário trabalhar com tolerâncias mais apertadas nos componentes, para obter-se uma determinada meta de qualidade (por ex: número de falhas) no conjunto. Para minimizar essa propagação de erros, duas condições devem ser atendidas:

- a) A cadeia dimensional deve ter somente um vetor cota por componente;
- b) A cadeia dimensional deve ser a menor possível.

A observação destes aspectos no procedimento de cotação é fundamental para se atingir metas pré-definidas de qualidade e custo. Esses aspectos podem ser visualizados através de um exemplo simples como nas figuras 4 e 8, que mostram dois procedimentos de cotação. Nesse exemplo, a característica funcional é a distância Z, entre o furo da peça A e a face da peça B, local onde será montada a polia C. O primeiro procedimento de cotação (figura 4) é o método tradicional, ainda praticado por muitas empresas, denominado “cotação em separado”. Neste processo cotam-se os componentes livremente, sem levar em consideração os requisitos funcionais de montagem. A partir dessa cadeia de dimensões e tolerâncias é possível construir um diagrama vetorial em função das cotas existentes nos desenhos. O resultado, mostrado na figura 5, é um diagrama composto de 5 vetores cota, sendo dois de cada componente. Observa-se que não há como respeitar a condição de independência na cotação em separado. Os erros dimensionais dos componentes vão se propagando para a característica funcional (cota Z). Para garantir a funcionalidade da cota Z, os valores das tolerâncias dos componentes têm que ser apertados, aumentando os custos de produção, dificultando ou até mesmo impossibilitando a obtenção do nível de qualidade desejado.

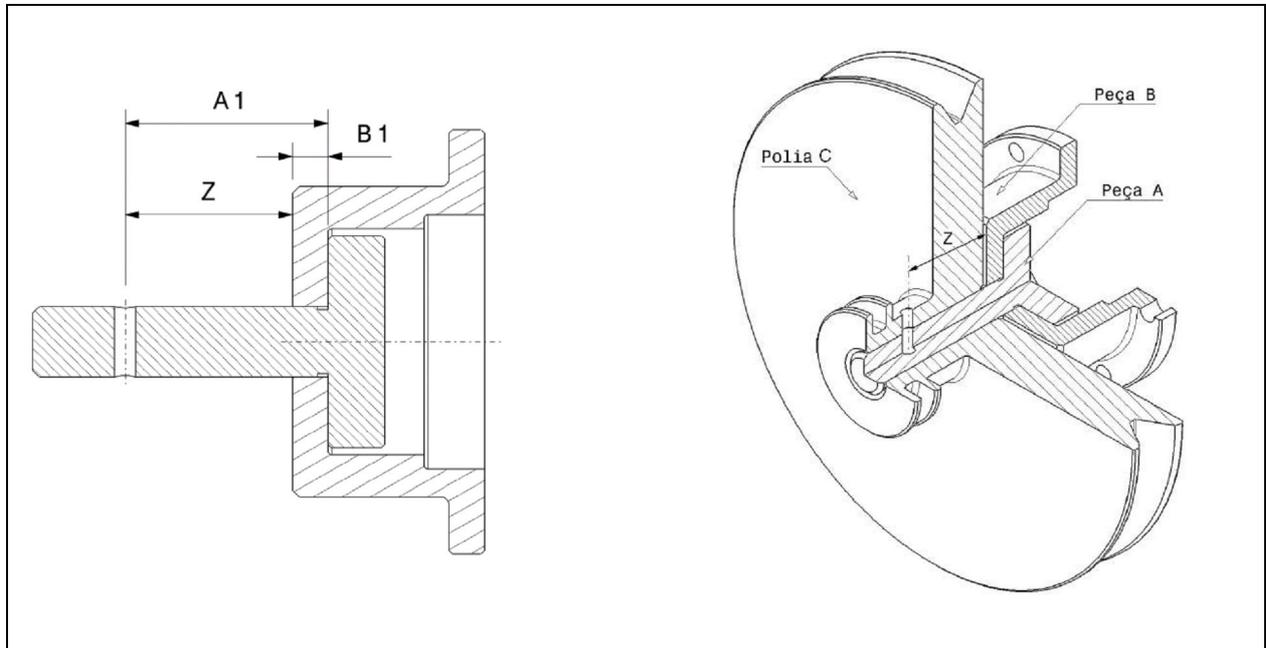


**Figura 4 – Requisito funcional e processo de cotação em separado**



**Figura 5 – Diagrama vetorial da cotação em separado**

Observemos agora o processo de cotação funcional, ilustrado na figura 6. Nesse processo, as cotas funcionais são identificadas no desenho de conjunto. Neste caso foram criadas as cotas funcionais A1 e B1. Essas cotas são aquelas diretamente responsáveis pelo atendimento do requisito, neste caso a cota Z. As demais cotas (não mostradas), necessárias para a fabricação dos componentes, são estabelecidas após a definição das cotas funcionais.

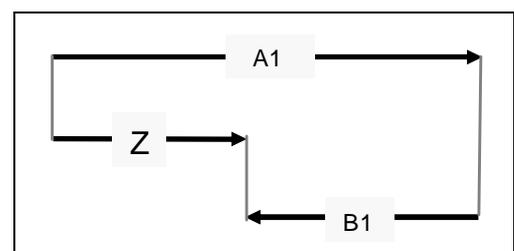


**Figura 6 – Identificação das cotas críticas na cotação funcional**

A partir dessa identificação, constrói-se o diagrama vetorial com as cotas criadas no desenho de conjunto, que neste caso é composto de 3 vetores cota (figuras 6 e 7). Com esta filosofia de cotação, observa-se que a condição da independência foi respeitada, porque há somente um vetor cota por componente. A dispersão da cota resultante, Z, é uma propriedade aditiva e, portanto, quanto menor for o número de cotas no diagrama vetorial, menor será a dispersão. Ou de outro modo, para uma dada dispersão de Z, quanto menor for o número de cotas, maiores serão os valores permissíveis para as suas tolerâncias. Cotando dessa forma, não existe a propagação de erros de cotas individuais para a cota funcional Z. Com isso, a tolerância da cota Z pode ser atingida mesmo com tolerâncias mais abertas para as cotas das peças A e B. Isso reduz os custos de produção e possibilita atingir o nível de falhas determinado no projeto.

Resumindo o que foi descrito, o procedimento consiste em cotar os componentes a partir das cotas funcionais. As superfícies terminais e de contato obrigatoriamente devem ser controladas por tolerâncias geométricas. As demais superfícies e os ajustes seguem as regras tradicionais do projeto mecânico (figura 9). Para criar os relacionamentos entre os elementos da cadeia funcional aplicam-se tolerâncias geométricas. Nesta etapa o GD&T é usado como a formalização da análise no desenho de produto, tornando este uma ferramenta contratual para as operações subsequentes de fabricação, medição, subcontratação, montagem e análise de não conformidades.

Assim, quando se trata das estratégias de Engenharia Simultânea como DFM – Design for Manufacturing e DFA – Design for Assembly, percebe-se que as especificações das tolerâncias e os métodos usados para expressá-las nos desenhos dos componentes e das montagens são fatores chave.



**Figura 7 – Diagrama vetorial da cotação funcional**

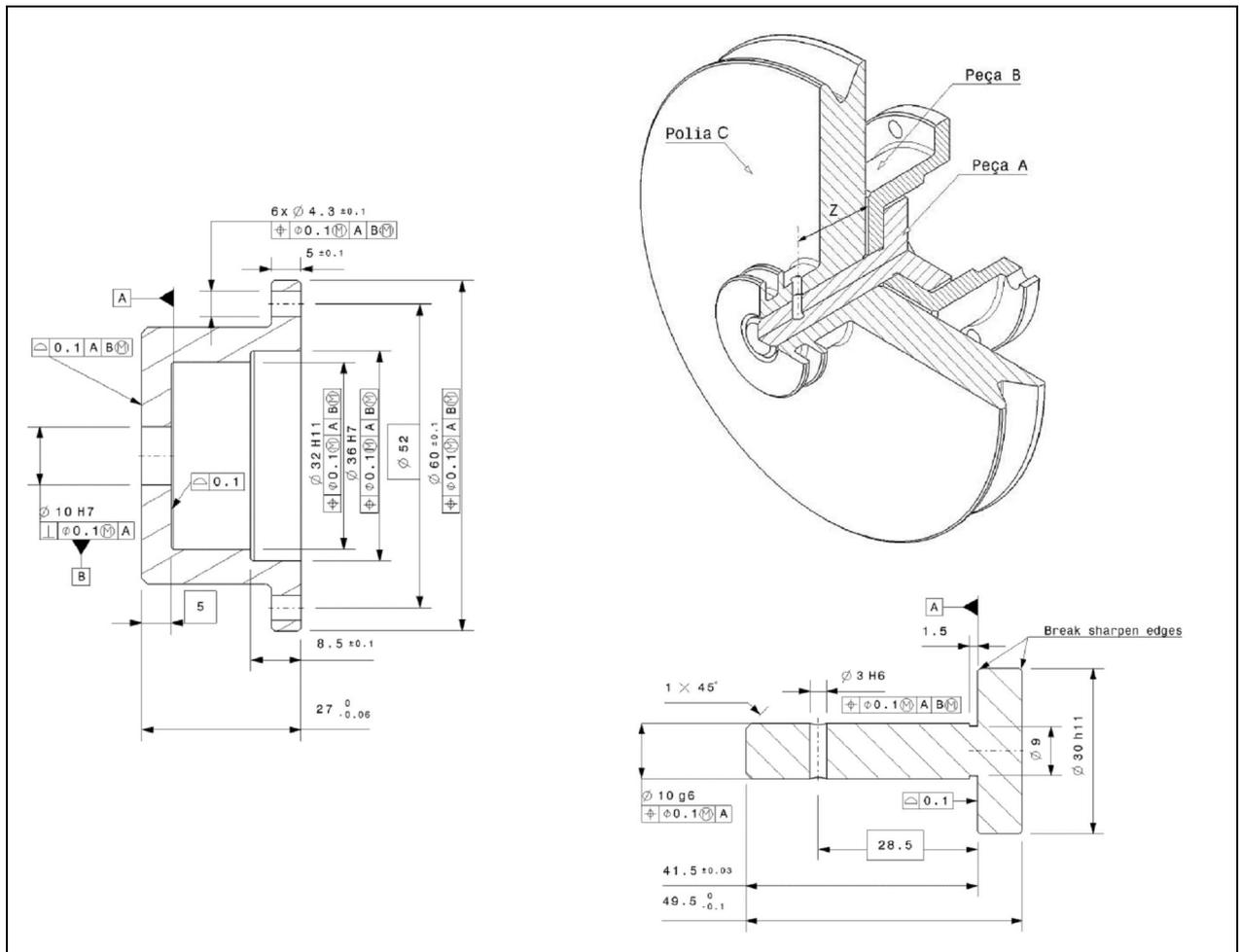


Figura 8 – Cotação final utilizando o GD&T

#### 4. A simulação computacional de tolerâncias – *Computer Aided Tolerancing*

Além de empregar a cotação funcional, o projeto orientado à montagem utiliza técnicas computacionais para auxiliar na definição das tolerâncias otimizadas, que possibilitem atingir o nível de qualidade desejado. Para isso, a simulação de tolerâncias ou CAT (*Computer Aided Tolerancing*), é uma ferramenta extremamente poderosa. Esses programas simulam a condição de montagem dos conjuntos mecânicos utilizando um algoritmo denominado de simulação Monte Carlo.

A simulação de Monte Carlo é uma forma numérica de avaliar o comportamento de um sistema, fazendo variar os componentes desse sistema dentro de um determinado intervalo, segundo uma forma de distribuição pré-definida. Por exemplo, o parâmetro genérico  $F$  a seguir é obtido da combinação de 3 componentes X, Y, Z que podem assumir valores dentro de certos intervalos de variação, segundo uma distribuição normal e desvio conhecido.

$$F = \frac{X^Y + Y^X}{Z^{(X-Y)}}$$

Onde:

$$X = 25 \pm 10$$

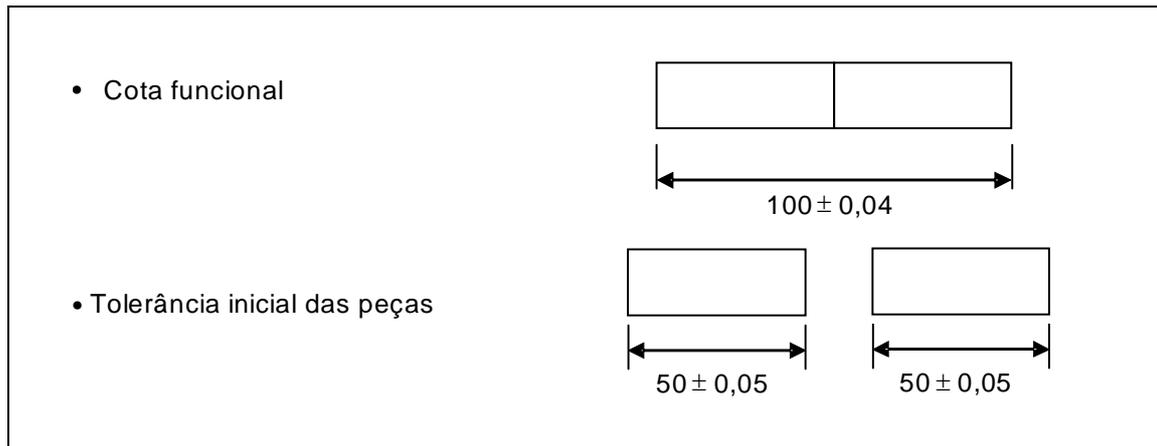
$$Y = 12 \pm 6$$

$$Z = 17 \pm 3$$

Uma forma de avaliar a variação resultante do parâmetro  $F$  é fazer X, Y e Z assumirem milhares de valores dentro dos seus intervalos, de acordo com o modo de distribuição especificado, nesse caso uma distribuição normal. Esses milhares de valores de X, Y e Z são combinados entre si de todas as maneiras possíveis da forma colocada na equação: umas no valor máximo, outras no valor mínimo, e outras em valores intermediários. Ao

final, é possível avaliar a influência da dispersão de X, Y e Z no parâmetro F. De forma simplificada, esse é o funcionamento da simulação de Monte Carlo.

Para exemplificar isso na área de projetos mecânicos, analisemos um conjunto mecânico hipotético (figura 9), composto por duas partes, para o qual se deseja índices de capacidade  $Cp_m > 2,0$  e  $Cpk_m > 1,5$  na montagem. A soma das dimensões dos dois componentes (cota funcional) deve estar entre 99,94 e 100,06 sendo que ambas estão definidas, a princípio, com tolerâncias  $\pm 0,05$  mm. Assumindo que os componentes variam de acordo com uma distribuição normal e centrada na média com  $Cp_c = 1$ , pode-se determinar por simulação a dispersão com que a dimensão do conjunto será produzida.



**Figura 9 – Conjunto mecânico simplificado para simulação de Monte-Carlo**

As cotas individuais são simuladas e combinadas, obtendo-se a dispersão com que a cota funcional será obtida (figura 10). Com essa informação e o valor especificado em projeto para a cota funcional pode-se calcular os índices de capacidade  $Cp_m$  e  $Cpk_m$ , e verificar se as tolerâncias individuais atendem à condição pré-determinada de  $Cp_m > 2,0$  e  $Cpk_m > 1,5$ .

No caso analisado, o  $Cp_m$  e o  $Cpk_m$  resultaram em 1,13. Como essa condição é inaceitável, as tolerâncias individuais são apertadas e novas simulações são realizadas, até que a condição desejada seja atingida. O oposto se faz se a condição é atingida com muita folga. Quando isso ocorre, as tolerâncias dos componentes são aumentadas até um limite em que a condição de montagem ainda seja atendida.

Para esse exemplo, quando as tolerâncias dos componentes forem definidas em  $\pm 0,028$  mm a condição de conformidade pré-determinada é atendida. Nesse caso,  $Cp_m$  e  $Cpk_m$  são iguais a 2,01.

Esse exemplo simples demonstra a vantagem de simular computacionalmente a variabilidade das dimensões dos componentes para verificar a sua influência nas cotas funcionais. No entanto, em situações reais essa simulação é bem mais complexa, pois os conjuntos mecânicos possuem geometrias e cadeias cinemáticas com mais variáveis, com muitas relações de montagem vetoriais e várias tolerâncias dimensionais e geométricas. Softwares CAT que trabalhem em ambientes tridimensionais tornam-se, desta forma, ferramentas essenciais ao projeto do produto. São sistemas com interface gráfica e capacidade de total integração com os sistemas CAD mais utilizados, possuindo recursos matemáticos e gráficos bastante poderosos para análises dimensionais em conjuntos mecânicos. A figura 11 mostra a interface de alguns desses sistemas.

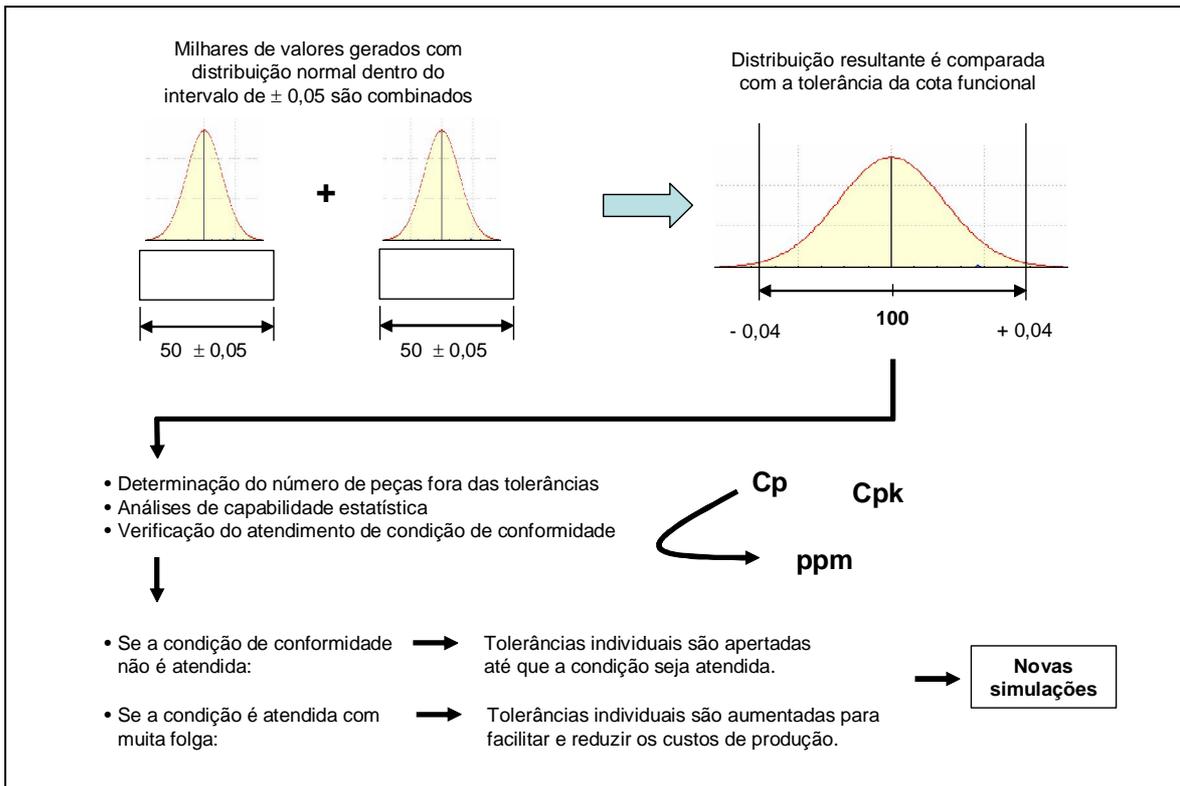


Figura 10 – Sistemática de simulação computacional de tolerâncias

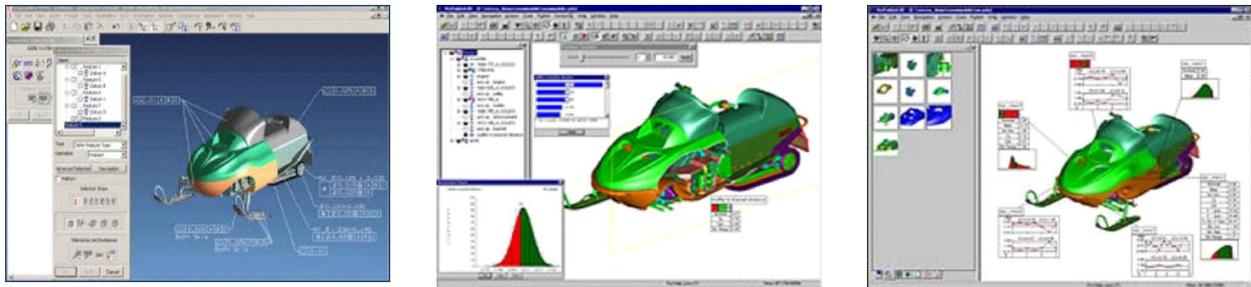


Figura 11 – Exemplo (ilustrativo) de softwares de simulação e análise de tolerâncias

## 5. Exemplo de simulação computacional de tolerâncias

Para o exemplo mostrado na figura 8, observam-se várias tolerâncias dimensionais e geométricas colocadas nos componentes. Na simulação realizada, utiliza-se a técnica estatística de Monte Carlo para calcular os índices de defeito da montagem. O software de simulação analisa a cadeia funcional e combina as tolerâncias dimensionais e geométricas de todas as maneiras possíveis, simulando as condições de montagem. Se as distribuições das tolerâncias dos componentes forem conhecidas, usam-se os dados reais, caso contrário consideram-se distribuições normais com  $Cp_c=Cpk_c=1$  para as variações dimensionais em análise.

Após essa simulação, os relatórios mostram os valores de  $Cp_m/Cpk_m$  da montagem e as demais informações estatísticas pertinentes para o requisito funcional em análise. Se os valores de  $Cp_m/Cpk_m$  da montagem não forem satisfatórios, o projeto deve ser revisado. Pode-se alterar a ordem de montagem, o tipo de acoplamento ou o valor das tolerâncias. Para avaliar a sensibilidade da cadeia funcional é comum fazer a primeira simulação atribuindo-se valor único a todas as tolerâncias. Analisa-se o resultado e, segundo a necessidade, aumentam-se

ou diminuem-se os valores das tolerâncias indicadas pela análise por simulação como maiores contribuintes para as não conformidades.

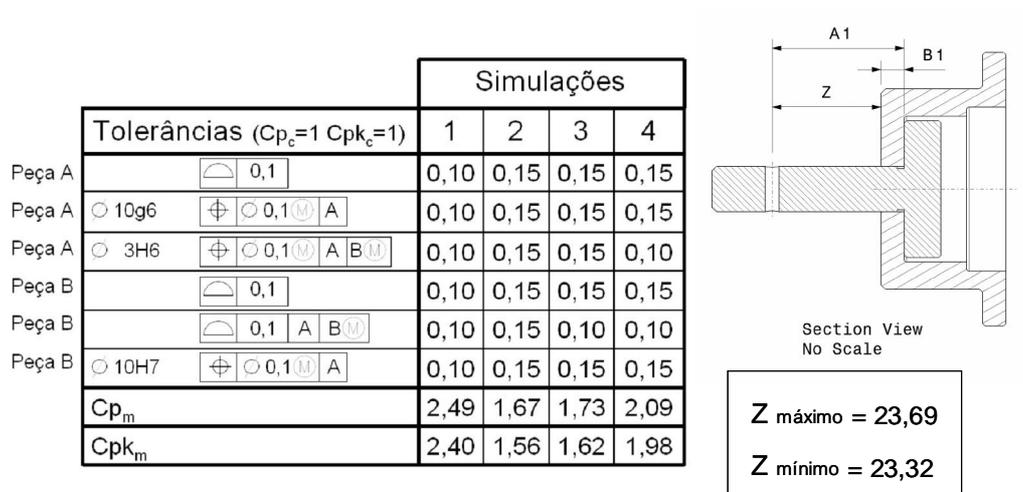
A cada simulação o programa relaciona as tolerâncias por ordem de crítica. Essa indicação possibilita a otimização do projeto da maneira mais direta possível. Devem-se somente alterar as tolerâncias mais críticas e simular o novo cenário, repetindo-se o processo ciclicamente até atingir a condição ideal.

Para esse exemplo são estabelecidos os seguintes dados de simulação:

- Z é uma cota resultante da montagem das peças A e B
- Valor nominal:  $Z = 23,5$
- Campo de tolerância de Z: 23,32 - 23,69
- Variáveis livres: as seis tolerâncias geométricas relacionadas na coluna da esquerda na tabela da figura 12.

Como mostra a figura 12, a simulação neste caso foi realizada 4 vezes. Na primeira simulação todas as tolerâncias foram definidas com valor de 0,1 mm, resultando em parâmetros  $Cp_m$  e  $Cpk_m$  bem acima do necessário para as condições especificadas, que são de  $Cp_m > 2,0$  e  $Cpk_m > 1,5$ .

Diante dessa constatação as tolerâncias foram sendo alteradas até que a condição ótima fosse determinada, nos maiores valores possíveis das tolerâncias que ainda satisfizessem o requisito. Na 4ª simulação, os valores alvo  $Cp_m > 2$  e  $Cpk_m > 1,5$  foram alcançados. Isso garante a condição estatística de defeitos inferior a 3,4 por milhão e custo da não qualidade inferior a 1%. Sob o ponto de vista dimensional esta especificação com estes valores representa a solução de compromisso ideal entre custo de fabricação e qualidade esperada para o produto final.



**Figura 12 – Resultados das simulações computacionais de tolerâncias**

## 6. Conclusões

A implantação da garantia da qualidade no projeto começa pelo aprendizado do GD&T, pois o aspecto fundamental para o sucesso de um projeto é a comunicação, através do GD&T, dos requisitos de engenharia. Neste sentido, o treinamento não só de projetistas, mas de todos os elos da cadeia produtiva afetados pela variação dimensional, incluindo aí parceiros e sub-contratados, é um requisito fundamental para o sucesso na aplicação destas ferramentas. Atualmente, entretanto, no Brasil, muitas empresas ainda usam o obsoleto sistema cartesiano e a cotação em separado na especificação de seus produtos. Para isso contribui a falta de preparo de nossos engenheiros e técnicos para aplicação do GD&T, devido principalmente à falta de disciplinas sobre o tema em nossos currículos das engenharias de nível médio e superior.

Na área de projetos, o treinamento precisa ser ainda mais intenso, pois não basta aplicar tolerâncias dimensionais e algumas tolerâncias geométricas. Isso de pouco adianta se a cotação não for funcional e se a variabilidade dos componentes não for simulada. Para fazer projetos mecânicos eficientes, é preciso conhecer a expectativa do cliente com relação ao produto, cotar funcionalmente, usar o GD&T na cadeia de tolerâncias e

fazer a simulação Monte Carlo. O resultado desse esforço é compensador. Os problemas dimensionais são identificados e resolvidos enquanto o projeto se encontra na engenharia. O produto nasce maduro e os try-outs físicos são minimizados. A atividade de revisão dos desenhos é reduzida, porque as alterações dimensionais acabam. As solicitações de desvio de produção e as falhas internas também são reduzidas, porque os conflitos dimensionais foram resolvidos no momento mais oportuno, antes do produto entrar em produção.

A importância da cotação funcional e das simulações vai além dos limites da engenharia do produto. Como ela utiliza uma cota por componente, basta controlar estatisticamente esta dimensão para controlar as características críticas associadas. Esta condição simplifica o gerenciamento dimensional e permite que a organização concentre os seus esforços em um menor número de itens, focalizando o que realmente interessa. A cotação funcional está diretamente associada com a medição eficaz, capaz de concluir se o componente atende ao requisito do produto com o menor número possível de medições. Esse conceito pode ser empregado tanto na fabricação seriada quanto na unitária. Em ambos os casos o objetivo “fazer certo na primeira vez” é a meta a ser alcançada. Várias empresas brasileiras hoje já empregam o GD&T, boa parte devido à necessidade de conformidade com projetos oriundos de empresas multinacionais. Poucas, porém, praticam a cotação funcional ou se beneficiam com softwares de simulação e análise de tolerâncias.

Todos esses avanços devem possibilitar, em breve, a definição de projetos cada vez mais otimizados sob os aspectos de qualidade e custo, em prazos muito pequenos. Bons projetos reduzem o custo e garantem qualidade. Não se deve pensar em qualidade e custo somente na produção. A preocupação com rapidez, qualidade e custo já deve começar no desenvolvimento dos novos produtos.

## 7. Referências Bibliográficas:

- [1] **Jensen, Cecil.** *Geometric Dimensioning and Tolerancing for Engineering and Manufacturing Technology.* Delmar Publisher Inc., 1993.
- [2] **ASME** – American Society for Mechanical Engineers. *Dimensioning and Tolerancing – ASME Y14.5M-1994.* New York, 1994.
- [3] **Weckenmann A. et ali.** *Geometrical Product Specifications – Course for Technical Universities.* Warsaw University of Tehcnology printing house, 2001.
- [4] **Silva, Daniel C; Pasin. A et al.** *Análise crítica de software de medição aplicado a máquinas de medição por coordenadas com relação ao uso do GD&T segundo à norma ASME Y14.5M-1994.* Congresso Brasileiro de Metrologia, Recife, 2003.
- [5] **Wandeck, Maurício.** *Engenharia & metrologia virtuais de produtos mecânicos.* Congresso Brasileiro de Metrologia, Recife, 2003.
- [6] **Pasin, Alexandre.** *Análise crítica de software para controle dimensional aplicado a máquinas de medir por coordenadas com relação ao uso da linguagem GD&T segundo a norma Y14.5M-1994.* Monografia de final de curso, UNESP Guaratinguetá – SP, 2003.
- [7] **Krulikowski, Alex.** *Advanced concepts of GD&T: Based on ASME Y14.5M-1994.* Wayne: Effective Training Inc, 1999
- [8] **Sousa, André R.** *Engenharia Dimensional de Produtos* – Material impresso de Palestra técnica realizada na Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2003.
- [9] **C. M. Creveling,** *Tolerance Design – A Handbook to develop optimal specifications,* Addison-Wesley, EUA, 1997
- [10] **Humienny, Z.; Bialas, S.; et al.** *Geometrical Product Specification – Course for technical universities.* Warsaw University of Technology, Polônia, 2001.