

GD&T – ASPECTOS RELACIONADOS AO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

GD&T – RELATED ASPECTS TO THE PRODUCT DEVELOPMENT

Tiago Muner Zilio¹, Carlos Frederico Viero², Marcio Walber³

¹ Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo, Bairro São José, BR-285, CEP 99052-900 – CX. Postal 611. E-mail: zilio.tiago@hotmail.com

² Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo, Bairro São José, BR-285, CEP 99052-900 – CX. Postal 611. E-mail: vierocf123@hotmail.com

³ Professor Doutor do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo, Bairro São José, BR-285, CEP 99052-900 – CX. Postal 611. E-mail: mwalber@upf.br

RESUMO

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) deve ocorrer de forma rápida e eficaz, atendendo as necessidades impostas pelos mais variados mercados, em um curto espaço de tempo. Entretanto, sabe-se que os projetos de engenharia consideram informações matematicamente simplificadas, que em muitos casos não representam fielmente a realidade, elevando assim o risco de falhas na concepção dos produtos. Considerando que grande parte dos projetos passa por uma etapa de especificação dimensional, o presente artigo tem como foco o sistema *Geometric Dimensioning and Tolerancing* (GD&T) e sua aplicação em uma empresa do ramo de carrocerias de ônibus. Foi realizada uma análise comparativa entre o método de desenvolvimento atual e a novo sistema proposto, utilizando critérios de projeto utilizados na concepção dos produtos, com uma abordagem dos diversos pontos de vista inseridos no ciclo de vida do produto em um ambiente de Engenharia Simultânea. Ao final são descritos os pontos positivos e negativos envolvidos na implantação do método, demonstrando com clareza a necessidade da utilização do mesmo.

Palavras-chaves: GD&T, Processo de Desenvolvimento de Produtos, Projetos de Engenharia.

ABSTRACT

The product development process (PDP) must occur quickly and effectively, attending the needs imposed by the various markets, in a short time. However, it is known that the engineering projects consider mathematically simplified information, which in many cases do not represent reality faithfully, thus increasing the risk of failure in product design. Whereas most projects go through a stage of dimensional specification, this paper focuses on the system *Geometric dimensioning and tolerancing* (GD&T) and its application in a company of bus bodies. Was performed a comparative analysis between the current development method and the proposed new system, using design criteria used in product design, with a discussion of different points of view embedded in the life cycle of the product in an environment of Concurrent Engineering. At the end, we describe the positives and negatives points involved in the implementation of the method, clearly demonstrating the necessity of using it.

Key-words: GD&T, Product development process, Engineer Projects

1. INTRODUÇÃO

O principal desafio da engenharia é o desenvolvimento de projetos voltados para a fabricação dos produtos, convertendo as necessidades dos clientes em especificações claras e consistentes. Para

tal, nota-se o grande empenho das organizações em aumentar os níveis de qualidade das especificações dos seus produtos.

Tal comportamento pode ser claramente percebido nas grandes mudanças aplicadas aos modelos de desenvolvimento de produtos no ambiente de engenharia. Inicialmente, eram seguidos modelos lineares, pouco consistentes e com baixos níveis de especificação, gerando informações suscetíveis a erros.

Entretanto, com o advento dos sistemas *Computer Aided Design* (CAD), os modelos aplicados ao desenvolvimento de produtos começaram a sofrer grandes mudanças, tornando-se mais flexíveis, multidirecionais e consistentes, capazes de suportar os processos de manufatura.

Ao considerar tais processos, observa-se que os mesmos também obtiveram grandes avanços, quando utilizados de maneira interligada a outros setores da organização, através de recursos computacionais, compostos pelo sistema de manufatura integrada *Computer Integrated Manufacturing* (CIM). Desta forma, foi possível atingir um desenvolvimento de produto objetivo, integral e flexível para a otimização do produto, da produção e da qualidade com minimização dos tempos de desenvolvimento, baseando-se no conceito de “Engenharia simultânea” (PAHL et al, 2005).

A utilização de ferramentas CAD no processo de desenvolvimento de produtos (PDP) realmente ampliou as possibilidades e potencializou a capacidade de especificação dos produtos no ambiente de engenharia. Contudo, o quanto são consistentes as especificações geradas pelas áreas de engenharia, para que as mesmas supram as funções ao longo de todo desenvolvimento?

A existência de muitas variáveis desconhecidas inseridas no PDP, aliadas as metodologias de projeto, suportadas por decisões de projetistas e engenheiros, podem sem dúvida apresentarem-se como possíveis complicadores na manufatura de determinado produto. Assim, visando garantir a sustentabilidade e competitividade das empresas, torna-se vital o desenvolvimento de bons projetos de engenharia.

O Projeto de Engenharia é definido como um desenho gráfico composto por linhas e formas, que tem por função representar algo relacionado com a realidade cotidiana. Tornando-se assim, uma linguagem universal, pois pode ser compreendido por qualquer pessoa em qualquer local (JENSEN; HELSEN, 1992). Desenvolvido e detalhado inicialmente em ambientes bidimensionais (2D), a utilização deste sistema proporcionou desenhos de baixa complexidade e conseqüentemente fácil interpretação. Porém, ao realizar projetos de maior complexidade, pode ser notada com facilidade a fragilidade das especificações geradas. A utilização de sistemas de projeto 2D apresenta simplificações naturais, que ao serem aplicadas tornam baixos os níveis das especificações de engenharia, muitas vezes distorcendo a abordagem previamente concebida.

Atualmente, pode-se afirmar que estão sendo extintas as distorções oriundas da utilização de projetos 2D, devido a popularização de *softwares* de projeto tridimensionais (3D). Com estes a interpretação e solução dos problemas de projeto tornaram-se relativamente fáceis, pois os mesmos são dotados de ferramentas e funções, que visam auxiliar os projetistas a desenvolver suas tarefas cotidianas.

Desta forma, os projetos de engenharia tornaram-se completos e com inúmeras especificações agregadas. Entretanto, demonstra-se imprescindível a utilização de uma metodologia de projeto aplicada ao desenvolvimento de produtos, pois sem esta, informações seriam detalhadas de forma incorreta, gerando possíveis complicadores no processo de produção.

Compreendida tal necessidade, iniciou-se então a utilização de diversas metodologias de desenvolvimento de produtos, visando atingir projetos de alta qualidade, podendo assim oferecer um elevado nível de informações de forma clara, consistente e isenta de erros e falhas.

2. OBJETIVOS

2.1 *Objetivos Gerais*

O presente trabalho tem como objetivo geral, apresentar os aspectos da aplicação da metodologia GD&T relacionada ao processo de desenvolvimento de produto, demonstrando os pontos positivos e negativos incorporados ao mesmo.

2.2 *Objetivos específicos*

Validar através de uma aplicação, os aspectos gerais observados sobre a aplicação da metodologia de GD&T no desenvolvimento de produtos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O sucesso de um produto é diretamente ligado ao nível de qualidade atrelado as especificações de seu projeto. Entretanto, a existência de muitas variáveis torna a quantidade de especificações relativamente elevada, sendo que tal condição não necessariamente culmina em um projeto claro e consistente. Assim, considerando esta condição, o presente trabalho foca diretamente nas especificações dimensionais e geométricas do produto, visto que estas são o alicerce para as demais especificações posteriores.

Inicialmente abordadas na fase de concepção dos produtos, através de esboços preliminares que visam a elucidação dos princípios de solução e posteriormente nas fases de anteprojeto e projeto, as especificações dimensionais e geométricas tem por função definir a forma atribuída ao produto em desenvolvimento.

3.1 *Sistema Clássico de Dimensionamento Cartesiano*

O sistema denominado como *Classical Dimensioning and Tolerancing* (CD&T) tem como base o sistema de coordenadas cartesiano e predomina nos desenhos de engenharia desde o acontecimento da Revolução Industrial. Fato que consumou a necessidade de utilização de sistemas de tolerâncias e ajustes, pois caso contrário, não seriam possíveis montagens intercambiáveis dos componentes nas linhas de produção seriadas.

Segundo Krulikowski (1997), CD&T é um sistema onde a peça é localizada ou definida por dimensões retangulares, onde nestas são dadas tolerâncias. Considerando que as peças e conjuntos projetados desempenham funções e que também se relacionam entre si, o sistema CD&T não apresenta uma linguagem direcionada para esta condição, visto que o dimensionamento e aplicação de tolerâncias é realizado em série, individualmente nos elementos da peça, sem considerar inclusão da mesma no seu devido conjunto.

A Figura 1 representa uma determinada peça, dimensionada utilizando-se do método CD&T. Observa-se a utilização de tolerâncias de mais ou menos atreladas as dimensões cartesianas, visando o posicionamento e dimensionamento do furo de diâmetro 9.0 mm.

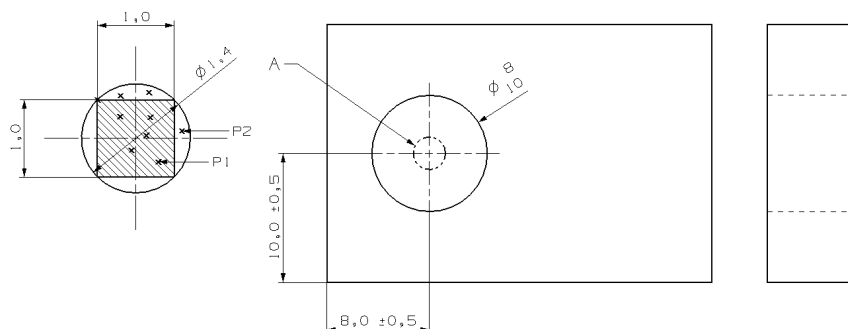


Figura 1 - Sistema Clássico de Dimensionamento Cartesiano.

Graficamente, a zona de tolerância que define os limites para os possíveis desvios de posição do furo pelo método CD&T, pode ser representada por um quadrado com dimensões de 1.0 mm, conforme demonstra a área hachurada apresentada pela Figura 1. Pode-se verificar que a ocorrência de peças com furos posicionados dentro da área hachurada, estariam em conformidade com uma inspeção dimensional, utilizando-se do projeto desenvolvido pelo sistema cartesiano de dimensionamento CD&T, conforme demonstra o ponto P1, apresentado na Figura 1.

Entretanto, a incoerência representativa entre a zona de tolerância adotada e o elemento responsável pela função da peça é facilmente percebida, ou seja, o sistema CD&T representa zonas de tolerância quadradas ou retangulares, mesmo para elementos cilíndricos das peças. Segundo Krulikowski (1997), uma abordagem mais lógica e funcional, seria permitir as mesmas tolerâncias para a localização do furo em todas as direções, criando uma zona de tolerância cilíndrica.

Avaliando uma nova peça com o furo posicionado em P2, utilizando-se de mesmo projeto já demonstrado, teríamos a rejeição desta, pois o ponto P2 encontra-se fora da zona de tolerância para o método CD&T. Porém, ao medir a distância apresentada pelo ponto P2, em relação a posição nominal do furo, percebe-se que a mesma não é maior que a metade da diagonal do quadrado, que representa a zona de tolerâncias CD&T. Assim, apesar da rejeição eminente, a peça em questão poderia ser utilizada sem restrições.

Vistas as deficiências inter-relacionadas com o sistema CD&T, pode-se afirmar que o mesmo estaria obsoleto atualmente. Entretanto, conforme apresentado anteriormente, os níveis de especificação de um produto determinam a qualidade do mesmo, sendo que para peças com baixos níveis de exigência, o sistema CD&T pode ser usado pelos projetistas sem grandes problemas. Contudo, para peças com níveis de exigência maiores, envolvendo grandes montagens de precisão, a utilização de um sistema de dimensionamento de maior robustez se torna imprescindível.

3.2 Sistema Geométrico de Dimensionamento e Toleranciamento

Segundo Krulikowski (1997), *Geometric Dimensioning and Tolerancing* (GD&T) é uma linguagem internacional, usada pelas áreas de engenharia, para descrever com precisão peças e conjuntos. Consiste basicamente em um conjunto de símbolos, regras, definições e convenções. GD&T é uma linguagem matemática precisa que pode ser usada para descrever o tamanho, forma, orientação e localização de peças e conjuntos.

GD&T é também usado como uma metodologia de projeto. Os projetistas e engenheiros de produto, conseguem prover uma uniformidade nas especificações de projeto e interpretações das mesmas, pois com a utilização deste sistema é possível descrever as intenções dos projetistas com clareza. Assim, projeto, produção e inspeção, seguem a mesma linguagem.

A Figura 2 demonstra a aplicação do sistema GD&T na mesma peça anteriormente apresentada com a utilização do sistema cartesiano.

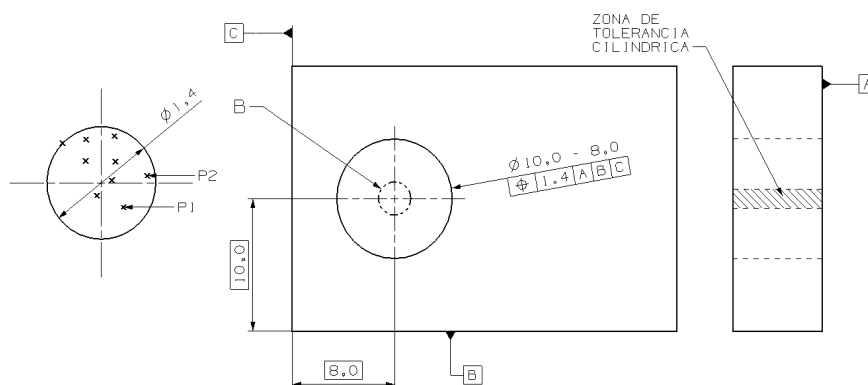


Figura 2 - Sistema Geométrico de Dimensionamento e Toleranciamento.

Observa-se que com a aplicação do sistema GD&T, a utilização de zonas de tolerância torna-se tridimensional, tendo por função delimitar as possíveis variações de posição do furo de diâmetro 9,0 mm. Salienta-se também, a eliminação das tolerâncias antes atreladas às dimensões, sendo agora inclusas no elemento funcional da peça. Comparado ao sistema cartesiano, o sistema GD&T provê uma real interpretação dos limites a serem considerados, pois estes são definidos de acordo com a função a ser desempenhada pela peça, tridimensionalmente.

Conforme já descrito anteriormente, a linguagem imposta pelo sistema GD&T consegue descrever além do tamanho das peças, informações como forma, posição e localização das mesmas. Assim, considerando esta capacidade descritiva, a Figura 3 representa graficamente a forma de interpretação, que agora deve ser bidimensional e tridimensional. Observa-se também uma combinação entre o dimensionamento cartesiano e o sistema GD&T.

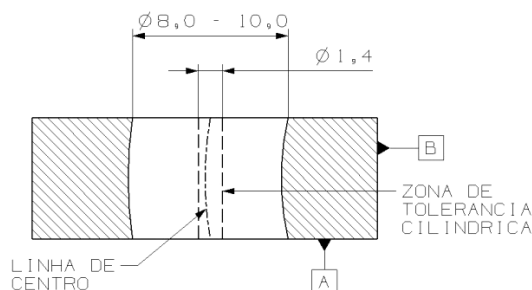


Figura 3 - Tolerância de posição real do elemento.

Realizando uma inspeção dimensional, utilizando instrumentos simples, pode-se verificar a dimensão diametral de tamanho (CD&T), contida na cota $\varnothing 8,0 - 10,0$ mm. Considerando que nesta inspeção, a dimensão esteja contida na zona de tolerância dimensional da peça, a mesma ainda não seria totalmente aprovada. Também deverá ser realizada a verificação relacionada a linha de centro medida do furo, em relação a faixa de tolerância cilíndrica de diâmetro 1,4 mm, especificada pela linguagem GD&T. Somente desta forma, estão controlados os elementos funcionais da peça, garantindo o atendimento dos requisitos previamente estipulados.

Considerando as diversas áreas envolvidas com o projeto de engenharia, também é de grande importância o entendimento dos referenciais geométricos do produto. Suprindo diretamente a lacuna deixada pelo sistema cartesiano, a metodologia de projeto utilizando-se do sistema GD&T define claramente os referências a serem utilizados para projeto, fabricação e montagem.

Desta forma, eliminam-se variações decorrentes da falta de informações ou da ambiguidade das mesmas. A Figura 4 demonstra nas situações A e B, diferentes resultados dimensionais em uma

mesma peça, obtidos somente pela alteração do plano referencial onde a mesma é apoiada durante o processo de inspeção ou fabricação.

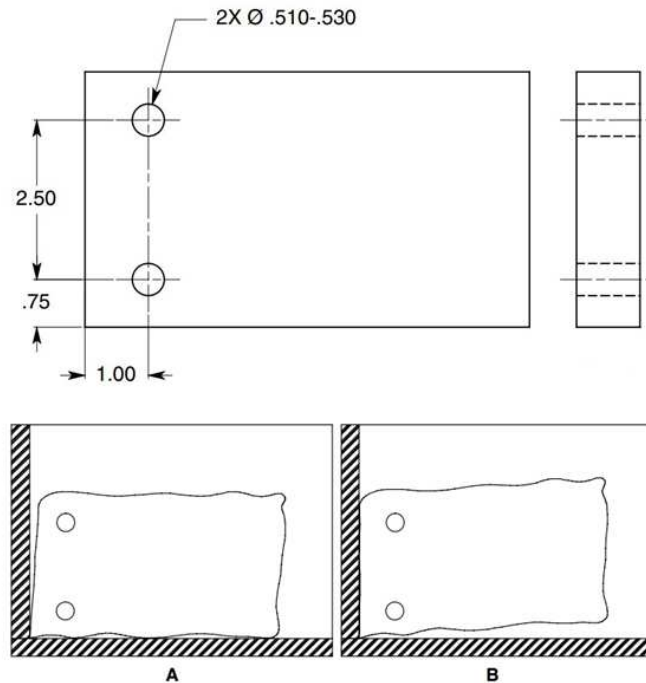


Figura 4 - Possível consequência dos projetos sem referenciais geométricos definidos.

Fonte: Geometrical dimensioning and Tolerance Mechanical Desing. Gene R. Cogorno.

A Figura 5 demonstra a utilização do sistema de referenciamento utilizado pelo GD&T. São eliminados através dos planos A, B e C os graus de rotação e translação da peça, sendo assim definido a orientação da peça, para inspeção, fabricação e projeto.

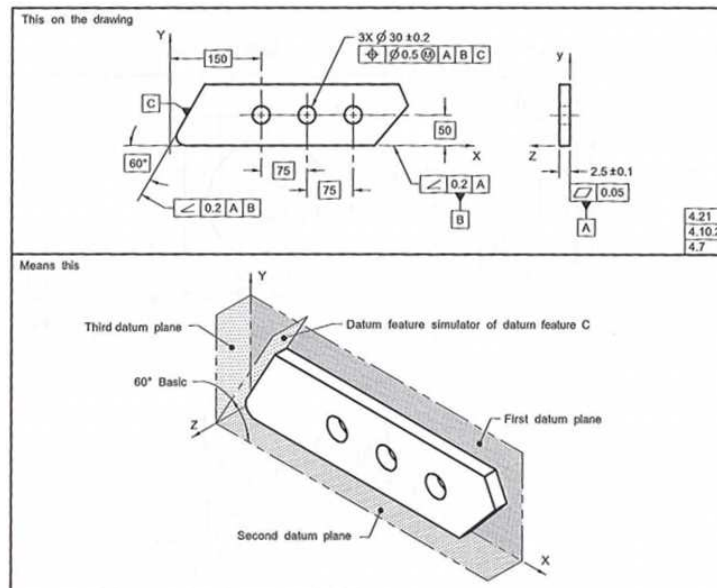


Figura 5 - Exemplo de definição dos referenciais geométricos.

Fonte: Norma ASME 14.5 Y.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 Recursos e Equipamentos

Para o presente trabalho foram utilizados recursos de *software* de projeto e controle, juntamente com equipamentos de medição integrados.

Utilizado em grande escala por empresas de engenharia e responsável por contemplar os conceitos e métodos de engenharia anteriormente descritos, o *software* de projeto utilizado foi o Unigraphics NX 7.5.

Para inspeção dimensional, foi empregado o braço de medição tridimensional portátil Faro Edge, juntamente com o *software* integrado ao mesmo, Polyworks Inspector V12. A Figura 6 demonstra o equipamento utilizado.



Figura 6 - Braço de Medição Tridimensional FARO.

Fonte: <http://www.faro.com>.

Características do equipamento:

- Volume de Medição Esférico de 3.7 mm;
- Exatidão da Esfera de 0.064 mm (Cone Test.) e ± 0.091 mm Volumétrico;
- Exatidão do Scanner ± 0.035 mm;
- Velocidade de captura do Scanner de até 45.120 pontos/seg.

4.2 Materiais

Buscando a validação das metodologias de desenvolvimento de produtos, detalhadas na fundamentação teórica deste trabalho, o mesmo tem como objeto de estudo o vidro do Para-brisa, utilizado em carrocerias de ônibus interurbanos. O emprego do GD&T torna-se altamente justificável, devido a alta complexidade envolvida na geometria desta peça.

A Figura 7 demonstra a geometria do Para-brisa, objeto do presente trabalho.

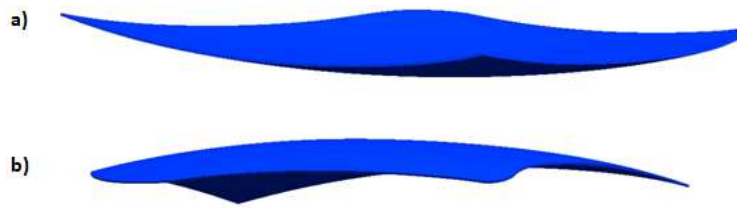


Figura 7 - Geometria complexa do Para-brisa.

Fonte: Comil Ônibus S/A.

4.3 Procedimento

O desenvolvimento do presente trabalho baseou-se na estrutura de desenvolvimento de projetos do autor Palh (2005), onde o mesmo considera quatro macro fases de trabalho: definição da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Entretanto, considerando o objetivo inicial determinado, que engloba os aspectos relacionados a aplicação de GD&T no PDP, o mesmo abordará diretamente as questões relacionadas a fase de projeto detalhado do produto, pois esta é a fase onde a metodologia proposta agrega maior valor. Questões como o estabelecimento dos requisitos dimensionais do produto, estudo das cadeias dimensionais envolvidas no processo de montagem, são fatores considerados já consolidados nas fases anteriores.

Assim, inicialmente foi realizado o detalhamento da peça em estudo, utilizando-se da metodologia de GD&T. A Figura 8 demonstra o projeto detalhado do para brisa.

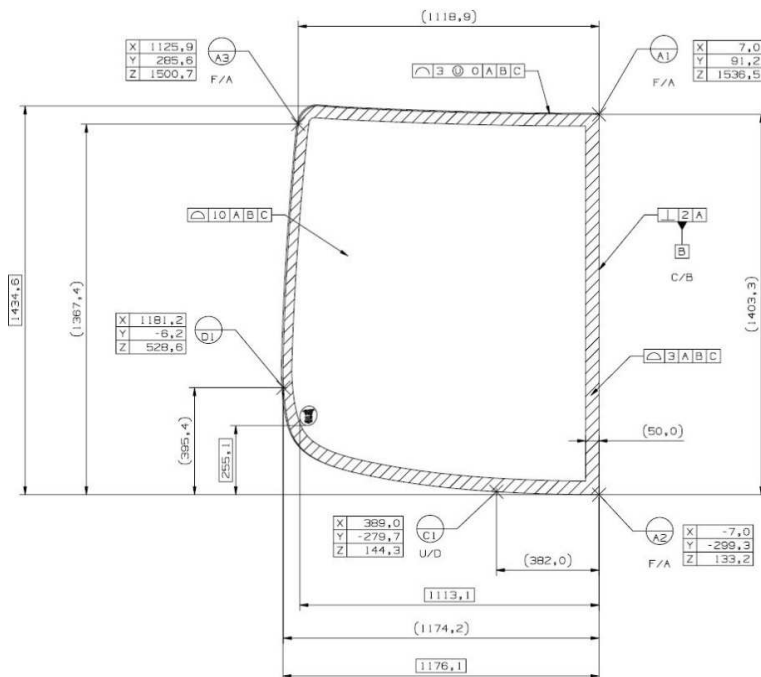


Figura 8 - Projeto detalhado do Para-brisa com aplicação de GD&T.

Fonte: Comil Ônibus S/A.

Partindo dos documentos gerados no projeto, presentemente é possível formar uma cadeia 3D. Com incorporação de fornecedores, pode ser estabelecido um fluxo contínuo de dados no sentido de uma *global-engineering* ou de um *global-sourcing* (PAHL et al, 2005).

Assim, após o projeto concluído, iniciou-se o processo de fabricação da peça, onde este foi realizado por uma empresa fornecedora, especializada na fabricação de componentes para indústria automobilística.

Com a peça em mãos, fruto do desenvolvimento da empresa terceirizada, tornou-se necessário a inspeção dimensional, visando a verificação dos requisitos anteriormente especificados em projeto. Tal processo se deu com a utilização do braço de medição tridimensional Faro Edge, juntamente com o *software* Polyworks Inspector V12. A utilização destes recursos possibilitou a comparação direta entre o modelo matemático previamente projetado e a peça real, obtida através da coleta da nuvem de pontos, com o *scanner* acoplado ao equipamento. A Figura 9 exemplifica o processo de coleta da nuvem de pontos.



Figura 9 - Processo de coleta da nuvem de pontos.

Fonte: Comil Ônibus S/A

Segundo Campbell (2003), processos de medição menos precisos aumentam o nível de habilidades exigidas durante a produção. Em um caso extremo, a falta de precisão na manufatura traz os métodos de produção de volta a forma do artesanato. Um artesão produz um produto individual através da habilidade manual em cada componente. Nesta situação, não existe a intercambialidade entre as peças e conjuntos.

É também importante recordar que a capacidade de metrologia de uma empresa deve ser parte do integral do desenvolvimento de produto. A introdução de capacidades sofisticadas de digitalização, agora torna viável sua utilização, captando um grande número de pontos de forma relativamente rápida.

4.4 Resultados

Realizado o processo de inspeção dimensional, pode-se verificar a amplitude dos desvios medidos entre a peça real e a geometria da peça nominal, obtida pelo *software* de projeto NX 7.5. A Figura 10 demonstra tal comparação, que é somente possível de ser realizada utilizando o *software* Polyworks Inspector V12.

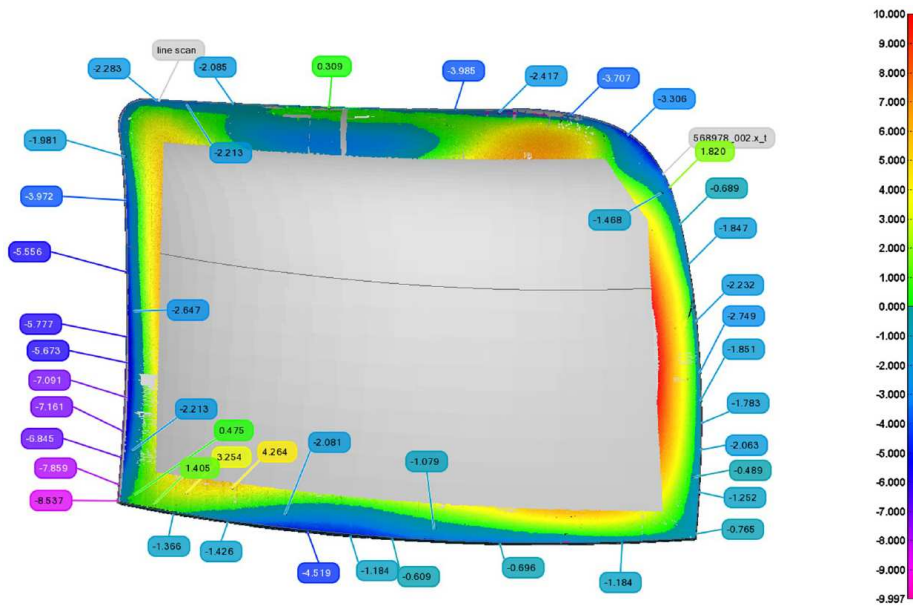


Figura 10 - Comparação entre a peça de amostra e o modelo nominal.

Fonte: Comil Ônibus S/A.

Para o total entendimento da Figura 10, vale ressaltar que os desvios representados por cores, são baseados em um alinhamento entre a nuvem de pontos coletada e a geometria ou peça nominal. Este alinhamento é possível com funções definidas no *software* de medição, que sobrepõe a nuvem de pontos e o modelo matemático em um único arquivo, possibilitando a posterior comparação. Para Henzold (2006), o mais importante durante o processo de medição é o alinhamento entre a peça de trabalho e o dispositivo. Desalinhamentos podem causar grandes erros de medição.

A partir da comparação efetuada, as cores vermelho, amarelo ou verde da imagem, demonstram pontos da nuvem que estão fora da geometria nominal da peça, com o valor de desvio tridimensional indicado nas etiquetas destacadas. Já as demais cores, demonstram pontos posicionados dentro da geometria da nominal da peça, também indicados pelas etiquetas, agora com o valor negativo. Desta forma, pode-se perceber graficamente a amplitude dos desvios e a localização dos mesmos sobre a superfície da peça, demonstrando as imperfeições reais da manufatura, comparadas a perfeita realidade dos projetos de engenharia.

Realizando a verificação dos desvios, comparados as faixas de tolerâncias previstas no projeto, percebe-se o não atendimento dos requisitos dimensionais previamente estabelecidos nas fases anteriores ao projeto detalhado do produto. O projeto de produto especifica variações permissíveis de até 3 mm (determinadas pelo perfil de superfície indicado na área hachurada), sendo que a Figura 10 apresenta desvios de até 10mm.

5. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O não atendimento dos requisitos de projeto, apresenta uma condição de elevado risco ao produto, pois a metodologia do GD&T visa estabelecer controles para garantir a funcionalidade da peça. O não cumprimento destas características, irá resultar no não atendimento da função, anteriormente estabelecida nos requisitos de projeto.

Para o caso em estudo, observa-se a aplicação de tolerâncias pequenas, apenas em algumas áreas específicas da peça, conforme demonstrado na área hachurada da Figura 8. Tal especificação,

exemplifica o fato de que a metodologia de GD&T, considera as zonas de tolerância de acordo com os elementos funcionais encontrados nas peças.

O motivo pelo qual são consideradas zonas de tolerância mais estreitas, nas regiões mais externas da peça, é o fato de que estas serão responsáveis pela vedação do vidro, sobre a estrutura do veículo. Já para as demais regiões, percebe-se uma zona de tolerância maior, pois estas são somente utilizadas pelos limpadores de para brisa, que não necessitam de uma superfície de elevada precisão dimensional, por exemplo.

Então, vale ressaltar a importância da aplicação, do conceito de Engenharia simultânea, considerando que as características apresentadas pelo projeto, devem ser alcançadas pela manufatura, a aproximação entre estas áreas dentro deste contexto, pode eliminar futuras discordâncias, como as apresentadas neste estudo de caso. A departamentalização entre as áreas dentro das organizações, ou mesmo entre estas e seus fornecedores, impossibilitam a criação de “núcleos” de projeto multidisciplinares, aumentando consideravelmente o tempo de desenvolvimento e a margem de erro para o mesmo.

Também é evidenciada nesta análise, a importância da metrologia aliada ao desenvolvimento de produtos. A atuação da área de controle dimensional, tem por função a verificação do real atendimento, dos requisitos de projeto preestabelecidos. Os recursos computacionais e equipamentos atuais possibilitam as equipes, mensurar de forma clara e eficaz, os reais desvios ocorridos durante a manufatura dos produtos. Inseridas dentro do processo de desenvolvimento, através do conceito já apresentado de Engenharia Simultânea, estas equipes terão atribuições de grande valia. Auxiliar as equipes de manufatura na obtenção de processos capazes de atingir as tolerâncias especificadas ou posteriormente, a realização do controle estatístico dos processos, garantindo a conformidade das peças produzidas, são exemplos de contribuições geradas pelo controle dimensional aliado ao PDP.

Quando relacionadas a metodologia de GD&T e o sistema clássico CD&T de dimensionamento, tomando-se como base a peça em estudo, percebe-se com clareza a real fragilidade do método convencional, pois o mesmo não teria condições de estabelecer controles sobre a geometria da peça, alvo de grande preocupação por parte dos engenheiros e projetistas de produto.

De maneira hipotética, considerando a aplicação dos mesmos recursos metrológicos dispostos na metodologia de GD&T, como a coleta e comparação da nuvem de pontos, o sistema de dimensionamento clássico CD&T não teria condições de suportar o processo de inspeção dimensional, pois este seria realizado com instruções deficientes ou ambíguas, gerando resultados que não representariam o real comportamento da peça inspecionada.

6. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho propiciou o entendimento real da aplicação da metodologia GD&T em projetos de produtos, com foco em uma empresa de carrocerias de ônibus.

Este processo evidenciou a grande capacidade de comunicação da linguagem GD&T aplicada aos projetos de engenharia. A mesma possibilitou o envio de informações, de forma clara e consistente, para as áreas de manufatura e controle dimensional.

No ambiente de engenharia, além de grandes avanços nas especificações, a aplicação da metodologia apresenta a possibilidade de realização de novas tarefas, relacionadas ao estudo e verificação de impactos da utilização de tolerâncias, denominadas *Tolerance Stack-up Analysis*.

Considerando o processo de manufatura, responsabilidade direta da empresa fornecedora, o advento da metodologia pode prover grandes avanços, quando em comparação com o método

anteriormente utilizado. Com o aumento dos níveis de informações pertencentes ao projeto e a qualidade das mesmas, a cadeia de fornecedores envolvidos no PDP pode refinar suas ferramentas para obtenção de melhores resultados. Pode-se citar como exemplo, a amplamente utilizada ferramenta *Advanced Product Quality Planning* (APQP), que visa o planejamento para qualidade do produto.

Também podem ser salientados os benefícios da aplicação de GD&T no processo de desenvolvimento de fornecedores. Níveis de especificações maiores e mais claros, proporcionam aos fornecedores objetivos específicos a serem atendidos. Desta forma, o projeto pode atuar como um filtro, durante o processo de desenvolvimento de fornecedores, qualificando os mesmos para o atendimento das especificações solicitadas.

Apresentadas as questões de engenharia e manufatura, torna-se inevitável a menção das questões relacionadas a qualidade do produto. O presente trabalho pode demonstrar a grande importância da verificação dimensional, realizada pelas áreas de controle. Sem a realização de tais verificações, a aplicação da metodologia tornar ia-se obsoleta.

Entretanto, para a correta interpretação das características especificadas pela engenharia e a posterior medição das mesmas, apresenta-se necessário um conhecimento pleno da metodologia aplicada ao projeto. Técnicas metrológicas, baseadas na utilização de máquinas de medição por coordenadas, *Coordinate Measure Machines* (CMM) e *softwares* de medição integrados são características determinantes durante o processo de inspeção. A falta dos requisitos anteriormente apresentados, poderia levar a falhas durante a implantação do método.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASME 14.5M: 2009 - Dimensioning and Tolerancing.

COGORNO, G. R. Geometric Dimensioning and Tolerancing for Mechanical Design. 2nd ed. U.S.A: McGraw-Hill, 2011. 259 p.

CAMPBELL, R. Integrated Product Design and Manufacturing Using Geometric Dimensioning and Tolerancing. 1st ed. U.S.A: Marcel Dekker, 2002. 317 p.

HENZOLD, G. Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design Manufacturing and Inspection: A Handbook for Geometrical Product Specification using ISO and ASME standards. 2nd ed. UK: Elsevier Ltd, 2006. 390 p.

JENSEN, C.; HELSEL, J. Engineering drawing and design. 4th ed. Singapore: McGraw – Hill Book Company, 1992. 789 p.

KRULIKOWSKY, A. Fundamentals of Geometric Dimensioning and Tolerancing. 2nd ed. USA: Delmar Publishers, 1997. 391 p.

PALH, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K-H. Projeto na Engenharia. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2005. 412 p.