

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS COM QUALIDADE DIMENSIONAL NA INDÚSTRIA 4.0

Marcos Aurelio Alves - Universidade de Taubaté - E-mail: socram2011@hotmail.com
Miroslava Hamzagic - Universidade de Taubaté - E-mail: miroslava.hamzagic@unitau.br
Ivair Alves dos Santos - Universidade de Taubaté - E-mail: ivair.santos@unitau.br

Resumo: A indústria brasileira está vivenciando grandes mudanças após a revolução industrial, adequando seus parques fabris para o atendimento de novos requisitos e tecnologias. Com o surgimento da Indústria 4.0 ou a quarta revolução industrial, as empresas necessitaram adaptar-se para os pilares desta revolução, como exemplo os sistemas *cyber-physical*. Neste contexto será apresentado a importância do processo de medição por coordenadas, utilizando o sistema de tolerância linear e geométrico. A presente pesquisa tem como objetivo evidenciar os conceitos da Indústria 4.0 no Brasil e apresentar o sistema de tolerâncias utilizados em desenhos técnicos pela Engenharia de Produto em uma empresa automotiva. As metodologias aplicadas foram a pesquisa bibliográfica e o estudo de caso, a primeira possibilita explicar a definição de vários autores a respeito dos temas e a segunda permite demonstrar credibilidade sobre o tema estudado. Esta pesquisa apresentará o posicionamento de furos de uma peça do cinto de segurança veicular, ela foi manufaturada em uma ferramenta progressiva de corte, dobra e repuxo. Foram utilizados dois sistemas de tolerâncias nos desenhos, norma *ISO 1101* e norma *ASME Y14.5*. Com os resultados obtidos neste artigo, ficou comprovado que a utilização da tolerância geométrica para o posicionamento de furos aprovam 57% de peças a mais do que a tolerância linear. Portanto, através desta pesquisa, pode-se concluir que a sistemática da norma *ASME Y14.5* proporciona uma aprovação mais assertiva das peças manufaturadas em uma ferramenta progressiva.

Palavras-chave: Indústria 4.0, norma *ASME Y14.5*, desenvolvimento de produto, sistema de medição.

DEVELOPMENT OF DIMENSIONAL QUALITY PRODUCTS IN INDUSTRY 4.0

Abstract: The Brazilian industry is experiencing major changes after the industrial revolution, adapting their industrial parks to meet new requirements and technologies. With the emergence of Industry 4.0 or the fourth industrial revolution, companies needed to adapt to the pillars of this revolution, as an example the cyber-physical systems. In this context, the importance of the coordinate measuring process, using the linear and geometric tolerance system, will be presented. This research aims to highlight the concepts of Industry 4.0 in Brazil and present the tolerance system used in technical drawings by Product Engineering in an automotive company. The methodologies applied were bibliographic research and case study, the first makes it possible to explain the definition of various authors regarding the themes and the second allows us to demonstrate credibility on the subject studied. This research will present the positioning of the holes of a vehicle seat belt part, which was manufactured in a progressive cutting, bending and spinning tool. Two tolerance systems were used in the drawings, *ISO 1101* and *ASME Y14.5*. With the results obtained in this article, it was proven that the use of geometric tolerance for hole positioning approves 57% more parts than the linear tolerance. Therefore, through this research, it can be concluded that the *ASME Y14.5* standard system provides a more assertive approval of parts manufactured in a progressive tool.

Keywords: Industry 4.0, *ASME Y14.5* standard, product development, measurement system.

1. Introdução

As empresas para sobreviverem às revoluções industriais e às grandes exigências estabelecidas para os produtos, necessitaram de um Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) que ocorresse de maneira rápida e eficaz e uma confiabilidade metrológica para atenderem as exigências impostas. De acordo com Banzato (2015), as indústrias

brasileiras nos últimos anos têm passado por várias transformações qualificadas como Revolução Industrial. A Indústria 4.0 é caracterizada pelos avanços tecnológicos e sistemas *cyber-physical*.

O gerenciamento do desenvolvimento de produtos é executado por várias atividades, a realização delas é um ponto importante para o sucesso das empresas. Mas para desenvolver um produto, também é necessário considerar informações matemáticas simplificadas, mediante utilização de *Softwares* de desenhos com sistema *Computer Aided Design (CAD)* e de simulação virtual com sistema *Computer Aided Engineering (CAE)*, com o objetivo de representar exatamente a realidade e reduzir os riscos de falhas desse desenvolvimento. De acordo com Zilio, Viero e Walber (2014), com a utilização desses *Softwares* interligados obtêm-se grandes avanços, proporcionando dinamismo na comunicação dos setores da empresa, tornando possível alcançar um nível desejável no desenvolvimento de produto.

O documento de comunicação que descreve a precisão de uma peça é o desenho de engenharia. Este desenho é representado por imagens, palavras, números e símbolos, que reunidos descrevem as informações da peça à todos os usuários do desenho (KRULIKOWSKI, 1998).

A capacidade dos sistemas dentro das empresas inteligentes, torna possível analisar dados e tomar decisões de forma autônoma, proporcionando análise do processo em tempo real e tomada de decisões mais rápidas (BANZATO, 2015). Diante deste cenário, todos os projetos de um produto necessitam ter um estudo, uma determinação de conceitos e uma avaliação das suas especificações dimensionais. As normas de desenhos utilizadas para a realização das tolerâncias são: a norma *ISO 1101* e a norma *ASME Y14.5*.

O sistema cartesiano considerado pela comunidade científica e reconhecido mundialmente é o *Geometric Dimensioning and Tolerance (GD&T)*, ele é o sistema indispensável em desenhos técnicos para garantir as tolerâncias necessárias para a aprovação ou reprovação de peças manufaturadas. Madsen e Madsen (2012) elucidam que a tolerância geométrica determina os requisitos necessários no desenho com maior precisão do que os tolerados da forma convencional, eliminando qualquer dúvida em relação à definição requerida.

As variações dimensionais admissíveis são requisitos para garantir a intercambiabilidade e funcionalidade de um produto. Produtos com dimensões e tolerâncias mal calculadas, além de causarem problemas em performance, apresentam alto custo em desenvolvimento e ocasionam elevadas perdas na produção (WANDECK; SOUZA, 2008).

Existem variáveis desconhecidas introduzidas no PDP, onde os projetistas e os engenheiros necessitam tomar decisões que possam suportar possíveis complicadores na manufatura do produto. Para assegurar o crescimento sustentável e a competitividade das empresas, torna-se necessário o desenvolvimento de projetos de engenharia com alto grau de segurança.

Com a certeza da importância de um sistema de tolerância robusto no desenvolvimento de produtos dentro da Indústria 4.0, o objetivo geral desta pesquisa é elucidar as particularidades da utilização do sistema de tolerâncias *GD&T* descritos na norma *ASME Y14.5* em desenhos técnicos designados para produtos, apresentando os pontos positivos e negativos desta utilização. Os objetivos específicos deste artigo envolvem uma pesquisa qualitativa da Indústria 4.0 e das especificações das tolerâncias geométricas no desenvolvimento de produtos, apresentando uma análise na cadeia geométrica de um produto, definindo e validando a estratégia de medição em Máquina de Medir por Coordenadas (MMC), também conhecida como máquina tridimensional, que serve para controlar as cotas lineares, as angulares e as descritas no sistema *GD&T*.

2. Referencial teórico

As atividades abordadas na concepção de um produto para atender as exigências da Indústria 4.0, empregam metodologias no gerenciamento do PDP e desenhos com alta precisão geométrica, visando atender os requisitos e as necessidades dos clientes. Na fase *Design* de um desenvolvimento, determinado pelo método DMADV, as definições dimensionais e as especificações geométricas definem a complexidade do produto que está sendo desenvolvido. Considerando esta condição, a presente pesquisa tem como foco direto as especificações dimensionais e os sistemas utilizados para a realização dos controles determinados na fase *Design*.

Diante deste cenário, a revisão da literatura apresentará as diretrizes da Indústria 4.0 e dos sistemas de tolerâncias no desenvolvimento de produto, utilizando como exemplo as características para definir posicionamento de furos em peças estampadas. A definição do sistema *GD&T* que é suportado pela norma *ASME Y14.5* proporciona correta interpretação da necessidade dimensional e tomada de decisões assertivas.

2.1. Indústria 4.0

A Indústria 4.0 corresponde a um desenvolvimento progressivo natural dos sistemas das indústrias anteriores, iniciando na mecanização do trabalho realizado no século XVIII até os dias atuais, com uma produção automatizada. A aplicação de sistemas de informações como *Enterprise Resource Planning (ERP)* e *Manufacturing Execution System (MES)* colaboram significativamente com a melhoria da produtividade das fábricas (SANTOS; BASSO; KIMURA, 2018).

As fábricas inteligentes com sistemas *Cyber-Physics*, combinam máquinas com processos digitais, possibilitando todos os processos conectados mediante a *Internet* em toda a cadeia produtiva. Desta maneira, a Indústria 4.0 tem um conceito que proporciona às fábricas uma inteligência que dará capacidade e autonomia para preverem as falhas e se adaptarem aos requisitos. O objetivo da Indústria 4.0 é aprimorar os processos dentro da fábrica em vários fatores, como competência em resposta e habilidade em satisfazer as necessidades dos clientes rapidamente (LYDON, 2015).

Na Indústria 4.0 é aplicada diferentes tecnologias, interagindo para gerar soluções de acordo com a prioridade de cada empresa. A integração das diversas tecnologias podem ser chamadas de inteligência artificial, significando que as tecnologias atuais estão sendo processadas mais rapidamente e as soluções praticadas são diferentes das que prevaleciam. Os impactos destas tecnologias podem ser divididos em impactos no processo produtivo e nos produtos (VERMUIM, 2018).

A produção pode ser paralisada em várias etapas na manufatura ou indústria de montagem. O produto final é resultado da montagem de várias peças, portanto, para garantir esta estabilidade no desenvolvimento do produto é necessário um estudo das dimensões e um sistema dimensional robusto. Os impactos das tecnologias da Indústria 4.0 ocorrem mais acentuadamente na indústria de montagem do que na indústria de processo contínuo, sendo que uma significativa diferença entre eles é a possibilidade de flexibilizar o processo produtivo. Na indústria de montagem espera-se a possibilidade de customizar a produção com as demandas dos clientes, sem afetar as vantagens de se realizar produção em alta escala (VERMUIM, 2018).

A implantação da Indústria 4.0 proporciona diversas vantagens no desenvolvimento da produção brasileira, mas para alcançar o sucesso é necessário uma série de processos

tecnológicos. A Indústria 4.0 gera diversos ganhos, partindo da diminuição dos custos de produção, contando com o aumento da flexibilidade dos processos produtivos, aumento da produtividade, aumento no desenvolvimento tecnológico de produtos e processos, ganhos de eficiência, redução de gastos com manutenção e finalizando na produção de novos modelos de negócio e produtos (HAMMER et al., 2017).

Com os desafios da 4ª revolução industrial as empresas necessitam se tornarem mais eficientes, portanto, as indústrias devem determinar seus objetivos e delinear metas para conceber a indústria do futuro, sendo capazes de disponibilizar serviços e produtos com um padrão competitivo para o mercado.

2.2. Sistema de tolerância geométrica *GD&T*

A norma do sistema *GD&T* é conhecida como norma *ASME Y14.5*, ocorreram várias atualizações durante o tempo e hoje ela é uma referência para os desenhos técnicos. No século XIX foi criado o sistema cartesiano e no século XX *Stanley Parker* criou o método *GD&T*, mas foi em 1945 que foi introduzido pelo Exército Americano, símbolos para o dimensionamento de desenhos (KRULIKOWSKI, 1998).

Com a Revolução Industrial ocorreu a necessidade da utilização de um sistema de tolerâncias, com o objetivo de atender as necessidades de intercambiabilidade das peças, adotou-se o sistema cartesiano que foi baseado nos conceitos do sistema de coordenadas cartesianas (BAKER, 2016). Na Figura 1 é ilustrado numa linha do tempo a evolução da norma *ASME Y14.5* de forma gráfica e simplificada. Atualmente a norma *ASME Y14.5* encontra-se na versão *ASME Y14.5:2018*.

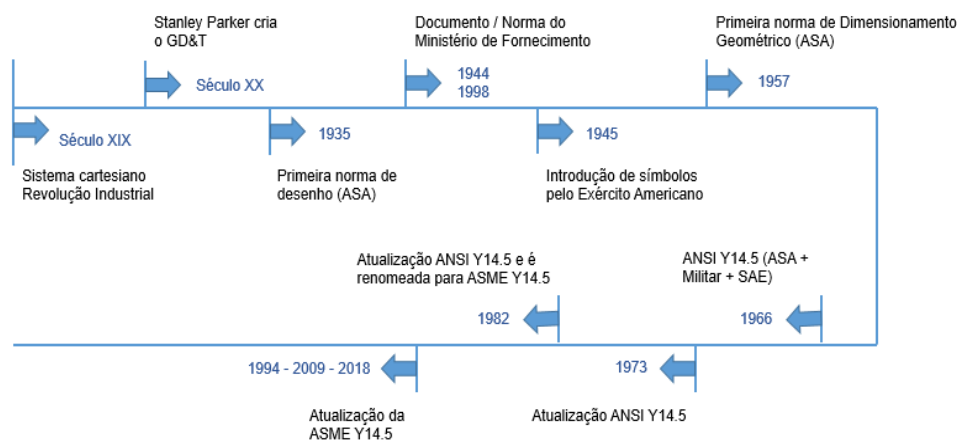


Figura 1 - Evolução das normas de tolerância
Fonte: Adaptado de Baker (2016)

As exigências impostas no dimensional de um produto a partir da revolução industrial e atualmente da Indústria 4.0, fez com que os comitês representativos das normas de desenhos trabalhassem para atender as necessidades de tolerância das engenharias. As duas principais normas de tolerâncias têm mantido uma paridade em torno de 95% e mantido seus conceitos fundamentais. A norma *ISO* e a norma *ASME* denotam em tabelas de símbolos *GD&T* e em outras complementares. As diferenças descritas entre elas são erros de forma e posição, porém a principal diferença é a necessidade de utilizar ou não *Datum* (elemento de referência) para as análises (KRULIKOWSKI, 1998). Na Figura 2 é possível observar os símbolos da norma *ASME Y14.5*.

SIMBOLOS DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS				
APLICAÇÃO	TOLERÂNCIA	CARACTERÍSTICA	SÍMBOLO	NECESSITA DATUM
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUAIS	FORMA	RETITUDE	—	NÃO
		PLANEZA	▭	NÃO
		CIRCULARIDADE	○	NÃO
		CILINDRICIDADE	⊘	NÃO
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUAIS OU RELACIONADAS	PERFIL	PERFIL DE LINHA QUALQUER	⤿	SIM OU NÃO
		PERFIL DE SUPERFÍCIE QUALQUER	⤿	SIM OU NÃO
CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS	ORIENTAÇÃO	PARALELISMO	∥	SIM
		PERPENDICULARIDADE	⊥	SIM
		ANGULARIDADE	∠	SIM
	LOCALIZAÇÃO	POSIÇÃO	⊕	SIM OU NÃO
		CONCENTRICIDADE	⊙	SIM
		SIMETRIA	≡	SIM
	BATIMENTO	BATIMENTO CIRCULAR	↗*	SIM
BATIMENTO TOTAL		↗↘*	SIM	

* AS SETAS PODEM SER PREENCHIDAS OU NÃO PREENCHIDAS

Figura 2 - Símbolos de Características Geométricas
 Fonte: Adaptado da ASME (2009)

2.3. Processo de Medição por Coordenadas

Os processos de manufatura devem produzir produtos de boa qualidade e atender as exigências da Indústria 4.0, seu controle deve ser confiável para garantir a intercambiabilidade das peças, portanto, os processos de medição devem ter um alto nível de confiabilidade metrológica, proporcionando um baixo nível de incerteza que possa provocar falsas interpretações em relação a medição realizada. A medição por coordenadas é muito necessária para o atendimento dos requisitos *GD&T* no controle de produtos e processos, proporcionando alta velocidade na medição e baixa incerteza nos valores, deixando o dimensionamento mais confiável. As medições por coordenadas proporcionam vantagens na fase do desenvolvimento de produto, na fase do desenvolvimento de processos e na fase de controle da produção (OLIVEIRA, 2003). Na Figura 3, é ilustrado as vantagens das diferentes etapas do ciclo produtivo de um componente.



Figura 3 - Sistema de medição por coordenadas nas fases de um produto
 Fonte: Adaptado de Oliveira (2003)

Os processos de medição por coordenadas nos processos produtivos de uma Indústria 4.0 são bastante utilizados durante o ciclo produtivo de uma peça. Sendo que este processo tem dupla responsabilidade: inspecionar os componentes e monitorar os processos. Identificando e refugando peças fora do conforme, para que elas não sigam no processo de montagem. Os dados dimensionais servem para otimizar e orientar futuros projetos de produtos. Portanto, o processo de medição por coordenadas deve ser confiável e eficiente (OLIVEIRA, 2003).

2.4. Utilização do sistema de tolerância geométrica GD&T

Os Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial, manufaturavam peças de reposição para utilizarem em seus equipamentos de guerra, mas muitas delas não davam montagem e as peças acabavam sendo perdidas. Após a guerra, através de uma comissão organizada pelo governo, com a participação de pesquisadores das indústrias e profissionais da educação, tentou-se desenvolver uma solução para este problema (COGORNIO, 2006).

O Engenheiro Britânico *Stanley Parker*, por volta de 1940, quando trabalhava na marinha inglesa, nas demandas da guerra, após realizar experiências com peças reprovadas nas inspeções, concluiu que elas montavam. Portanto, o conceito do que era ruim estava sendo determinado de uma forma errônea, surgindo uma nova sistemática, o *GD&T*. De acordo com Krulikowski (1998), o *GD&T* utiliza conceito de dimensionamento funcional. Sendo um método utilizado para definir as dimensões, partindo da funcionalidade do produto final.

O sistema mais utilizado em desenhos técnicos atualmente é o sistema *GD&T*, em português significa Dimensionamento Geométrico e Tolerância, sendo uma linguagem de símbolos utilizados para desenhos, mas as tolerâncias lineares continuam sendo bastante úteis. No sistema *GD&T* são utilizados símbolos, convenções, regras e definições, com o objetivo que exista uma correta tolerância geométrica, diferenciando as tolerâncias lineares que utilizam dimensões máximas e mínimas. No sistema *GD&T* considera-se a posição verdadeira da montagem ‘*true position*’, sendo que esta posição é referenciada pelo centro do elemento que está sendo tolerado. Garantindo que o campo de tolerância altere de quadrado no sistema de tolerância linear para um cilindro no sistema *GD&T* (MADSEN; MADSEN, 2012).

De acordo com Quirino (2017), as zonas de tolerâncias lineares de um furo, amplamente utilizadas no Brasil por estabelecerem limites superiores e inferiores para dimensões, emprega na sua solução uma zona de tolerância retangular, ao contrário do sistema de tolerância *GD&T* que utiliza zonas de tolerâncias de posição circulares. Na Figura 4, é ilustrado a zona de tolerância estabelecida pelo sistema linear e pelo sistema geométrico.

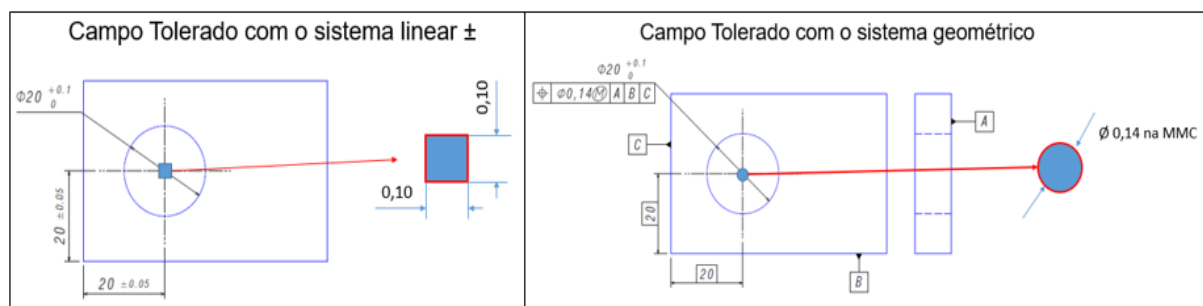


Figura 4 - Sistemas de Tolerância para um furo
Fonte: Adaptado de Cogorno (2006)

De acordo com Cogorno (2006), na Figura 4, o campo tolerado no sistema geométrico é sempre orientado por um referencial, a zona de tolerância cilíndrica é orientada perpendicularmente ao plano A e sua localização se dá através de dimensões básicas partindo

dos planos de referência B e C. Observa-se que as dimensões básicas não possuem tolerâncias, diferente do indicado no sistema linear.

A zona de tolerância cilíndrica, ao contrário da tolerância retangular do sistema linear, define uma distância uniforme da posição real, partindo do centro até o limite da zona de tolerância. Para uma zona de tolerância cilíndrica diametral de 0,14mm, é especificado uma tolerância em todas as direções de 0,07mm da posição central. Portanto quando se calcula uma zona de tolerância cilíndrica circunscrita em torno de uma tolerância quadrada se obtêm um ganho de 57% de área, ou seja, existem 57% de reprovações de peças que deveriam ser aprovadas (COGORNO, 2006). A Figura 5 ilustra as áreas reprovadas, que quando somadas comprovam a reprovação de 57% de peças boas.

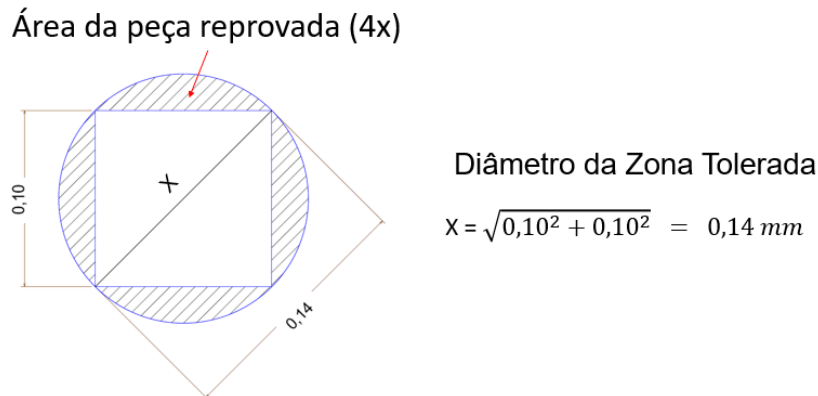


Figura 5 - Zona de tolerância cilíndrica fornecendo uma distância uniforme
Fonte: Adaptado de Cogorno (2006)

3. Estudo de Caso

Neste capítulo é apresentado a comparação dos dois sistemas de medições, o linear e o geométrico, utilizados nos dimensionais das posições de furos de um componente do cinto de segurança veicular, manufaturado na estamparia. O estudo destes dois sistemas tem o objetivo de identificar as reprovações de peças que deveriam ser aprovadas.

A proposta do estudo de caso analisará três maneiras de dimensionar a posição de furos de uma peça, inicialmente será adotado a tolerância linear utilizando uma tolerância retangular, depois a tolerância geométrica de posição, sem a utilização dos indicadores de bônus MMC e finalizando com a tolerância geométrica de posição com a indicação do bônus MMC.

3.1. Carcaça do Retrator do Cinto de Segurança

O cinto de segurança automotivo é composto por várias peças que realizam interface de montagem, para garantir que não reprovem peças boas e aprovem peças que ocasionam interferência na montagem, é necessário um estudo cauteloso para determinar suas tolerâncias. O Conjunto Retrator é responsável em executar o bloqueio e o travamento do cinto de segurança quando necessário, a Carcaça do Retrator é a principal peça deste conjunto e responsável por resistir a este travamento. Ela é estampada em aço e nela monta-se os conjuntos lado mola e mecanismo, sendo fixado uma porca que irá realizar o acoplamento do cinto de segurança na carroceria do veículo. A Figura 6 ilustra o Conjunto Retrator, a Carcaça do Retrator e os conjuntos lado mola e lado mecanismo.

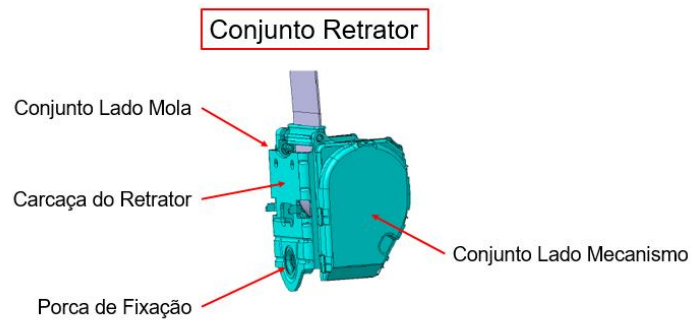


Figura 6 - Componentes do Conjunto do Retrator
Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

3.2. Desenvolvimento do estudo de caso

A empresa participante do estudo de caso é do setor automotivo, ela é certificada pelo norma IATF 16949 e trabalha diretamente para o atendimento dos pilares da Indústria 4.0. Ela possui um processo produtivo totalmente verticalizado, portanto, os componentes são desenvolvidos e manufaturados na própria empresa. O setor de metrologia utiliza a 'MMC Zeiss' para a realização dos dimensionais, garantindo uma ótima precisão no dimensionamento.

O modelo da carcaça do retrator foi projetado no Software CAD 'Catia V5', nesta atividade o projetista foi responsável em realizar o estudo dimensional de todas as peças que realizam interfaces com este componente, as peças não podem ter interferências e deve existir uma folga mínima de montagem. Este componente é estampado e apresenta relativa complexidade para seu dimensional. A Figura 7 ilustra a Carcaça do Retrator modelada e manufaturada, sendo que o modelo CAD apresenta a forma perfeita e será utilizado na máquina Zeiss.



Figura 7 - Carcaça do Retrator
Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

3.2.1. Proposta de desenhos conforme as normas de tolerância

Para a realização do dimensional é necessário um desenho *Drawing*, também conhecido como desenho 2D, nele é determinado as especificações, as dimensões e as tolerâncias da peça desenhada, foram realizados 3 configurações que serão apresentados mais à frente.

A primeira proposta de desenho *Drawing* foi realizada conforme norma ISO 1101, a tolerância dos furos foram dimensionadas com os indicadores máximos e mínimos utilizando o sinal (+ ou -). Na Figura 8, é ilustrado uma vista do desenho *Drawing* com esta configuração, foi dado ênfase no dimensionamento dos furos da carcaça, utilizando o sistema de tolerância linear nas cotas.

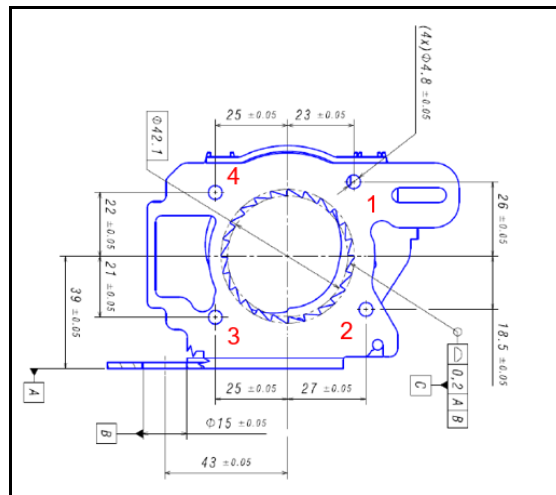


Figura 8 - Tolerância conforme Norma ISO 1101
 Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

A segunda proposta de desenho foi realizada conforme norma ASME Y14.5, esta norma permite o dimensional ser tolerado com ou sem o indicador MMC. Na Figura 9, é ilustrado a esquerda, o dimensional sem o MMC, significando que a tolerância diametral de 0,14mm permitida para o posicionamento está congelada para qualquer diâmetro do furo de 4,8mm encontrado. E no lado direito, o dimensional utilizando o MMC, com esta configuração o diâmetro de 0,14mm permitido para o posicionamento, aumenta de acordo com o diâmetro do furo de 4,8mm encontrado, portanto, é dado um bônus de acordo com o aumento do diâmetro do furo, partindo da máxima condição de material, neste caso o furo quando está com diâmetro de 4,75mm encontra-se nesta condição.

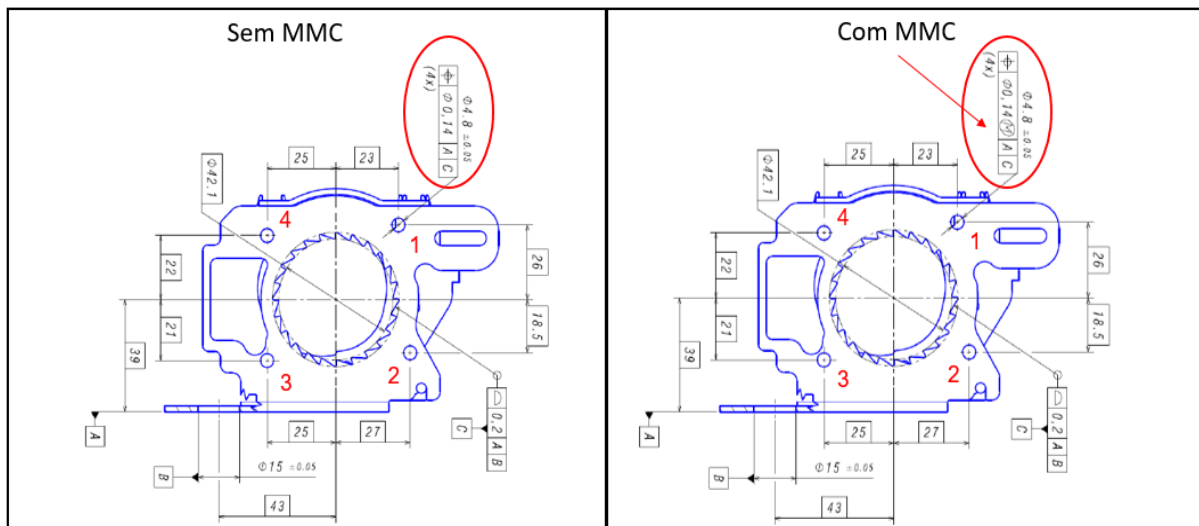


Figura 9 - Tolerância conforme Norma ASME Y14.5, sem e com MMC
 Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

3.2.2. Dimensionais conforme as normas de tolerância

Foi realizado o dimensional em uma peça na máquina ‘MMC Zeiss’, utilizando as três configurações de desenhos propostos, garantindo uma precisão do posicionamento e proporcionando uma melhor visão dos deslocamentos dos furos. As respostas foram acolhidas a partir da terceira casa decimal, portanto, as medidas estão com precisão milesimal.

De acordo com o dimensionado na máquina 'MMC Zeiss', foi realizada uma imagem para apresentar os diâmetros e os posicionamentos dos furos encontrados. Na Figura 10, são ilustrados os 4 furos, eles foram numerados de 1 a 4, para melhor entendimento.

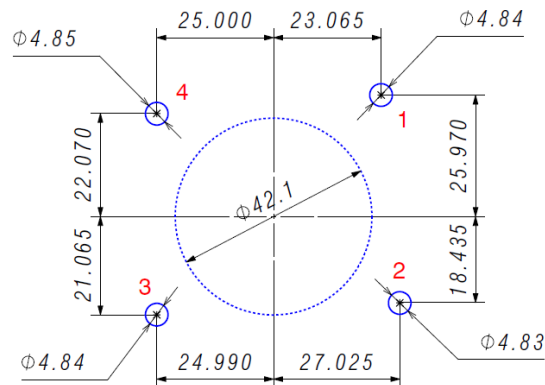


Figura 10 - Valores encontrados na MMC Zeiss
Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

Partindo dos dimensionais encontrados, foram realizados os relatórios dimensionais. A Figura 11 ilustra os relatórios dimensionais, sendo:

- O dimensional 1 é conforme a norma *ISO 1101*, podemos observar que os furos estão ficando fora de posicionamento linear e por este motivo o relatório dimensional encontra-se reprovado;
- O dimensional 2 é conforme norma *ASME Y14.5* sem MMC, podemos observar que as mesmas dimensões aprovam a peça no sistema de tolerância *ASME Y14.5*, isto acontece porque esta peça é uma das 57% das peças reprovadas quando se utiliza o sistema linear. As cotas básicas não são toleradas e por este motivo não encontram-se reprovadas, a tolerância diametral de 0,14mm permite esta variação em todos os pontos, diferente da forma linear que é permitido somente na horizontal e na vertical.
- O dimensional 3 é conforme norma *ASME Y 14.5* com MMC, as peças continuam aprovadas, mas podemos observar que os diâmetros dos furos de 4,8mm influenciam no campo tolerado do diâmetro de 0,14mm. Por exemplo, no primeiro furo (1), o diâmetro encontrado foi de 4,84mm, por este motivo, a tolerância de 0,14mm na MMC recebe um bônus de 0,09mm por estar em uma condição máxima de material, passando a valer o diâmetro de 0,23mm. Desta maneira, é permitido que as cotas básicas (26,0 e 23,0), possam deslocar mais, sem reprovar a peça.

DIMENSIONAL 1: CONFORME NORMA ISO 1101					DIMENSIONAL 2: CONFORME NORMA ASME Y14.5 SEM MMC					DIMENSIONAL 3: CONFORME NORMA ASME Y14.5 COM MMC				
DETALHE	DIMENSÃO	TOLERÂNCIA	ENCONTRADO	STATUS	DETALHE	DIMENSÃO	TOLERÂNCIA	ENCONTRADO	STATUS	DETALHE	DIMENSÃO	TOLERÂNCIA	ENCONTRADO	STATUS
1	Ø 4.8	± 0.05	Ø 4.84	Aprovado	1	Ø 4.8	± 0.05	Ø 4.84	Aprovado	1	Ø 4.8	± 0.05	Ø 4.84	Aprovado
	26.0	± 0.05	25.970	Aprovado		26.0	BÁSICA	25.970	Aprovado		26.0	BÁSICA	25.970	Aprovado
	23.0	± 0.05	23.065	Reprovado		23.0	BÁSICA	23.065	Aprovado		23.0	BÁSICA	23.065	Aprovado
2	Ø 4.8	± 0.05	Ø 4.83	Aprovado	2	Ø 4.8	± 0.05	Ø 4.83	Aprovado	2	Ø 4.8	± 0.05	Ø 4.83	Aprovado
	18.5	± 0.05	18.435	Aprovado		18.5	BÁSICA	18.435	Aprovado		18.5	BÁSICA	18.435	Aprovado
	27.0	± 0.05	27.025	Reprovado		27.0	BÁSICA	27.025	Aprovado		27.0	BÁSICA	27.025	Aprovado
3	Ø 4.8	± 0.05	Ø 4.84	Aprovado	3	Ø 4.8	± 0.05	Ø 4.83	Aprovado	3	Ø 4.8	± 0.05	Ø 4.83	Aprovado
	21.0	± 0.05	21.065	Reprovado		21.0	BÁSICA	21.065	Aprovado		21.0	BÁSICA	21.065	Aprovado
	25.0	± 0.05	24.990	Aprovado		25.0	BÁSICA	24.990	Aprovado		25.0	BÁSICA	24.990	Aprovado
4	Ø 4.8	± 0.05	Ø 4.85	Aprovado	4	Ø 4.8	± 0.05	Ø 4.85	Aprovado	4	Ø 4.8	± 0.05	Ø 4.85	Aprovado
	22.0	± 0.05	22.070	Aprovado		22.0	BÁSICA	22.070	Aprovado		22.0	BÁSICA	22.070	Aprovado
	25.0	± 0.05	25.000	Aprovado		25.0	BÁSICA	25.000	Aprovado		25.0	BÁSICA	25.000	Aprovado

Figura 11 – Relatórios dimensionais
 Fonte: Elaborado pelos Autores (2021)

4. Considerações Finais

Esta pesquisa apresentou o posicionamento das indústrias no quesito da Indústria 4.0, com ênfase na importância de um método de medição inteligente, com colaboradores capazes de definir e otimizar este método com base em suas experiências.

O desenvolvimento deste artigo propiciou a compreensão real da utilização da metodologia *GD&T* em projetos desenvolvidos para produtos, exemplificado em um componente do cinto de segurança manufaturado em uma empresa automotiva.

Este trabalho constatou a importância da análise correta da sistemática empregada pela norma *ISO 1101* e norma *ASME Y14.5*, quando utilizadas na determinação de posicionamento de furos ou figuras em projetos de engenharia.

Com as análises realizadas pode-se concluir que, para o caso estudado, o posicionamento de uma figura utilizando o sistema linear reprova 57% de peças consideradas boas, a utilização do sistema geométrico garante uma aprovação mais correta, mas é sempre necessário a utilização dos modificadores de materiais, para garantir um bônus que proporcione uma maior variação nas dimensões básicas e garanta a montagem.

Também podem ser evidenciadas as vantagens da utilização do sistema *GD&T* no processo de desenvolvimento de fornecedores. Através de um estudo dimensional realizado na fase *Design* de um desenvolvimento de produto comprado, obtêm-se um nível de especificação maior e mais simplificado, permitindo aos fornecedores o atendimento dos objetivos determinados nas especificações solicitadas.

Entretanto, deve-se considerar no processo de medição o alinhamento das peças e a utilização de dispositivos, pois a falta de um dispositivo robusto e peças desalinhadas proporcionam grandes erros de medição.

O conhecimento do metrologista sobre a metodologia aplicada é essencial na correta interpretação do desenho, na utilização de técnicas metroológicas e no manuseio correto da máquina MMC. O não atendimento a estes requisitos podem levar há interpretações errôneas durante o processo dimensional.

Referências

- ASME - AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS.** *ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing – Engineering Drawing and Related Documentation Practices.* New York - NY, p. 214, 2009.
- BAKER, J. M. C.** *Dimensionamento Geométrico: Análise de Diferenças entre Medições de Perpendicularidade Aplicando a Norma ISO 1101/2012 e ASME Y14.5-2009 e suas Implicações.* Orientador: Meinhard Sesselmann. 64 p. Dissertação curso de Mestrado em Engenharia Mecânica. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte – MG, 2016.
- BANZATO, E.** *Indústria 4.0: Com a IoT (“Internet of Things”) a Indústria Consolida mais uma Nova Revolução.* Revista Logística. São Paulo, ago. 2015. Disponível em <https://www.imam.com.br/logistica/artigos/serie-tecnologia-da-informacao/2278-industry-4-0>. Acesso em: 06 jul. 2021.
- COGORNO, G. R.** *Geometric Dimensioning and Tolerancing for Mechanical Design: A Self-Teaching Guide to the ASME Y14.5-1994 Standard.* New York, Editora McGraw-Hill Education, p. 255, 2006.
- HAMMER, M.; SOMERS K.; KARRE H. & RAMSAUER C.** *Profit per Hour as a Target Process Control Parameter for Manufacturing Systems Enabled by Big Data Analytics and Industry 4.0 Infrastructure.* Procedia CIRP 63, Vol. 63, s/n, p. 715-720, 2017.
- KRULIKOWSKI, A.** *Fundamentals of Geometric Dimensioning and Tolerancing.* USA. Delmar Publishers, p. 391, 1998.
- LYDON, B.** *Industry 4.0: Should You Bet on it? Automation.com.* Mar. 2015, Disponível em: <https://www.automation.com/en-us/articles/2015-1/industry-40-should-you-bet-on-it>. Acesso em: 06 jul. 2021.
- MADSEN, D. A. & MADSEN, D. P.** *Engineering Drawing & Design.* Oregon City. 1330 p. versão 5. 2012.
- OLIVEIRA, A. L.** *Validação de processos de medição por coordenadas em operações de controle da qualidade.* Orientador: André Roberto de Sousa. 165 p. Dissertação de Mestrado em Metrologia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2003.
- QUIRINO, J. M. M.** *Estudo das Técnicas de GD&T e sua Aplicação em Máquinas de Medição por Coordenadas.* Orientador: João Bosco de Aquino Silva. 70 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. João Pessoa - PB, 2017.
- SANTOS, D. F. L.; BASSO, L. F. C. & KIMURA, H.** *The Trajectory of the Ability to Innovate and the Financial Performance of the Brazilian Industry.* Technological Forecasting & Social Change, Vol. 127, s/n, p. 258-270. 2018.
- VERMUM, R.** *Políticas para o Desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil. Instituto de estudos para o desenvolvimento industrial.* São Paulo, p. 31, 2018.
- WANDECK, M. & SOUZA, A. R.** *Análise Funcional e Metrológica dos Princípios de Taylor e da Independência na Especificação e Controle Geométrico de Produtos.* In: 1º CONGRESSO INTERNACIONAL DE METROLOGIA MECÂNICA. Rio de Janeiro, p. 6, 2008.
- ZILIO, T. M.; VIERO, C. F. & WALBER, M.** *GD&T – Aspectos Relacionados ao Desenvolvimento de Produtos.* Revista CIATEC – UPF, Vol. 6, n. 1, p. 1-12, 2014.