

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
FATEC PROFESSOR JESSEN VIDAL**

**ESTHER GLADYS BORGES GOMES
FÁBIO JUNIO RODRIGUES SILVA
RAFAEL GONÇALVES DE OLIVEIRA**

**TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO GD&T CONFORME
NORMA ASME Y14.5-2018: ANÁLISE DE DIFERENÇAS
ENTRE MEDIÇÕES DE PERFIL DE SUPERFÍCIE E DE
POSIÇÃO APLICANDO A HIERARQUIA DOS DATUMS**

São José dos Campos
2024

**ESTHER GLADYS BORGES GOMES
FÁBIO JUNIO RODRIGUES SILVA
RAFAEL GONÇALVES DE OLIVEIRA**

**TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO GD&T CONFORME
NORMA ASME Y14.5-2018: ANÁLISE DE DIFERENÇAS
ENTRE MEDIÇÕES DE PERFIL DE SUPERFÍCIE E DE
POSIÇÃO APLICANDO A HIERARQUIA DOS DATUMS**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Tecnólogo em Projetos de Estruturas Aeronáuticas.

Orientador: Dr. Joares Lidovino dos Reis
Coorientador: Me. Celso de Oliveira

São José dos Campos
2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**Divisão de Informação e Documentação**

GOMES, Esther Gladys Borges
 SILVA, Fábio Junio Rodrigues
 OLIVEIRA, Rafael Gonçalves de
 Tecnologias para medições de toleranciamento geométrico GD&T
 São José dos Campos, 2024.
 70f.

Trabalho de Graduação – Curso de Tecnologia em Projetos de Estruturas Aeronáuticas.
 FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal, 2024.
 Orientador: Dr. Joares Lidovino dos Reis
 Coorientador: Me. Celso de Oliveira

1. Tolerância Geométrica. 2. Medidas por Coordenadas. 3. Tridimensional. I. Faculdade de Tecnologia. FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal. Divisão de Informação e Documentação. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GOMES, Esther Gladys Borges; SILVA, Fábio Junio Rodrigues; OLIVEIRA, Rafael Gonçalves de. **Toleranciamento geométrico gd&t conforme norma asme y14.5-2018: análise de diferenças entre medições de perfil de superfície e de posição aplicando a hierarquia dos datums.** 2024. 70f. Trabalho de Graduação - FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal.

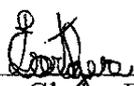
CESSÃO DE DIREITOS

NOME(S) DO(S) AUTOR(ES): Esther Gladys Borges Gomes, Fábio Junio Rodrigues Silva, Rafael Gonçalves de Oliveira

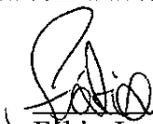
TÍTULO DO TRABALHO: Toleranciamento geométrico gd&t conforme norma asme Y14.5-2018: análise de diferenças entre medições de perfil de superfície e de posição aplicando a hierarquia dos datums

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Graduação/2024.

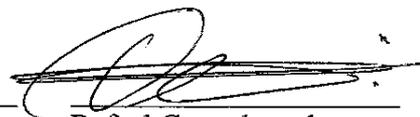
É concedida à FATEC de São José dos Campos: Professor Jessen Vidal permissão para reproduzir cópias deste Trabalho e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Trabalho pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



Esther Gladys Borges
 Gomes
 Rua serra dos Órgãos, 44
 Jardim Anhembi
 12235-230, São José dos
 Campos, São Paulo



Fábio Junio Rodrigues
 Silva
 Rua serra dos Órgãos, 14
 Jardim Anhembi
 12235-230, São José dos
 Campos, São Paulo

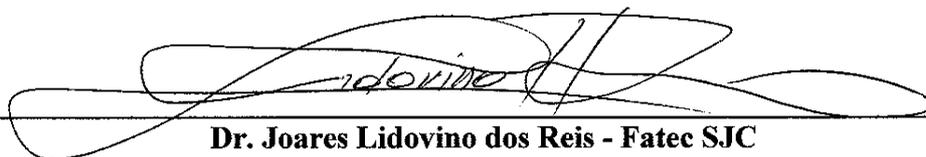


Rafael Gonçalves de
 Oliveira
 R. Koichi Matsumura, 680 -
 Jardim America, São José
 dos Campos - SP, 12235-
 180, São José dos Campos,
 São Paulo

**ESTHER GLADYS BORGES GOMES
FÁBIO JUNIO RODRIGUES SILVA
RAFAEL GONÇALVES DE OLIVEIRA**

**TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO GD&T CONFORME
NORMA ASME Y14.5-2018: ANÁLISE DE DIFERENÇAS
ENTRE MEDIÇÕES DE PERFIL DE SUPERFÍCIE E DE
POSIÇÃO APLICANDO A HIERARQUIA DOS DATUMS**

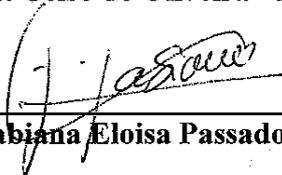
Trabalho de Graduação apresentado à
Faculdade de Tecnologia de São José dos
Campos, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do título de
Tecnólogo em Projetos de Estruturas
Aeronáuticas.



Dr. Joares Lidovino dos Reis - Fatec SJC



Me. Celso de Oliveira - Fatec SJC



Me. Fabiana Eloisa Passador - Fatec SJC



Me. Edmar de Queiroz-Figuereado - Fatec SJC

20/10/2024

DATA DA APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

Aos nossos familiares por incentivar, motivar e nos compreender durante esse período de graduação e conclusão do curso.

A Instituição Fatec São José dos Campos, sua administração e corpo docente, por viabilizar um ensino de qualidade com muita competência e dedicação.

Aos professores Dr. Joares Lidovino dos Reis, Dra. Heide Heloise Bernardi e Me. Celso de Oliveira, por seu tempo, observações e orientações que permitiram tanto nosso desenvolvimento individual quanto em grupo, onde possibilitou a execução e conclusão deste trabalho.

RESUMO

Toleranciamento geométrico gd&t conforme norma asme y14.5-2018: análise de diferenças entre medições de perfil de superfície e de posição aplicando a hierarquia dos datums, refere-se a um trabalho sobre tolerância geométrica do inglês, *Geometric Dimensioning and Tolerancing* (GD&T) que pode ser considerado uma linguagem universal, no qual é expresso as tolerâncias ou requisitos necessários para produção de peças ou montagem. O objetivo deste trabalho é apresentar o GD&T e sua aplicação, com a intuito de mostrar sua eficácia quando aplicada de maneira correta. A demonstração será realizada através de duas medições aplicando a diretriz da norma quanto a hierarquia dos datums. Além de ser uma linguagem universal, sua aplicação durante o processo de fabricação se torna algo positivo evitando prejuízos. Portanto, torna-se favorável disseminar o conhecimento e a utilização da Tolerância Geométrica GD&T do início ao fim do projeto, garantindo qualidade em todo processo de fabricação.

Palavras-Chave: Linguagem Universal; Tolerância Geométrica; Medidas por coordenadas; Tridimensional.

ABSTRACT

Geometric Dimensioning and Tolerancing (GD&T) According to ASME Y14.5-2018 Standard: Analysis of Differences Between Surface Profile and Position Measurements Applying Datum Hierarchy.

This work refers to geometric dimensioning and tolerancing (GD&T), which can be considered a universal language. It expresses the necessary tolerances or requirements for the production of parts or assembly. The objective of this work is to present GD&T and its application, aiming to demonstrate its effectiveness when applied correctly. The demonstration will be carried out through two measurements applying the guideline of the standard regarding the hierarchy of datums. In addition to being a universal language, its application during the manufacturing process becomes beneficial, preventing losses. Therefore, it is favorable to disseminate the knowledge and use of GD&T from the beginning to the end of the project, ensuring quality throughout the manufacturing process.

Keywords: Universal Language; Geometric Tolerance; Measurements by coordinates; Three-dimensional.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (a), (b) Exemplos de toleranciamento cartesiana e (c) é toleranciamento circular. ...	16
Figura 2. Zona de Tolerância Cartesiana e Geométrica de um Furo.	17
Figura 3. Sistema Clássico de Dimensionamento Cartesiano.	18
Figura 4. Sistema Geométrico de Dimensionamento e Toleranciamento.	20
Figura 5. Tolerância de posição real do elemento.	21
Figura 6. Exemplo dos elementos adimensionais e dimensionais.	22
Figura 7. Ilustração do MMC e LMC em furos e eixos.	22
Figura 8. Exemplo de quadro de controle.	25
Figura 9. Tipos de indicações de datum em superfície plana.	26
Figura 10. Ilustração de datums em linhas de centro.	27
Figura 11. Ilustração de datum plano central.	27
Figura 12. Controle de posição referente aos datums e suas dimensões básicas.	28
Figura 13. Ilustração dos graus de liberdades.	28
Figura 14. Ilustração de datum plano e datum cilíndrico.	29
Figura 15. Ilustração do travamento dos graus de liberdade.	30
Figura 16. Ilustração do travamento no Datum plano central.	30
Figura 17. Ilustração do simulador universal, morsa.	31
Figura 18. Ilustração do travamento digital utilizando um braço tridimensional.	32
Figura 19. Ilustração simulação alvo datum.	33
Figura 20. Exemplos de indicação de alvo Datum.	33
Figura 21. Avaliação: Desvios dimensionais e geométricos.	34
Figura 22. Máquina de medir por coordenados cartesianos.	35
Figura 23. Esquemático braço.	36
Figura 24. Equipamentos.	37
Figura 25. Apalpador rígido.	38
Figura 26. Apalpadores comutadores.	38
Figura 27. Apalpador analógico.	39
Figura 28. Braço tridimensional.	39
Figura 29. Braço articulado configuração	40
Figura 30. Movimento	41
Figura 31. Configuração Scara.	41
Figura 32. Peça projetada para exemplificar a medição de posição com MM.	42
Figura 33. Quadrante detalhando os datums	42
Figura 34. Quadrante detalhando o diâmetro dos furos e o quadro de controle.	42
Figura 35. Quadrante detalhando as cotas básicas	43
Figura 36. Peça produzida, sobreposta ao que foi projetado, para demonstrar os desvios.	43
Figura 37. Quadrante detalhando os diâmetros encontrados e os desvios no eixo Y.	44
Figura 38. Quadrante destacando os itens de 7 a 13.	44
Figura 39. Zoom no furo 2 ilustrando como a máquina encontra o desvio.	45
Figura 40. Demonstração da aplicação do cálculo.	45
Figura 41. Demonstra a condição de máximo material e a dimensão real dos furos	47
Figura 42. Quadrante que destaca as novas tolerâncias e os desvios dos furos	47
Figura 43. Mostra a posição encontrada e a condição aprovado ou reprovado dos furos	48
Figura 44. Características controladas com a tolerância de perfil de superfície.	49
Figura 45. Característica de localização na tolerância de perfil de superfície unilateral.	50
Figura 46. Desenho 2D Suporte Fixação.	52
Figura 47. Peça presa na morsa.	53
Figura 48. Máquina de medir por coordenadas tridimensional.	54

Figura 49. Ponteira de diâmetro de $\varnothing 1,0\text{mm}$	55
Figura 50. Travamento do datum A.....	56
Figura 51. Travamento do datum B.....	56
Figura 52. Travamento do datum C.....	57
Figura 53. Alinhamento correto.....	59
Figura 54. Relatório da medição com o alinhamento correto.....	60
Figura 55. Destacando a cota 1 e as medidas nominais.....	60
Figura 56. Destacando as tolerâncias	61
Figura 57. Destacando as medidas e os desvios	61
Figura 58. Destacando o desvio fora da tolerância de posição, bônus e o gráfico de desvio...	62
Figura 59. Demonstrando a medição da cota 2	62
Figura 60. Destacando as medições das costas 3 e 4.....	63
Figura 61. Exibição dos vetores com a direção e o sentido dos desvios	64
Figura 62. Alinhamento sem respeitar a hierarquia dos datums.....	64
Figura 63. Relatório de medição com a aplicação do alinhamento incorreto.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela de símbolos GD&T.....	23
Tabela 2. Tabela de símbolos dos modificadores.....	25
Tabela 3. Tabela de resultados dos furos 1 e 2.....	46
Tabela 4. Tabela de resultados das medições 1 e 2.	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
BAMs	Braços Articulados de Medição
CD&T	<i>Classical Dimensioning and Tolerancing</i>
CMM	<i>Coordinate Measuring Machine</i>
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
CTC	<i>Classical Tolerancing and Coordination</i>
DEA	<i>Direct Emission Analysis</i>
FOS	<i>Feature of Size</i>
GD&T	<i>Geometric Dimensioning and Tolerancing</i>
G&T	<i>Geometric and Tolerancing</i>
LMC	<i>Low Material Condition</i>
MMC	<i>Maximum Material Condition, Minimum</i>
MMCs	Máquinas de Medição por Coordenadas
PC-DMIS	<i>Programmed Computerized Dimensioning Measurement Information System</i>
PDF	<i>Portable Document Format</i>
RFS	<i>Real Flight Simulator</i>
RMB	<i>Regardless of Material Boundary</i>
xi, yi, zi	Coordenadas cartesianas (x, y, z)
Ø	Diâmetro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivo Geral.....	14
1.2. Objetivos Específicos	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1. História.....	15
2.2. Toleranciamento e dimensionamento clássico e geométrico.....	16
2.3. Sistema clássico de dimensionamento cartesiano.....	17
2.4. Sistema de dimensionamento geométrico e toleranciamento	19
2.5. Conceitos básicos.....	22
2.6. Símbolos que representam o toleranciamento geométrico	23
2.7. Os tipos de indicações de datums	26
2.8. Os graus de liberdade de um objeto livre no espaço.....	28
2.9. Travamento dos datum planos	29
2.10. Alvos Datum	32
2.11. Máquinas de Medição por Coordenadas.....	34
2.12. Estrutura mecânica de uma máquina de medição por coordenada (MMC).....	36
2.13. Sensores	37
2.14. Braço articulado de medição.....	39
2.15. Explicação da aplicação das tolerâncias de perfil de superfície e posição com máxima condição de material.	41
2.15.1. Cálculo para obter o resultado de desvio de posição com MMC	41
2.15.2. Explicação da aplicação da tolerância geométrica Perfil de superfície	48
3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	51
3.1. Definições sobre a Hierarquia dos datuns.....	51
3.2. Medição na máquina de medir por coordenadas tridimensional CNC	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1. Experimento.....	58
4.2. Resultados com alinhamento correto.....	58
4.3. Resultados com alinhamento incorreto.....	64
4.4. Estado da arte.....	66
5. CONCLUSÃO.....	68
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXO A – Retitude Anexo A	72
ANEXO B – Planeza Anexo B	72
ANEXO C – Circularidade Anexo C	73
ANEXO D – Cilindricidade Anexo D.....	73
ANEXO E - Perfil de linha e perfil de superfície Anexo E	74
ANEXO F - Paralelismo, perpendicularismo e angularidade Anexo F	74
ANEXO G – Posição Anexo G	75
ANEXO H - Batimento circular e batimento total Anexo H.....	75

1. INTRODUÇÃO

Quando se refere a indústria logo se tem a imagem de algo a ser produzido, uma matéria prima que será transformada. Após a conclusão desse processo o item produzido pode já estar disponível para utilização imediata ou ainda ser base para construção de outro projeto (LUCENA, 2009).

Com os processos de fabricação e projetos cada vez mais tecnológicos, se faz necessário um controle de qualidade que acompanhe esse desenvolvimento. A relevância da garantia da qualidade tem impacto na entrega do produto, garantindo a satisfação do cliente final e conseqüentemente, aumentando o faturamento das corporações. Para evitar perdas financeiras, a qualidade do produto ou do serviço deve ser realizada com excelência (OLIVEIRA, 2003).

A metrologia é uma ciência de medidas e precisão muito presente na indústria. Durante o processo de fabricação, a metrologia garante a precisão do produto por meio de inspeções e ensaios, que são realizados com instrumentação adequada e devidamente calibrada (RIBEIRO, 2019).

Ao longo deste trabalho, será abordado o controle dimensional utilizando equipamento de medição por coordenadas Tridimensional, expondo a utilização GD&T na prática, sua importância no processo de fabricação e o impacto que a utilização incorreta ou sua ausência causam na inviabilização da garantia de qualidade na fabricação.

A estrutura deste trabalho foi dividida em revisão bibliográfica, com base em pesquisas acadêmicas, sites institucionais e manuais de fabricação, com caráter descritivo de como se utiliza e as funções como equipamento de medição por coordenadas referentes a GD&T. Os resultados da amostragem por dados quantitativos referente ao conhecimento aplicados pelos autores deste trabalho.

Dessa forma, conclui-se que o controle dimensional deve ser executado de maneira consistente, exigindo conhecimento técnico sobre o GD&T, pois como mencionado anteriormente, trata-se de uma linguagem universal com único objetivo de garantir a qualidade em todo processo de fabricação.

1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar os conceitos e diretrizes da norma ASME Y14.5-2018 na utilização do toleranciamento geométrico GD&T ressaltando sua importância durante a execução de projetos e sua fabricação.

1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Apresentar os conceitos do toleranciamento geométrico.
- Expor de maneira didática e objetiva as aplicações das tolerâncias geométricas de posição com condição de máximo material e perfil de superfície de localização.
- Realizar a medição de uma peça em uma máquina de medir por coordenadas, seguindo as diretrizes da norma que se apliquem as tolerâncias de posição com condição de máximo material e perfil de superfície de localização e demonstrar as diferenças na medição seguindo e não seguindo a hierarquia dos datums.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados: a história do GD&T, seus conceitos, regras, simbologia, definições de aplicação, metrologia, máquinas de medição por coordenadas (MMCs), forma de funcionamento e seus componentes: sensores, apalpadores e cabeçotes.

2.1. História

Segundo a Sociedade Americana de Mecânicos Engenheiros do inglês, *The American Society of Mechanical Engineers* (ASME) o GD&T, é a linguagem utilizada na cotagem de peças e um elo entre a concepção e a fabricação. Sua concepção pode ser comparada a outras inovações avançadas, como as coordenadas cartesianas desenvolvidas por René Descartes em 1637 e o calibrador passa-não-passa inventado por William Taylor em 1905, em suas respectivas eras. Essas criações provocaram transformações de grande impacto no campo do projeto mecânico, de maneira semelhante ao GD&T (ASME, 2018).

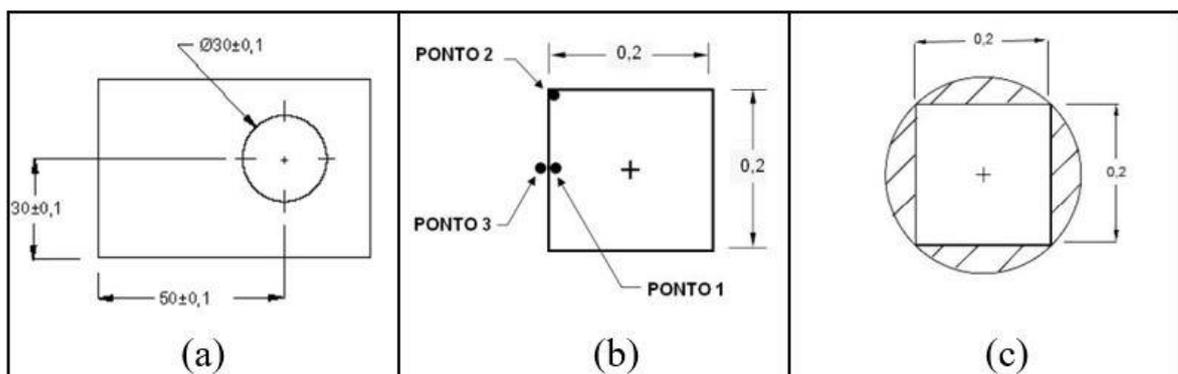
O responsável pelo desenvolvimento do GD&T foi Stanley Parker, um engenheiro que trabalhou na fábrica de torpedos da Marinha Britânica, localizada em Alexandria, Escócia, no ano de 1940. Naquele período, prevalecia a crença de que o erro na produção era algo que não se podia evitar. Era comumente difundido a ideia de que qualquer produto fabricado, independentemente do tipo, necessariamente teria uma porcentagem de produtos defeituosos. O paradigma industrial daquela época era composto de dois estágios: a fabricação das peças e a inspeção minuciosa para separar as peças defeituosas no lote produzido (ASME, 2018).

Stanley Parker, sob a urgência da guerra, desenvolveu um experimento que gerou um debate evidenciando que, em determinadas situações, o resultado do produto funcionou adequadamente quando montado com peças que foram reprovadas durante a inspeção. Então Stanley Parker, constatou que as peças antes reprovadas eram, peças de qualidade pois não afetava o funcional do produto. Tal equívoco se dava devido ao conceito de peças defeituosas do sistema cartesianamente previsto (ASME, 2018).

No sistema cartesiano, as áreas de tolerância de posição assumem, uma forma quadrangular, como ilustrado na Figura 1(a), onde a área de tolerância para o furo é um quadrado com lados de 0,2 unidades. A partir de suas pesquisas e experiências, Stanley Parker concluiu que o elemento crítico na montagem de produtos está na distância em relação ao centro (posição verdadeira). Pode-se observar o ponto 3 na Figura 1(b); ele está fora da zona de tolerância do sistema cartesiano, porém, é mais próximo do centro do que o

ponto 2. Se o ponto 2 é considerado aceitável, então todos os outros pontos igualmente afastados do centro também devem ser considerados aceitáveis. Portanto, a zona de tolerância deve assumir um formato circular, e não quadrado. O sistema cartesiano rejeita peças de qualidade cujos centros estão situados na área sombreada, resultando em um desperdício exponencial, uma vez que a área do círculo é 57% maior do que o quadrado inscrito, como pode ser observado na Figura 1(c) (ASME, 2018).

Figura 1. (a), (b) Exemplos de toleranciamento cartesiana e (c) é toleranciamento circular.



Fonte: Adaptada ASME (2018).

2.2. Toleranciamento e dimensionamento clássico e geométrico.

O dimensionamento e tolerâncias geométricas, representam um sistema internacional de desenho de engenharia, que apresentam um método prático para especificar dimensões e tolerâncias de projeto 3-D. Baseado em uma linguagem gráfica universalmente reconhecida, conforme definido por normas nacionais e internacionais, aprimora a comunicação, o design do produto e a qualidade. Consequentemente, o dimensionamento geométrico e a tolerância são amplamente aceitos como a linguagem do gerenciamento dimensional e devem ser compreendidos por todos os membros da equipe de gerenciamento dimensional (DRAKE JR, 1999).

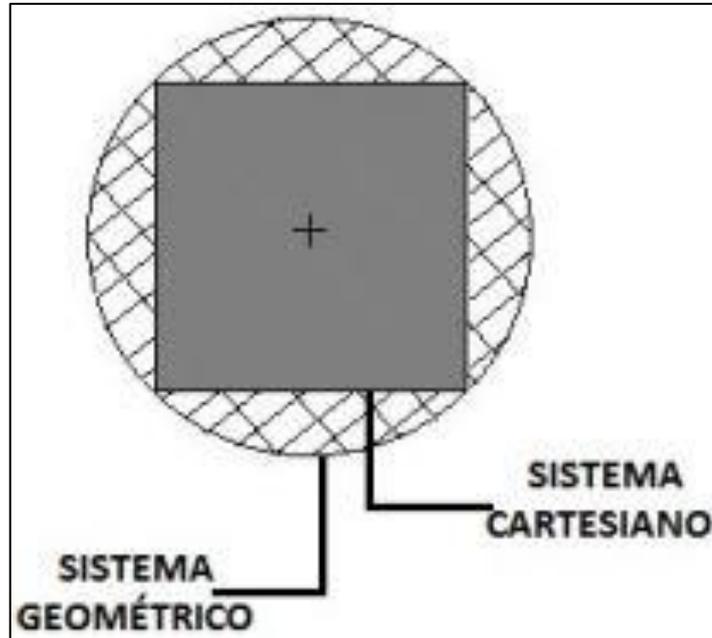
O GD&T, é adotado como a linguagem primordial na cotagem, entre a concepção e a fabricação (WANDECK, 2018).

Dentre as vantagens decorrentes da utilização do GD&T em desenhos de engenharia e planilhas de dados de produtos, destacam-se: a eliminação da ambiguidade ao aplicar símbolos e sintaxe universalmente aceitas. Utiliza referências e sistemas de referência para definir requisitos dimensionais em relação às interfaces das peças. Especifica dimensões e tolerâncias relacionadas com base em relações funcionais, expressam requisitos de

tolerância dimensional usando métodos que diminuem o acúmulo de tolerância, como por exemplo no sistema clássico, que para controlar a posição de um furo em dois eixos, são necessárias duas medidas com tolerâncias aplicadas nas duas dimensões, já utilizando o GD&T é necessário somente uma tolerância de posição. Também fornecem informações que podem ser usadas para controlar ferramentas e interfaces de montagem (DRAKE JR, 1999).

O GD&T difere dos métodos convencionais de dimensionamento e toleranciamento, além de avaliar a qualidade de fabricação das peças acabadas, também questiona a qualidade dos desenhos de engenharia que servem de base para a produção. Outra distinção notável é a diferença, como o método cartesiano, em relação ao formato da zona de tolerância de posição. Enquanto o método cartesiano de dimensionamento e tolerância, amplamente utilizado no Brasil, estabelece limites superiores e inferiores para dimensões por meio de zonas de tolerância retangulares, o sistema geométrico utiliza zonas de tolerância de posição circulares. A Figura 2 ilustra a sobreposição das zonas de tolerância de um furo nos sistemas cartesiano e geométrico (QUIRINO, 2017).

Figura 2. Zona de Tolerância Cartesiana e Geométrica de um Furo.



Fonte: Quirino (2017).

2.3. Sistema clássico de dimensionamento cartesiano

Conforme o sistema denominado do inglês *Classical Dimensioning and Tolerancing* (CD&T) tem como base o sistema de coordenação cartesiano e prevalece nos desenhos de engenharia desde o início da revolução industrial. Tal fato, decorreu devido a necessidade

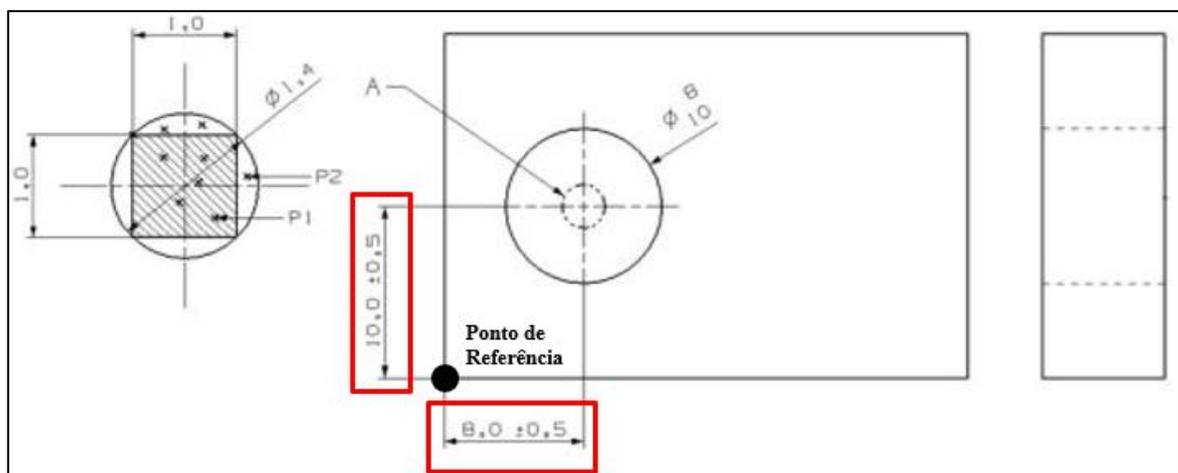
de empregar sistemas de tolerâncias e ajustes, pois sem eles, seria impossível realizar montagens intercambiáveis dos componentes nas linhas de produção em série (ZILIO, VIERO, WALBER, 2014).

Segundo Zilio, Viero, Walber (2014 apud Krulikowski 1997), o CD&T é um sistema no qual a peça é localizada ou definida por dimensões retangulares, onde são atribuídas as tolerâncias. Dado que as peças e conjuntos específicos desempenham funções e que também se relacionam entre si, o sistema CD&T não oferece uma linguagem direcionada para essa condição, uma vez que, o dimensionamento e a aplicação de tolerâncias são realizados em série, individualmente nos elementos da peça, sem considerar inclusão dela no seu conjunto correspondente (ZILIO, VIERO, WALBER, 2014).

A Figura 3 apresenta uma peça, dimensionada pelo método antigo, CD&T, é possível observar nas indicações em vermelho, a utilização de tolerâncias de mais ou menos (\pm), atreladas às dimensões cartesianas, para gerar e tolerar o posicionamento do furo de diâmetro 9,0 mm, em relação ao ponto de referência, gerado entre a interseção das faces.

As diferenças na simbologia entre os dois sistemas também desempenham um ponto relevante. O GD&T emprega uma linguagem mais sofisticada em comparação com o sistema cartesiano. Esse sistema não se restringe apenas ao controle de variações nas dimensões, mas estende-se também ao controle das características geométricas. As Figuras 3 e 4 ilustram o uso da simbologia do sistema cartesiano e do sistema geométrico, respectivamente (ZILIO, VIERO, WALBER, 2014).

Figura 3. Sistema Clássico de Dimensionamento Cartesiano.



Fonte: Zilio, Viero, Walber (2014).

Do ponto de vista gráfico, a zona de tolerância que define os limites para os desvios de posição do furo pelo método CD&T, pode ser ilustrada por um quadrado com dimensões

de 1,0 mm, conforme demonstra a área hachurada apresentada pela Figura 3. Pode-se observar que, a obtenção de peças com furos posicionados na área hachurada, estariam em conformidade com uma inspeção dimensional, utilizando-se do projeto desenvolvido pelo sistema cartesiano de dimensionamento CD&T, conforme exemplificado no ponto P1, apresentado na Figura 3 (ZILIO, VIERO, WALBER, 2014).

A incoerência de representação entre a zona de tolerância imposta 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, uma abordagem mais coerente e funcional, seria permitir as mesmas tolerâncias para a localização do furo em todas as situações, criando uma zona de tolerância cilíndrica (ZILIO, VIERO, WALBER, 2014).

Ao avaliar uma nova peça com o furo posicionado em P2, seguindo o mesmo projeto já demonstrado, ela seria aprovada, pelo fato de o ponto P2 estar fora da zona de tolerância para o método CD&T. No entanto, ao medir a distância apresentada pelo ponto P2, em relação à posição nominal do furo, é notável que ela não é maior que a metade da diagonal do quadrado, que representa a zona de tolerâncias CD&T. Portanto, apesar da exclusão eminente, a peça em questão poderia ser utilizada sem restrições (ZILIO, VIERO, WALBER, 2014).

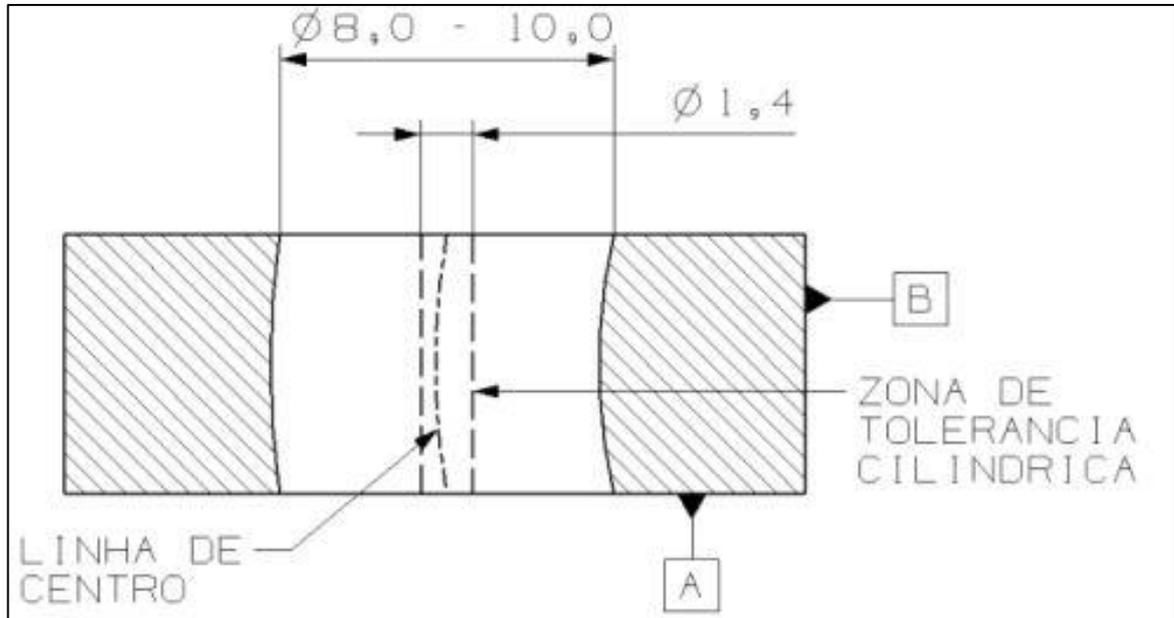
Considerando as deficiências inter-relacionadas com o sistema CD&T, pode-se garantir que ele estaria obsoleto atualmente. No entanto, conforme mencionado anteriormente, os níveis de especificações de um produto determinam a qualidade do mesmo, sendo que para peças com baixos níveis de exigência, o sistema CD&T pode ser usado pelos projetistas sem problemas. Contudo, para peças com níveis de exigência mais rigorosos, envolvendo montagens de precisão, a utilização de um sistema de dimensionamento mais robusto se torna necessária e imprescindível (ZILIO, VIERO, WALBER, 2014).

2.4. Sistema de dimensionamento geométrico e toleranciamento

Segundo Zilio, Viero, Walber (2014 apud Krulikowski 1997), o GD&T é uma linguagem internacional, utilizada pelas áreas de engenharia, com propósito de descrever com precisão peças e conjuntos, composta por conjuntos de símbolos, regras, definições e convenções, é uma linguagem matemática precisa que pode ser usada para descrever o tamanho, forma, orientação e localização de peças e conjuntos.

tridimensional, podendo ser observado também uma relação entre o dimensionamento cartesiano e o sistema GD&T (ZILIO, VIERO, WALBER, 2014).

Figura 5. Tolerância de posição real do elemento.



Fonte: Zilio, Viero, Walber (2014).

Ao realizar uma inspeção dimensional, por intermédio de instrumentos simples, é possível verificar a dimensão diametral de tamanho CD&T, contida na cota $\text{Ø } 8,0 \text{ mm} - 10,0 \text{ mm}$. Entretanto, ao considerar que nesta verificação, a dimensão contida na zona de tolerância dimensional da peça, ela ainda não seria totalmente aprovada. Além disso, deve-se realizar a verificação relacionada à linha de centro medida do furo, em relação à faixa de tolerância cilíndrica de diâmetro 1,4 mm, especificada pela linguagem GD&T. Somente dessa maneira, estão garantidos os elementos funcionais da peça, que garantem a conformidade dos requisitos previamente estabelecidos (ZILIO, VIERO, WALBER, 2014).

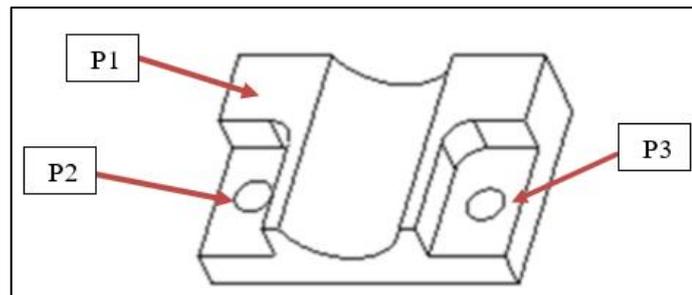
No contexto do projeto é fundamental considerar as diversas áreas envolvidas com o projeto de engenharia, também é de grande relevância o entendimento dos referenciais geométricos do produto. Suprindo diretamente a lacuna deixada pelo sistema cartesiano, a metodologia de projeto utilizando-se do sistema GD&T, define-se de forma clara as referências a serem usadas para projeto, fabricação e montagem (ZILIO, VIERO, WALBER, 2014).

2.5. Conceitos básicos

Com o intuito de promover uma compreensão mais aprimorada e uma aplicação precisa das técnicas de GD&T abordadas neste trabalho, é imprescindível incorporar diversos conceitos e regras que norteiam essa ferramenta. Os subcapítulos a seguir apresentarão alguns desses conceitos com base na norma ASME (2018). Devido à complexidade da linguagem utilizada, a leitura direta da norma é considerada excepcional para uma compreensão abrangente das técnicas (QUIRINO, 2017).

Chamam-se elementos as porções físicas das peças, que podem ser adimensionais ou dimensionais. Um exemplo de elemento adimensional seria a superfície plana P1, enquanto os furos P2 e P3 representam exemplos de elementos dimensionais, conforme ilustrado na Figura 6.

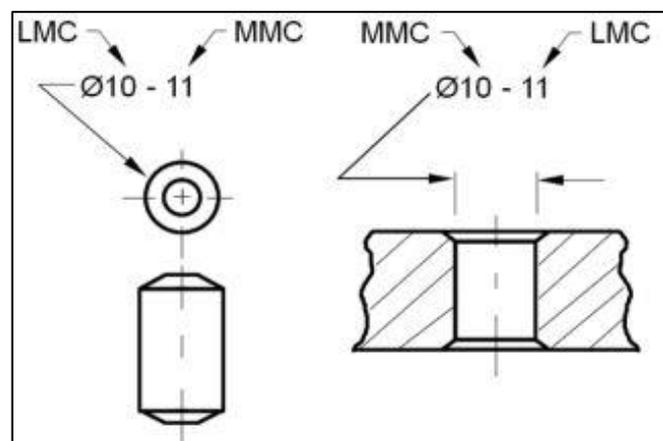
Figura 6. Exemplo dos elementos adimensionais e dimensionais.



Fonte: Adaptada ASME (2018).

A dimensão que reflete ao maior peso da peça e a dimensão que corresponde ao menor peso da peça, ambas vêm do inglês *Maximum Material Condition*, (MMC) e *Low Material Condition* (LMC). No entanto qualquer dimensão do elemento vem do inglês *Regardless of Feature Size* (RFS) como mostrado na Figura 7 (ASME, 2018).

Figura 7. Ilustração do MMC e LMC em furos e eixos.



Fonte: ASME (2018).

2.6. Símbolos que representam o toleranciamento geométrico

Conforme as diretrizes da norma, as tolerâncias geométricas podem ser necessárias em tolerâncias de forma, orientação, localização, perfil e limitações, de acordo com a particularidade a ser admitida, e com as características a serem toleradas, nesta seção, que se baseia fundamentalmente nas diretrizes normativas, são apresentados conceitos e métodos para expressar cada uma das variações, conforme estipulado na instrução específica. Nas Tabelas 1 e 2, são demonstrados os símbolos usados para denotar cada uma dessas variações nos desenhos de engenharia ASME (2018).

Tabela 1. Tabela de símbolos GD&T.

Nome	Símbolo
Retitude	—
Planeza	
Circularidade	
Cilindricidade	
Perfil de linha	
Perfil de superfície	
Angularidade	
Perpendicularidade	
Paralelismo	
Posição	
Batimento circular	
Batimento total	

Fonte: ASME (2018).

A explicação de forma resumida de cada tipo de tolerância pode ser consultada nos anexos A ao G.

Descrição dos símbolos da Tabela 1: Tolerância de retitude, é a condição em que um elemento longitudinal de uma superfície não se desvia além de uma linha reta, conforme A.1 Retitude Anexo A.

Tolerância de planeza é a condição de uma superfície que não se desvia além de um plano, disponível em A.2 Planeza Anexo B.

Tolerância de circularidade é a condição de uma superfície de revolução que quando interseccionada por um plano perpendicular ao eixo, todos os pontos são equidistantes, representado por A.3 Circularidade Anexo C.

Tolerância de cilindridade é a condição de uma superfície de revolução que não se desvia de um cilindro perfeito, visível em A.3 Cilindridade Anexo D.

Tolerância de perfil de linha é a condição que especifica uma zona de tolerância no contorno de todos os pontos do perfil onde a linha deve estar contida, tolerância de perfil de superfície é a condição que especifica uma zona de tolerância no contorno de todos os pontos do perfil onde a superfície deve estar contida, conforme demonstra A.4 Perfil de linha e perfil de superfície Anexo E.

Tolerância de paralelismo é a condição de uma superfície ou linha ser equidistantes em todos os seus pontos em relação a um eixo ou plano de referência, tolerância perpendicularidade é a condição de uma superfície ou eixo que está exatamente a 90° de um plano ou eixo de referência, tolerância de angularidade é a condição de uma superfície ou eixo estar exatamente num ângulo especificado em relação a um plano ou eixo de referência indicado no A.5 Paralelismo, perpendicularismo e angularidade Anexo F.

Tolerância de posição é uma variação especificada para posição relativa entre diversos elementos reais, a partir de um posicionamento teórico sendo possível observar em, A.6 Posição Anexo G.

Tolerância de batimento é a condição de uma superfície total que varia na forma e/ou posição em relação a um elemento de referência, variação detectada pela rotação total da peça conforme A.7 Batimento circular e batimento total Anexo H.

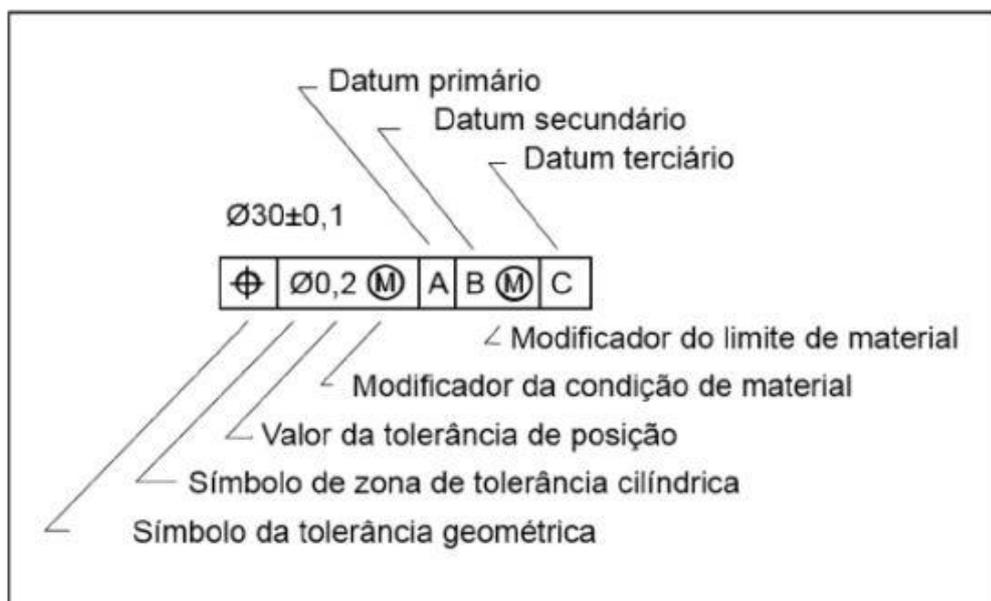
Tabela 2. Tabela de símbolos dos modificadores.

Nome	Símbolo	Nome	Símbolo
Condição de Máximo Material	(M)	Diâmetro Esférico	S \varnothing
Limite de Máximo Material	(M)	Raio	R
Condição de Mínimo Material	(L)	Raio Esférico	SR
Limite de Mínimo Material	(L)	Raio Controlado	CR
Translação	▷	Quadrado	□
Zona de Tolerância Projetada	(P)	Referência	()
Estado Livre	(F)	Comprimento de Arco	⌒
Plano Tangente	(T)	Origem da Dimensão	⊕→
Zona Perfil	(U)	Entre	↔
Independência	(I)	Todo Perímetro 2D	⊕
Tolerância Estatística	(ST)	Todo Perímetro 3D	⊕
Elemento Contínuo	(CF)	Zona Dinâmica	△
Diâmetro	∅	Transição	→

Fonte: ASME (2018).

Estes e outros modificadores, devem estar em um quadro de controle, na forma de um retângulo estrategicamente posicionado no desenho, dividido em compartimentos, contendo símbolos de características geométricas, seguidos do valor da tolerância ou descrição, modificadores, e indicação de qualquer elemento de referência aplicável (QUIRINO, 2017). Uma exemplificação de configuração do quadro de controle é ilustrada na Figura 8.

Figura 8. Exemplo de quadro de controle.



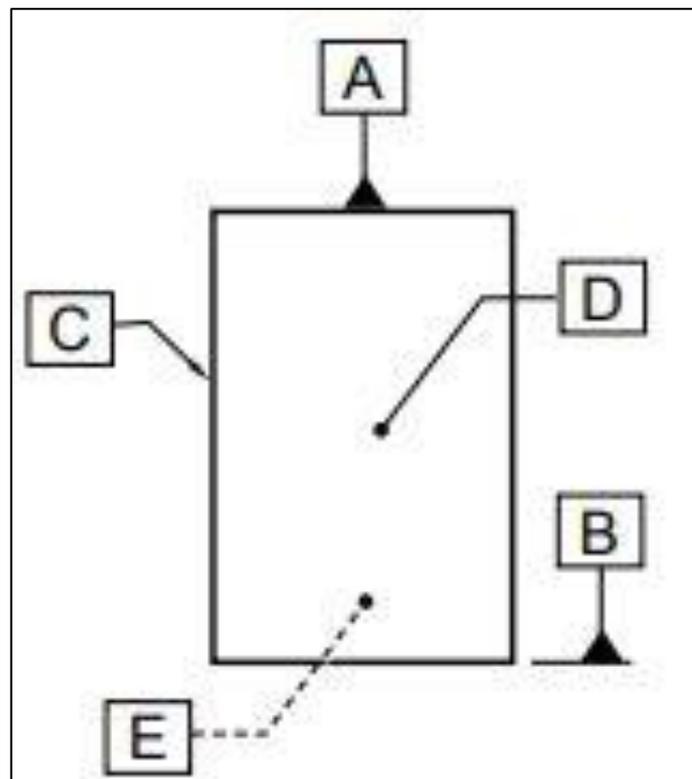
Fonte: ASME (2018).

2.7. Os tipos de indicações de datums

Datums, são os elementos usados como referências, identificados por letras no interior de retângulos citados anteriormente como quadro de controle. Os datums são classificados como primário, secundário ou terciário, segundo as respectivas posições nos quadros de controle. Podem ser um ponto, eixo ou plano teoricamente exato derivado da correspondente circunferência verdadeira de um elemento de referência especificado. Uma referência é a origem a partir da qual a localização ou características geométricas dos elementos de uma peça são estabelecidas (ASME, 2018).

Indicações de datums em superfície plana: a extremidade da linha de chamada pode ser uma seta, que encosta na superfície da peça, conforme a letra C da figura 9. Indicação com um círculo preto, conforme letra D na figura 9 observa-se que o círculo preto está posicionado diretamente sobre a superfície da peça. Indicação com triângulo, que pode ser cheio ou vazio, o triângulo pode ser colocado no segmento de reta que representa a superfície conforme a letra A na figura 9, ou na sua linha de extensão e deve ficar em local claramente distinto da linha que contém a dimensão conforme a letra B na figura 9. Quando a linha de chamada for tracejada o datum é a face oculta, que não se enxerga na vista atual conforme a letra E na Figura 9 (ASME, 2018).

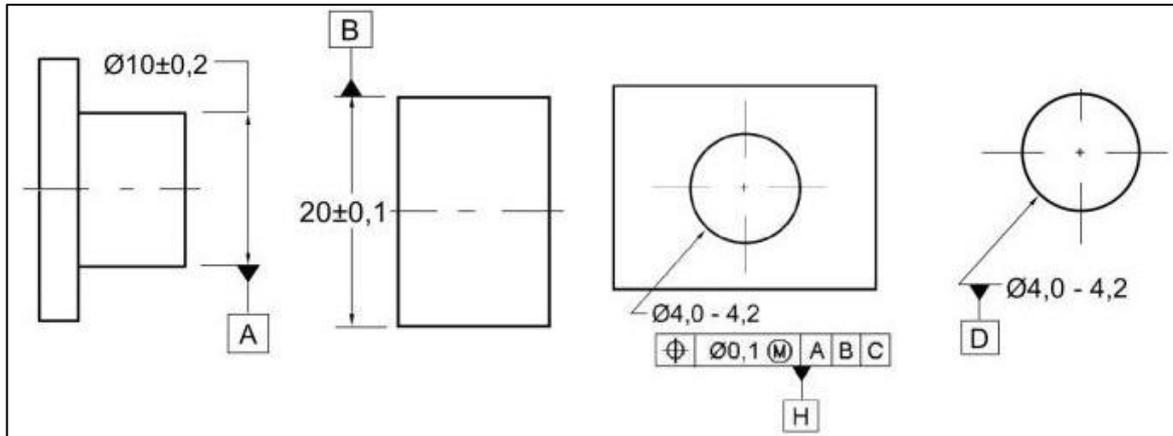
Figura 9. Tipos de indicações de datum em superfície plana.



Fonte: ASME (2018).

O Datum linha de centro: existe quatro maneiras de exemplificar que o datum está referenciado em uma linha de centro, na linha da dimensão, no quadro de controle, no cotovelo da seta, conforme ilustrado na Figura 10 (ASME, 2018).

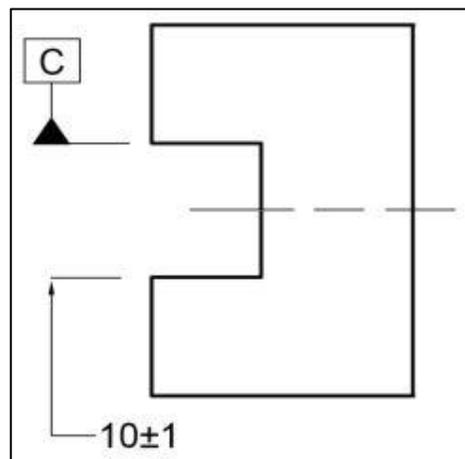
Figura 10. Ilustração de datums em linhas de centro.



Fonte: ASME (2018).

No Datum plano central, o triângulo deve ficar no prolongamento da linha que contém a dimensão, conforme Figura 11.

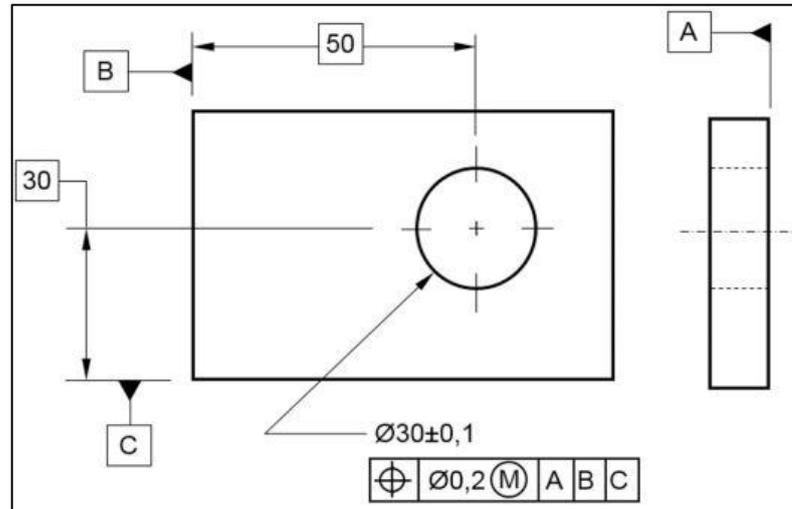
Figura 11. Ilustração de datum plano central.



Fonte: ASME (2018).

As dimensões básicas são os valores numéricos no interior de retângulos usados para determinar a localização teoricamente exata dos elementos. As dimensões básicas não têm tolerâncias, de acordo com a Figura 12 (ASME, 2018).

Figura 12. Controle de posição referente aos datums e suas dimensões básicas.

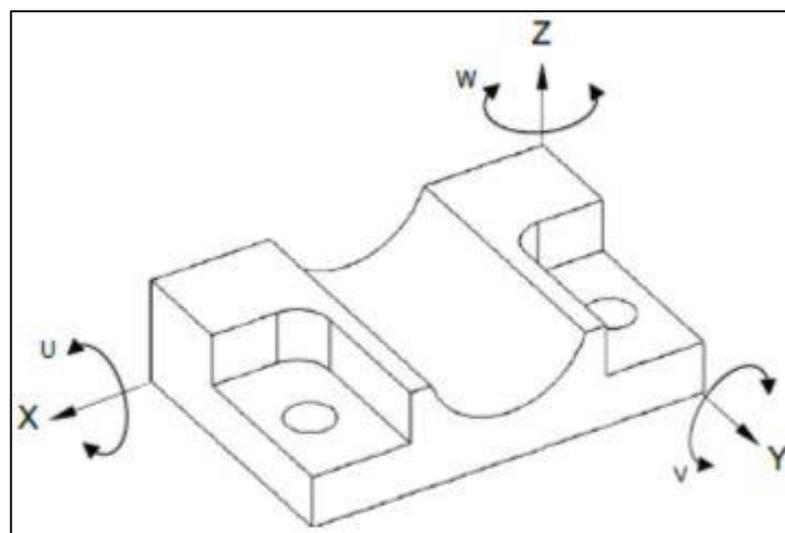


Fonte: ASME (2018).

2.8. Os graus de liberdade de um objeto livre no espaço

Os corpos livres têm seis graus de liberdade espacial, translações: X, Y, Z Rotações: U, V, W. Ou seja, um objeto solto no espaço pode se mover, transladar sobre os eixos X, Y e Z esses são os 3 graus de liberdade na translação, os outros 3 vem da rotação que o objeto tem em cada eixo, a rotação no eixo X é representada pela letra U, no eixo Z é representada pela letra L e por fim a rotação no eixo Y é representada pela letra V, conforme ilustrado na Figura 13 (ASME, 2018).

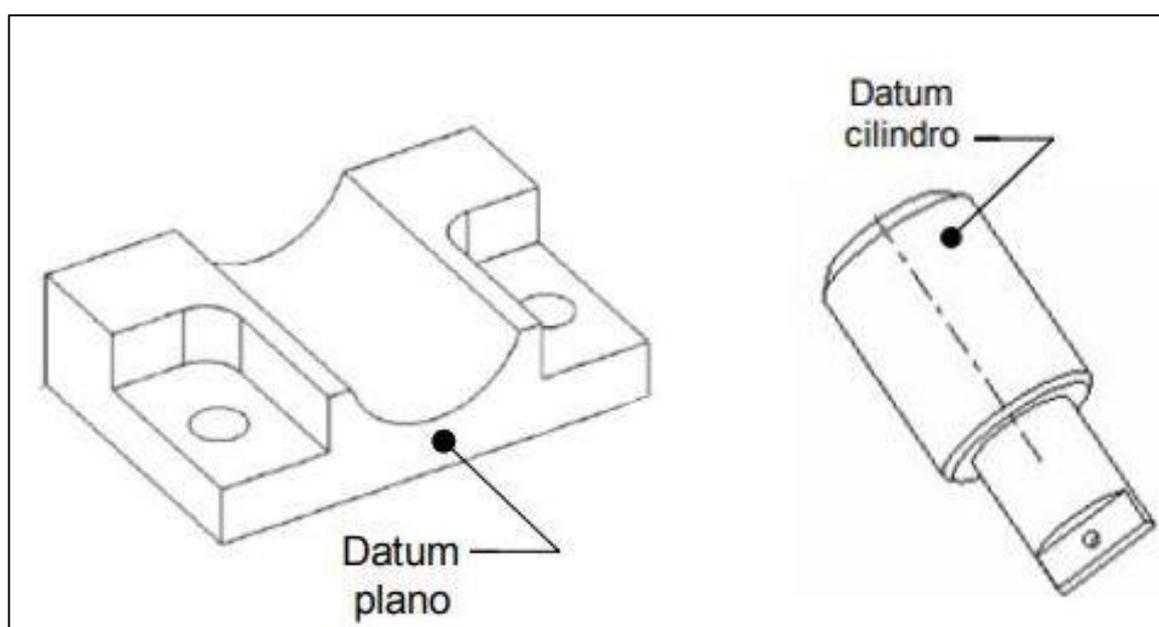
Figura 13. Ilustração dos graus de liberdades.



Fonte: ASME (2018).

Os datums são as superfícies de contato utilizadas na montagem dos produtos. O plano de dados tem capacidade física de trabalho de dois ou três graus de liberdade. O datum cilíndrico tem capacidade física de trabalho de dois ou quatro graus de liberdade. Quando o comprimento da superfície de contato for inferior a 20% do diâmetro, o datum cilíndrico trava dois graus, se for maior trava quatro graus de liberdade. Especificar, portanto, como dado primário a superfície de contato que trava o maior número de graus de liberdade. Além de plano e cilindro os dados podem ter outros formatos que serão discutidos, na Figura 14 pode-se observar um datum plano e um datum cilíndrico (ASME, 2018).

Figura 14. Ilustração de datum plano e datum cilíndrico.

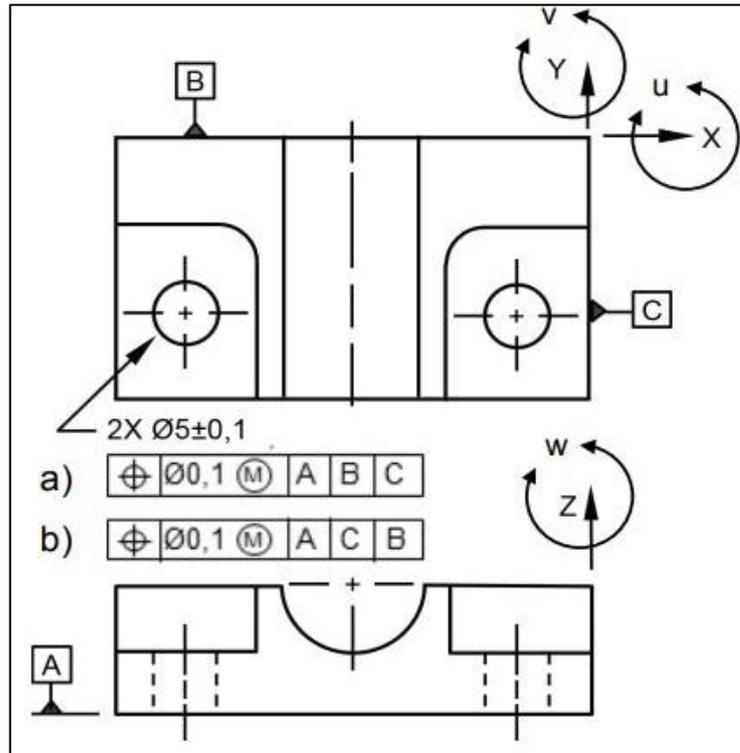


Fonte: Adaptada ASME (2018).

2.9. Travamento dos datum planos

Nas operações de fabricação ou controle as peças, são sujeitadas em dispositivos denominados simuladores. Os simuladores, morsas ou dispositivos de fixação, podem travar as translações X, Y, Z, e as rotações U, V, W que forem requeridas pelos processos, Figura 15. A hierarquia no quadro de controle é estabelecida em função do número de graus de liberdade travado pelos datums. A posição da peça é diferente dependendo da hierarquia dos quadros de controle (a) ou (b) contidos na Figura 15 (ASME, 2018).

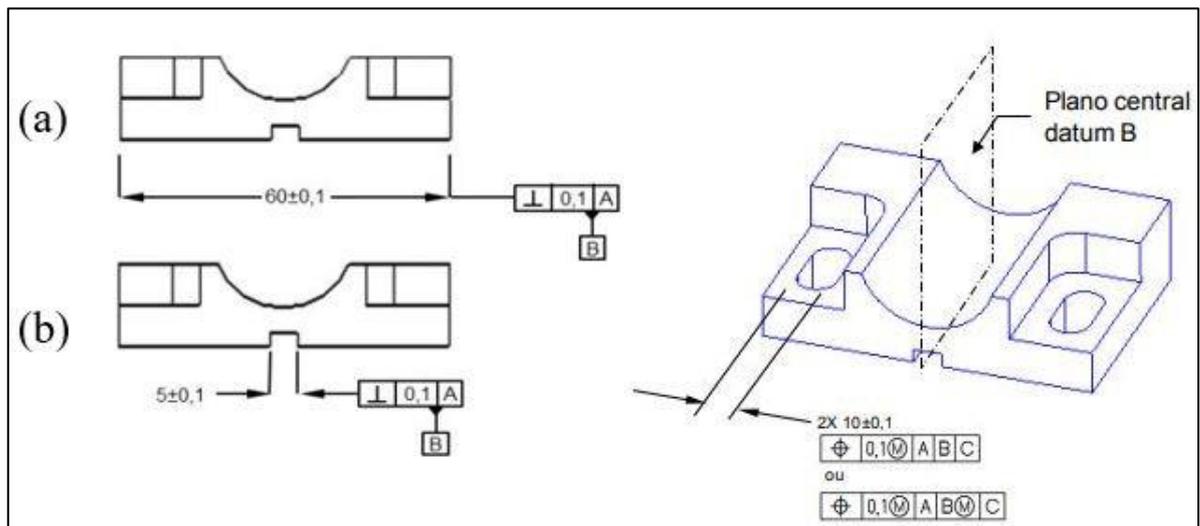
Figura 15. Ilustração do travamento dos graus de liberdade.



Fonte: ASME (2018).

Travamento de datum plano central: o plano central datum B pode ser derivado do comprimento da peça, Figura 16 (a), ou da largura do rasgo de chave, Figura 16 (b). O comprimento da peça e largura do rasgo podem ser detalhados: no limite de máximo material, no limite de forma independente (ASME, 2018).

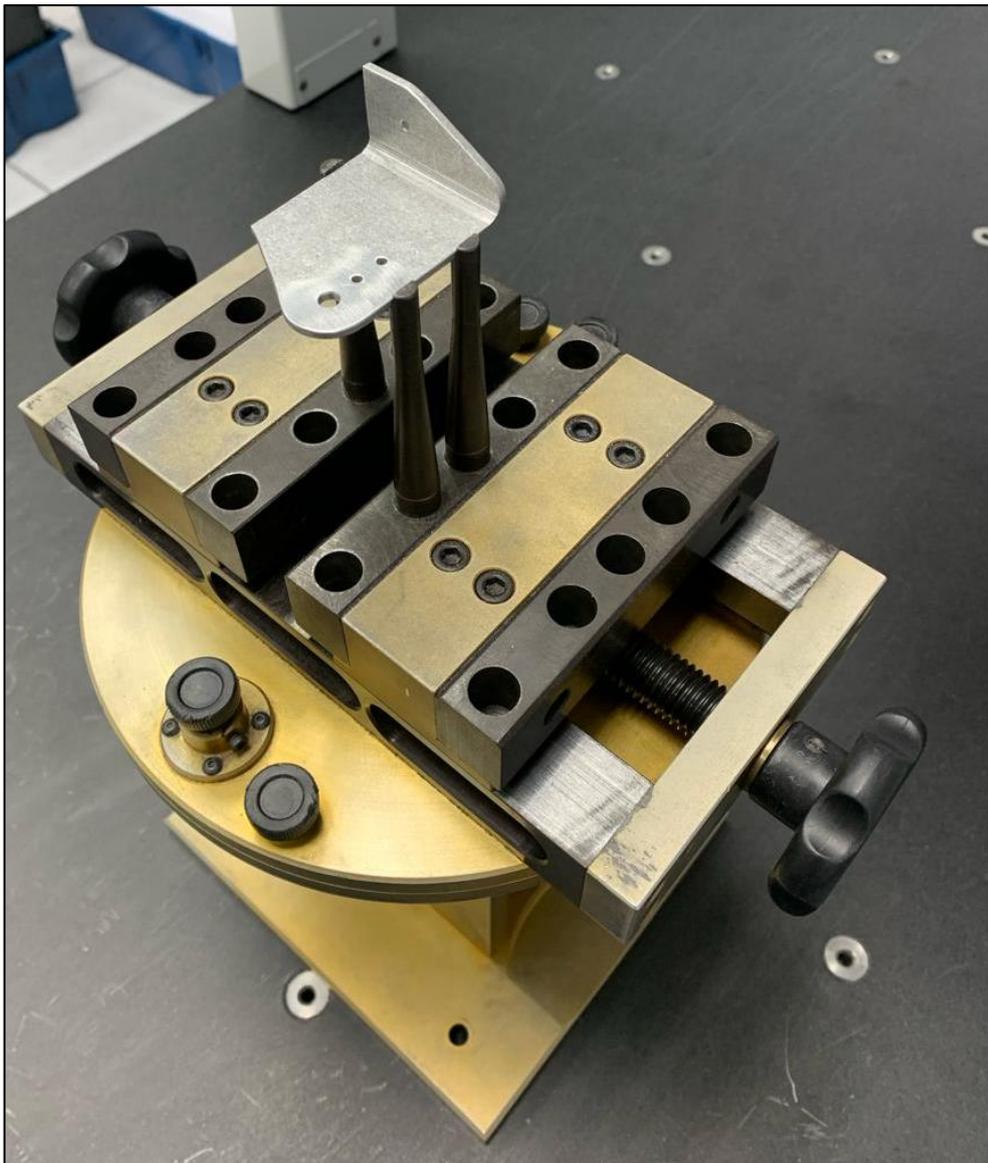
Figura 16. Ilustração do travamento no Datum plano central.



Fonte: ASME (2018).

A Figura 17, mostra uma morsa, que pode desempenhar um papel importante no contexto do GD&T, a morsa é um simulador universal de travamento físico de datum no qual deve ser particularizado, para sujeitar as peças de acordo com os diferentes esquemas de dados que podem ser especificados de acordo com a norma ASME, ou seja conforme a peça é presa na morsa pode-se simular o travamento digital utilizando como face de contato para fixação nos datums, então é possível simular realmente o travamento digital indicado pelos datums no desenho, é possível verificar a ilustração da morsa na Figura 17.

Figura 17. Ilustração do simulador universal, morsa.



Fonte: Cortesia Sonaca Brasil (2024).

Na ilustração da Figura 18 é possível ver o travamento digital: cotagem GD&T do modelo 3D, alinhamento dos modelos físico e digital utilizando um braço de medição ou máquina de medição por coordenadas, tridimensional (ASME, 2018).

Figura 18. Ilustração do travamento digital utilizando um braço tridimensional.



Fonte: ASME (2018).

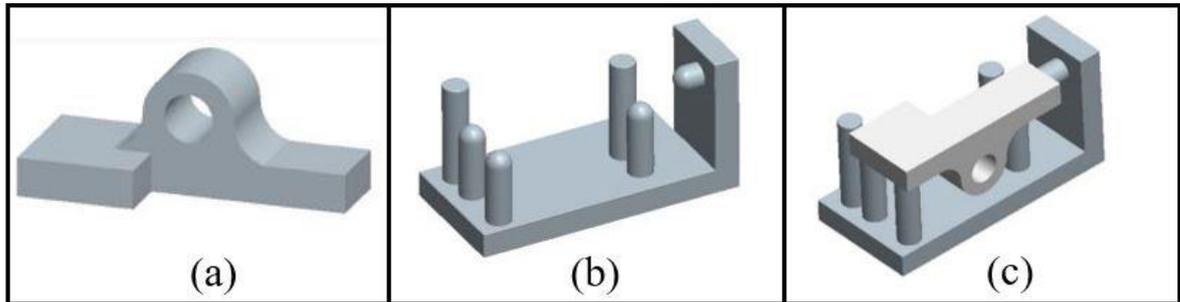
2.10. Alvos Datum

Simuladores Alvos Datum, para a fabricação ou medição de peças mecânicas como a ilustrada na Figura 19 (a) é necessário sujeitá-las em dispositivos conhecidos como simuladores, que devem reproduzir as condições geométricas da montagem, conforme ilustrados na Figura 19 (b).

Repetibilidade: a principal característica dos simuladores é a repetibilidade de posicionamento das peças. **Graus de liberdade:** os simuladores devem incluir recursos para travar os seis graus de liberdade das peças, Figura 19 (b) (ASME, 2018).

Datums: as superfícies de contato das peças com os simuladores denominam-se datums. É importante ressaltar que, as superfícies das peças não precisam ficar totalmente apoiadas nos simuladores, o contato pode ser parcial. As partes das peças em contato com os simuladores chamam-se alvos datum. Eles constam dos desenhos ou modelos, mas só existem fisicamente nos simuladores, conforme Figura 19 (c) (ASME, 2018).

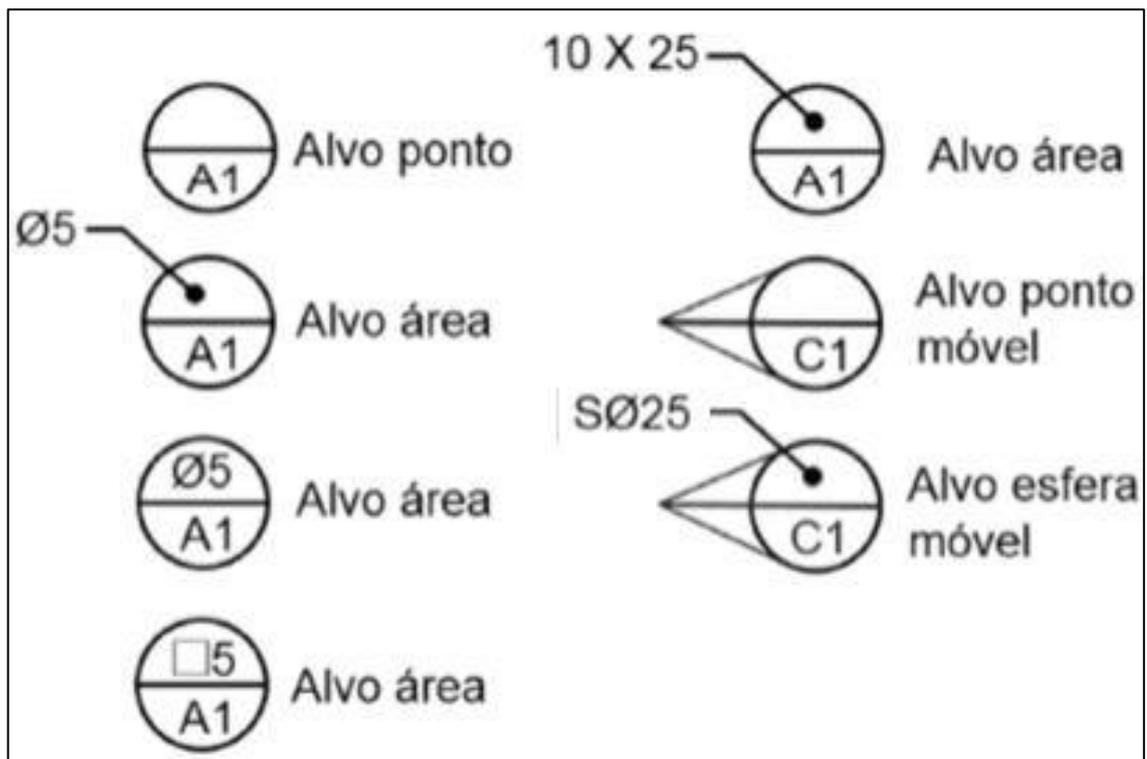
Figura 19. Ilustração simulação alvo datum.



Fonte: ASME (2018).

Os símbolos que representam alvos, podem assumir diferentes formas como pinos de ponta esférica ou plana, de seção circular ou quadrada, fixos ou móveis, escritos na parte inferior de círculos divididos em duas partes iguais, dispostos na parte externa dos desenhos ou modelos, a numeração de cada letra sempre deve ser feita a partir do número um (ASME, 2018). Na Figura 20 está ilustrado os exemplos de indicação de alvo Datum.

Figura 20. Exemplos de indicação de alvo Datum.



Fonte: ASME (2018).

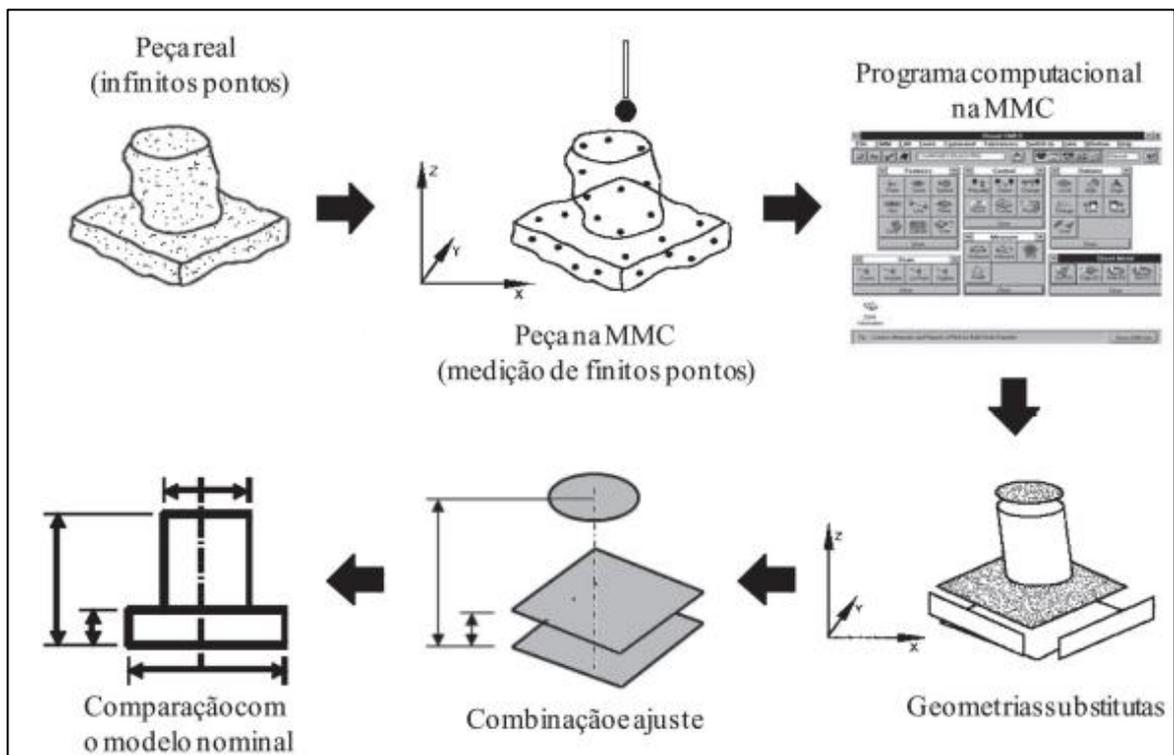
2.11. Máquinas de Medição por Coordenadas

Durante a execução do controle dimensional e geométrico é possível destacar a utilização de MMCs. Sendo possível a integração com um equipamento de medição e um programa computacional.

Referente ao MMC, pode-se afirmar que são utilizadas com frequência para medição de peças de geometrias regulares e complexas. O sistema de medição irá definir a geometria da peça através dos pontos coordenados (x_i, y_i, z_i) que estão localizados na superfície da peça. As informações sobre a geometria da peça são obtidas por apalpação da superfície da peça em pontos e as coordenadas dos mesmos serão expressas num sistema já pré-determinado. Associado ao programa computacional se faz necessário um sistema de algoritmo matemático para ajustar os pontos coordenados a geometria para que seja possível avaliar desvios dimensionais e geométricos (ALBERTIN, AQUINO, 2011).

A avaliação dos desvios dimensionais e geométricos, estão representados conforme a Figura 21.

Figura 21. Avaliação: Desvios dimensionais e geométricos.

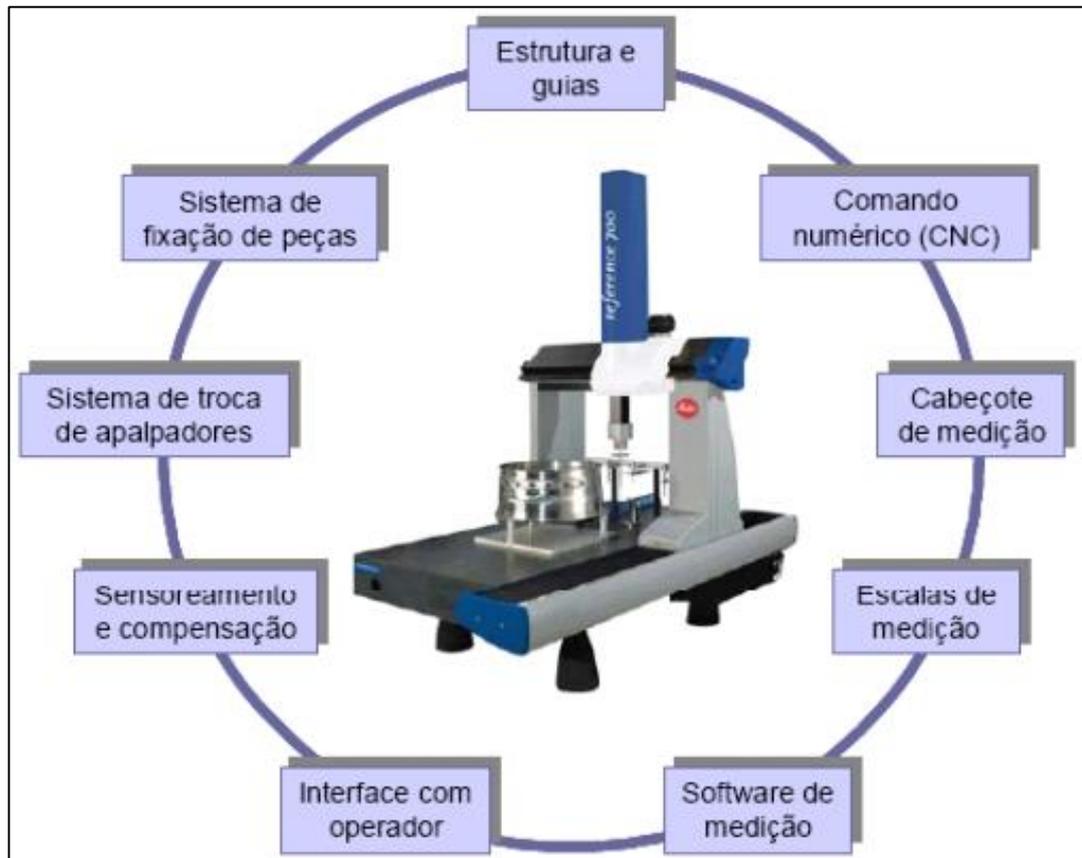


Fonte: Albertin, Aquino (2011).

Medir a geometria real, realizar a comparação com o elemento geométrico ideal e avaliar o resultado referente ao tamanho, forma, localização e orientação são funções de um

sistema de medição de coordenadas. Essas máquinas conforme podem-se observar na Figura 22 serão fornecidas informações, coordenadas cartesianas, retilíneas e tridimensionais (HAMBURG, 2006).

Figura 22. Máquina de medir por coordenados cartesianos.



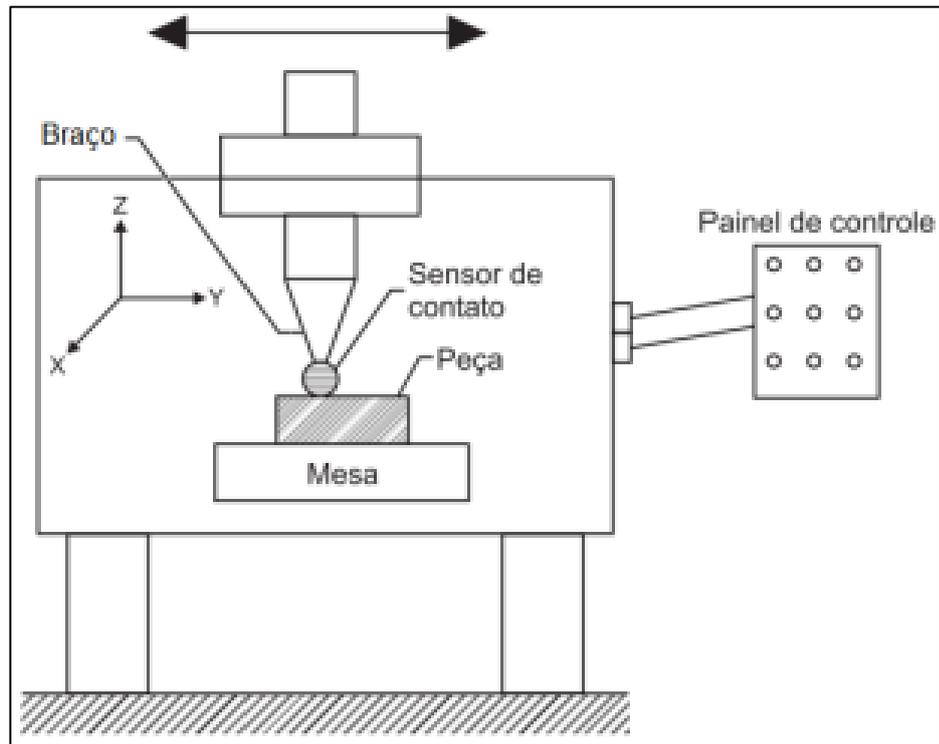
Fonte: Hamburg (2006).

Para realizar uma medição em um equipamento por coordenadas é necessário: Qualificar o sistema de apalpação e calibração da ponta de medição, identificar a posição da peça, apresentar os resultados após transformação no sistema de coordenadas (HAMBURG, 2006).

As MMCs, também evoluíram com o avanço tecnológico. Inicialmente eram máquinas-ferramenta com apalpadores rígidos, desempenho e escalas já acopladas. Atualmente incluem apalpadores, escalas, atuadores, linguagem de programação e algoritmos matemáticos utilizados para ajuste de geometria dentre outros componentes.

As MMC mesmo com um investimento e manutenção de alto custo são muito utilizadas na indústria por apresentarem: exatidão, rapidez e confiabilidade das medições (BARROS, 2012). Na Figura 23 está representado o esquema do equipamento denominado braço.

Figura 23. Esquemático braço.



Fonte: Barros (2012).

2.12. Estrutura mecânica de uma máquina de medição por coordenada (MMC)

De uma maneira objetiva as máquinas de medição por coordenadas, apresentam as seguintes estruturas: mesa, pórtico, braços, colunas, sensores, e seus parâmetros se dão por suas dimensões e configurações.

Parâmetros das MMC, das dimensões: determinam o volume de medição da estrutura e decorrem do comprimento do eixo cartesiano.

Arquitetura: projetada para adequar velocidade e aceleração da MMC.

Ponte, *cantilever*, braço horizontal e a *granty* (pórtico) são as arquiteturas mais comumente encontradas.

No decorrer do presente trabalho, será descrito sobre as MMC Ponte fixa, assim como a Ponte fixa e móvel:

Ponte fixa e móvel: móvel apresenta mesa fixa e ponte móvel.

Fixa: apresenta movimentos da mesa, sua ponte é rígida ligada a estrutura da máquina.

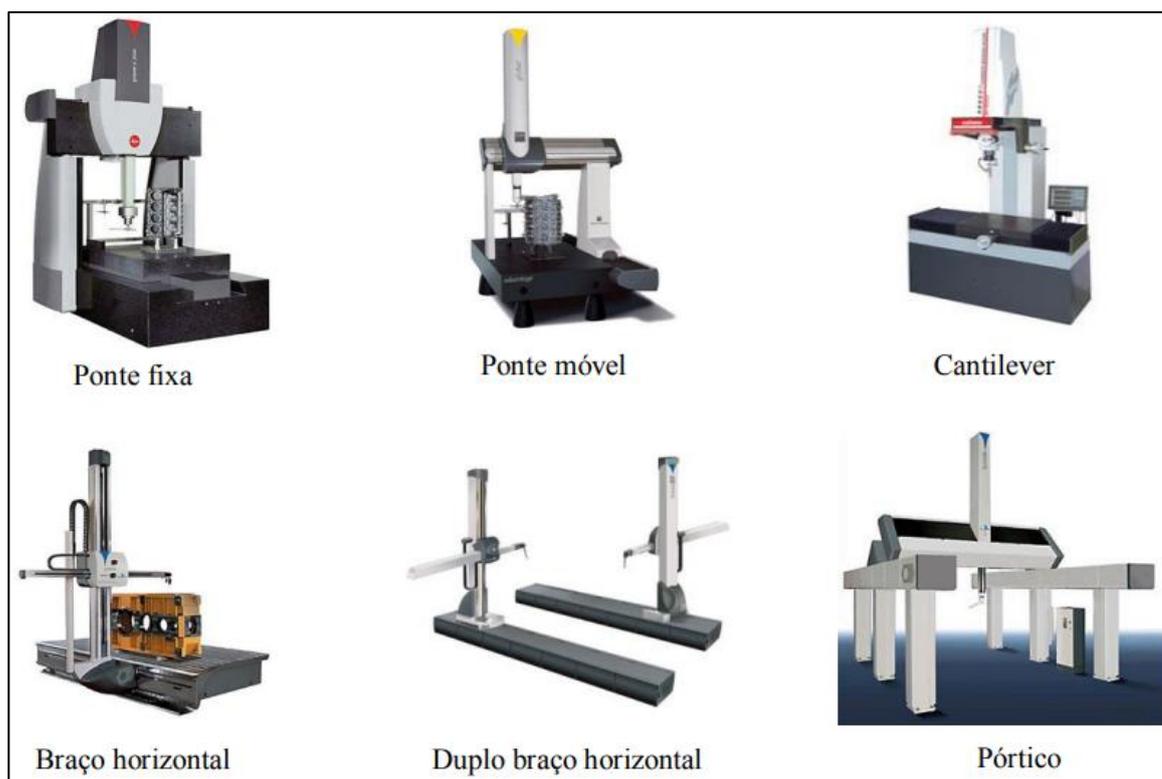
A maioria das MMC que possui a ponte fixa também é equipada com sensores de *scanning*, tendo a necessidade de um ambiente de metrologia controlado (QUIRINO, 2017).

Cantilever: apresenta um carro que transporta uma viga engastada ortogonalmente a ela, sendo responsável pelo movimento do carro que transporta o apalpador, utilizada para medir peças pesadas e longas.

Pórtico, braço horizontal e duplo braço horizontal: Utilizadas para medir peças maiores, utilizadas com frequência no setor automotivo (QUIRINO, 2017).

Na Figura 24 é possível visualizar os equipamentos, anteriormente mencionados.

Figura 24. Equipamentos.



Fonte: Quirino (2017).

2.13. Sensores

Chamados de sensores ou cabeçotes de medição por coordenadas são dispositivos que durante a apalpação da peça irão gerar sinais. Sua escolha deve ser compatível com as características da peça a ser medida, suas dimensões, requisitos de exatidão e número de pontos a serem medidos.

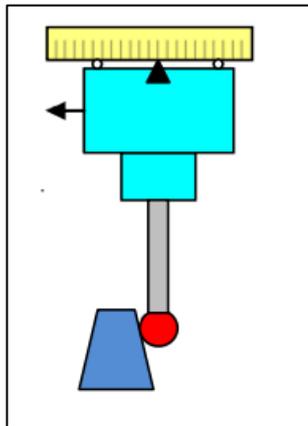
Os sensores podem ser comutadores por contato ou ópticos e sensores de apalpação *scanning*.

Outra forma de diferenciação de sensores se dá pelo princípio físico de transmissão de sinal. Esses divididos em dois grupos.

Sensores ópticos: A localização de um ponto de medição é transmitida por sensor óptico. Ele podendo ser utilizado para determinar as coordenadas correspondentes. Sensor de contato: A informação é gerada ao tocar a peça, com um elemento de apalpação que na maioria dos casos é a ponta do apalpador. Os apalpadores podem ser apresentados como: apalpadores rígidos, comutadores e analógicos.

Apalpadores rígidos: não apresenta suspensão e a ponta é rigidamente conectada ao cabeçote de medição da MMC. Onde se tem alta rigidez entre a ponta do apalpador e a peça, levando as altas forças e desvios durante a medição (BARROS, 2012). A Figura 25 demonstra o apalpador rígido.

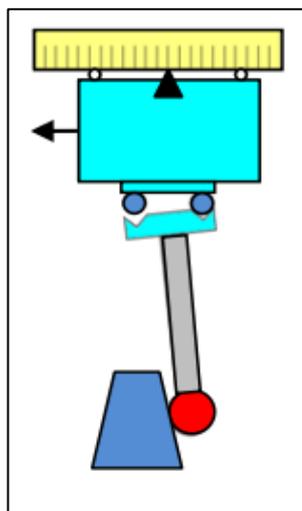
Figura 25. Apalpador rígido.



Fonte: Barros (2012).

Apalpadores comutadores: tem suspensão o que reduz as forças durante a medição (BARROS, 2012). É possível verificar a sua ilustração na Figura 26.

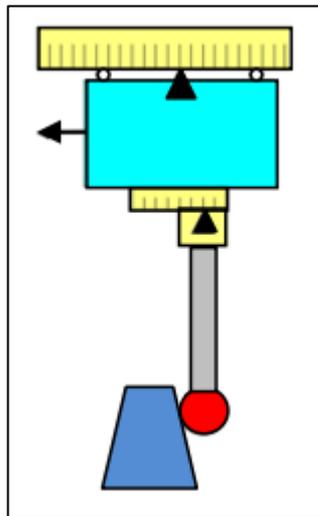
Figura 26. Apalpadores comutadores.



Fonte: Barros (2012).

Apalpador analógico: tem sua própria suspensão e sistema de medição. Fornece dados quantitativos sobre a posição da ponta da esfera em relação ao ponto de referência que minimiza a incerteza da medição (BARROS, 2012). É possível verificar a sua ilustração na Figura 27.

Figura 27. Apalpador analógico.



Fonte: Barros (2012).

2.14. Braço articulado de medição

Conforme é possível observar na Figura 28, se trata de uma máquina de medir por coordenadas cartesianas portáteis. Também chamados de *braços articulados de medição* (BAMs) através das suas articulações compõem 5,6 e 7 graus de liberdade além de *encoders* - medidores angulares de precisão para determinar a posição do apalpador. O posicionamento do apalpador de superfície é feito manualmente (LIMA, 2006).

Figura 28. Braço tridimensional.



Fonte: Lima (2006).

Devido as suas características dinâmicas, é possível elencar algumas características favoráveis referente a utilização do equipamento.

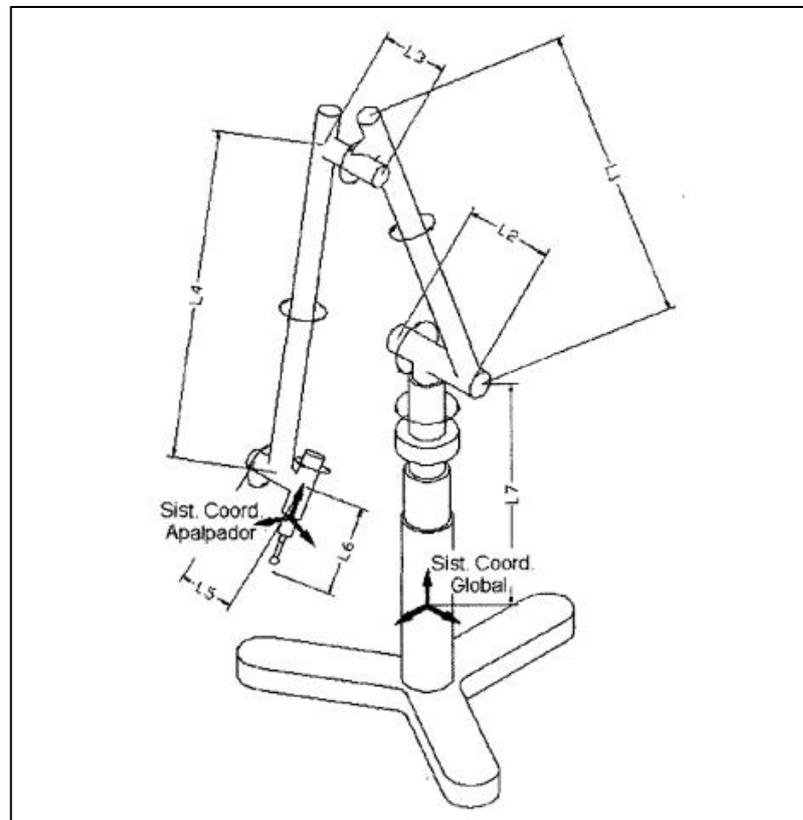
- Grande portabilidade
- Relação positiva entre volume de medição e o tamanho do equipamento
- Menor custo comparado a outras máquinas de medição cartesianas
- Facilidade para o operador para executar em campo e lugar de difícil acesso

Os braços articulados são considerados propícios para medições de peças com tolerâncias amplas como peças plásticas, estampadas e fundidas não acabadas. Essa afirmação é justificada visto que a incerteza de medição do braço é maior que em máquinas de medição por coordenadas cartesianas (LIMA, 2006).

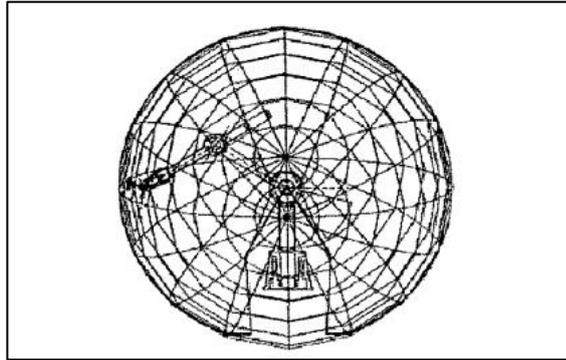
Sua maneira de medição é manual, sendo composto por eixos rotativos, onde é possível encontrar duas configurações (antropóide e scara) (NEROSKY, 2001).

Conforme as Figuras 29 e 30 é possível observar a configuração Antropóide: configuração na qual se tem juntas articuladas na extremidade de segmentos retos, que possibilitam movimentos retos simulando movimento do braço humano (PINTO, 2012).

Figura 29. Braço articulado configuração

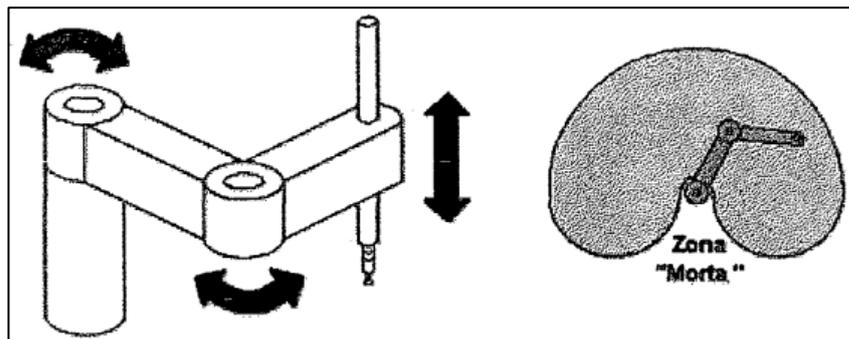


Fonte: Pinto (2012).

Figura 30. Movimento

Fonte: Pinto (2012).

Configuração Scara Figura 31: não permite tanta flexibilidade no plano vertical, apresenta um apalpador rígido na extremidade do braço (NEROSKY, 2001).

Figura 31. Configuração Scara.

Fonte: Nerosky (2001).

2.15. Explicação da aplicação das tolerâncias de perfil de superfície e posição com máxima condição de material.

Neste tópico será detalhada a aplicação das duas tolerâncias geométricas que serão medidas no experimento. Esse detalhamento servirá como base para o entendimento de como serão as medições na peça.

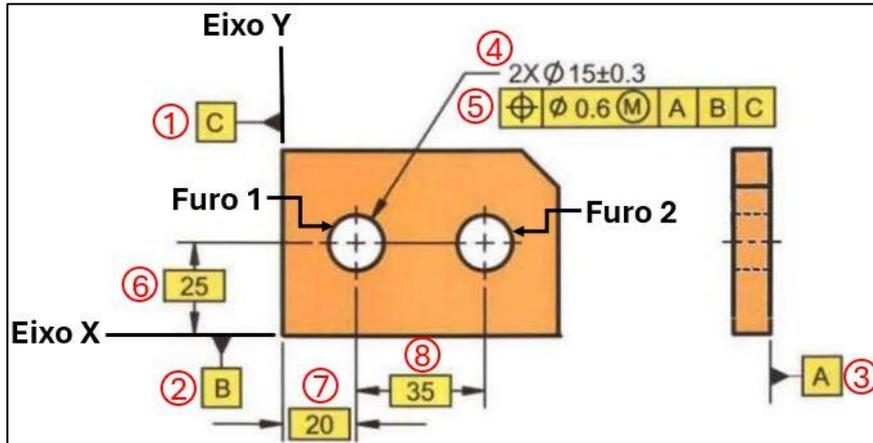
2.15.1. Cálculo para obter o resultado de desvio de posição com MMC

Cálculo feito para obter o resultado do desvio de posição com MMC; para entender melhor como a máquina mede, calcula e gera um resultado de posição, é preciso um estudo mais detalhado da Equação matemática 1.

$$2.\sqrt{(x^2+y^2)} \quad (1)$$

Onde “2 vezes a raiz quadrada da soma dos desvios X e Y elevados ao quadrado será o resultado da posição” a Figura 32 é de uma peça produzida fictícia e será utilizada como exemplo para explicar como é feito o cálculo de posição.

Figura 32. Peça projetada para exemplificar a medição de posição com MM.

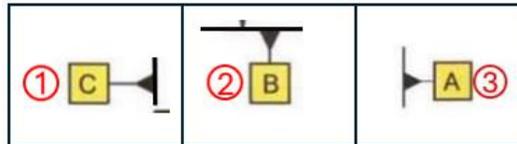


Fonte: Adaptada de UF University of Florida (2024).

A Figura anterior 32 será dividida em quadrantes para uma melhor compreensão.

Na Figura 33 é possível observar em, (1) a indicação do datum C, em (2) a indicação do datum B e em (3) a indicação do datum A.

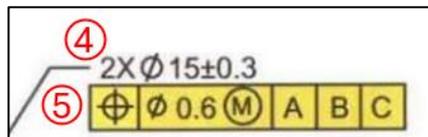
Figura 33. Quadrante detalhando os datums



Fonte: Adaptada de UF University of Florida (2024).

Na Figura 34 é possível observar em (4) a indicação dos furos 1 e 2 com o tamanho dos diâmetros ambos de 15mm sabe-se disso pela indicação de 2x que vem antes do valor do diâmetro e sua tolerância. Em (5) está representada o quadro de controle de posição, nota-se que a indicação de 2 vezes diâmetro de 15mm ± 0,3mm está estrategicamente posicionada sobre o quadro de controle e a leitura seguirá da seguinte maneira, “esses elementos 2 furos, tem posição de 0,6mm com máxima condição de material em relação aos datums A, B e C.

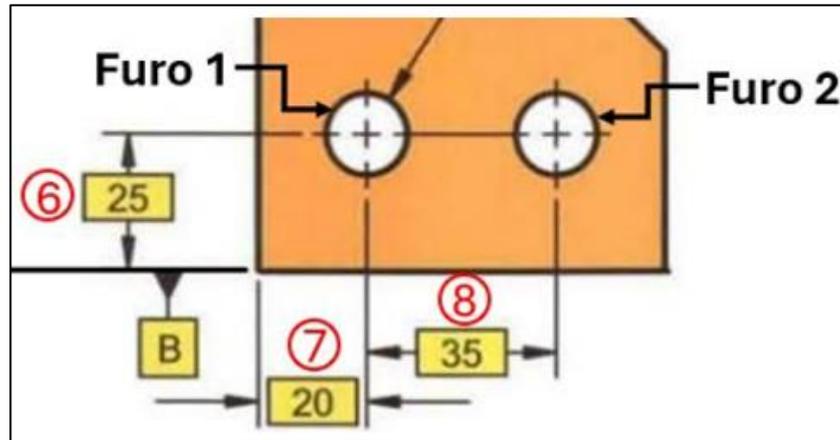
Figura 34. Quadrante detalhando o diâmetro dos furos e o quadro de controle



Fonte: Adaptada de UF University of Florida (2024).

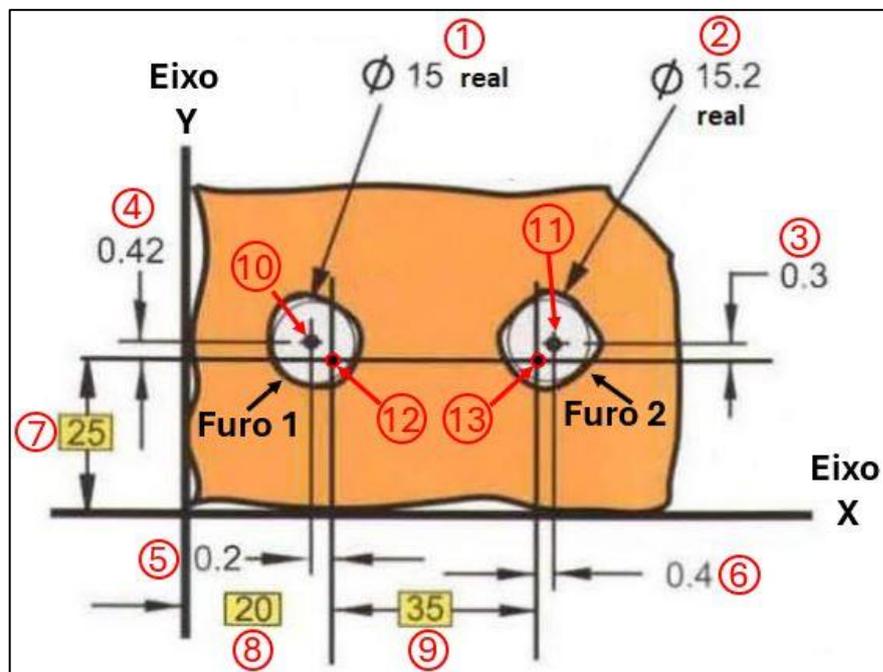
Na Figura 35 está destacado, em (6) a cota básica, distância de 25mm entre o datum B e o centro dos furos projetados no eixo Y, em (7) tem-se indicado a cota básica, distância de 20mm entre o datum C e o centro do furo 1 projetado no eixo x, em (8) tem-se a distância de 35mm do centro do furo 1 para o centro do furo 2 projetado, somando 20 ao 35 tem-se a distância de 55mm do fura 2 para o datum C no eixo X.

Figura 35. Quadrante detalhando as cotas básicas



Fonte: Adaptada de UF University of Florida (2024).

Figura 36. Peça produzida, sobreposta ao que foi projetado, para demonstrar os desvios.

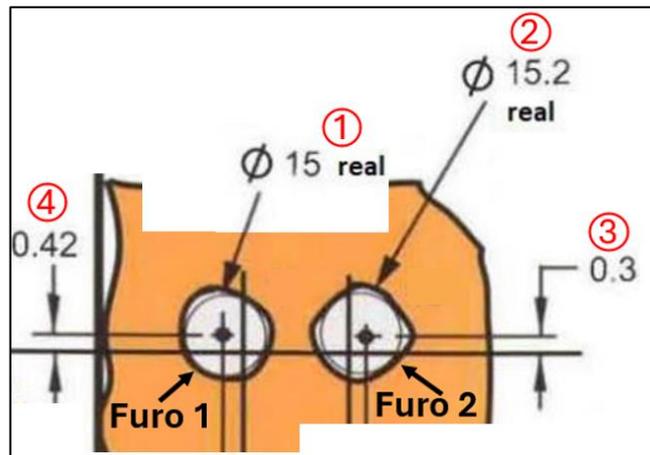


Fonte: Adaptada de UF University of Florida (2024).

A Figura 36 será dividida em quadrantes para um melhor entendimento.

No desenho da peça produzida, sobreposta aos eixos do desenho da peça teórico, representada na Figura 37 é possível observar em, (1) a medida real do diâmetro do furo 1 encontrado, que foi de 15mm. Em (2) a medida real do diâmetro do furo 2 encontrado, que foi de 15,2mm. Em (3) o desvio encontrado do furo 2 no eixo Y, que foi de 0,3mm. Em (4) o desvio encontrado do furo 1 no eixo Y, que foi de 0,42mm.

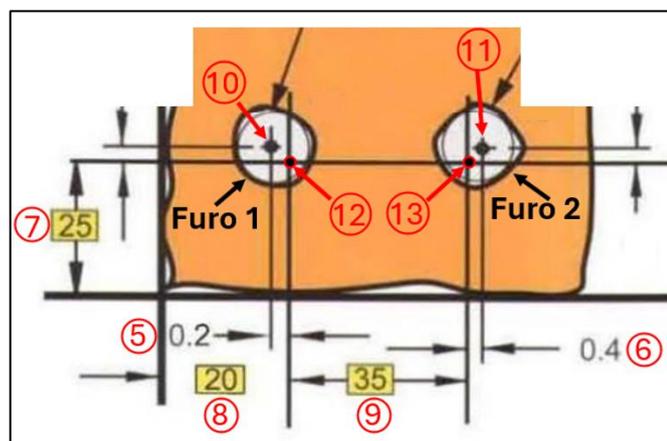
Figura 37. Quadrante detalhando os diâmetros encontrados e os desvios no eixo Y



Fonte: Adaptada de UF University of Florida (2024).

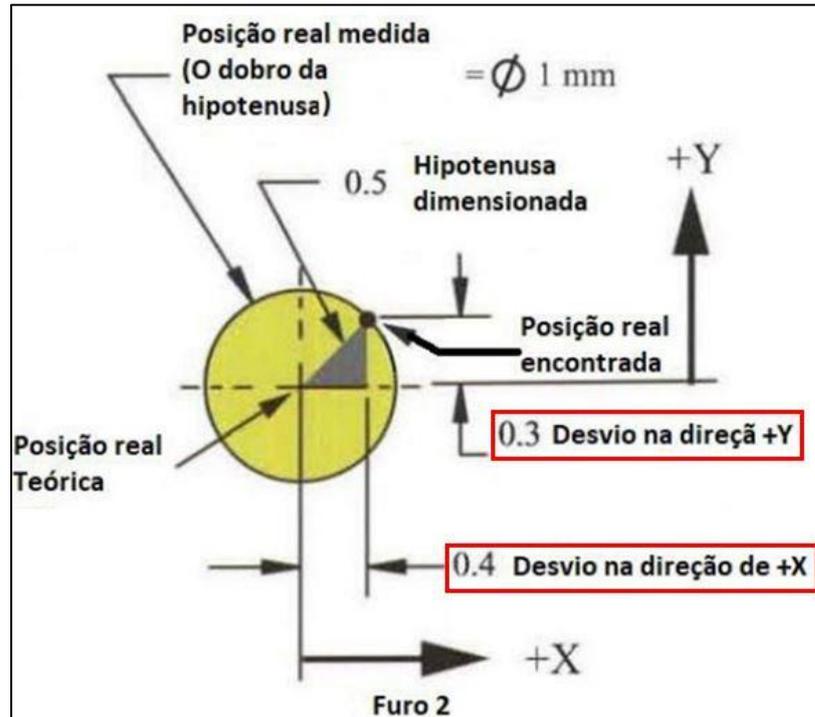
Na figura 38 é possível observar em (5) o desvio encontrado do furo 1 no eixo X que foi de 0,2mm. Em (6) o desvio encontrado do furo 2 no eixo X que foi de 0,4mm. Em (7), (8) e (9) se repetem as cotas básicas que partem das referências datums A e B e o cruzamento, interseção entre as linhas que delimitam as distância das cotas básicas para as referências datum A e B formam os pontos que são as posições reais teóricas dos furos projetados, observados em (12) e (13). Em (10) e (11) são as posições reais dos furos que foram medidos, deslocados de acordo com os desvios encontrados em X e Y em cada furo.

Figura 38. Quadrante destacando os itens de 7 a 13



Fonte: Adaptada de UF University of Florida (2024).

Figura 39. Zoom no furo 2 ilustrando como a máquina encontra o desvio.



Fonte: Adaptada de UF University of Florida (2024).

Na Figura 39 onde é mostrado somente o furo 2 é possível observar a posição real teórica onde se cruzam os eixos X e Y, os desvios de 0,4 em X e 0,3 em Y, formando um triângulo que se aplica a Equação 2 o teorema de Pitágoras e o resultado se multiplica por 2.

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad (2)$$

onde $a^2 + b^2$ representam os catetos de medidas 0,3mm e 0,4mm e o c^2 é a hipotenusa, a diferença é que como se trata de um diâmetro a hipotenusa $0,25^2$ deve ser extraída da raiz e multiplicada por 2 encontrando assim a posição real medida.

Figura 40. Demonstração da aplicação do cálculo.

Calculando a posição real no furo 2	
$2\sqrt{x^2 + y^2}$	Expressão matemática
$2\sqrt{0,4^2 + 0,3^2}$	Substituindo x e y pelos desvios encontrados em cada eixo
$2\sqrt{0,16 + 0,09}$	Desvios elevados ao quadrado
$2\sqrt{0,250}$	Soma dos desvios
$2 \times 0,5 = 1,0\text{mm}$	Extraí a Raiz quadrada e multiplica por 2. Resultando em 1 milímetro de posição real encontrada

Fonte: Autores (2024).

Na Figura 40 foi aplicado o passo a passo do cálculo substituindo x e y pelos desvios encontrados no furo 2, chegando ao resultado de 1,0mm de desvio na posição real encontrada.

Na Tabela 3 será apresentado as informações sobre os furos 1 e 2 e suas respectivas posições.

Tabela 3. Tabela de resultados dos furos 1 e 2.

Posição permitida (tolerância de posição + Bônus)			Posição real encontrada a partir dos cálculos utilizando os desvios encontrados em X e Y				Aprovado	Reprovado
Furo	MMC	Dimensão real	Posição permitida	Desvio em X	Desvio em Y	Posição encontrada		
1	14,7	15	0,9	-0,2	0,42	0,93		X
2	14,7	15,2	1,1	0,4	0,3	1	X	

Fonte: Adaptada de UNIVERSITY OF FLORIDA (2024).

A Tabela 3 será dividida em quadrantes para um melhor entendimento.

Aplicando o mesmo cálculo ao furo 1 chegou-se ao resultado de 0,93mm de posição real encontrada. A dúvida que pode surgir analisando os resultados é a seguinte, (se o desvio do furo 1 é menor que o desvio do furo 2, porque o furo 1 foi reprovado e o furo 2 aprovado?).

A explicação está no modificador M relacionado a tolerância de 0,6mm de posição no quadro de controle. Aplicando a condição de máxima condição de material MMC, para a aplicação desta medição teórica é possível verificar um quadro de controle de posição com tolerância de 0,6mm com modificador de máxima condição M atrelado a tolerância. Isso significa que a variação na medida do diâmetro do furo pode impactar em um ganho de tolerância de posição, conforme o furo é aumentado até a sua medida máxima de diâmetro.

Explicando as condições dos furos 1 e 2 representados na Figura 41, da esquerda para direita, furo 1 MMC 14,7mm representa o furo com diâmetro na mínima tem-se mais material na peça, por isso o modificador M chama-se condição de máximo material, furo 2 mesma condição MMC 14,7mm que é a medida mínima especificada do diâmetro dos dois furos, coluna dimensão real, medidas dos diâmetros dos furos, furo 1 está com 15mm e o furo 2 está com 15,2mm.

Figura 41. Demonstra a condição de máximo material e a dimensão real dos furos

Furo	MMC	Dimensão real
1	14,7	15
2	14,7	15,2

Fonte: Adaptada de UNIVERSITY OF FLORIDA (2024).

Na Figura 42 é possível observar a coluna posição permitida está somando a tolerância de posição de 0,6 + a variação no diâmetro de cada furo, assim pode-se observar que o ganho de bônus no furo 1 é de 0,3mm pois 14,7 até 15,0 a diferença é de 0,3mm, que somada a tolerância especificada, fornece uma nova tolerância de posição permitida no furo 1 que será de 0,9mm, e no furo 2 essa diferença de 14,7mm para 15,2mm é de 0,5mm, que somada a tolerância especificada, então a posição permitida no furo 2 é de 1,1mm, na sequência da tabela observa-se o desvio em X e em Y que foram calculados e encontrados os desvios expressos na coluna posição encontrada.

Figura 42. Quadrante que destaca as novas tolerâncias e os desvios dos furos

Furo	Posição permitida	Desvio em X	Desvio em Y
1	0,9	-0,2	0,42
2	1,1	0,4	0,3

Fonte: Adaptada de UNIVERSITY OF FLORIDA (2024).

Como a tolerância de posição permitida no furo 1 foi de 0,9 e a posição encontrada foi de 0,93 o furo 1 então está reprovado, estando 0,03mm acima da tolerância permitida, e no furo 2 a posição permitida foi de 1,1mm e a posição encontrada foi de 1mm então o furo

2 foi aprovado estando ainda 0,1mm abaixo da tolerância de posição permitida, conforme mostra a figura 43.

Figura 43. Mostra a posição encontrada e a condição aprovado ou reprovado dos furos

Furo	Posição encontrada	Aprovado	Reprovado
1	0,93		X
2	1	X	

Fonte: Adaptada de UNIVERSITY OF FLORIDA (2024).

2.15.2. Explicação da aplicação da tolerância geométrica Perfil de superfície

A tolerância Geométrica perfil de superfície pode ser aplicada para garantir diversas características de uma peça como as descritas a seguir:

Forma: Quando a tolerância de perfil de superfície descreve a variação permitida na forma de uma superfície em relação a uma forma ideal ou especificada, sem relação a uma origem ou referência definida. Isso inclui características como curvatura, retidão, circularidade, cilindridade e perfil de linha, conforme observado na Figura 44 item 1, a tolerância de perfil de superfície está sem referência datum e está aplicada em uma superfície que tem outro controle dimensional de $20\text{mm} \pm 0,1$ em relação a superfície oposta, isto implica que a tolerância de perfil de superfície pode variar dentro de sua tolerância em relação a medida de $20\text{mm} \pm 0,1$ então se a medida de 20mm estiver na máxima com 20.1mm o resultado da medição da forma vai dar a máxima com desvio de 0,1 para mais, porem se a medida de 20mm estiver na mínima com 19,9mm o resultado da medição da forma também vai estar na mínima, ASME (2018).

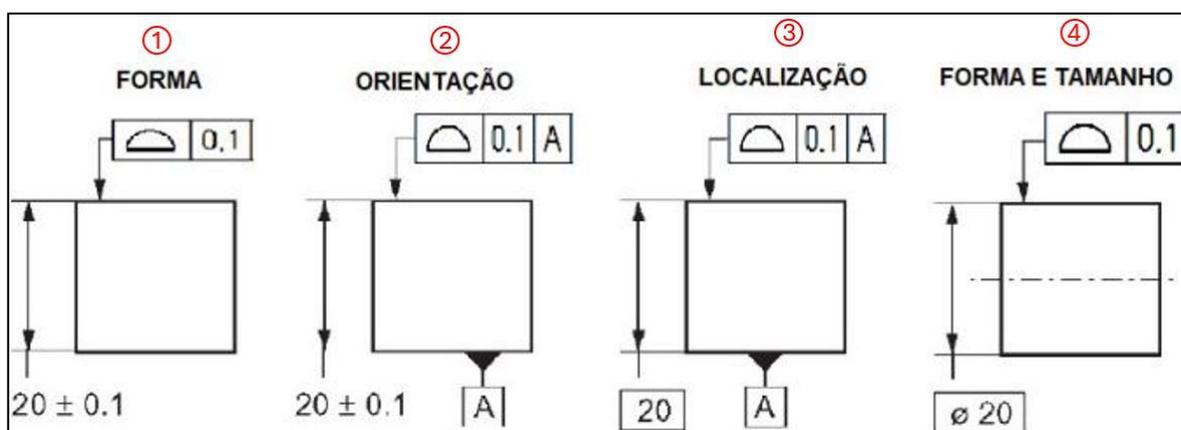
Orientação: A norma especifica como a tolerância de perfil de superfície pode ser aplicada para controlar a orientação de uma superfície em relação a um plano de referência ou eixo, conforme pode ser observado na Figura 44 item 2, a tolerância de perfil de superfície está relacionada ao datum A, então ela controla a orientação da face onde se está indicada a tolerância em relação a face oposta onde está indicado o datum A, ASME (2018).

Localização: A tolerância de perfil de superfície também pode ser usada para controlar a localização de uma superfície em relação a um sistema de coordenadas de

referência, como pode ser observado na Figura 44 item 3, a tolerância de perfil de superfície está relacionada ao datum A com uma dimensão básica de 20mm, então ela controla a localização da face onde se está indicada a tolerância em relação a face oposta onde está indicado o datum A e com a limitação da localização de 20mm, ASME (2018).

Forma e tamanho: Além de controlar a forma, localização e orientação, a tolerância de perfil de superfície também pode ser usada para especificar limites para o tamanho das irregularidades permitidas na superfície, conforme e pode ser observado também na Figura 44 item 4, a tolerância de perfil de superfície está relacionada ao datum A com uma dimensão básica de diâmetro de 20mm, então ela controla a forma cilíndrica e o tamanho do diâmetro pode variar dentro da tolerância de forma especificada de 0,1mm ASME (2018).

Figura 44. Características controladas com a tolerância de perfil de superfície.

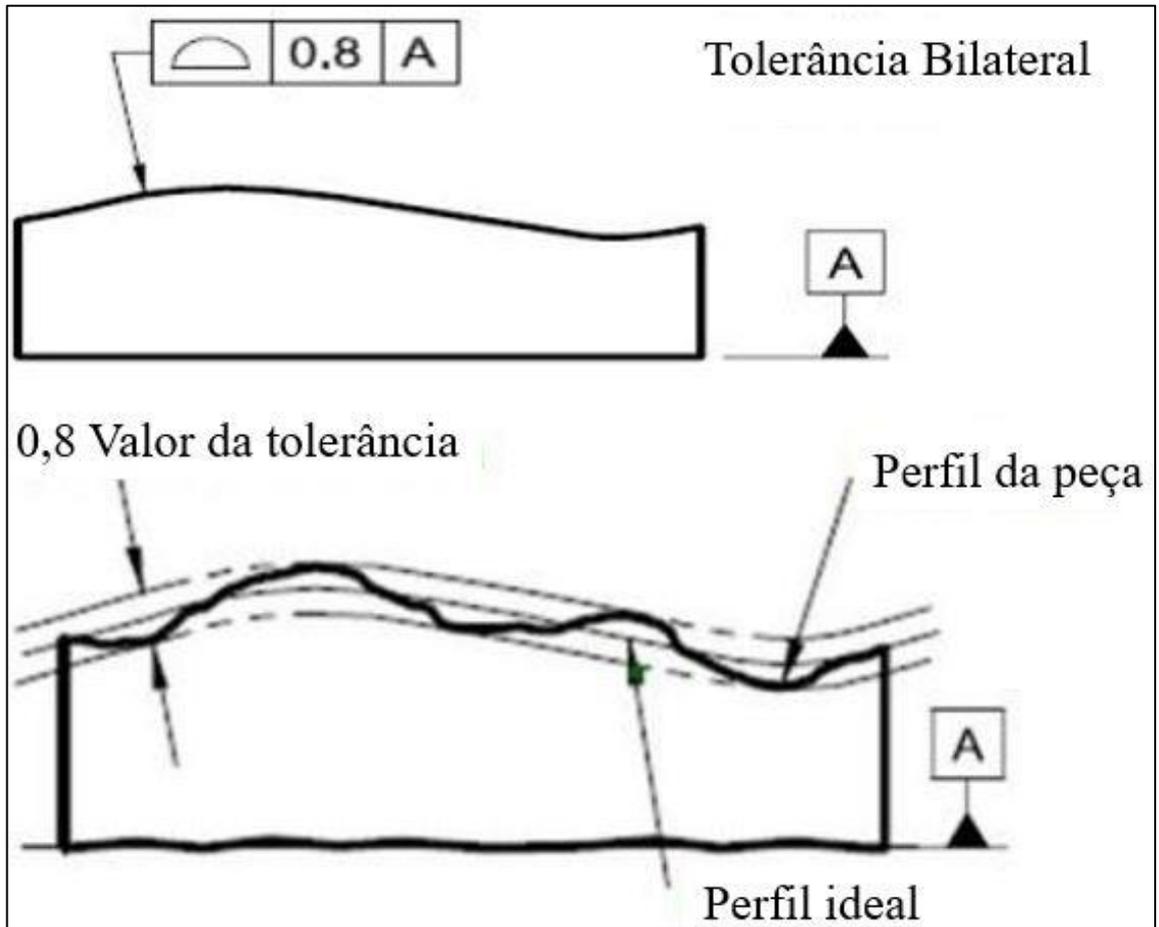


Fonte: ASME (2018).

Para o presente trabalho foi escolhida para aplicação no experimento a tolerância de perfil de superfície com a característica de localização item 3 da Figura 45 vista anteriormente.

Na Figura 45 observa-se uma tolerância de perfil de superfície de localização unilateral de 0,8mm em relação ao datum A, por ser unilateral então a tolerância de 0,8 se divide em +0,4mm e -0,4mm, podendo ficar a essas distancias do perfil ideal onde a medida é 0,0mm. Então quando essa tolerância de forma é medida ela pode variar de -0,4mm a +0,4mm em seu resultado nos pontos medidos.

Figura 45. Característica de localização na tolerância de perfil de superfície unilateral.



Fonte: ASME (2018).

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.1. Definições sobre a Hierarquia dos datums

Segundo a norma ASME (2018) em toleranciamento geométrico GD&T, a hierarquia de travamento dos graus de liberdade dos datums é determinada pela sua ordem de referência. Quando se tem três datums planos nos três eixos (X, Y e Z), a hierarquia típica de travamento dos graus de liberdade é a seguinte:

1. Datum primário (datum A): Normalmente é o plano que fornece a referência principal para a localização do recurso de interesse. Em um sistema de coordenadas ortogonais (como o sistema XYZ), o datum A geralmente é o plano que define o eixo de referência mais crítico. Se houver uma ordem de importância entre os eixos, esse plano seria o que mais contribui para a orientação e a localização da peça (ASME, 2018).

2. Datum secundário (datum B): É o plano de referência que complementa o datum A. Ele fornece uma referência secundária para a orientação e a localização da peça. O datum B é geralmente perpendicular ao datum A e costuma ser o segundo mais crítico em termos de orientação (ASME, 2018).

3. Datum terciário (datum C): É o plano que completa o conjunto de datums. Ele fornece uma referência adicional para a orientação e a localização da peça, mas sua importância é a menor entre os três datums. O datum C geralmente é perpendicular aos datums A e B e contribui para a fixação da orientação final da peça (ASME, 2018).

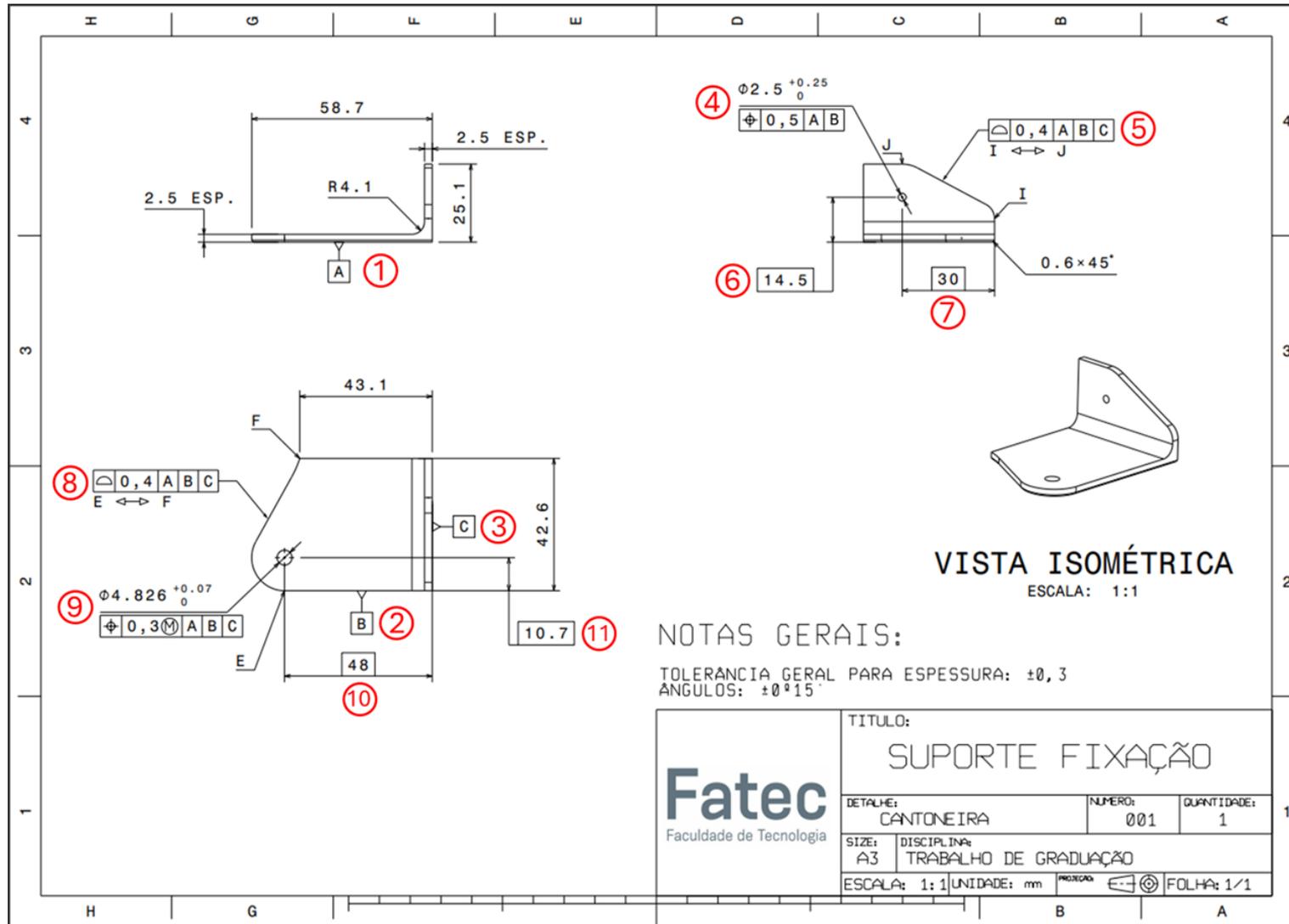
Essa hierarquia de travamento dos graus de liberdade dos datums ajuda a garantir que a peça seja corretamente orientada e posicionada em relação ao sistema de coordenadas especificado pelo GD&T (ASME, 2018).

3.2. Medição na máquina de medir por coordenadas tridimensional CNC

A seguir será descrito o passo a passo que foi executado para realizar a medição da peça na máquina de medir por coordenadas tridimensional, equipada com uma ponteira de rubi de diâmetro $\varnothing 1,0\text{mm}$, um milímetro, para poder tocar o furo de diâmetro de dois milímetros.

Primeiramente é feita uma análise do desenho 2D, conforme Figura 40 onde são identificados os elementos que serão apalpados pela ponteira, após a análise é definido o modo de fixação da peça e a estratégia de programação. Para esse experimento o programa utilizado foi o PC-DMIS.

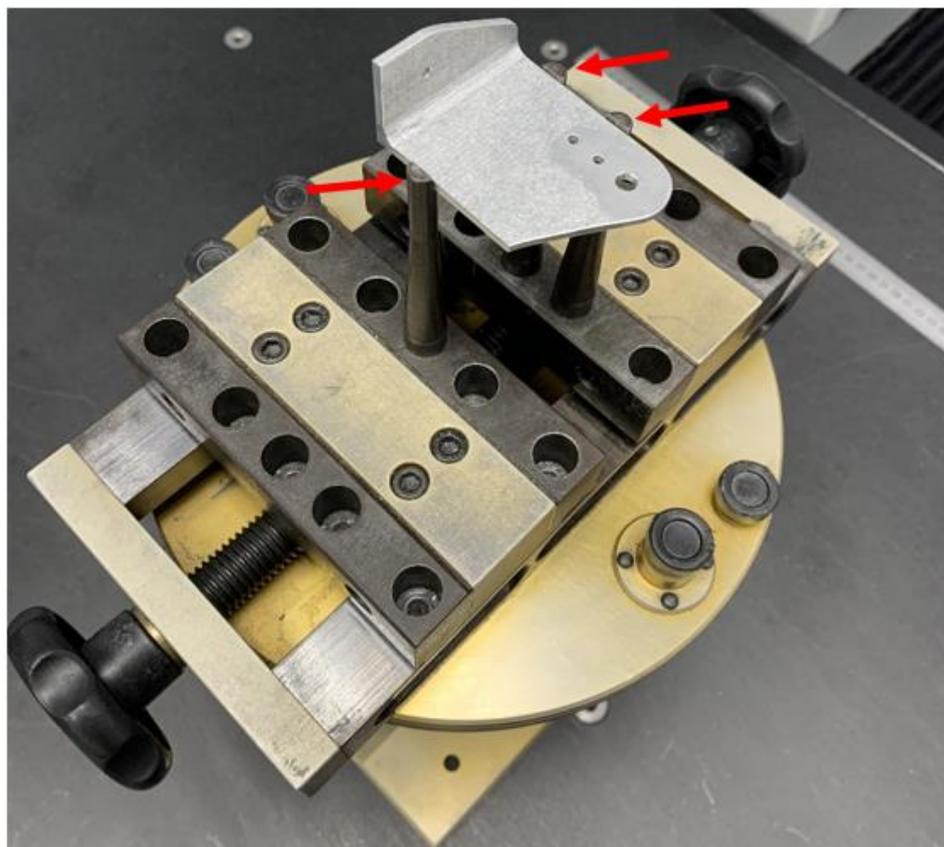
Figura 46. Desenho 2D Suporte Fixação.



No detalhamento da Figura 46 desenho 2D, tem-se em (1) o datum primário A, (2) o datum secundário B, (3) datum terciário C, (4) diâmetro do furo de 2,5mm, sua tolerância dimensional de +0,25mm e o toleranciamento geométrico de posição 0,5mm em relação aos datums A e B, (5) tolerância geométrica de perfil de superfície de 0,4mm em relação aos datums A,B e C delimitada do ponto I ao ponto J, (6) e (7) são as medidas básicas da posição do furo partindo do datum A e B, (8) tolerância geométrica de perfil de superfície relacionada aos datums A, B e C delimitada do ponto E ao ponto F, (9) diâmetro de 4,826mm com tolerância dimensional de +0,07mm e o toleranciamento geométrico de posição 0,3mm com condição de máximo material, relacionado aos datums A, B e C, (10) e (11) são as medidas básicas da posição do furo partindo do datum B e C.

Após a análise do desenho e definição da estratégia de medição, a peça é posicionada e fixada no dispositivo de simulação universal, morsa, utilizando os datums A e B como referência de travamento de maneira que os datums e demais elementos possam ser alcançados e apalpados com a ponteira de medição. Na Figura 47, é possível observar a peça presa na morsa com o auxílio de 3 pinos indicados com setas vermelhas para diminuir a área de contato. Para esta fixação foram utilizados 3 pinos.

Figura 47. Peça presa na morsa.



A Figura 48 demonstra a máquina de medir por coordenadas CNC que foi utilizada para realizar as medições.

Figura 48. Máquina de medir por coordenadas tridimensional.



Fonte: Cortesia Sonaca Brasil (2024).

A Figura 49 demonstra a ponteira de rubi com diâmetro de 1mm que foi utilizada nas medições.

Figura 49. Ponteira de diâmetro de Ø1,0mm.



Fonte: Cortesia Sonaca Brasil (2024).

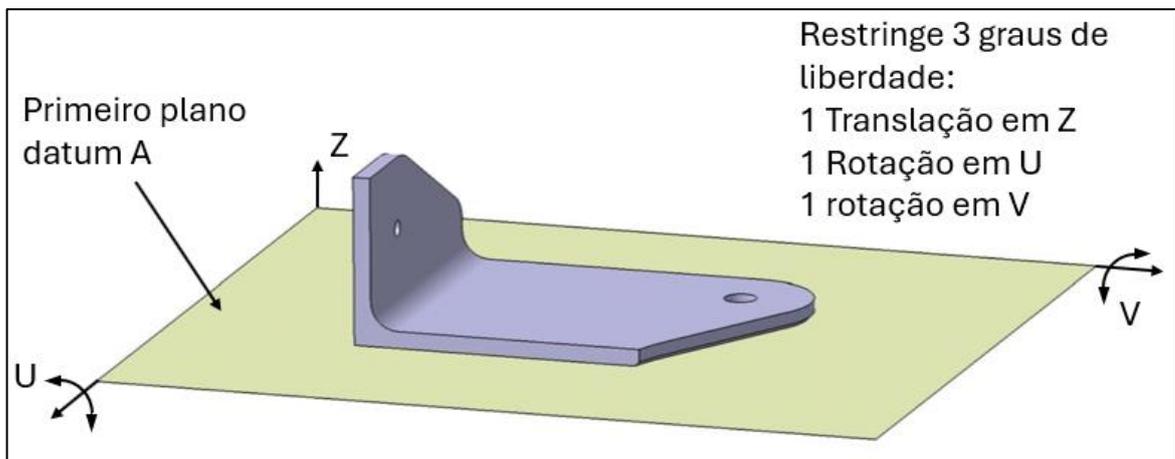
A medição foi executada da seguinte forma:

- Com as indexações e pontas definidas durante a programação então é realizada a calibração das pontas. A calibração ou qualificação das posições e indexações das pontas em uma máquina de medir por coordenadas tridimensional é fundamental para garantir a precisão e a confiabilidade das medições realizadas. A precisão das medições depende não apenas da qualidade da máquina em si, mas também da precisão com que as pontas são posicionadas e indexadas em relação à peça a ser medida. A calibração ou qualificação das posições e indexações das pontas envolve a verificação e ajuste cuidadoso dos parâmetros que afetam a posição e orientação das pontas em relação aos eixos da máquina e à superfície da peça. Uma calibração precisa, garante que as medições realizadas pela MMC sejam consistentes e confiáveis ao longo do tempo, a calibração das posições e indexações das pontas é essencial para garantir a integridade das medições e a qualidade das peças produzidas.

- Criação dos elementos planos referência, datums A, B e C, tocando três pontos em cada face de referência foram criados os três planos.

- Alinhamento, travamento dos graus de liberdade da peça no espaço conforme já citado nos tópicos anteriores 2.8 e 2.9 e definindo a origem, seguindo as diretrizes da norma respeitando a hierarquia dos datums indicados nos quadros de controles tanto de perfil de superfície quanto nos quadros de posição, conforme citado anteriormente no tópico 2.6.
- Nivelamento do plano datum A travando a origem no eixo Z, restringe os graus de liberdade de translação no eixo z e de rotação em U-X e V-Y. A simulação do travamento do datum A pode ser observada na Figura 50.

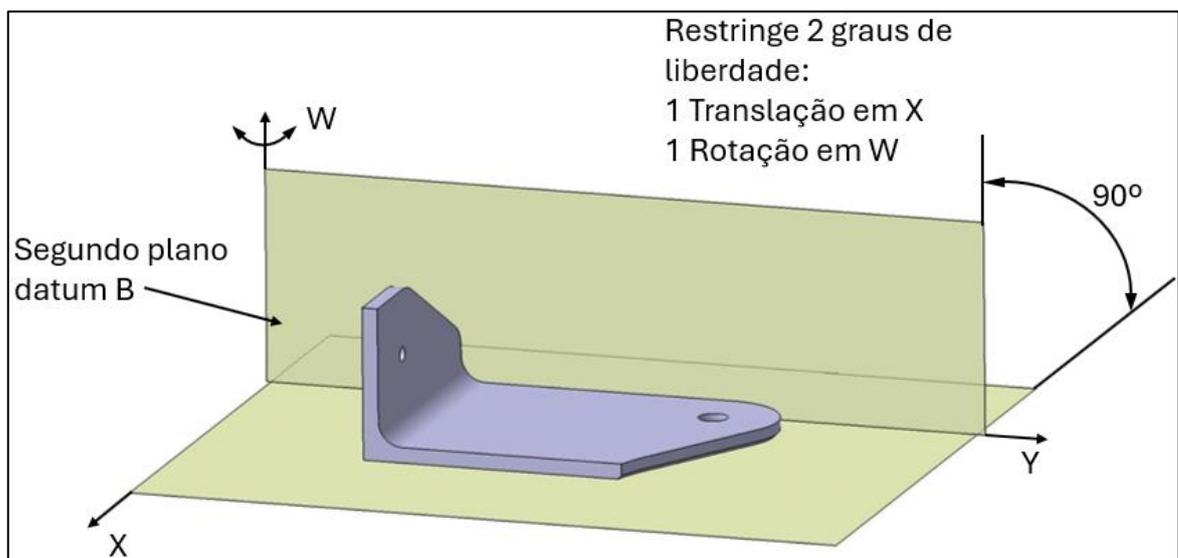
Figura 50. Travamento do datum A.



Fonte: Autores (2024).

- O plano datum B foi alinhado e indicado a origem no eixo X sobre os eixos Z e Y restringindo os graus de liberdade de translação no eixo X e rotação no eixo Z-W conforme a Figura 51 demonstra.

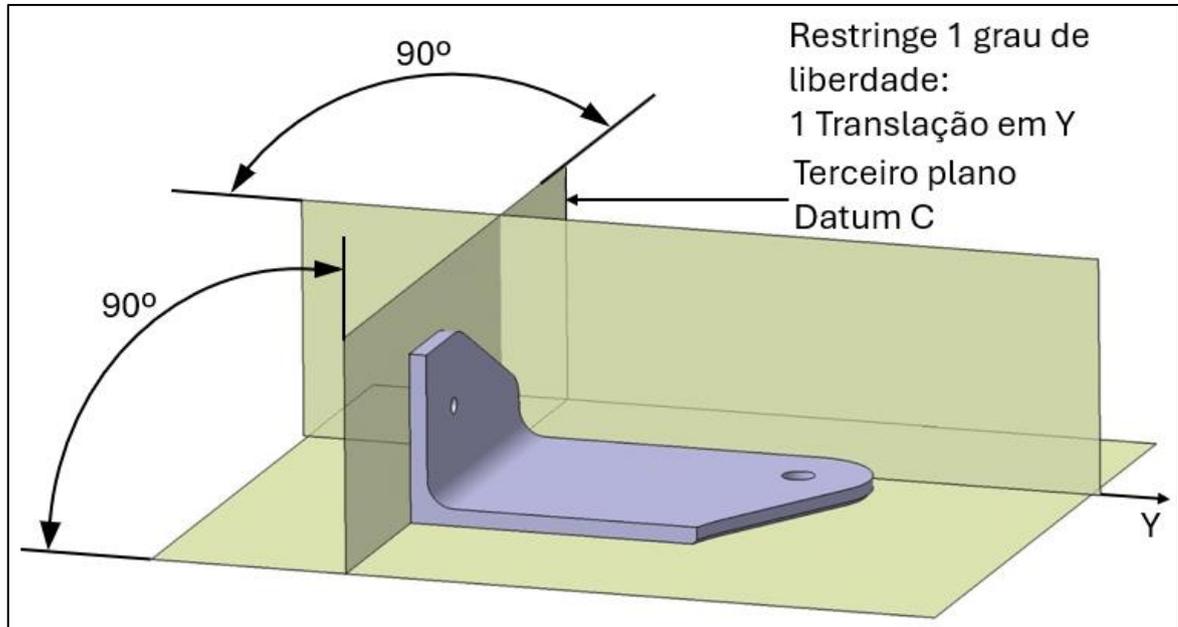
Figura 51. Travamento do datum B.



Fonte: Autores (2024).

- E pôr fim, a origem do eixo Y foi travada no plano datum C restringindo o último grau de liberdade de translação do eixo Y, conforme exemplificado na Figura 52.

Figura 52. Travamento do datum C.



Fonte: Autores (2024).

- Depois de alinhar a peça e definir a origem, o programa de medição segue de maneira automática tocando e criando os elementos que foram programados, os datums são criados novamente de forma automática para refinar o alinhamento, na sequência foram criados os dois círculos que tem indicação de medição de posição e os dois escaneamentos para medir os perfis de superfícies.

- Após a execução do programa o relatório pode ser salvo em arquivo *Word* ou *PDF*, e o conteúdo do relatório é de acordo com o que foi programado no *software*, então ele é gerado conforme o que foi medido. No desenvolvimento deste trabalho foi definido exibir os resultados de dois toleranciamento geométricos, o de posição e o de perfil de superfície, então no relatório será exibido a medição dos dois furos e de dois perfis de superfície.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Experimento

O experimento visa demonstrar a eficácia do GD&T, utilizando uma máquina de medição por coordenadas tridimensional CNC, da fabricante *Hexagon*, com o objetivo de demonstrar a importância de garantir um alinhamento preciso da peça durante a medição para assegurar que os graus de liberdade estejam travados, resultando em medições precisas.

Através deste experimento, buscou-se destacar a relevância do uso de técnicas avançadas de medição e controle de qualidade para garantir a precisão e a conformidade dos produtos fabricados.

A seguir, será exibido e explicado, como foram feitas as duas medições realizadas na tridimensional, onde que na primeira, medição foi realizado um alinhamento correto, respeitando a hierarquia dos datums, ou seja, o datum A foi nivelado no eixo Z, o datum B foi rotacionado no eixo X e o datum C foi definido a origem no eixo Y, onde se permitiu ter uma medição correta aplicando as diretrizes da norma, resultando em uma medição com resultados confiáveis.

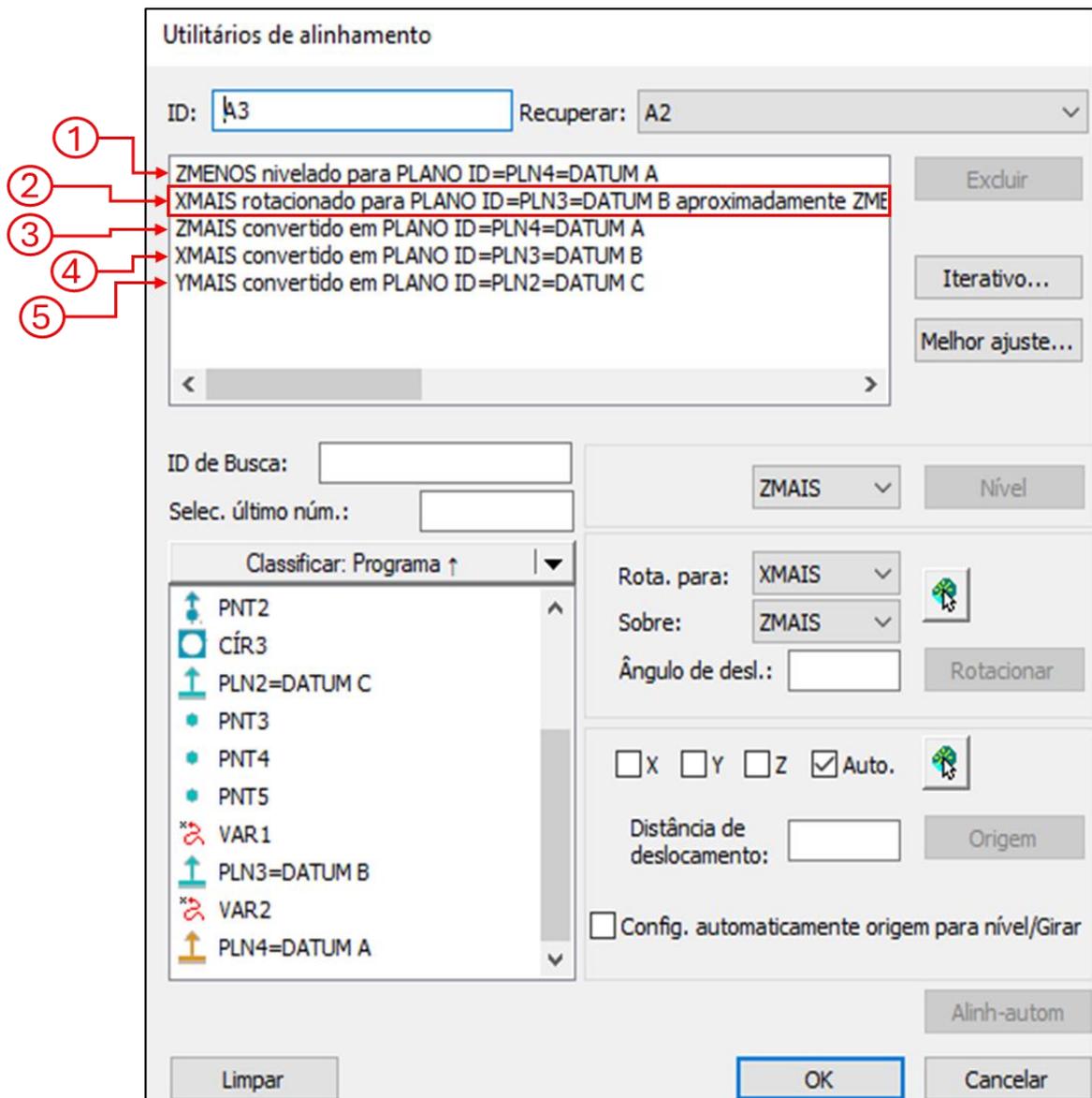
A segunda medição, não respeitou essa hierarquia, ao invés de rotacionar o datum B, foi rotacionado o datum C, gerando um agravamento nos resultados.

4.2. Resultados com alinhamento correto

No experimento foi utilizado uma peça que foi refugada pela empresa, por não atender os requisitos do projeto original, então a peça foi descaracterizada para poder ser utilizada, e por esse motivo os resultados darão fora do especificado nas duas medições, porém será demonstrado que, o não cumprimento da diretriz da norma referente a hierarquia dos datums pode ocorrer uma medição imprecisa ocasionando a piora nos resultados.

Então após aplicar os passos descritos anteriormente no capítulo 3.2 onde é explicado a análise do desenho para definir a melhor maneira de fixação da peça, posteriormente foi demonstrado como ela foi presa na morsa, como foi feito o alinhamento travando os 6 graus de liberdade através dos datums, a definição e qualificação das indexações da ponta de $\varnothing 1,0\text{mm}$ e a execução do programa de medição, que por definição aplicou as tolerâncias de posição nos furos e a tolerância de perfil de superfície nas partes definidas da peça de acordo com o desenho de projeto. A Figura 53 demonstra a tela do programa de medição onde se aplica o alinhamento, destacando a rotação sendo aplicada no datum B conforme deve ser feito segundo a diretriz da norma.

Figura 53. Alinhamento correto.



Fonte: Autores (2024).

Na Figura 53 é possível observar o alinhamento feito corretamente na sequência: (1) Nivelamento do plano datum A no eixo Z, (2) travando a rotação no plano datum B, (3) origem de Z no plano datum A, (4) origem de X no plano datum B, (5) origem Y no plano datum C.

Travando todos os 6 graus de liberdade da peça e respeitando a hierarquia dos datums para ter uma medição com resultados confiáveis e com o máximo de exatidão possível, aplicando as diretrizes da norma e as técnicas de medição desenvolvidas e aprimoradas durante anos.

A Figura 54 exhibe o relatório da medição respeitando a hierarquia dos datums.

Figura 54. Relatório da medição com o alinhamento correto.

COTA 01 POSIÇÃO 0,5 A B DO FURO CÍR 3							
⊕	MM	LOC1 - CÍR3					
AX	NOMINAL	TOL+	TOL-	MED	DESV	FORATOL	BÔNUS
X	-29.997			-29.717	0.280		
Z	14.478			14.745	0.267		
DE	2.500	0.250	0.000	2.656	0.156	0.000	0.000
PR	ITE	0.500		0.774	0.774	0.274	0.000
		①	②	③	④	⑤	⑥

COTA 02 POSIÇÃO DE 0,3 M A B C DO FURO CÍR 2							
⊕	MM	LOC2 - CÍR2					
AX	NOMINAL	TOL+	TOL-	MED	DESV	FORATOL	BÔNUS
X	-10.668			-10.677	-0.009		
Y	-48.006			-48.161	-0.155		
DE	4.826	0.070	0.000	4.838	0.012	0.000	0.012
PR	CMAxMAT	0.300		0.310	0.310	0.000	0.012
			⑧		⑨		⑩

COTA 03 PERFIL DE SUPERFÍCIE 0,4 A B C I-J							
⌒	MM	PROF1 - VAR1 FORMAELocalização					
AX	NOMINAL	TOL+	TOL-	MED	DESV	FORATOL	
M	0.000	0.200	0.200	0.391	0.391	0.191	
		⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯

COTA 04 PERFIL DE SUPERFÍCIE 0,4 A B C E-F							
⌒	MM	PROF2 - VAR2 FORMAELocalização					
AX	NOMINAL	TOL+	TOL-	MED	DESV	FORATOL	
M	0.000	0.200	0.200	0.390	0.390	0.190	

Fonte: Autores (2024).

A Figura 54 será dividida em quadrantes para um melhor entendimento.

Na Figura 55, no quadrante 1 é possível observar a cota 1 (posição de 0,5 A|B CÍR 3 furo de Ø2,5) e em (1) as medidas nominais originais do projeto, onde a sigla DE representa a medida do diâmetro do furo, seguido pela coordenada no eixo X de 29,997, partindo do datum B, e a coordenada Z de 14,478, partindo do datum A. As medidas nominais foram arredondadas no desenho 2D para uma melhor visualização e por serem cotas de referência pois o mandatório sempre é o desenho 3D.

Figura 55. Destacando a cota 1 e as medidas nominais

COTA 01 POSIÇÃO 0,5 A B DO FURO CÍR 3	
⊕	MM
AX	NOMINAL
X	-29.997
Z	14.478
DE	2.500
PR	ITE
	①

Fonte: Autores (2024).

Na Figura 56, quadrante (2) estão destacadas as tolerâncias do diâmetro do furo que tem a medida de $\varnothing 2,5\text{mm}$ para $+0,25\text{mm}$ e menos nada e a tolerância de posição que é de $0,5\text{mm}$, observa-se que a tolerância de posição não tem mais e menos é somente mais pois o toleranciamento de posição refere-se a localização do furo em relação a uma origem, então essa variação de mais e menos pode ocorrer nas cotas básicas, que podem variar para mais ou para menos, e é essa variação que fornece o desvio que é aplicado a formula para calcular o desvio de posição.

Figura 56. Destacando as tolerâncias

TOL+	TOL-
0.250	0.000
0.500	

②

Fonte: Autores (2024).

Na Figura 57 quadrante (3) estão destacadas as medidas encontradas, ou seja, os resultados lineares mostrando os valores diferentes dos valores nominais, o que é costume dizer na linguagem da metrologia é “medida real e a medida encontrada”, na medida encontrada sempre haverá uma divergência da medida real, pois nenhuma peça é fabricada com erro zero, sempre haverá desvios, por mais precisa que uma máquina de usinagem pode ser. Então fazendo a diferença entre a medida real e a encontrada obtém-se o desvio destacado na Figura 57 no quadrante (4) é possível observar os desvios das cotas básicas de posição do furo e o desvio no diâmetro do furo e o desvio na tolerância de posição onde é aplicado o cálculo utilizando os desvios encontrados nos eixos X e Z, observa-se que o desvio de posição foi de $0,774\text{mm}$ e a tolerância é de $0,5\text{mm}$.

Figura 57. Destacando as medidas e os desvios

LOC1 - CÍR3	
MED	DESV
-29.717	0.280
14.745	0.267
2.656	0.156
0.774	0.774

③ ④

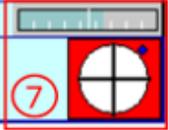
Fonte: Autores (2024).

Na Figura 58, no quadrante (5) é mostrado o quanto está fora da tolerância que no caso deste furo é a diferença entre o desvio de posição 0,774 mm da tolerância 0,5 mm, este furo então está fora de posição 0,274 mm.

O quadrante (6) mostra o bônus que é de 0 pois para esta medição não foi aplicado a condição de máximo material, o quadrante (7) mostra em formato de gráfico os desvios encontrados no diâmetro e na posição do furo, destaca-se o formato de alvo onde a intersecção das linhas representa o centro real, o círculo representa a tolerância e o ponto azul representa o centro do furo medido, observando que ele desviou nos dois eixos estando posicionado fora do círculo deslocado para cima e para a direita em relação a posição real.

Figura 58. Destacando o desvio fora da tolerância de posição, bônus e o gráfico de desvio.

FORATOL	BÔNUS
0.000	0.000
0.274	0.000



5 6 7

Fonte: Autores (2024).

Na Figura 59 está detalhado a cota 2 (posição de 0,3 M|A|B|C CÍR 2) a medição do furo 2 de diâmetro $\varnothing 4,826$ mm $+0,07$ mm, contendo as mesmas características detalhadas na cota 1 porém com a adição da máxima condição de material, que permite adicionar a variação do diâmetro do furo na tolerância de posição. Nesta medição estão destacados no (8) a medida encontrada no diâmetro do furo que foi de 4,838mm no (9) está destacado o desvio de 0,310 na posição e em (10) está sendo destacado o bônus de 0,012 mm que é a variação para mais do furo, sendo assim a nova tolerância de posição que antes era de 0,300 passou para 0,312 e o furo ficou dentro do especificado por conta de 0,012 milésimos de milímetros, isso demonstra a precisão na medição utilizando o GD&T.

Figura 59. Demonstrando a medição da cota 2

COTA 02 POSIÇÃO DE 0.3 M A B C DO FURO CÍR 2							
MM	LOC2 - CÍR2						
AX	NOMINAL	TOL+	TOL-	MED	DESV	FORATOL	BÔNUS
X	-10.668			-10.677	-0.009		
Y	-48.006			-48.161	-0.155		
DE	4.826	0.070	0.000	4.838	0.012	0.000	0.012
PR	CMAXMAT	0.300		0.310	0.310	0.000	0.012



8 9 10

Fonte: Autores (2024).

Na figura 60 é possível observar as cotas 3 e 4 que se referem as medições de tolerância de perfil de superfície, no detalhe (11) está a nominal que é zero, no detalhe (12) está a tolerância superior de 0,2mm, no detalhe (13) mostra a tolerância inferior -0,2mm, pois se trata de uma tolerância de perfil de superfície unilateral, ou seja, a tolerância de 0,4mm é dividida entre o desvio máximo superior e o máximo inferior. Portanto nesta medição do experimento a variação máxima permitida em ambas as cotas é de +0,2mm e -0,2mm, observando a cota 3 no detalhe (14) é possível ver que o desvio máximo foi de 0,391mm ultrapassando em 0,191mm a tolerância conforme mostra o detalhe (16) estando, portanto, fora da tolerância, e na cota 4 o desvio foi de 0,390mm ficando fora 0,191mm do especificado.

Figura 60. Destacando as medições das cotas 3 e 4

COTA 03 PERFIL DE SUPERFICIE 0,4 A B C I-J							
MM	PROF1 - VAR1 FORMALOCALIZAÇÃO						
AX	NOMINAL	TOL+	TOL-	MED	DESV	FORATOL	
M	0.000	0.200	0.200	0.391	0.391	0.191	

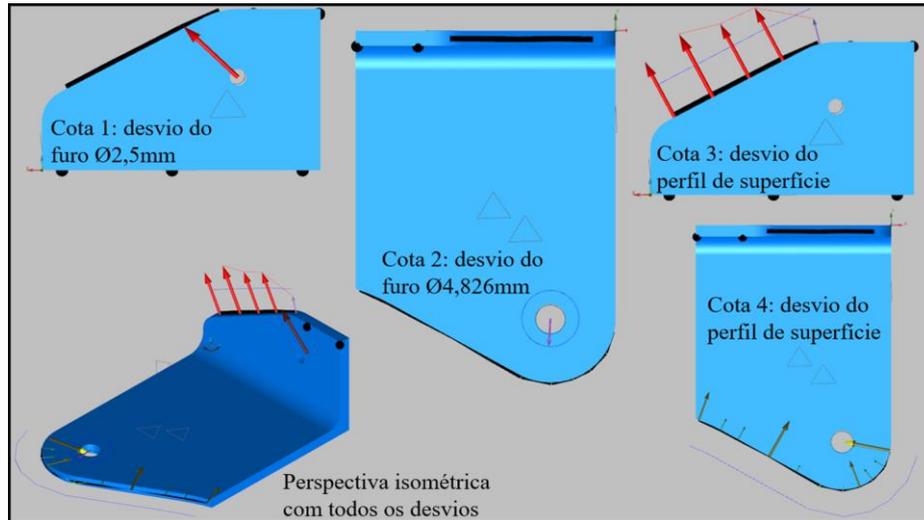
COTA 04 PERFIL DE SUPERFICIE 0,4 A B C E-F							
MM	PROF2 - VAR2 FORMALOCALIZAÇÃO						
AX	NOMINAL	TOL+	TOL-	MED	DESV	FORATOL	
M	0.000	0.200	0.200	0.390	0.390	0.190	

Fonte: Autores (2024).

Os arredondamentos se devem ao fato de a diretriz da norma permitir restringir somente uma casa após a virgula quando a tolerância geométrica também é dada com uma casa após a virgula, por exemplo se uma tolerância de posição é dada com duas casas 0,05mm as medidas nominais e os resultados também podem ser exibidos com duas casas após a virgula. No caso do experimento todas as tolerâncias geométricas são com apenas uma casa, porém foi decidido mostrar três casas após a virgula para expressar o quão precisa é a medição e como a tolerância de posição com máxima condição pode ajudar com um bônus mínimo de 0,012 milésimos de milímetros destacado na medição da cota 3.

Na Figura 61 está sendo demonstrado esses desvios em forma de vetor possibilitando a visualização da direção e do sentido de cada desvio. A visualização desses vetores é uma ferramenta muito importante que auxilia na visualização exata dos desvios, quando se tem um desvio que é possível retrabalhar, a utilização desses vetores é crucial para saber por exemplo para onde se deve deslocar um furo, ou em qual ponto de um perfil de superfície está maior para um possível lixamento.

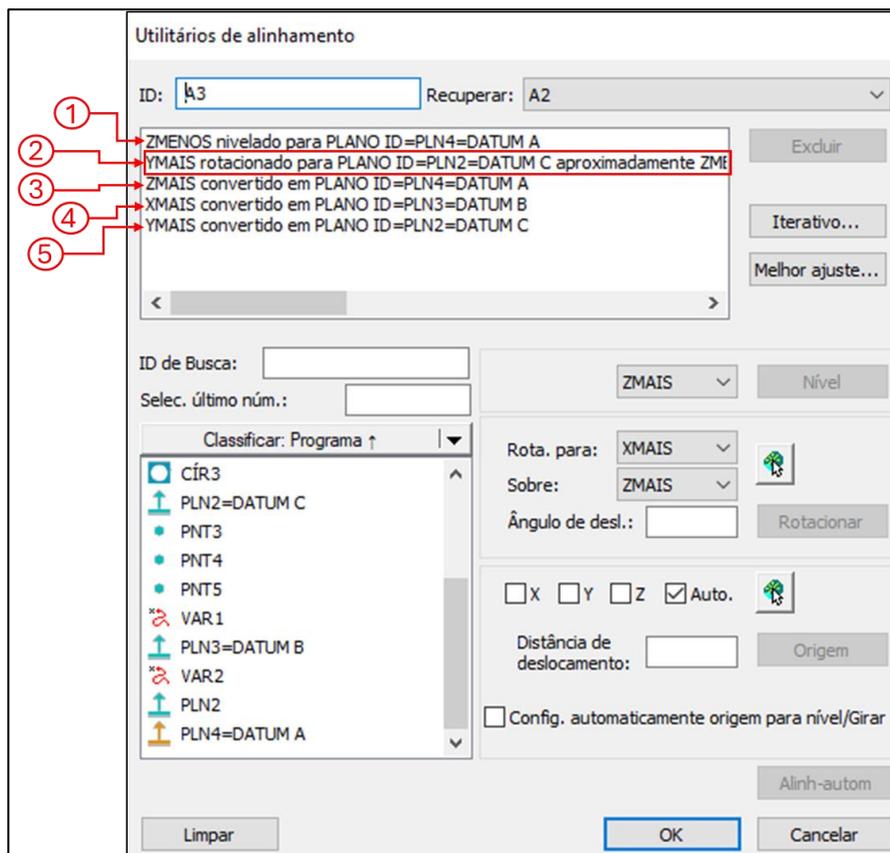
Figura 61. Exibição dos vetores com a direção e o sentido dos desvios



Fonte: Autores (2024).

4.3. Resultados com alinhamento incorreto.

Figura 62. Alinhamento sem respeitar a hierarquia dos datums.



Fonte: Autores (2024).

Na Figura anterior 62 o alinhamento foi alterado, ao invés de seguir a sequência A|B|C dos quadros de controle, foi seguida a nova sequência A|C|B, mudando apenas o

travamento de rotação, que anteriormente estava travada no plano datum B como manda a norma, porem para efeitos experimentais essa hierarquia foi ignorada e o travamento foi aplicado no datum C, que fisicamente está localizado em uma região menor da peça, implicando em uma menor estabilidade de alinhamento, o que pode acarretar em resultados sem muita precisão, pois a hierarquia dos datums se dá quando a peça é projetada, então é definida uma sequência onde as maiores superfícies de contato da peça ou que tenham relações com uma montagem posterior sejam definidas como datums, que são regiões que devem ser preservada durante a usinagem e posteriormente em uma operação de ajuste onde se dá o acabamento final nas peças.

Pode-se constatar que os datums são características físicas das peças que requerem uma atenção especial desde o projeto, até o acabamento final da peça, pois é partindo dos datums que as medidas das demais dimensões das peças são fabricadas.

A Figura 63 exibe o relatório da medição com a aplicação do alinhamento incorreto onde a hierarquia dos datums foi ignorada, invertendo o travamento da rotação que deve ser aplicado no datum B, porém foi aplicado no datum C. No relatório estão destacadas somente os valores que estão fora da tolerância.

Figura 63. Relatório de medição com a aplicação do alinhamento incorreto

COTA 01 POSIÇÃO 0.5 A B DO FURO CÍR 3							
⊕	MM	LOC1 - CÍR3					
AX	NOMINAL	TOL+	TOL-	MED	DESV	FORATOL	BÔNUS
X	-29.997			-29.685	0.312		
Z	14.478			14.754	0.276		
DE	2.500	0.250	0.000	2.656	0.156	0.000	0.000
PR	ITE	0.500		0.834	0.834	0.334	0.000

COTA 02 POSIÇÃO DE 0.3 M A B C DO FURO CÍR 2							
⊕	MM	LOC2 - CÍR2					
AX	NOMINAL	TOL+	TOL-	MED	DESV	FORATOL	BÔNUS
X	-10.668			-10.736	-0.068		
Y	-48.006			-48.181	-0.175		
DE	4.826	0.070	0.000	4.838	0.012	0.000	0.012
PR	CMAXMAT	0.300		0.376	0.376	0.064	0.012

COTA 03 PERFIL DE SUPERFÍCIE 0,4 A B C I-J							
⤿	MM	PROF1 - VAR1 FORMA E LOCALIZAÇÃO					
AX	NOMINAL	TOL+	TOL-	MED	DESV	FORATOL	
M	0.000	0.200	0.200	0.401	0.401	0.201	

COTA 04 PERFIL DE SUPERFÍCIE 0,4 A B C E-F							
⤿	MM	PROF2 - VAR2 FORMA E LOCALIZAÇÃO					
AX	NOMINAL	TOL+	TOL-	MED	DESV	FORATOL	
M	0.000	0.200	0.200	0.497	0.497	0.297	

Fonte: Autores (2024).

A Tabela 4 apresenta uma comparação entre os resultados das duas medições a fim de destacar a piora depois de aplicar um alinhamento que não respeita a hierarquia de alinhamento dos datums, deixando claro que o não cumprimento das diretrizes da norma pode acarretar uma medição com resultados imprecisos, pondo em risco a confiabilidade e qualidade de uma peça.

Tabela 4. Tabela de resultados das medições 1 e 2

COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS ENTRE AS DUAS MEDIÇÕES			
	MEDIÇÃO 1	MEDIÇÃO 2	
COTAS	VALOR FORA DA TOLERÂNCIA	VALOR FORA DA TOLERÂNCIA	DIFERENÇA
COTA 1	0,274	0,334	0,060
COTA 2	0	0,064	0,064
COTA 3	0,191	0,201	0,010
COTA 4	0,190	0,297	0,107

Fonte: Autores (2024).

É possível observar na Tabela 4 a diferença nos resultados, onde se destaca o agravamento de todos eles, mudando no alinhamento somente um travamento de rotação.

4.4. Estado da arte

Este trabalho foi desenvolvido para expor o GD&T, as diretrizes da norma ASME Y14.5 2018 e os resultados obtidos no experimento, destacando a diferença entre uma medição seguindo as diretrizes da norma em relação a hierarquia dos datums e outra medição sem respeitar esta condição.

Nas pesquisas realizadas em relação a trabalhos desenvolvidos com a temática do GD&T destaca-se três, que apresentam de maneira bem difundida o toleranciamento geométrico sendo aplicado em diferentes experimentos.

Baker (2016) demonstram no trabalho "Dimensionamento geométrico: Análise de diferenças entre medições de Perpendicularidade aplicando a norma ISO 1101/2012 e a ASME Y14.5-2009 e suas implicações ", as diferenças que as duas normas podem apresentar na interpretação e aplicação da tolerância geométrica de perpendicularidade.

Já Quirino (2017) demonstra em “Estudo das técnicas de GD&T e sua aplicação em máquinas de medição por coordenadas”, a aplicação das técnicas de GD&T em uma máquina de medição por coordenadas CNC, realizando a medição posição, circularidade, perpendicularidade, paralelismo e angularidade.

Lima, Santos, Stoco e Torrezan (2016) apresentam em “Qualidade dimensional: estudo e aplicações do sistema GD&T no processo de desenvolvimento de um produto” a aplicação do GD&T na medição de 20 peças do setor automotivo e comparam com o antigo sistema CD&T e destacam que 35% dos produtos seriam rejeitados pelo sistema CD&T enquanto no sistema GD&T a rejeição seria de 0%.

5. CONCLUSÃO

O GD&T não é muito difundido academicamente, são poucos conhecedores dessa ferramenta tão importante para a concepção de peças e projetos, por este motivo o presente trabalho foi desenvolvido, para expor e ajudar na disseminação do GD&T entre alunos e docentes da FATEC em especial do curso de projetos de estruturas aeronáuticas e alcançar o máximo de pessoas possível que se interessam por essa temática.

Diante das análises e experimentações realizadas neste estudo sobre GD&T e sua aplicação na medição de posição com condição de máximo material e toleranciamento de perfil de superfície, é possível inferir que a metrologia desempenha um papel crucial na busca pela excelência da qualidade industrial. A adoção correta e eficiente do sistema GD&T emerge como uma necessidade incontestável, dada sua capacidade de padronização e eficácia no controle das características geométricas e funcionais dos produtos.

Ao analisar a relevância da hierarquia dos datums ABC na medição de posição e perfil de superfície, constatou-se que respeitar essa hierarquia se revela imprescindível na interpretação precisa dos desenhos técnicos, resultando em medições mais confiáveis e condizentes com as especificações do projeto. Por outro lado, a negligência dessa hierarquia pode conduzir a equívocos e imprecisões nas medições, comprometendo a qualidade do produto final. Observa-se os resultados comparados entre as duas medições, onde é possível constatar que, o não cumprimento da diretriz da norma em uma simples troca de ordem dos datums que altera somente o travamento da rotação no alinhamento, resultou no agravamento dos resultados de forma e que se aplicado dessa maneira em uma produção em série, o risco de estar condenando peças que estão boas é muito grande, por isso a disseminação das diretrizes da norma se faz crucial, em treinamentos para programadores de tridimensional CNC, programadores de máquinas de usinagem, operadores, inspetores de qualidade, ajustadores e todos que de alguma forma interferem na condição final das peças.

Fica claro, portanto, que investimentos no treinamento e capacitação dos profissionais não somente da metrologia, é imprescindível para assegurar uma interpretação correta dos desenhos técnicos e uma execução precisa das medições. A ausência desses requisitos pode acarretar erros que, por sua vez, podem afetar a qualidade do produto e, consequentemente, a satisfação do cliente.

Em um cenário de mercado altamente competitivo, onde a credibilidade e a satisfação do cliente são cruciais para o sucesso das empresas, a metrologia se destaca como uma das ferramentas fundamentais para garantir a conformidade dos produtos e a manutenção da

confiança do mercado. Assim, a correta aplicação do GD&T e a observância da hierarquia dos Datums surgem como pilares essenciais para alcançar os mais altos padrões de qualidade e excelência na indústria.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTIN, M. R. J, AQUINO S. S. L, Bosco J. Uma proposta para garantia da qualidade metrológica em peças de geometria complexa. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, n. 3, p. 147-147, 2011.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Y14.5-2018**, Estados Unidos.

BARROS, W.S. **Estudo sobre a confiabilidade metrológica das máquinas de medição por coordenadas na utilização de varredura por contato**. 2012. 245 p. Tese (Doutorado Em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.

HAMBURG, P. D. S. **Calibração de peças padrão em máquinas de medir por coordenadas**. 2006.

KRULIKOWSHI, A. **Geometric Dimensioning and Tolerancing**. Inglaterra, 1997.

LIMA, C. R. G. **Um estudo comparativo de sistemas de medição aplicáveis ao controle dimensional de superfícies livres em peças de médio e grande porte**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial. 2006.

LUCENA, H. N. **Geração de estratégias de medição de superfícies complexas em sistema CAD para máquinas de medir por coordenadas**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP), 2009.

NEROSKY, L. A. R. **Medição de Formas Livres através da Integração de um Sensor Óptico tipo " Folha de Luz" em um Braço de Medição**. 2001. Tese Pós-Graduação. Universidade Federal de Santa Catarina Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial Laboratório de Metrologia e Automatização - Labmetro

OLIVEIRA, A. L., SOUZA, A. R. **Validação de processos de medição por coordenadas em operações de controle da qualidade**. 2003.

DRAKE, JR. J. P. **Dimensionamento e Tolerância Manual**. Nova Iorque São Francisco Washington. Auckland, 1999.

PINTO, T. L. F. D. C. **Medição óptica, comparação e sinalização de superfícies com forma livre de grande extensão**. 2012.

QUIRINO, J. **Estudo das Técnicas de GD&T e sua Aplicação em Máquinas de Medição por Coordenadas, 2017**. 69 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2017.

RIBEIRO, L. E. **Importância da metrologia para engenharia reversa**. 2019.

UF University of Florida. **Geometric Dimensioning and Tolerancing Unit 4 Position Verification.** Disponível em <https://slidetodoc.com/geometric-dimensioning-and-tolerancing-unit-4-position-verification/>. Acesso em: 11/04/2024

ZILIO, T. M.; VIERO, C. F.; WALBER, M. APUD KRULIKOWSKI GD&T - Aspectos relacionados ao desenvolvimento de produtos. **Revista CIATEC-UPF**, v. 6, n. 1, p. 1 – 12, 2014.

WANDECK, M. Engenharia Dimensional norma **ASME 14.5-2018**, Rio de Janeiro, Brasil.

Neumann, S.; Neumann, Al. **Geotol Pro A Practical Guide to geometric Tolerancing per ASME Y14.5.** Estados Unidos: 2009.

BAKER, J. M. D. C. **Dimensionamento geométrico: análise de diferenças entre medições de perpendicularidade aplicando a norma iso 1101/2012 e asme Y14.5-2009 e suas implicações 2016.** 70f. Dissertação (Mestrado em Mestre em Engenharia Mecânica.) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2016.

STOCO, W. H.; SANTOS, R.V; LIMA, A.; TORREZAN, H. F. **Qualidade dimensional: estudo e aplicações do sistema GD&T no processo de desenvolvimento de um produto 2016.** João Pessoa: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2016.

A.1 Retitude Anexo A

			<i>Retitude</i>	
			SUPERFÍCIE	FOS
MODIFICADORES	ELEMENTO	Implícito Aplicáveis Não aplicáveis	\emptyset (M) (L) (P) (T)	\emptyset (M) (P) (T)
	DATUNS	Não usa datuns		
O VALOR DA TOLERÂNCIA DE RETITUDE ...			deve ser menor que os valores das tolerâncias de: \perp \parallel \angle \square R C D	deve ser menor que os valores das tolerâncias de: R D R
			deve ser menor que o valor da tolerância dimensional	se não estiver sendo usada em conjunto com tolerâncias de orientação ou posição pode ser maior que a tolerância dimensional; se for usada em conjunto com as tolerâncias de orientação ou posição deve ser menor que as mesmas.
A PEÇA DEVE FICAR CONTIDA NO ENVELOPE DA				condição virtual

Fonte: ASME (2018).

A.2 Planeza Anexo B

			<i>Planeza</i>	
			SUPERFÍCIE	FOS
MODIFICADORES	ELEMENTO	Implícito Aplicáveis Não aplicáveis	\emptyset (L) (P) (T) (M)	(M)
	DATUNS	Não usa datuns		
O VALOR DA TOLERÂNCIA DEVE SER MENOR QUE:			o valor das tolerâncias de: \parallel \angle R D	
			o valor do controle automático exercido pela regra #1	
			a metade da tolerância dimensional	
APLICAÇÃO	SUPERFÍCIE PLANA FOS PRIMÁTICA			

Fonte: ASME (2018).

A.3 Circularidade Anexo C

			<i>Circularidade</i>
			SUPERFÍCIE
MODIFICADORES	ELEMENTO	Implícito Aplicáveis Não aplicáveis	
	DATUNS	Não usa datuns	
O VALOR DA TOLERÂNCIA DEVE SER MENOR QUE:			o valor das tolerâncias de: 
			o valor do controle automático exercido pela Regra #1
			a tolerância dimensional, exceto no caso de estado livre
APLICAÇÃO	SEÇÕES RETAS CILINDROS e CONES		

Fonte: ASME (2018).

A.4 Cilindricidade Anexo D

			<i>Cilindricidade</i>
			SUPERFÍCIE
MODIFICADORES	ELEMENTO	Implícito Aplicáveis Não aplicáveis	
	DATUNS	Não usa datuns	
O VALOR DA TOLERÂNCIA DEVE SER MENOR QUE:			o valor das tolerâncias de: 
			o valor do controle automático exercido pela regra #1
			a tolerância dimensional, exceto no caso de estado livre
APLICAÇÃO	SUPERFÍCIE CILÍNDRICA		

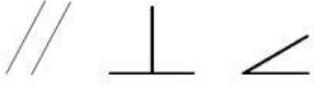
Fonte: ASME (2018).

A.5 Perfil de linha e perfil de superfície Anexo E

			<i>Perfil</i>	
			LINHA	SUPERFÍCIE
MODIFICADORES	ELEMENTO	Implícito		
		Aplicáveis	(F) (U) (ST)	(F) (U) (ST) Δ
	Não aplicáveis	∅ (M) (L) (P)	∅ (M) (L) (P)	
	DATUNS	Implícito		
Aplicáveis	(M) (L) (F) ▷ [x,u] [BSC]	(M) (L) (F) ▷ [x,u] [BSC]		
Não aplicáveis	∅ (P) (T)	∅ (P) (T)		
VALOR DA TOLERÂNCIA			<p>O perfil teórico pode ser localizado por cotas básicas ou por cotas controladas por tolerâncias dimensionais e neste caso a tolerância de perfil deve ser menor que as tolerâncias dimensionais utilizadas para localizá-lo.</p>	

Fonte: ASME (2018).

A.6 Paralelismo, perpendicularismo e angularidade Anexo F

			<i>Orientação</i>	
			SUPERFÍCIE	FOS
MODIFICADORES	ELEMENTO	Implícito		
		Aplicáveis	(T) (F) (ST)	∅ (L) (P) (M) (F) (ST)
	Não aplicáveis	∅ (L) (P) (M)		
	DATUNS	Implícito		
Aplicáveis	(M) (L) (F) ▷ [x,u] [BSC]	(M) (L) (F) ▷ [x,u] [BSC]		
Não aplicáveis	∅ (P) (T)			
O VALOR DA TOLERÂNCIA DEVE SER MENOR QUE:			o valor das tolerâncias de: \oplus  	
			a tolerância dimensional	
CONTROLA INDIRETAMENTE:			planeza e retitude	

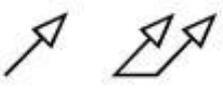
Fonte: ASME (2018).

A.7 Posição Anexo G

			<i>Posição</i>	
			FOS REGULARES	FOS IRREGULARES
MODIFICADORES	ELEMENTO	Implícito Aplicáveis Não aplicáveis	    	 
	DATUNS	Implícito Aplicáveis Não aplicáveis	     	 
VALOR DA TOLERÂNCIA			Os valores das tolerâncias são obtidos por intermédio de expressões de cálculo estabelecidas a partir das tolerâncias dimensionais e segundo o tipo de montagem.	

Fonte: ASME (2018).

A.8 Batimento circular e batimento total Anexo H

			<i>Batimento</i>	
			SUPERFÍCIE CILÍNDRICA OU CÔNICA	
			CIRCULAR	TOTAL
MODIFICADORES	ELEMENTO	Implícito Aplicáveis Não aplicáveis	      	      
	DATUNS	Implícito Aplicáveis Não aplicáveis	  [x,u]     	  [x,u]     
CONTROLA INDIRETAMENTE:			Batimento radial circular: circularidade e concentricidade. Batimento radial total: retitude, circularidade, cilindridade, concentricidade e conicidade. Batimento axial total: planeza, perpendicularidade e retitude.	

Fonte: ASME (2018).