

ANÁLISE DIDÁTICA DE TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA DE PLANEZA POR MEIO DE UM DISPOSITIVO FABRICADO POR MANUFATURA ADITIVA

1 INTRODUÇÃO

Desde sua invenção nos meados da década de 80, a impressão 3D vem sendo algo muito inovador e promissor nos dias atuais, permitindo a fabricação de qualquer peça independente de seu perfil, com o menor desperdício possível. Este método vem sendo usado tanto para o meio produtivo como para o acadêmico, onde se torna mais fácil e prático o método de ensino para um curso superior, por exemplo, onde não há muita parte prática para adquirir estes tipos de conhecimento.

Um dos métodos mais utilizados para estes fins, que se torna mais viável e econômico é o *Fused Deposition Modeling* (FDM), o mesmo utilizado no projeto. Este método ele esquentando o filamento do material utilizado até seu ponto de fusão, isto dentro do bico, que é o que faz a deposição deste material na 'cama', a impressora funciona por *G Code* que é gerado a partir de um software que transforma um modelamento 3D neste programa.

Com isso, este trabalho tem como objetivo demonstrar um método de ensino sobre planeza utilizando a manufatura aditiva (impressão 3D), onde foi elaborado um estudo sobre as formas de medição da planeza e realizado o modelamento de um suporte, o qual foi impresso em 3D com o intuito de aplicá-lo no meio acadêmico.

2 ANÁLISE DIDÁTICA DE PLANEZA

Este estudo tem como objetivo trazer uma metodologia de ensino simplificada para os estudantes de Engenharia dentro da disciplina de Metrologia, especificamente sobre a verificação de tolerância de planicidade, tendo em mente que no início do curso o conhecimento técnico dos alunos por vezes é limitado. Nos capítulos seguintes serão abordados os referenciais teóricos, materiais e métodos, resultados e a conclusão.

2.1 Referencial teórico

Neste capítulo serão abordados os referenciais teóricos utilizados para a execução do trabalho, trazendo uma explicação de embasamento para o entendimento do artigo.

Tolerância geométrica

Conforme Oliveira (2017), tolerância geométrica é um tipo de linguagem utilizada em desenhos técnicos para identificar o tanto que uma dimensão pode variar em relação a geometria de referência. Ela ajuda na comunicação entre os projetistas e a área produtiva, para garantir no final, uma montagem precisa de um conjunto.

As tolerâncias geométricas podem ser divididas em quatro grupos: Tolerância de forma, tolerância de posição, tolerância de orientação e tolerância de batimento, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Tolerâncias geométricas

PROPIEDAD	SÍMBOLO
RECTITUD	—
PLANITUD	▭
CIRCULARIDAD	○
CILINDRICIDAD	⊘
PERFIL DE UNA LINEA	⤿
PERFIL DE UNA SUPERFICIE	⤿
ANGULARIDAD	∠
PERPENDICULARIDAD	⊥
PARALELISMO	//
POSICIÓN	⊕
CONCENRICIDAD	⊙
SIMETRÍA	≡
ALINEACIÓN CIRCULAR	↗
ALINEACIÓN TOTAL	↗

Fonte: Gómez et al. (2002)

Os elementos destes grupos podem ser tanto associados que precisam de outra superfície para a comparação, ou isolados que não precisam de outra superfície ou dimensão para existir.

Planicidade ou planeza

De acordo com Martínez (2019), a tolerância geométrica de planicidade é uma das principais medições para se garantir a uniformidade de uma superfície, sendo uma superfície plana aquela que em todos os seus pontos está no mesmo plano, ou seja, a planicidade é uma tolerância t compreendida entre dois planos paralelos conforme pode ser vista na Figura 2.

Figura 2 - Planicidade e simbologia de planeza



Fonte: Adaptado de Magalhães (2006)

Pode ser visto também, como é feita a simbologia em desenhos técnicos indicando a tolerância de planicidade na superfície da peça.

Instrumentos de medição

Conforme Oliveira (2017), instrumentos de medição são aqueles que trazem um tipo de medição direta, no caso, lhe dão um valor exato de quanto está a medida referida. Estes instrumentos podem ter diversos níveis de precisão, variando da aplicação necessária.



Entre os principais instrumentos de medição estão: paquímetros, micrômetros, micrômetros internos, trenas, relógios comparadores e relógios apalpadores.

Relógio comparador

Conforme Oliveira (2017), o relógio comparador é um instrumento de grande precisão, podendo ser usado para medição direta ou indireta (comparação), medição de planeza, concentricidade, verificação de medidas, paralelismo e superfícies planas. Na Figura 3 é possível observar o tipo mais comum de relógio comparador que é com escala decimal.

Figura 3 – Relógio comparador



Fonte: O autor (2022)

Ele possui tanto uma forma milesimal quanto decimal e também pode ser analógico ou digital. Eles podem apresentar também diversos tipos de acessórios e tipos de construção dependendo de sua utilização. Sua finalidade é para medição de peças em séries e comparação em geral.

Manufatura aditiva

Segundo Volpato (2018), a manufatura aditiva, traduzida do inglês *additive manufacturing* (AM) ou ainda Impressão 3D, é um processo de fabricação caracterizado por meio da adição de material em camadas, uma após a outra, a partir de um modelo geométrico 3D originado por um sistema de desenho assistido por computador (CAD), que permite o modelamento de peças utilizando uma infinidade de materiais, diferentes formas e técnicas.

Possui sete tipos principais de impressão 3D utilizadas no momento, que de acordo com *Additive Manufacturing Technology Standards ASTM F2792*, são elas:

- *Binder Jetting* (BJ)
- *Direct Energy Deposition* (DEP)



- *Fused Deposition Modeling (FDM)*
- *Material Jetting (MJ)*
- *Powder Bed Fusion (PBF)*
- *Sheet Lamination (SL)*
- *Vat Photopolymerization (VP)*

Fused Deposition Modeling (FDM)

Este método utiliza a tecnologia de extrusão em seu processo, que ocorre por meio do depósito de material que geralmente é um tipo de plástico. Este depósito é feito em camadas em cima de uma 'cama', o qual é depositado por meio de um bico móvel. O material é aquecido dentro desse bico um pouco acima de sua temperatura de fusão, o qual quando entra em contato com a 'cama' já adere a ela e solidifica-se (GUO, 2013). Os materiais mais utilizados para este processo são: ABS, PLA e PC (GARDAN, 2016). Na Figura 4 é possível visualizar um exemplo de impressora.

Figura 4 – Impressora 3D FDM



Fonte: Grieser (2020)

Tipos de matéria-prima

De acordo com Besko *et al.* (2017), os dois principais materiais utilizados para a fabricação de peças por manufatura aditiva são: o ácido polilático (PLA), e o acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).

O PLA é o filamento mais utilizado nas impressões 3D, pois é um termoplástico biodegradável e possui a menor temperatura de impressão. Em comparação com os outros materiais, o PLA é o mais ecologicamente correto devido a biodegradabilidade deste material.

O ABS é o segundo filamento mais utilizado, este material possui boas propriedades mecânicas, sendo mais forte, durável e é considerado leve. Sua principal vantagem em relação ao PLA é o fato dele ser o mais barato do mercado, porém tem a desvantagem que quando aquecido, durante a impressão, emite gases que são tóxicos e prejudiciais à saúde.

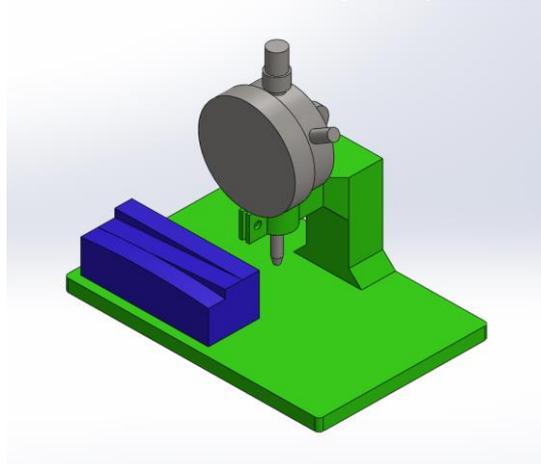
2.2 Materiais e métodos

Neste tópico serão apresentados os métodos utilizados para execução do estudo, bem como os materiais utilizados para tornar o estudo possível. Este estudo foi dividido em 3 (três) etapas, inicialmente na elaboração e modelamento de um dispositivo. Após a criação do projeto deste protótipo foram executadas todas as tarefas para a impressão 3D do protótipo. Por fim, com o protótipo fabricado, foram executados testes para mostrar a eficiência e verificar se o estudo traz uma visão simplificada sobre o tema.

Projeto das peças no Solidworks

O estudo teve como ponto de partida o desenvolvimento de um dispositivo para verificação da planicidade de uma superfície. Este dispositivo foi projetado utilizando o *software Solidworks* versão 2020. Pensou-se para a elaboração do dispositivo, uma base para movimentação das peças a serem medidas, uma coluna central com uma furação para acoplamento do relógio comparador, este que executa a medição da planicidade, e também o modelamento de um corpo de prova com diferentes superfícies para mostrar de forma simplificada a variação da planicidade de diferentes superfícies. Na Figura 5 é possível verificar a montagem do dispositivo no *software Solidworks*.

Figura 5 – Conjunto de medição de planicidade



Fonte: O autor (2022)

Nesta figura já é possível observar como será acoplado o relógio comparador ao dispositivo e como o corpo de prova se posicionará.

Impressão 3D

Primeiro modelou-se as peças no *Solidworks*, tanto da base do relógio e da peça, como também o corpo de prova para teste, e salvo os mesmos como arquivo STL para que seja possível fazer o programa da impressão, logo em seguida utilizando o programa *Ultimaker Cura 4.6* foi pego este arquivo em STL para criar o *G Code* da impressão da peça, que é a extensão do programa utilizado na impressora 3D. Para esta impressão foi utilizado o modelo de impressão por filamento (FDM), conforme mostra a Figura 4.

Para a realização das impressões foi necessário estabelecer parâmetros de fabricação para a impressora 3D utilizada. Isto se torna necessário para uma impressão de



maior qualidade sem problemas como descolamento entre a peça e a mesa, rupturas do filamento, e falhas no acabamento das peças. Os parâmetros utilizados para as impressões podem ser vistos no Quadro 1:

Quadro 1 – Parâmetros utilizados

Parâmetros	
Dimensões da mesa (mm)	x=200, y=200 e z=250
Material	PLA
Deposição material (mm/passe)	0,2
Preenchimento	20%
Suporte	Sim
Temperatura da mesa (°C)	60
Temperatura do cabeçote (°C)	200
Velocidade (mm/s)	60

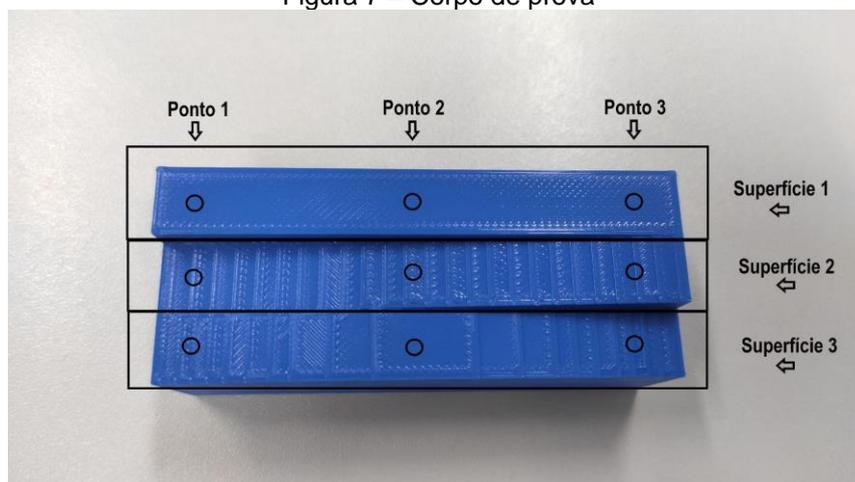
Fonte: O autor (2022)

O tempo de impressão do dispositivo foi de aproximadamente 7h e 30m, e o tempo levado para a impressão do corpo de prova foi cerca de 1h e 40m utilizando os parâmetros acima.

Verificação das superfícies do corpo de prova

Nesta etapa foi executada a medição das três superfícies do corpo de prova em três pontos diferentes a fim de avaliar a variação. Na Figura 7 é possível observar as três superfícies do corpo de prova e os três pontos de medição a serem avaliados.

Figura 7 – Corpo de prova

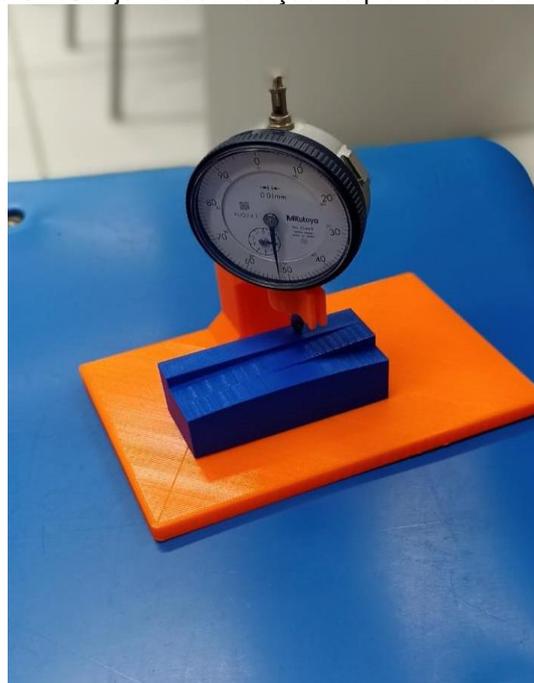


Fonte: O autor (2022)

As medições foram executadas com o relógio comparador acoplado à base que foi fabricada. O relógio comparador foi zerado no ponto 1 da superfície 1, as demais medições foram feitas a partir desta origem. Na Figura 8 é possível observar a montagem do conjunto e como foi executada a medição.



Figura 8 – Conjunto de medição de planicidade fabricado



Fonte: O autor (2022)

Após a coleta das amostras utilizando o método da Figura 8, foram encontrados valores, conforme pode ser visto no Quadro 2.

Quadro 2 – Amostras das medições

Medições (mm)			
-	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Superfície 1	0	0,25	0,1
Superfície 2	-5,3	-2,7	0
Superfície 3	-5,2	-3,2	-5,1

Fonte: O autor (2022)

Análise das amostras

Como pode ser visto no Quadro 2, a Superfície 1 apresentou medições com valores de 0mm, 0,25mm e 0,1mm nos respectivos pontos 1,2 e 3. A variação da planicidade foi de 0,25mm, tendo como pico e vale os pontos 2 e 1 respectivamente.

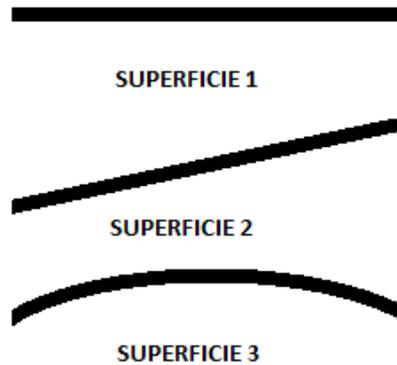
A superfície 2 apresentou valores de 5,3mm, 2,7mm e 0mm nos respectivos pontos 1,2 e 3. Esta superfície apresentou uma variação de planicidade de 5,3mm, tendo como pico e vale os pontos 3 e 1 respectivamente.

A superfície 3 apresentou valores de 5,2mm, 3,2mm e 5,1mm nos respectivos pontos 1,2 e 3. Esta superfície apresentou uma variação de planicidade de 2mm, tendo como pico e vale os pontos 2 e 1 respectivamente.

Na Figura 9 é possível observar de forma ilustrativa como realmente são os perfis das superfícies avaliadas.



Figura 9 – Perfil de superfícies



Fonte: O autor (2022)

3 Considerações FINAIS

O presente trabalho buscou criar uma nova metodologia de verificação da tolerância de planicidade, ou seja, um método mais simplificado para um melhor entendimento.

Com o trabalho pode-se aprender mais sobre o “mundo” das tolerâncias geométricas, mais especificamente sobre a planicidade ou planeza, porém trouxe outros ensinamentos como a utilização de instrumentos de medição, no caso o relógio comparador, utilização de *softwares* de modelamento 3D e também técnicas direcionadas a manufatura aditiva, que a cada dia se mostra mais presente no ramo das indústrias.

Observando as amostras coletadas, pode-se observar a variação dos pontos das superfícies medidas e como as superfícies podem variar. De acordo com os resultados demonstrados, a Superfície 1 apresentou a melhor planicidade dentro das superfícies medidas, tendo uma variação de cerca de 0,25mm.

A tecnologia da manufatura aditiva dentro do ramo de ensino das engenharias mostra-se muito eficaz, trazendo simplicidade e interesse por parte dos alunos, já que é uma tecnologia pouco utilizada nos dias atuais.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a instituição Senai de Jaraguá do Sul, por disponibilizar os recursos e a estrutura necessária para a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AIRES, Matheus de Oliveira *et al.* **INDÚSTRIA 4.0: A MANUFATURA ADITIVA COMO FERRAMENTA DE INOVAÇÃO E OTIMIZAÇÃO.** X Fateclog Logística 4.0 & A Sociedade do Conhecimento Fatec Guarulhos. Guarulhos - Sp, p. 1-10. jun. 2019.

BESKO, Marcos *et al.* Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. **Gestão, Tecnologia e Inovação**, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 9-18, set. 2017.

GARDAN, Julien. **Additive manufacturing technologies: state of the art and trends.** Int. J. Prod. Res., vol. 7543, no. August, pp. 1–15, 2016.

GÓMEZ, Jorge *et al.* DIMENSIONADO Y TOLERADO GEOMÉTRICO EN LAS NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS. **Red de Revistas Científicas de América Latina y El Caribe, España y Portugal**, Medellín, v. 137, n. 69, p. 35-44, nov. 2002.

GRIESER, Franz. **FDM vs SLA: Aprenda as diferenças**. 2020. Disponível em: <https://blog.render.com.br/impressao-3d/fdm-vs-sla-aprenda-as-diferencas/>. Acesso em: 01 abr. 2022.

GUO, Nannan; LEU, Ming. C. **Additive manufacturing: Technology, applications and research needs**. *Front. Mech. Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 215–243, 2013.

MAGALHÃES, Rita de Cássia Alves de. **Sistema para medição de erro de planicidade**. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

MARTÍNEZ, Laritza Espinosa; PÉREZ, Ramón Ramiro González. **RELACIÓN ENTRE LAS TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y GEOMÉTRICAS EN LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN: relationship between dimensional and geometric tolerances in manufacturing processes**. *Revista Centro Azúcar*, Santa Clara, Cuba, v. 46, n. 8, p. 90-98, jul. 2019. Disponível em: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v46n3/2223-4861-caz-46-03-90.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2022.

MAZZANTI, Valentina *et al.* **Settings Open Access Editor's Choice Review FDM 3D Printing of Polymers Containing Natural Fillers: A Review of their Mechanical Properties**. *Polymers*, Ferrara, p. 1-22, jun. 2019.

OLIVEIRA, Ademir Linhares de; SOUSA, André Roberto de. Relações entre a especificação de tolerâncias geométricas e a verificação de produto. **Metrologia**. Fortaleza, p. 1-5. maio 2017. Disponível em: http://otzsrvbom.otimize.com:8080/jspui/bitstream/2050011876/750/1/2017_CIMMEC_alo%40gdtmetro.com_1505531000_794152.pdf. Acesso em: 25 mar. 2022.

PRADO, Adolpho Nilson *et al.* **MANUFATURA ADITIVA: conceitos, aplicações e impactos na gestão**. III Egedin 2019. Naviraí, p. 1-6. 01 out. 2019.

VOLPATO, N.; CARVALHO, J. **Introdução à manufatura aditiva ou impressão 3D**. In: MUNHOZ, A. L. J. *et al.* **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. 1.ed. São Paulo: Blucher, 2018. p. 15-29.

INSTRUCTIONS FOR PREPARATION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS TO THE SCIENTIFIC COMMITTEE OF THE L BRAZILIAN CONGRESS ON ENGINEERING EDUCATION AND V INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EDUCATION IN ENGINEERING – COBENGE 2022

Abstract: *Research on additive manufacturing methods (3D printing), more precisely on the Fused Deposition Modeling (FDM) method that was used, applied in academia to explain geometric flatness tolerance. The development of a support with coupling for a dial indicator was carried out, where the part to be checked was placed on a movement base. In this device, the flatness of a specimen with three different surfaces was verified. All items were*

modeled in 3D software and software was used to convert these models into G Code so that the items were later printed in 3D. The three surfaces presented different flatness results, where it is possible to verify in a simplified way the comparison between them and define which one is the most acceptable among them.

Keywords: Geometric tolerance. Flatness. Comparator clock. Additive manufacturing.