

## DISPOSITIVO DIDÁTICO PARA ANÁLISE DE TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA DE BATIMENTO NAS ENGENHARIAS

### 1 INTRODUÇÃO

O processo de ensino e aprendizagem, com base em problemas, amplia o conhecimento e ajuda na didática de aprendizagem. Nas engenharias, é significativo que todo processo seja voltado a metodologias e soluções que aproximam a comunidade, a indústria e demais envolvidos. Desta forma, desenvolver a pesquisa desde a primeira fase de engenharia, faz com que aumente o interesse dos acadêmicos, aplicando a teoria na busca de soluções aplicadas.

A tolerância geométrica, é uma forma de avaliação metrológica, importantíssimo na indústria. Ela garante entre várias formas geométricas, a funcionalidade do produto, quando requerida. Porém, na academia, a forma de avaliação dessas características toleráveis nem sempre é tão fácil de analisar, devido à falta de instrumentos ou dispositivos disponíveis no mercado. Desta forma, este artigo trata especificamente da avaliação da tolerância geométrica de batimento, tolerância esta, encontrada em eixos de revolução. Sem essa análise, os elementos de máquinas constituídos podem sofrer variações como vibração, desgaste e diminuição da vida útil do produto. Desta forma, pensou-se na confecção de um dispositivo para avaliação dessa tolerância.

A tecnologia de manufatura aditiva, hoje, parte do conceito da indústria 4.0, é uma aliada na confecção de protótipos funcionais ou para quaisquer tipos de solução que possa ser aplicada. Esta tecnologia gera autonomia na fabricação de uma solução, devido a não depender de outros processos de fabricação, caso fosse desenvolvido em um processo normal de usinagem.

Portanto, você verá neste artigo, a aplicação de projeto em manufatura aditiva, para gerar uma solução na avaliação da tolerância geométrica de batimento.

Os resultados são interessantes, quando aplicado na academia, na forma de aprendizado com base em metodologias de problemas.

### 2 DESENVOLVIMENTO

#### 2.1 Manufatura aditiva

Segundo Inácio (2020), o conceito indústria 4.0 foi anunciada pela primeira vez na feira de Hannover no ano de 2011, na Alemanha, também conhecida como a "quarta revolução industrial". Esse segmento combina tecnologias integradas nos sistemas de produtividade com processos de produção inteligentes para preparar uma direção da nova era tecnológica que transformará as cadeias de valor da indústria, de produção e modelos de negócios.

Na aplicação dessas tecnologias, alguns conceitos devem ser realizados para o desenvolvimento dos sistemas de produção inteligentes, como a capacidade de operar em tempo real, virtualização, descentralização e orientações de serviços. Esta nova era será marcada por processos de automação, digitalização e o uso de tecnologias eletrônicas e de informação na execução e serviços. O desenvolvimento de tecnologias como a manufatura aditiva, serviços de vendas on-line, como de veículos, exames médicos, pedidos de alimentos e assim por diante, terão um grande impacto nas mudanças em pequenas e médias empresas, Sommer (2015 apud INÁCIO, 2020, pag. 654).

Nesta conjuntura, tem-se a impressão 3D também conhecida como manufatura aditiva. Essa tecnologia foi disposta na década de 1980, como um novo processo de fabricação aprimorado na adição de material. Essa atividade pode ser definida como um princípio de produção por meio da adição contínua de material na forma de camadas, com comandos obtidos justamente de um sistema computacional, com base na representação geométrica 3D de um elemento, Volpato (2017 apud INÁCIO, 2020). A impressão 3D é um processo da manufatura aditiva para a fabricação de uma variedade de estruturas e geometrias complexas a partir de dados de modelos tridimensionais, no qual são impressas camadas contínuas de materiais. A manufatura aditiva está preparada para estimular uma revolução na forma como os produtos são delineados, fabricados e distribuídos aos seus usuários finais. Esse novo método ganhou significado as universidades e de mercado devido à sua capacidade de criar geometrias complexas com propriedades de material personalizáveis Gao et al., (2015 apud INÁCIO 2020). Para a produção de uma única peça de geometria complexa por meios convencionais, pode ser necessário o emprego de diversas máquinas, ferramentas específicas e diversos processos de usinagem e de acabamento até o produto final, enquanto que uma máquina de manufatura aditiva pode produzir a peça em uma única etapa ou em um número significativamente menor de etapas (Hopkinson, Hague, & Dickens, (2006 apud INÁCIO 2020).

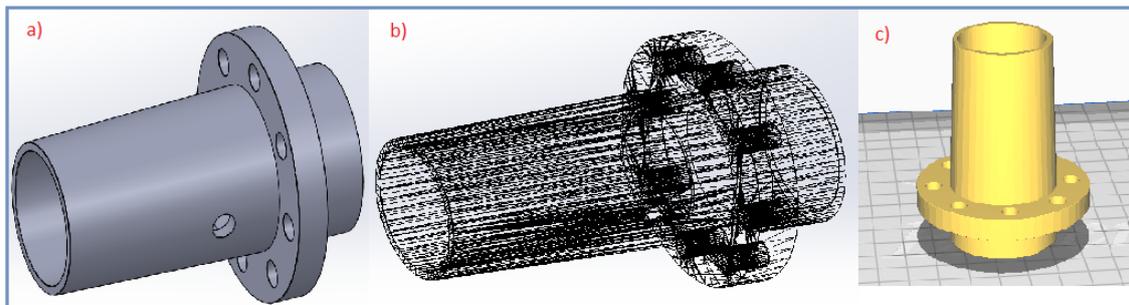
Na manufatura aditiva temos como o processo de construção de objetos tridimensionais sólidos a partir da deposição de camadas, sendo oposta à manufatura subtrativa feitas pela retirada de materiais como na usinagem de uma peça por exemplo. Existem etapas necessárias em que o objeto ou peça desejada percorra antes de ser executada.

a) CAD (*Computer-aided design*), software de projeto assistido por computador: toda peça produzida por manufatura aditiva tem sua geometria definida por um modelo numérico (*software*). Para tanto, pode-se empregar praticamente qualquer software profissional de CAD ou softwares e equipamentos de engenharia reversa (*reverse engineering*), como por exemplo scanners, que serve para copiar exatamente um objeto e depois modifica-lo ou defini-lo, ZANCUL (2016).

b) Conversão do arquivo CAD para o formato STL (*surface tessellation language*): o arquivo transforma o modelo 3D em uma malha, para que o software de impressão 3D possa gerar a segmentação da peça. O formato aceito em praticamente todos os equipamentos de manufatura aditiva é o STL, que é o padrão da indústria no momento.

c) Transferência para a máquina de manufatura aditiva e manipulação do arquivo: o arquivo representando a peça deve ser transferido para o equipamento onde a peça será produzida. Eventuais manipulações para corrigir a posição, tamanho e orientação da peça no arquivo podem ser necessárias, ZANCUL (2016), conforme figura 1.

Figura 1 – Transformação da peça CAD para impressão 3D



Fonte: do autor (2022)

## 2.2 Tolerância geométrica

Conforme Pereira (2012) o tolerâncionamento de ajustes dimensionais só permite limitar os erros ou alterações dimensionais, enquanto que o tolerâncionamento geométrico permitirá limitar os erros ou alterações da forma geométrica de determinado elemento e do posicionamento relativo entre vários elementos associados.

## 2.3 Tipos de tolerâncias geométricas

Segundo Pereira (2012) os erros geométricos que são comuns em todas as peças usinadas são limitados pelas tolerâncias geométricas, que estabelecem limites dentro dos quais as dimensões e as formas geométricas, sem que sejam comprometidos o funcionamento e o movimento entre os elementos. As tolerâncias geométricas estão organizadas por classes, de acordo com as suas características. Na figura nº 2 estão representados os símbolos utilizados no tolerâncionamento geométrico, de uso corrente.

Figura 2 – Símbolos das características geométricas

Características		Símbolo
FORMA PARA ELEMENTOS ISOLADOS	Retilneidade	—
	Planicidade (planeza)	
	Circularidade	○
	Cilindricidade	
	Forma de uma linha qualquer	
	Forma de uma Superfície qualquer	
ORIENTAÇÃO PARA ELEMENTOS ASSOCIADOS	Paralelismo	
	Perpendicularidade	
	Inclinação	
POSIÇÃO PARA ELEMENTOS ASSOCIADOS	Localização de um elemento	⊕
	Concentricidade e Coaxialidade	⊙
	Simetria	
BATIMENTO	Superfície indicada	
	Total	
Condição de máximo Material		

Fonte: do Autor (2022)

## 2.4 Tolerância de Batimento

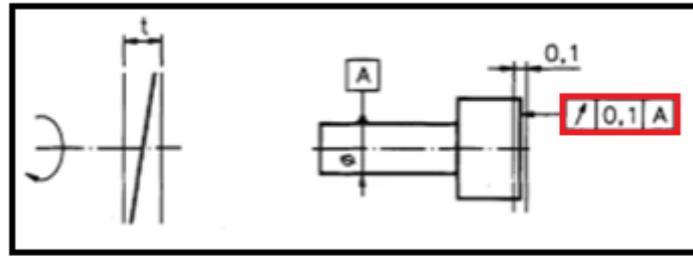
Quando um elemento de máquina dá uma volta completa em torno de seu eixo de rotação, o mesmo pode sofrer oscilação, isto é, deslocamentos em relação ao eixo. Dependendo da funcionalidade do elemento, esta variação deve conter uma especificação para não comprometer a funcionalidade da peça ou objeto. Por isso, deve-se determinar as tolerâncias de batimento, que delimitam a variação aceitável do elemento. Temos dois tipos de tolerância de batimento, a axial e radial.

## 2.5 Batimento axial

O batimento axial quer dizer balanço no sentido do eixo. O campo de tolerância, no batimento axial, fica delimitado por dois planos paralelos entre si, a uma distância "t" e que são perpendiculares ao seu eixo de rotação.



Figura 3 – Medição de batimento axial



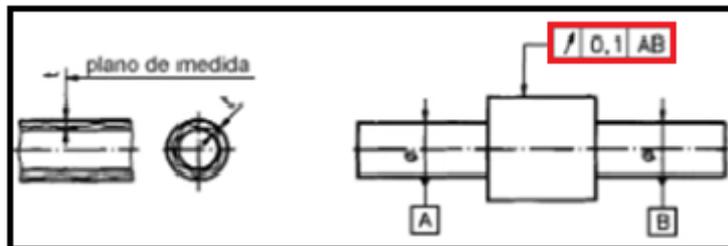
Fonte: Tolerância geométrica

Na figura 3, o "t" representa o valor tolerado do projeto, representando no eixo pelo símbolo  $\text{Ⓜ}$  de (batimento), seguido do valor tolerado de 0,1mm em relação ao eixo na posição A.

## 2.6 Batimento radial

O batimento radial é medido por outra referência, é verificado em relação ao raio da peça, quando o eixo der uma volta completa. O campo de tolerância, no batimento radial é demarcado por um plano perpendicular ao eixo de giro que define dois círculos concêntricos, de raios assimétricos. A diferença "t" dos raios representa à tolerância radial.

Figura 4 - Medição de batimento radial



Fonte: Tolerância geométrica

Na figura 4 está representado o batimento radial, que representa a tolerância especificada e onde devemos medir o batimento na peça.

## 2.7 Relógios comparadores

O relógio comparador é um instrumento de medição, onde o deslocamento axial de uma haste móvel percebida pela superfície de contato é transmitido e amplificado por meio mecânico para um ponteiro que gira na frente de uma escala analógica circular, COELHO E SILVA (2018).

São utilizados tanto na verificação de medidas superfícies planas, concentricidade, paralelismo e batimento. Encontram-se normalmente relógios comparadores com resolução centesimal ou milesimal. Na medição a ponta do relógio entra em contato com o mensurando e a diferença de medida da peça provoca um deslocamento no ponteiro. Esse deslocamento é transmitido por um sistema de engrenagens e alavancas, que o ponteiro está ligado, onde a posição do ponteiro indica a leitura da medida, COELHO E SILVA (2018).

Figura 5 – Exemplos de relógios comparadores analógico e digital



Fonte: Mitutoyo (2022)

## 2.8 Resultados e Discussões

O projeto desenvolvido está relacionado a metodologia de situação de aprendizagem do curso de Engenharia mecânica, onde cria-se uma solução para análise de tolerância geométrica utilizada na metrologia.

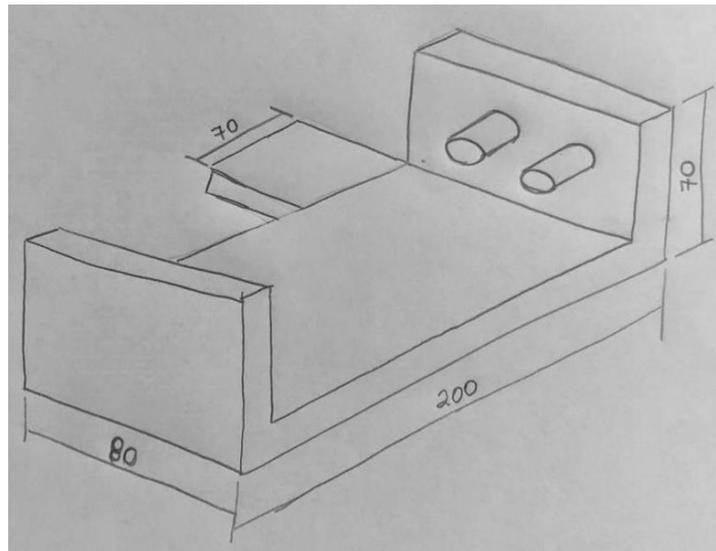
Dessa forma utiliza-se na situação de aprendizagem as disciplinas de desenho técnico, metodologia, discussões entre as equipes e os acadêmicos da Engenharia, discussão com professores e verificação de quais equipamentos de processos de fabricação para tornar o produto viável. Utilizou-se nesse processo de ensino de aprendizagem metodologias de avaliação, desenvolvendo-se modelamento 3D e utilizando tecnologias da indústria 4.0 com manufatura aditiva como resultado, o que remete um aprendizado mais dinâmico e pedagógico nas Engenharias.

## 2.9 Análise do dispositivo didático



Verificou-se na fase de esboço, que para efetuar a medição de tolerância de batimento, necessita-se de um eixo, que girasse no seu próprio eixo. Sendo assim, o esboço foi definido com um suporte para dois rolamentos em ambas extremidades. Com a dificuldade de obter-se um dispositivo de análise de tolerância geométrica de batimento, iniciou-se um estudo através de um esboço para atender essa demanda, conforme a figura 6, mostra o esboço inicial do projeto.

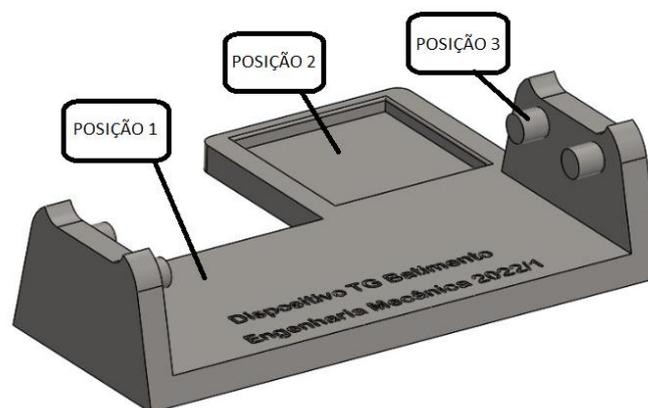
Figura 6 - Esboço inicial



Fonte: do autor (2022)

A partir do esboço definido, com um (*brainstorming*) entre as partes envolvidas definiu-se o modelamento 3D com as dimensões e características finais, conforme a figura 7.

Figura 7 – Modelamento (CAD-3D)



Fonte: do autor (2022)

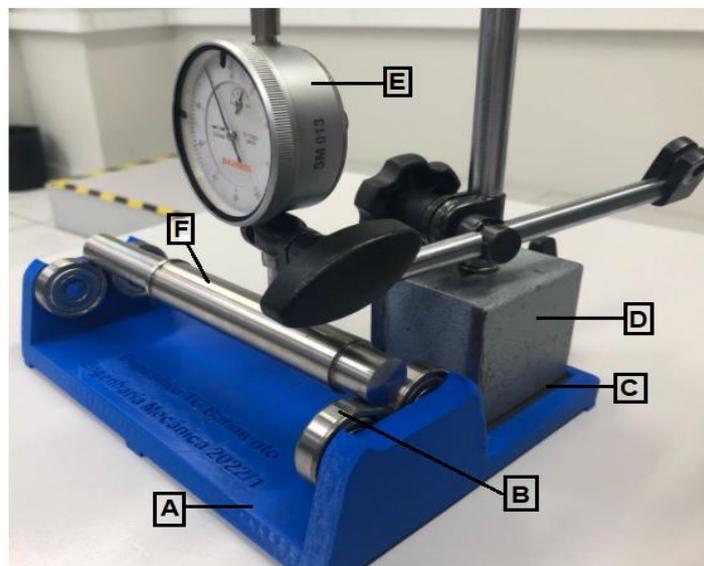




Conforme a figura 7, na posição 1 encontra-se a base de sustentação do dispositivo, na posição 2 está o suporte fixação dos rolamentos onde o eixo ficará posicionado em cima para facilitar o giro, e por último na posição 3 criou-se um rebaixo na base para fixar uma chapa metálica, nessa chapa será fixada uma base magnética onde irá ser posicionado um relógio comparador para efetuar a medição de batimento da peça.

Produziu-se o dispositivo com a tecnologia da manufatura aditiva relacionada a indústria 4.0. Esta tecnologia permite imprimir a peça com resolução de camada impressa de 0,20mm, gerando-se um acabamento semi-rugoso. O material utilizado na impressão do dispositivo foi o PLA (Poli ácido láctico), sendo um material sustentável a base de amido de milho, beterraba ou mandioca.

Figura 8- Dispositivo didático para análise de batimento



Fonte: do autor (2022)

A figura 8 mostra o dispositivo final impresso e montado, contendo: a) dispositivo em manufatura aditiva; b) rolamentos 6200zz; c) chapa metálica; d) base magnética; e) relógio comparador; f) eixo em aço inox.

Realizou-se os testes no laboratório de metrologia e o dispositivo atendeu plenamente a finalidade requerida. Os valores de batimento são claramente verificados, e a estrutura rígida do dispositivo chama a atenção pelo fato de sua construção ser feita através da manufatura aditiva.

### 3 CONCLUSÃO

No estudo das engenharias, nota-se que as teorias com aplicação prática são mais educativas e assimiladas pelos acadêmicos. Desta maneira, o dispositivo desenvolvido vem



de encontro ao PBL (*Problem-based learning*) aprendizagem baseada em problema, todo esforço resultou em pesquisa aplicada, gerando-se um dispositivo didático, aplicável e útil para o ensino nas instituições. Além disso, utilizou-se de tecnologias como a manufatura aditiva, extremamente significativa nos cenários da indústria 4.0, contribui-se ainda com a educação, pois o dispositivo pode ser replicado facilmente em qualquer instituição ou indústria, para os estudos e análises relacionados ao tema, bem como aprimorá-lo. Para isso, basta enviar o código de impressão para fabricar a peça, e adquirir os outros componentes utilizados para avaliação.

O projeto como um todo tem o objetivo de demonstrar o batimento radial de uma maneira simples o objetiva através de um protótipo realizado com a manufatura aditiva, o dispositivo pode ser utilizado como um método didático para uso nas engenharias, onde estuda-se as tolerâncias geométricas e suas características.

## REFERÊNCIAS

COELHO, Reginaldo T.; SILVA, Eraldo Janonne da. Metrologia e inspeção dimensional em processos de usinagem. 2018. Disponível em:  
[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5733515/mod\\_resource/content/1/Apostila\\_metrologia\\_usinagem.pdf#:~:text=Figura%201.27%20%E2%80%93%20Exemplos%20mais%20comuns,os%20apalpadores%20s%C3%A3o%20mais%20indicados..](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5733515/mod_resource/content/1/Apostila_metrologia_usinagem.pdf#:~:text=Figura%201.27%20%E2%80%93%20Exemplos%20mais%20comuns,os%20apalpadores%20s%C3%A3o%20mais%20indicados..) Acesso em: 01 abr. 2022.

INÁCIO, Danilo; DROZDA, Fabiano Oscar; SILVA, Wiliam de Assis; MARQUES, Marcos Augusto Mendes; SELEME, Robson. A importância da manufatura aditiva como tecnologia digital para a indústria 4.0: uma revisão sistemática. **Revista Competitividade e Sustentabilidade**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 653-667, 13 dez. 2020. Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. <http://dx.doi.org/10.48075/comsus.v7i3.23861>.

PEREIRA, Dinis Marques. **Desenvolvimento de um método para toleranciamento geométrico utilizando equipamentos de metrologia**. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Conceção e Desenvolvimento do Produto, Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria., Leiria, 2012. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/handle/10400.8/4907>. Acesso em: 20 mar. 2022.

ZANCUL, Eduardo de Senzi *et al.* **Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações**. São Paulo: Gepros, 2016. 34 p. Disponível em:  
<file:///C:/Users/DELL/Downloads/1657-7005-1-PB.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2022.

## **TEACHING DEVICE IN 3D PRINTING FOR ANALYSIS OF GEOMETRIC BEAT TOLERANCE IN ENGINEERING**

### **ABSTRACT**

The objective of this article is to create an easy-to-learn solution for engineering classes, on the topic of geometric tolerance, where the knowledge and application of runout tolerance will be specifically presented. The project was developed in a problem-solving methodology, where through research with students, involving professors in technical design and scientific methodology, it was possible to achieve the desired objective. The results obtained were very satisfactory, because through additive manufacturing, a technology used in industry 4.0, it is possible to develop several solutions, saving many manufacturing steps such as subtractive machining for example. The developed device will serve as teaching material for use by Engineering students, where it can be demonstrated how geometric tolerance is part of mechanical manufacturing and its importance in each manufactured part.

Keywords: Geometric tolerance; Axes beating; Didactic device; Additive manufacturing.