

## ANÁLISE DE AJUSTES DIMENSIONAIS EM PEÇAS IMPRESSAS EM 3D

### 1. INTRODUÇÃO

Com a indústria 4.0 crescendo exponencialmente, novos métodos vêm sendo desenvolvidos para solucionar os diversos problemas ainda existente na sociedade. Um desses métodos que vem sendo desenvolvidos é a impressão 3D, uma tecnologia aditiva que vem aos poucos tomando conta do mercado.

Porém, por ser uma tecnologia recente, há muitas dúvidas sobre ela, sendo uma delas se ocorre variações dimensionais nos produtos impressos, podendo ocasionar um problema para as indústrias e para a produção em sim. O objetivo deste artigo é analisar se essas variações são pequenas ou grandes, e ver o impacto que isso pode causar.

### 2. DESENVOLVIMENTO

Para ser possível analisar as tolerâncias dimensionais, foi feito um embasamento teórico de conceitos fundamentais relacionados a indústria, metrologia, impressão 3D e tolerância dimensional.

#### 2.1 Indústria 4.0

Considerada em 2011 na Alemanha como a quarta revolução industrial (DRATH; HORCH, 2014), a indústria 4.0 é um marco para a sociedade em geral, em que está se criando uma integração entre humanos e máquinas (SILVA; SANTOS FILHO; MIYAGI, 2015).

Esta mudança está ligada a dinâmica de funcionamento de empresas, políticas globais, academias, sociedade, setores públicos e privados (SCHWAB, 2017). Desta forma, essa revolução industrial está ocorrendo de forma digitalizada, através de aplicativos de transporte, e-books, músicas, entre outros (AIRES, 2017).

De acordo com a "Confederação Nacional da Indústria" [CNI], foi levantado em 2016 várias soluções associadas às tecnologias da informação (TICs) que vem surgindo com a indústria 4.0, como, por exemplo, "cidades inteligentes" (*Smart cities*), "redes elétricas inteligentes" (*smart grid*), desenvolvimentos nas áreas de saúde, segurança e industrial. Pode-se dizer, de acordo com estas informações, que a indústria 4.0 será um período inovador com inúmeras soluções para os meios da sociedade em geral.

#### 2.2 Metrologia

Desde a antiguidade, muito se foi debatido sobre uma padronização de medidas e peso, pois não havia uma forma clara de se obter um resultando preciso. De acordo com (LIRA, 2014), se houve uma maior necessidade de padronizar as medições depois do alto crescimento das indústrias e dos comércios, e isso somente foi possível devido a um esforço político e científico.

Segundo a CICMAC (Centro integrado de capacitação em metrologia e avaliação da conformidade), a metrologia pode ser definida como a ciência das medidas e medições. Ela é fundamental para relações comerciais, para cidadania (meio ambiente, saúde) e para qualidade.

A metrologia em si, pode ser dividida em 3 áreas: Científica, Legal e Industrial. A CICMAC define a Metrologia Científica como aquela que se usa elementos laboratoriais e

métodos científicos que se baseia em padrões nacionais e internacionais. Já a Metrologia Industrial, os sistemas de medições controlam a produção em massa e garantem a qualidade dos produtos acabados. E por fim, a metrologia legal, que abrange os sistemas de medições utilizados na área da saúde e meio ambiente.

### 2.3 Tolerância dimensional

Primeiramente a tolerância dimensional serve para denominar o limite admissível do erro dimensional, para que não influencie nos conjuntos da máquina ou na sua funcionalidade.

A tolerância dimensional é dividida em dois tipos principais de ajustes: o ajuste móvel e o ajuste fixo, fazendo uma comparação com duas peças inversas sendo uma delas um fuso e um furo, cada um com suas propriedades.

Ajuste móvel: consiste em se ter um furo maior que o fuso para que o mesmo possa deslizar livre mente sem atrito significativo entre ambos. Ele pode ser ramificado como: Livre ou folgado, rotativo, deslizante e deslizante incerto.

Ajuste fixo: consiste em se ter um furo menor que o fuso para que não tenha nenhuma folga entre ambos fazendo assim o fuso não ter a possibilidade de sair da montagem. Este é ramificado como: aderente forçado leve, forçado incerto e prensado.

### 2.4 Impressoras 3D

Buscando-se uma nova metodologia com o objetivo de desenvolver materiais e formatos mais complexos e ainda assim manter sua competitividade no mercado, foram criadas maneiras de formar objetos a partir da chamada "manufatura aditiva". Esse método tem como sua característica adicionar material e fabricar objetos "camada por camada". (CUNICO, 2015 p.1).

Amplamente utilizado hoje em dia por sua versatilidade e facilidade de manuseio, as impressoras 3D invadiram o mercado com seus preços mais acessíveis e o alcance de impressão sem limites para nossa imaginação (KAUFMANN, 2019 p.1).

Portanto, com o crescimento da tecnologia novas tecnologias para a impressão 3D, conforme a *SmarTech* relatou, a indústria mundial de MA atingiu UU\$ 2,4 bilhões no quarto trimestre e com um montante total de UU\$ 8,629 bilhões no ano de 2020.

Por certo com a tendência na manufatura aditiva (MA) novas pesquisas estão sendo desenvolvidas referentes a materiais de impressão ou para a própria máquina "A criação de materiais inovadores que aumentem o escopo de aplicação da impressão 3D é um fator crucial para a expansão desse mercado ao longo dos próximos anos. Por mérito de diversas pesquisas científicas, novos materiais vêm sendo desenvolvidos para utilização em impressoras 3D, variando de biocompósitos, utilizados na área médica, a compósitos cerâmicos que suportam até 1300 °C, aliados a tecnologias de impressão 3D mais recentes, como a SLS (*selective laser sintering*) e FDM (*fused deposition modeling*)." (KAUFMANN, 2019 p.1).

Os principais materiais utilizados na impressão 3D são: PLA, ABS e PETG. Esses materiais são denominados plásticos e termoplásticos que são leves, baratos, resistentes, podendo ser amolecido com facilidade e moldado da forma que desejar. Esses materiais podem ser recicláveis, sendo assim, muito importante para o meio ambiente.

### 3 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Para essa pesquisa, foram analisadas as tolerâncias geométricas de 26 amostras impressas em 3D na impressora FDM, para analisar em cada uma, as possíveis variações dimensionais, sendo elas: Diâmetros e comprimentos.

#### 3.1 Impressão das peças

Para a impressão na FDM, foi utilizado o material PLA, um polímero que contém propriedades mecânicas e físicas de elasticidade, rigidez, boa capacidade de moldagem, e boa biocompatibilidade. De acordo com (SILVA, 2019, p.5), "Os materiais PLA - poli ácido láctico são os mais utilizados na fabricação 3D, pois apresentam excelentes propriedades mecânicas e baixo custo; enquanto este é um copolímero de elementos diferentes, aquele é biodegradável."

#### 3.2 Preparação das peças

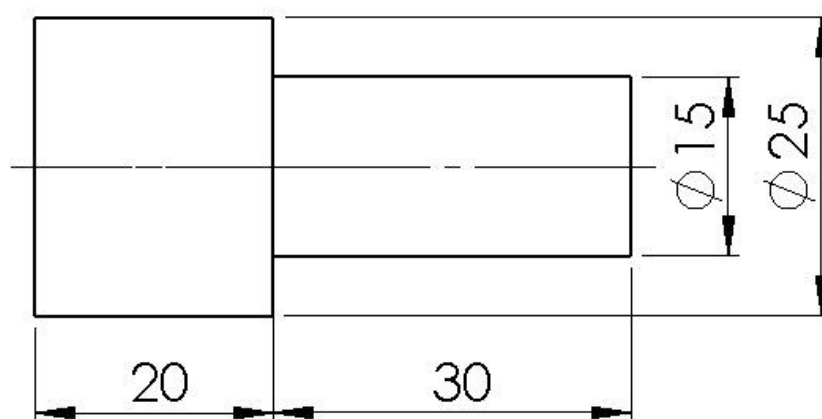
Para imprimir as peças, inicialmente realizou-se um desenho técnico do mesmo, utilizando o *software Solid Works*, e após isso, a peça foi detalhada com suas principais medidas (altura, diâmetro, comprimento).

Com o desenho e o detalhamento em mãos, a peça foi salva em formato AMF (*Módulo Advanced Format*) para assim, obter compatibilidade com o *software Cura*, que gera o modelamento e o programa para a impressora imprimir.

No momento em que o programa for realizado pelo *software*, salva-se o arquivo em um micro SSD, um cartão de memória compatível com a impressora, para aí sim, injetar esse cartão na impressora e começar a impressão.

Para esta pesquisa, foram impressas 26 amostras, visando a variação dimensional de cada uma, e assim, obter uma conclusão se é viável a utilização da impressora 3D para produção em massa. Na imagem a seguir, está uma das 26 amostras analisadas.

Figura 1: Desenho técnico das mostras impressas na impressora FDM.



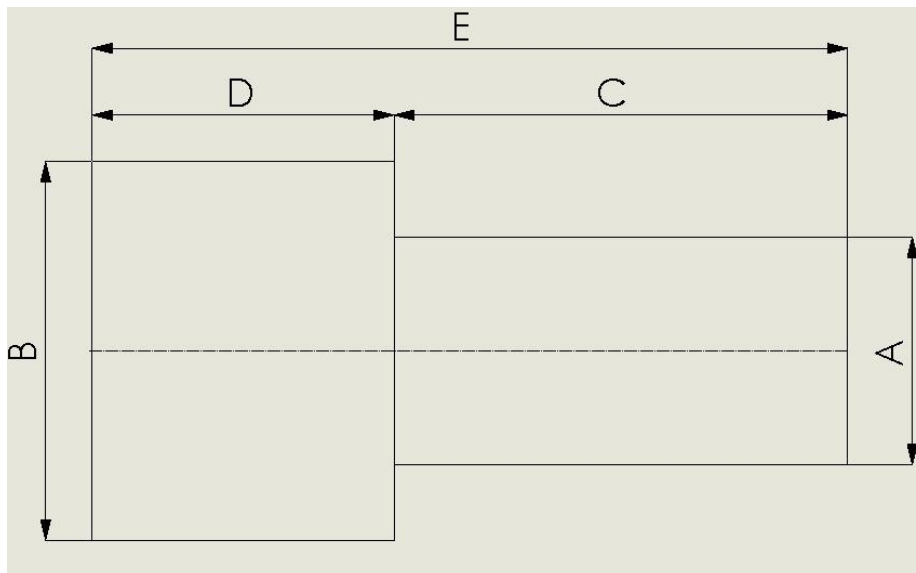
Fonte: Dos autores, 2022

#### 3.3 Análise de dados

Após as impressões, foram feitas as medições de cada amostra utilizando um paquímetro analógico quadridimensional, com escala de 0,05 mm. Com os resultados das medições, plotamos os números em uma tabela no Excel, para facilitar a comparação das

dimensões e analisar as principais variações. As medidas foram classificadas em: A, B, C, D e E, sendo essas letras separadas por comprimentos e diâmetros como mostra a figura:

Figura 2: Detalhamento das amostras, com suas medidas a serem analisadas



Fonte: Dos autores, 2022

Conforme mostrado na figura, temos que a medida A se refere ao diâmetro menor, a medida B, o diâmetro maior, a medida C, o comprimento do diâmetro menor, a medida D, o comprimento do diâmetro maior, e por fim, a medida E, que se refere ao comprimento total.

### 3.4 Resultados

Nestas condições, considerando que o local onde se realizou as impressões não foi totalmente controlado, e também considerando que utilizamos 2 impressoras, do mesmo modelo, porém podendo haver desgaste, folgas e fadiga, obtivemos os seguintes resultados das medições na tabela abaixo:

**Tabela 1:** Resultado das medições de cada amostra.

| PEÇA | TOLERÂNCIAS |       |       |       |       |
|------|-------------|-------|-------|-------|-------|
|      | A           | B     | C     | D     | E     |
| 1ª   | 14,95       | 24,9  | 30    | 20    | 50    |
| 2ª   | 15          | 24,9  | 29,95 | 19,9  | 49,95 |
| 3ª   | 14,95       | 25    | 29,95 | 20    | 49,95 |
| 4ª   | 15          | 24,8  | 30,1  | 19,9  | 50    |
| 5ª   | 15          | 24,9  | 29,9  | 19,9  | 49,8  |
| 6ª   | 15          | 24,95 | 29,9  | 19,9  | 49,8  |
| 7ª   | 15          | 24,85 | 30,1  | 19,9  | 50    |
| 8ª   | 14,95       | 24,9  | 30,15 | 19,9  | 50,05 |
| 9ª   | 15,1        | 24,9  | 29,8  | 19,9  | 49,7  |
| 10ª  | 15,2        | 24,9  | 29,8  | 19,7  | 49,5  |
| 11ª  | 15          | 24,9  | 30,15 | 19,9  | 50,05 |
| 12ª  | 14,9        | 24,8  | 30    | 19,9  | 49,9  |
| 13ª  | 15          | 24,9  | 30,15 | 20    | 50,15 |
| 14ª  | 15          | 24,9  | 30    | 19,8  | 49,8  |
| 15ª  | 15          | 24,95 | 30    | 19,95 | 49,95 |
| 16ª  | 15          | 24,9  | 29,9  | 19,95 | 49,85 |
| 17ª  | 14,95       | 24,9  | 29,9  | 20    | 49,9  |
| 18ª  | 15,1        | 24,95 | 29,8  | 19,8  | 49,6  |
| 19ª  | 14,95       | 25    | 29,95 | 20    | 49,95 |
| 20ª  | 14,9        | 24,9  | 30    | 20    | 50    |
| 21ª  | 15          | 24,9  | 29,8  | 19,9  | 49,8  |
| 22ª  | 15,1        | 24,9  | 29,8  | 19,8  | 49,6  |
| 23ª  | 14,95       | 24,75 | 30,2  | 19,9  | 50,1  |
| 24ª  | 15          | 24,9  | 29,9  | 19,9  | 49,8  |
| 25ª  | 15          | 25    | 30    | 19,9  | 49,8  |
| 26ª  | 15          | 24,9  | 30,15 | 19,9  | 50,05 |

Fonte: Dos autores, 2022

Nesta tabela, foi organizada as medições de cada amostra, com suas respectivas medições. Pode-se ver que a medida A, a medida B e a medida D das amostras houveram variações em média de 0,1 mm de diferença para mais ou para menos. Já as medidas C e E das mesmas houve uma variação de em média 0,2 mm para mais ou para menos, muito provavelmente por conta de alguma "falha na impressão", ou condições não controladas totalmente.

Desta forma, entende-se que as 26 amostras, dependendo da aplicação e das condições necessárias, serão importantes para mostrar que uma tecnologia, se aprimorado e feitas em condições específicas, pode ajudar as indústrias e inclusive a sociedade em geral.

#### 4. CONCLUSÃO

Analisando todas as condições e os resultados obtidos, houve-se uma conclusão que em relação a diâmetros, não há uma grande variação, podendo ser sim, viável em boa parte das situações na produção industrial. Em contrapartida, os comprimentos se diferenciaram consideravelmente, variando de 0,2 mm a 0,3 mm para mais ou para menos, neste caso, inviabilizando a utilização em diversos casos nas quais as tolerâncias dimensionais são menores. Com isso, para se ter um resultado mais claro e mais preciso,

é preciso imprimir as amostras em um ambiente totalmente controlado, em relação à temperatura, velocidade da impressão e tamanho das amostras.

## 5. REFERÊNCIAS

DRATH, Rainer et al. Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]: industrie 4.0: hit or hype? [industry forum]. Northeastern, Us: Ieee Industrial Electronics Magazine, 2014. 6 p. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/263285662\\_Industrie\\_40\\_Hit\\_or\\_Hype\\_Industry\\_Forum](https://www.researchgate.net/publication/263285662_Industrie_40_Hit_or_Hype_Industry_Forum). Acesso em: 12 abr. 2022.

SILVA, Robson Marinho da; SANTOS FILHO, Diolino J; MIYAGI, Paulo Eigi. MODELAGEM DE SISTEMA DE CONTROLE DA INDÚSTRIA 4.0 BASEADA EM HOLON, AGENTE, REDE DE PETRI E ARQUITETURA ORIENTADA A SERVIÇOS: modelagem de sistema de controle da indústria 4.0 baseada em holon, agente, rede de petri e arquitetura orientada a serviços. São Paulo, Bahia: XII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (Sbai 2015), 2015. 7 p. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/282292095\\_MODELAGEM\\_DE\\_SISTEMA\\_DE\\_CONTROLE\\_DA\\_INDUSTRIA\\_40\\_BASEADA\\_EM\\_HOLON\\_AGENTE\\_REDE\\_DE\\_PETRI\\_E\\_ARQUITETURA\\_ORIENTADA\\_A\\_SERVICOS](https://www.researchgate.net/publication/282292095_MODELAGEM_DE_SISTEMA_DE_CONTROLE_DA_INDUSTRIA_40_BASEADA_EM_HOLON_AGENTE_REDE_DE_PETRI_E_ARQUITETURA_ORIENTADA_A_SERVICOS). Acesso em: 12 abr. 2022.

PEREIRA, Adriano; SIMONETTO, Eugênio de Oliveira. INDÚSTRIA 4.0: CONCEITOS E PERSPECTIVAS PARA O BRASIL: indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o brasil. 16. ed. Três Corações - Mg: Universidade Vale do Rio Verde, 2018. 9 p. Disponível em: [http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/4938/pdf\\_808](http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/4938/pdf_808). Acesso em: 12 abr. 2022.

AIRES, Regina Wundrack do Amaral; MOREIRA, Fernanda Kempner; AIRES, Regina Wundrack do Amaral. INDÚSTRIA 4.0: COMPETÊNCIAS REQUERIDAS AOS PROFISSIONAIS DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL: indústria 4.0: competências requeridas aos profissionais da quarta revolução industrial. Foz do Iguaçu/Pr: Ciki, 2017. 15 p. Disponível em: <https://proceeding.ciki.ufsc.br/index.php/ciki/article/view/314/153>. Acesso em: 12 abr. 2022.

LIRA, Francisco Adval de. Metrologia: Conceitos e Práticas de Instrumentação: conceitos e práticas de instrumentação. São Paulo: Érica, 2014. 136 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=hYuwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=metrologia+conceito&ots=QiqYQZkiwV&sig=WfiajbQy7gUbuxYqOCR9CkOQw#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 12 abr. 2022.

O QUE É O SELO INMETRO E O QUE ELE GARANTE AO CONSUMIDOR? O QUE É O SELO INMETRO E O QUE ELE GARANTE AO CONSUMIDOR? Curitiba: Dimep Sistemas, 2016. 1 p. Disponível em: <https://www.dimep.com.br/blog/o-que-e-o-selo-inmetro-e-o-que-ele-garante-ao-consumidor/>. Acesso em: 12 abr. 2022.

SILVA, Felipe Lopes Fonseca da. COMISSIONAMENTO E ESTUDO DOS MATERIAIS PLA E ABS PROCESSADO ATRAVÉS DA MANUFATURA ADITIVA: relatório final de projeto

de iniciação científica. Sorocaba: Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, 2019. 33 p. Disponível em: [http://www.fatecsorocaba.edu.br/iniciacao/RELAToRIO\\_FELIPE\\_LOPES.pdf](http://www.fatecsorocaba.edu.br/iniciacao/RELAToRIO_FELIPE_LOPES.pdf). Acesso em: 13 abr. 2022.

CUNICO, Marlon Wesley Machado. Impressoras 3D: O novo Meio Produtivo: impressoras 3d: o novo meio produtivo. Curitiba: Concep3D, 2015. 170 p.

KAUFMANN, Ezequiel Augusto et al. O SURGIMENTO DA IMPRESSORA 3D:: algo planejado ou um achado da tecnologia?. Santa Cruz do Sul: Unisc, 2019. 1 p. Disponível em: [https://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/salao\\_ensino\\_extensao/article/view/20095](https://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/salao_ensino_extensao/article/view/20095). Acesso em: 20 abr. 2022.

COELHO, Reginaldo T.; SILVA, Eraldo Janonne da. METROLOGIA E INSPEÇÃO DIMENSIONAL EM PROCESSOS DE USINAGEM. São Paulo: Usp, 2017. 65 p. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4677546/mod\\_resource/content/1/10%20-%20Metrologia%20e%20Inspe%C3%A7%C3%A3o.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4677546/mod_resource/content/1/10%20-%20Metrologia%20e%20Inspe%C3%A7%C3%A3o.pdf). Acesso em: 22 abr. 2022.

CONCEITO de Metrologia. Porto Alegre: Cicmac, [20--]. 2 p. Disponível em: [http://www.inmetro.rs.gov.br/cicmac/material\\_didatico/polig\\_conceito\\_metrologia.pdf](http://www.inmetro.rs.gov.br/cicmac/material_didatico/polig_conceito_metrologia.pdf). Acesso em: 24 abr. 2022.

**Abstract:** *The Industry 4.0 is taking over the global market, with robotic machines and new technologies. Today, new methods are in development to solve some problems that still exist in the industries and in the society. One of these methods is the 3D impression, that can help in several areas. The objective of this article is to analyze the dimensional tolerance, through the analysis of 3D printed specimens. It could be obtained as variations, which contribute significantly to the engineering and prototyping of products, which require analysis and interference configurations of assembly of 3D printed components.*

**Keywords:** *Industry 4.0, 3D printer, metrology, dimensional tolerance*