



**EFEITOS DA VELOCIDADE DE IMPRESSÃO NAS DIMENSÕES DE AMOSTRAS
DE PLA PROCESSADAS POR MANUFATURA ADITIVA**

Guaratinguetá, SP

2022



João Vitor Drummond Bertrand Spalding

José Fernando Vizcaino Otero

Gabriel Cotrim de Cesare

**EFEITOS DA VELOCIDADE DE IMPRESSÃO NAS DIMENSÕES DE AMOSTRAS
DE PLA PROCESSADAS POR MANUFATURA ADITIVA**

Relatório apresentado à 6ª FEMIC - Feira
Mineira de Iniciação Científica.

Orientação do Prof. Gabriel Cotrim de Cesare
Peinado.



RESUMO

A manufatura aditiva, ou impressão 3D, é uma técnica que permite a produção de peças para as mais diversas aplicações. Sendo assim, sua relevância vem crescendo nos âmbitos científico, industrial e cotidiano. O presente trabalho foi realizado com o intuito de explorar esta tecnologia e busca reunir conhecimentos para melhor compreendê-la, a partir de uma pesquisa para entender os impactos do parâmetro velocidade de impressão nas dimensões finais de amostras processadas por manufatura aditiva. Para tal, na revisão de literatura, abordou-se o funcionamento da técnica, suas principais aplicações e as setes variantes desta tecnologia, além das teorias da propagação de incertezas e da distribuição normal que auxiliaram na compreensão e análise dos problemas discutidos na seção dos resultados. Em busca de atingir os objetivos da pesquisa, foi utilizada uma metodologia de análise quantitativa, em que foram impressas diversas amostras de PLA (ácido polilático) a partir da técnica de extrusão de material fundido; suas arestas foram medidas com um paquímetro digital e um micrômetro analógico, e, assim, foram coletados dados para criar tabelas e gráficos que, a partir dos conhecimentos reunidos na revisão bibliográfica, foram analisados e ajudaram na compreensão do impacto da velocidade nas dimensões finais das amostras. Os resultados obtidos mostraram que houve influência do parâmetro velocidade, e que a velocidade de impressão está relacionada diretamente com a incerteza do volume das amostras. Isso permitiu concluir que este parâmetro deve ser considerado, principalmente, quando as peças impressas serão utilizadas em setores que necessitam de maior precisão, visto que isso influenciará de maneira crítica na empregabilidade e funcionamento do componente.

Palavras-chave: Manufatura aditiva por extrusão de material, Ácido polilático (PLA), Velocidade de impressão



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 JUSTIFICATIVA	6
3 OBJETIVO GERAL	7
4 METODOLOGIA	8
5 RESULTADOS OBTIDOS	9
6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS	10
REFERÊNCIAS	11
1 INTRODUÇÃO	

A manufatura aditiva é uma tecnologia que permite a produção camada por camada de peças a partir de um modelo digital (WONG; HERNANDEZ, 2012). Existem técnicas diferentes de manufatura aditiva que utilizam maneiras distintas de construir camadas e também há vários materiais que podem ser utilizados.

Existem cinco passos fundamentais para a criação de um produto a partir da manufatura aditiva: desenvolvimento de um modelo digital 3D; conversão deste modelo para um arquivo com instruções para a impressora; o envio deste para a impressora na qual podem ser manipuladas informações como a posição e a escala do objeto; a construção, camada por camada, da peça; e limpeza e acabamentos do modelo. (PRAKASH; NANCHARAIH; RAO, 2018).

Por ser capaz de criar peças a partir de um modelo digital de alta resolução, atualmente, a manufatura aditiva possibilita a confecção de peças com grande complexidade geométrica e



também a economia de tempo de desenvolvimento para novos produtos. Por ser tão versátil, esse poderoso método é utilizado nos mais diversos ramos da indústria e do conhecimento, como nas indústrias automotiva e aeroespacial e na área médica (SHHRUBUDIN *et al.*, 2019).

A indústria aeroespacial é um setor que demanda em grande escala a utilização da manufatura aditiva. Isso se deve ao fato de que ela requer que os componentes produzidos sejam muito leves e extremamente resistentes mecanicamente. Isso reduz os gastos de combustível e emissões de poluentes, além de atender às necessidades de segurança e confiabilidade. Portanto, é necessária a utilização da menor quantidade de material possível, o que pode ser alcançado por meio da manufatura aditiva que também permite a criação de peças de geometrias complexas (NAJMON; RAEISI, TOVAR, 2019).

Na área biomédica, a impressão 3D tem muitas aplicações, como a produção de tecidos, órgãos e medicamentos (VENTOLA, 2014). Na produção de órgãos e tecidos, componentes fundamentais para a sobrevivência e adaptação das células do corpo, fornece-se um meio para que estas se desenvolvam e se regenerem. Esse meio, que normalmente é um *biogel*, deve apresentar propriedades mecânicas, químicas e biológicas ideais para implementação nos tecidos. Visto que a manufatura aditiva é capaz de produzir padrões estruturais de alta precisão com diversos materiais, essa tecnologia se tornou fundamental para avanços na área (MELCHELS *et al.*, 2012).

Dentro do universo da manufatura aditiva, existem sete técnicas para a confecção de um produto: *vat photopolymerization* (fotopolimerização em cuba), *material extrusion* (extrusão de material fundido), *material jetting* (ejeção de material), *direct energy deposition* (deposição de energia direta), *powder bed fusion* (fusão seletiva a laser), *sheet lamination* (laminação de folha) e *binder jetting* (aglutinação metálica) (ASTM F 2792).



2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o setor industrial vem cada vez mais adaptando as diferentes técnicas de manufatura aditiva para sua cadeia produtiva, de maneira com que seja possível a agilização da produção, aumento da qualidade e nível de detalhe das peças, tão bem quanto a economia e otimização do consumo de material bruto por peça. Devido à maior complexidade dos produtos, as empresas trabalham com componentes solidários e particionados, que são produzidos separadamente, para enfim, serem montados como uma só peça.

Por esse motivo, o estudo da influência da velocidade de impressão acerca das dimensões finais das peças mostra-se de extrema relevância. Produtos particionados requerem um encaixe perfeito de seus componentes para o funcionamento pleno da máquina, como, por exemplo, alcançar uma maior otimização de potência, mais eficiente conversão de energia mecânica ou conservação de movimento.



3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é compreender os efeitos da velocidade de impressão nas dimensões finais, em amostras de ácido polilático(PLA), obtidas por manufatura aditiva.

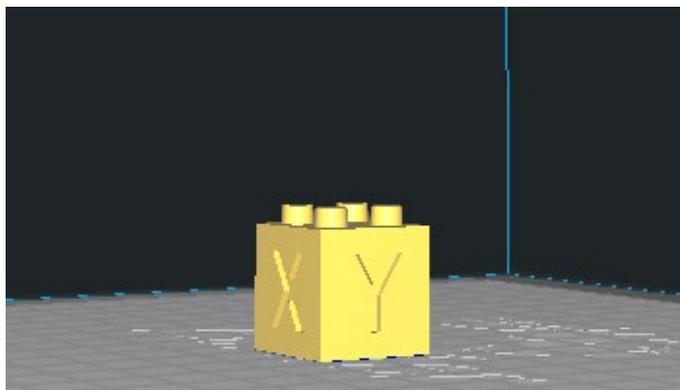
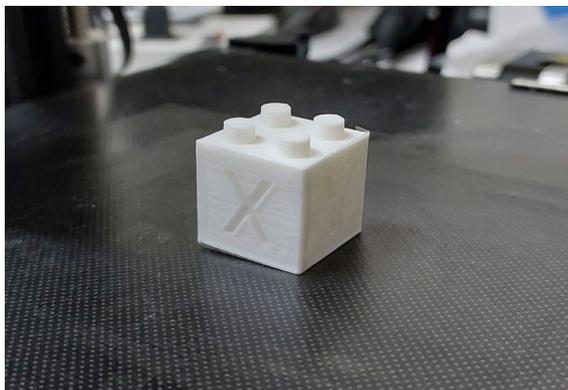
3.2 Objetivos específicos

- Analisar a influência dos mensurandos na obtenção de medições
- Calcular o grau de influência do parâmetro velocidade de impressão, em suas variações
- Estudar como se dá a distribuição de probabilidade(dispersão) dos dados observados



4 METODOLOGIA

Para a realização do projeto, foi utilizada a técnica de Extrusão de Material Fundido, com filamento de ácido polilático(PLA). Também foi utilizada uma impressora Creality Ender 3 V2 para a impressão das amostras de PLA. Foi utilizado um modelo de cubo-padrão, que, projetado no Ultimaker Cura, apresentava arestas de 20 mm. Para que fosse possível uma obtenção fiel exclusivamente ao reflexo da velocidade sobre as amostras, as temperaturas do bico extrusor e da mesa de impressão foram mantidas constantes(220 °C e 50 °C, respectivamente).





Posteriormente, foi empregado um paquímetro digital e um micrômetro analógico como mensurandos para a obtenção das medições de cada aresta. Foram analisados os eixos X, Y e Z (altura), de acordo com as letras nas faces do cubo-padrão. Depois, foram registradas as dimensões e, com base na Teoria da Propagação de Erros, e nos estudos acerca da Distribuição Normal de Dados, foi feito o cálculo da propagação de incertezas, por parte dos instrumentos de medição, e também a elaboração de uma curva gaussiana, para análise da distribuição de probabilidade dos dados.

Também, foram calculados os desvio-padrão total e os desvio-padrão por eixo, sendo o desvio-padrão total referente a dispersão de todas as arestas juntas, e o desvio-padrão por eixo, referente exclusivamente a um eixo tridimensional (sendo X, Y ou Z). Com os dados em mão, foram esboçados os gráficos das funções de distribuição normal, para uma análise visual dos desvio-padrão total, tão bem quanto a densidade de probabilidade do espaço amostral.

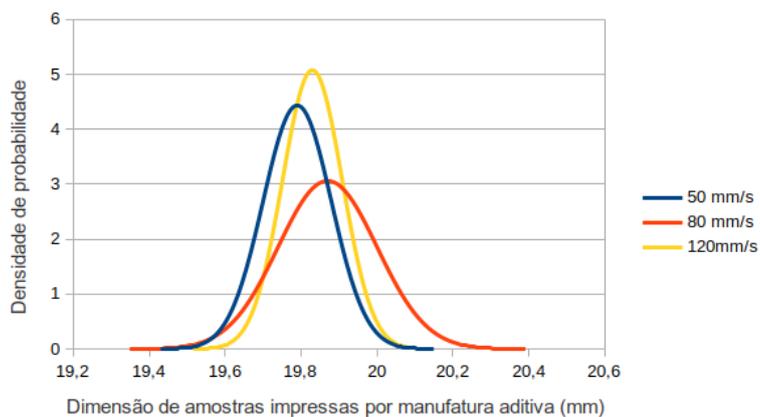
5 RESULTADOS OBTIDOS

Depois de analisados e discutidos os resultados obtidos, foi possível perceber que houve sim influência do parâmetro velocidade de impressão nas dimensões das peças, como previsto. No entanto, a maneira na qual a influência se deu foi inusitada. Primeiramente, é importante dizer que a velocidade de impressão que menor apresentou dispersão visual (percebida na distribuição normal) foi a velocidade 120 mm/s, e, a que houve maior



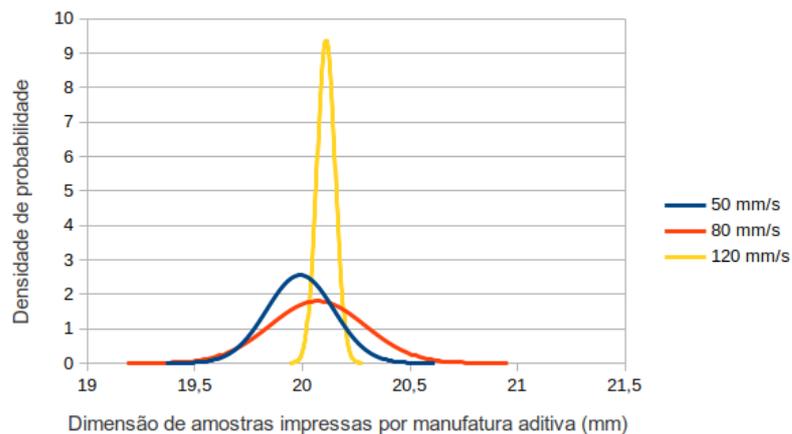
dispersão visual, 80 mm/s. Em contrapartida, o volume médio mostrou-se o mais alterado à medida que fosse aumentada a velocidade, juntamente com o seu grau de incerteza.

Figura 1 – Gráficos de Distribuição Normal(paquímetro):



Fonte: Autoria própria.

Figura 2 – Gráficos de Distribuição Normal(micrômetro):



Fonte: Autoria própria.

Mas, em uma análise mais profunda, percebeu-se que o desvio-padrão das arestas da base do cubo-padrão(X e Y) foi menor quando exposto a uma velocidade maior(120 mm/s) e



maior em relação a uma velocidade menor(50 mm/s). Em contrapartida, o desvio-padrão da aresta do eixo Z foi significativamente maior(principalmente quando analisado o paquímetro digital) quando exposto a velocidades maiores, e menor quando em velocidades menores. Uma hipótese que explica o fenômeno é que, pelo fato da produção das camadas individuais de X e Y apresentaram menor desvio-padrão, a dispersão se deu de forma compensadora no eixo Z(altura).

6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo do trabalho era justamente compreender os efeitos da velocidade nas dimensões finais em amostras de PLA. Para tal, foi utilizada uma impressora Creality Ender 3 V2, do tipo Extrusão de Material Fundido, usando um filamento de PLA para a impressão das peças. E, para medição de suas dimensões, foi adotado um micrômetro analógico e um paquímetro digital, para melhor averiguar e confirmar as medições. Com base na literatura da Teoria da Propagação de Incertezas, e na teoria da Distribuição Normal, foi possível analisar como a dispersão dos dados se dava para as respectivas velocidades de mensurandos.

Ao final, foi possível concluir que há sim impacto da velocidade de impressão nas dimensões de peças produzidas por manufatura aditiva. Também foi possível determinar e calcular os desvio-padrão total, desvio-padrão por eixo, volume médio e sua incerteza relativa. Após os cálculos, concluiu-se que, embora houvesse maior nível de precisão nos eixos da base(X e Y) para velocidades maiores(120mm/s), a incerteza e desvio-padrão no eixo das alturas seria maior, de modo a compensar os desvios dos outros eixos.

É importante salientar que houveram diferenças importantes entre os instrumentos de medição: o micrômetro analógico e o paquímetro digital, embora permitissem chegar à mesma conclusão. Para mais investigações e avaliações do impacto do parâmetro velocidade de



impressão nas dimensões finais das peças, recomenda-se estudar o comportamento perante um material diferente, bem como técnicas diferentes da Extrusão de Material Fundido.

REFERÊNCIAS

- MELCHELS, F. PW et al. Additive manufacturing of tissues and organs. **Progress in polymer science**, v. 37, n. 8, p. 1079-1104, 2012.
- NAJMON, J. C.; RAEISI, S.; TOVAR, A.. Review of additive manufacturing technologies and applications in the aerospace industry. **Additive manufacturing for the aerospace industry**, p. 7-31, 2019.
- PRAKASH, K. S.; NANCHARAIH, T.; RAO, VV S.. Additive manufacturing techniques in manufacturing-an overview. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 2, p. 3873-3882, 2018.
- SHAH RUBUDIN, N.; LEE, T. C.; RAMLAN, R.. An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. **Procedia Manufacturing**, v. 35, p. 1286-1296, 2019.
- VENTOLA, C. L.. Medical applications for 3D printing: current and projected uses. **Pharmacy and Therapeutics**, v. 39, n. 10, p. 704, 2014.
- WONG, K. V.; HERNANDEZ, A.. A review of additive manufacturing. **International scholarly research notices**, v. 2012, 2012.



As referências bibliográficas de seu artigo devem ser apresentadas em ordem alfabética e de acordo com a norma da ABNT – NBR 6023.

Siga os exemplos abaixo, sendo que as palavras em itálico são destaques meramente ilustrativos e não devem ser incluídos em seu manuscrito final:

Livros:

SCHWERTL, Simone Leal. Matemática básica. 2. ed. Blumenau: Edifurb, 2010. 113 p, il.

Capítulos de Livros:

BRANDT, Paulo Roberto. Geração de energia para o desenvolvimento regional no médio vale do Itajaí. In: Desenvolvimento e meio ambiente em Santa Catarina : a questão ambiental em escala local/regional, Joinville : Ed. UNIVILLE, 2006. p.[119]-125.

Periódicos:

CIÊNCIA E OPINIÃO. Curitiba: Centro Universitário Positivo. 2003.

Artigos de periódicos:

TOZZI, M.; OTA, J. Vertedouro em degraus. Revista da Vinci, Curitiba, v.1, n.1, p. 9-28, 2004.

Monografias, dissertações e teses:



PERES, Adriano; BARBI, Ivo; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Centro Tecnológico. Uma nova família de inversores com comutação suave empregando a técnica de grampeamento ativo, 2000. 162p, il. Tese (Doutorado).

Publicações periódicas consideradas em parte (suplementos, fascículos, números especiais:
ARC DESIGN. Mestres da Arquitetura: Oscar Niemeyer. São Paulo: Quadrifoglio, n. 35, mar. - abril, 2004.

Artigos de jornais:

MOREIRA, T. Debate sobre software livre chega ao celular. Valor Econômico, São Paulo, 04 out. 2004. p. B4.

Trabalhos em eventos

LODER, L.L. A formação de identidades e a construção de saberes em um curso de engenharia elétrica. Anais: XXXVIII – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Fortaleza: UFC, 2010.

Internet:

MOURA, G. C. de M. **Citação de referências e documentos eletrônicos.** Disponível em: <<http://www.elogica.com.br/users/gmoura/refere.html>> Acesso em: 09 out. 1996.



APÊNDICE 1 OU ANEXO 1

De acordo com a norma NBR 14724 de dezembro de 2011, a diferença crucial entre Anexo e Apêndice é que o Anexo é um texto ou documento não elaborado pelo autor do Trabalho pode ser Artigo, TCC, Monografia, Tese, etc. Já o Apêndice é um texto ou documento elaborado pelo autor. Assim, finalize seu relatório inserindo anexos e/ou apêndices do trabalho desenvolvido. Ressaltamos que não são todas as pesquisas que possuem apêndices ou anexos.