

MANUFATURA ADITIVA: ATUAL NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE IMPRESSÃO PELO MÉTODO DA MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO FUNDIDA (FDM)

David Gomes de Lira e Elesandro Antonio Baptista

Apoio: PIBIC Mackpesquisa

RESUMO

Recentemente, a Manufatura Aditiva (MA) tem recebido maior destaque tanto em pesquisas como em setores industriais. Novas tecnologias de MA têm se destacado, como a Impressão 3D por “Modelagem por Deposição Fundida” (FDM). Esse processo consiste em, a partir de um Modelo em 3D, construir um objeto em camadas sobrepostas, usando polímero fundido. Por ser simples, e de baixo custo, essa abordagem se difundiu muito rapidamente no mercado, permitindo sua aplicação por empresas de diferentes setores e portes, principalmente para materializar novas ideias, projetos e propostas diferentes com rapidez e custo reduzido. Suas aplicações trazem soluções para a Medicina, Indústria Aeroespacial, e Automobilística, entre outras. A evolução de materiais e equipamentos tem permitido acompanhar o avanço tecnológico na indústria manufatureira, contudo, algumas limitações, nas diversas etapas do processo de FDM, surgem com o maior emprego da tecnologia. Tendo este conhecimento, foi feita por meio deste trabalho uma pesquisa exploratória seguida da análise dos dados qualitativos e quantitativos coletados. Com o objetivo de identificar o nível atual de desenvolvimento da tecnologia FDM a fim de propor novas abordagens de pesquisa que permitam buscar novas soluções tecnológicas, tanto para as limitações atuais como para aplicações técnicas mais específicas. Ao final, notou-se que é relevante a curva de desenvolvimento da tecnologia e das características levantadas duas delas mostraram-se fundamentais durante o período analisado. Sendo elas a velocidade de impressão e a temperatura máxima de fusão dos polímeros. Logo, sugere-se que estes sejam os próximos passos de pesquisa e desenvolvimento deste tipo de MA.

Palavras-chave: Impressão 3D. Manufatura Aditiva. Modelagem por Deposição Fundida.

ABSTRACT

Recently, Additive Manufacturing (AM) has garnered greater attention in both the research and industrial domains. New AM technologies have emerged, such as 3D Printing utilizing “Fused Deposition Modeling” (FDM) This process consists of, from a 3D model, building an object in overlapping layers using molten polymer. Because it is simple and low-cost, this approach spread very quickly in the market, allowing it to be applied by companies of different sectors and sizes. Primarily to materialize ideas, projects, and different proposals quickly and at a



reduced cost. Its applications provide solutions to various industries sectors. The evolution of materials and equipment has allowed us to follow technological advances in the manufacturing industry, however, some limitations, in the various stages of the FDM process, arise with the greater use of technology. With this knowledge, exploratory research was conducted through this work, followed by the analysis of the qualitative and quantitative data collected. With the aim of identifying the current level of development of FDM technology to propose new research approaches that allow the search for new technological solutions, both for current limitations and for more specific technical applications. In the end, it was noted that the technology development curve is relevant, and of the characteristics raised, two of them proved to be fundamental during the period analyzed. These are the printing speed and the maximum melting temperature of the polymers. Therefore, it is suggested that these are the next steps in the research and development of this type of AM.

Keywords: 3D Printing. Additive Manufacturing. Fused Deposition Modeling.



1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva tem ganhado os holofotes em diversos setores e grandes indústrias, principalmente, pelo alto grau de complexidade das geometrias obtidas e seu custo relativamente baixo (SHANTHAR, CHEN, CHAMIL, 2023). A criação de novas abordagens, como a Modelagem por Deposição Fundida (FDM) e.g., juntamente com melhorias no processo de impressão, como uma maior diversidade de materiais e redução dos preços (de insumos e equipamentos), tem permitido a aplicação da impressão 3D em necessidades industriais complexas (IDEM). No ano de 2021, por exemplo, o mercado de manufatura aditiva atingiu o marco de 13,8 bilhões de dólares em todo o mundo (ERRERA, 2022). Especialistas em economia, afirmam que o crescimento anual está entre 18% e 27%, ou seja, no pior cenário, em 2030 o mercado movimentará, aproximadamente, 61,2 bilhões de dólares (IDEM).

No entanto, em concordância com os autores KAFLE *et al.*, abordagens como FDM carecem fundamentalmente de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Em seus estudos, os autores comparam essa abordagem com outras duas: Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e Estereolitografia (SLA). Notou-se, no trabalho, que por um lado a FDM tem acessibilidade, facilidade de manuseio e imprime de forma mais rápida do que as outras tecnologias. Contudo, ela apresenta resultados inferiores aos das outras abordagens quanto a aplicação final (acabamento, precisão, resolução da peça etc.), o que justifica o desenvolvimento de estudos mais aprofundados sobre o tema.

O problema de pesquisa a ser resolvido envolve tratar e responder a seguinte questão: A identificação do nível atual da tecnologia de impressão 3D por FDM, buscando identificar os parâmetros mais influentes no processo, pode auxiliar na fundamentação e desenvolvimento de novos avanços à tecnologia? A principal hipótese que responde tal pergunta é que sim.

Para isso, este trabalho objetiva identificar o nível atual de desenvolvimento da tecnologia FDM a fim de propor novas abordagens de pesquisa que permitam buscar novas soluções tecnológicas, tanto para as limitações atuais como para aplicações técnicas mais específicas.

2. DESENVOLVIMENTO DO ARGUMENTO

Há mais de três décadas a necessidade de prover produtos com alta complexidade de engenharia, maior rapidez nos processos, produtos sustentáveis, alta frequência produtiva, baixa perda de matéria-prima e custo de fabricação minimizado ocasionou um grande fomento na pesquisa por novas formas de criar produtos ou serviços (PÉREZ, *et al.*, 2020). Foi nesse

momento que dois estudiosos criaram sistemas funcionais para a fabricação de objetos com o objetivo de iniciar futuras resoluções para essas necessidades. Primeiramente, em 1981, Hideo Kodama desenvolveu a primeira máquina que possibilitou a produção funcional de objetos físicos. No entanto, a primeira impressora capaz de imprimir em três dimensões foi criada por Charles Hull em 1986 junto com o primeiro tipo de impressão 3D, a Estereolitografia (RIAZ, *et al.*, 2023). Com o tempo e desenvolvimento desse tipo de manufatura, se estabeleceu o termo Prototipagem Rápida a toda e qualquer tecnologia que envolvia esses objetivos. Inicialmente, tecnologias que podem ser citadas como precursoras desse tipo de manufatura foram Estereolitografia, do inglês *Stereolithography* (SLS) e Modelagem por Deposição Fundida (FDM), ou também chamada de Fabricação por Filamento Fundido (FFF), patenteada por Steve Scott Crump em 1988 (SELVAMANI, *et al.*, 2022).

Uma maneira de definir a Prototipagem Rápida (*Rapid Prototyping* - RP) é como um método produtivo que transforma projetos de Desenho Assistido por Computador (*Computer Aided-Desing* - CAD) em produtos físicos com diversas aplicações (SHANTHAR, CHEN, CHAMIL, 2023). Bem como, oferecer vários caminhos e procedimentos diferentes para se alcançar a solução desejada. Existem várias abordagens no campo da PR, dentre todas, as que estão desenvolvidas nesta pesquisa científica, para um maior entendimento de Prototipagem Rápida, são Sinterização Seletiva a Laser (SLS), Estereolitografia e, principalmente, Modelagem por Deposição Fundida, duas delas já citadas acima.

Com o surgimento de outras tecnologias como *e.g.* Deposição Direta de Energia (*Direct Energy Deposition* – DED), Deposição Direta de Metal (*Direct Metal Deposition* – DMD) e Fabricação de Objetos Laminados (*Laminated Object Manufacturing* – LOM) (MOBARAK, *et al.*, 2023), nasceu também a necessidade de categorizar de forma mais eficiente essa nova forma de manufaturar (ALBERTI, CATAPAN, SIERRA 2022). Com isso, a terminologia “Prototipagem Rápida” foi marginalizada, porque, com o seu desenvolvimento exponencial, esta tecnologia passou a não servir apenas à criação de protótipos, mas também para criar produtos. Por fim, ocasionando na adoção de uma nova nomenclatura pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM), a Manufatura Aditiva (*Additive Manufacturing*) (IDEM).

Por definição, Manufatura Aditiva se resume majoritariamente na deposição de polímeros, metais e outros materiais em camadas (SHANTHAR, CHEN, CHAMIL, 2023). Inicialmente, é criado um modelo para impressão em softwares como Autodesk Fusion 360, SketchUp, Blender, SolidWorks e entre outros. A partir disso, obtém-se um arquivo no formato *standard tessellation language* (.stl), que não pode ser impresso pela impressora 3D, pois é apenas o modelo do objeto em três dimensões partilhado em polígonos. No entanto, é necessário se atentar aos parâmetros do arquivo “.stl”, pois ele pode interferir na qualidade final da sua impressão (PÉREZ, *et al.*, 2020).

O principal equipamento utilizado na Manufatura Aditiva é a Impressora 3D. É intitulado “Impressora 3D”, geralmente, todo e qualquer projeto de engenharia que utiliza, por definição da *ASTM* a deposição de materiais para a criação de estruturas engenhosas. Ou seja, toda e qualquer máquina ou projeto que visa materializar objetos tridimensionais pelo método de camadas, como mostrado nas Figuras 1 e 2.

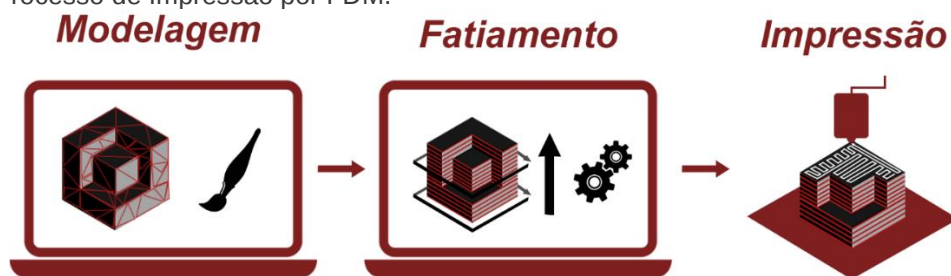
Figura 1 – Impressora Creality Ender-3 V2 Neo (FDM).



FONTE: Creality (2023).

Na Figura 1 apresenta uma impressora da tecnologia FDM fabricada pela Creality (fabricante). Este tipo de impressora utiliza, fundamentalmente, filamentos de termoplásticos (polímeros) como matéria-prima e são ótimas para fabricação rápida, prototipagem, reposição de peças e entre outros. Neste modelo, por meio de um componente chamado extrusora, passa um filamento de polímero que é derretido dentro da extrusora para que aconteça sua deposição na sequência (KRISTIAWAN, *et al.*, 2021). Isso será mais bem fundamentado nos tópicos seguintes.

Figura 2 – Processo de Impressão por FDM.



FONTE: O Autor (2023).

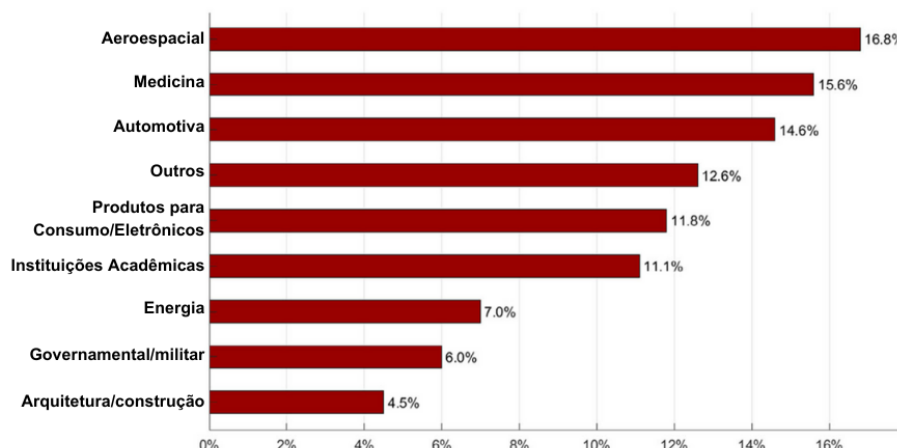
Ao identificar os vários pontos positivos relacionados a produzir/fabricar produtos baseados em Manufatura Aditiva, empresas como a Stratasys 3D System Corporation, surgiram e se desenvolveram no mercado, trazendo inovações e novos competidores para este novo meio de produzir (ANTONELLI, 2019).

Exemplos de pontos fortes que justificam a produção usufruir de tecnologias fundamentadas na manufatura de aditivos são a alta frequência com que se pode produzir. Abordagens como FDM tem uma frequência produtiva altíssima, possibilitando o

barateamento do processo produtivo (KAFLE, *et al.*, 2021). Outra vantagem de fabricar com máquinas de Impressão 3D é a diversidade de materiais possíveis e suas propriedades únicas. Materiais com propriedades interessantes são Ácido Polilático (PLA) que é biodegradável não é tóxico e tem aplicações na engenharia de tecidos, Polietileno Tereftalato Glicol (PETG) muito aplicado no setor de alimentos (RAJESH, *et al.*, 2023). Também vale mencionar a complexidade alcançada por projetos de Impressão 3D, que atendem nichos e necessidades mal suportadas pelos processos manufatureiros tradicionais.

Isso se reafirma ao conhecer a análise feita pelos autores Shanthar, Chen e Chamil (2023), na Figura 3, mostrando a porcentagem que é relacionada aos mercados que consomem Impressão 3D. No campo de atuação da Medicina, por exemplo, necessita de alta complexidade e precisão em projetos com baixa variabilidade de medidas e propriedades (IDEM). Como também customização extrema, outro ponto forte da Manufatura Aditiva. Ao final, todas essas vantagens possibilitam o desenvolvimento de no caso da Medicina próteses com dimensões perfeitas para cada necessidade (KUNKEL, *et al.*, 2020).

Figura 3 – Principais Mercados da Impressão 3D.



FONTE: SHANTHAR, CHEN, CHAMIL, (2023, p. 2) (Tradução Nossa).

Analisando o gráfico da Figura 3, é perceptível que os três principais consumidores de serviços de Impressão 3D são: Aeroespacial; Hospitalar/Medicina e Automotiva (incluindo o Automobilismo). São mercados que necessitam de alto volume de produção, informação e desenvolvimento em sua área de engenharia (SHANTHAR, CHEN, CHAMIL, 2023).

KUNKEL, *et al.* (2020), denota que o processo de Fabricação com Filamento Fundido (FFF) no campo da medicina traz baixo custo, ampliando sua gama de aplicações. Dentre elas tem-se, o desenvolvimento de próteses e órteses, por meio da criação de dispositivos para substituir partes ou funcionalidades completas de membros perdidos, ou para alinhar/imobilizar estruturas ósseas.

A aplicação de MA, contudo, tem suas limitações, sendo aplicada principalmente em sólidos de baixo volume. Diferentemente da Manufatura Subtrativa, em que é possível

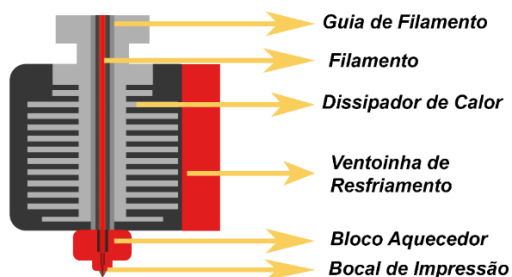
aumentar o volume/tamanho do produto ou componente fabricado. Como também, o alto custo da impressora mesmo olhando para tecnologias mais baratas como a FDM, custo de matéria-prima e, principalmente, energia. Ainda inviabilizando a popularização da tecnologia em objetos maiores (JAYAWARDANE, *et al.*, 2023).

A priori, a FDM é uma das abordagens mais econômicas, rápidas e com “*know-how*” entre os menos exigentes dentro dos métodos oferecidos na MA (KAFLE, *et al.*, 2021). Sem dúvida, seus pontos fortes trouxeram muitas inovações nos campos da pesquisa acadêmica ou industrial. Ocasionalmente também, o surgimento de barreiras que delimitam e dificultam, até hoje, o progresso tecnológico e científico para a ampliação das aplicações de itens por FDM (ALBERTI, CATAPAN, SIERRA, 2022).

Para entender melhor como funciona o processo de impressão 3D por FDM, serão apresentados, a seguir, alguns conceitos gerais que podem variar de acordo com modelo e fabricante de impressoras 3D, com o objetivo de entender o que compõe uma impressora 3D.

1. Extrusor/Extrusora - *Hotend* (Figura 4): este componente é responsável pelos processos de fusão, deposição e resfriamento em alguns modelos, a extrusora é composta por diversos componentes importantes, eles estão identificados abaixo na imagem.

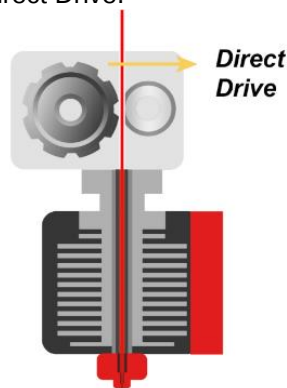
Figura 4 - Extrusora comum de Impressora 3D.



FONTE: O Autor (2023).

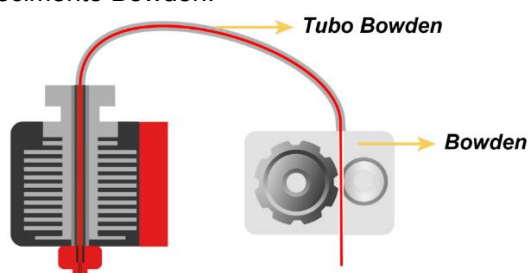
2. Tracionador (Figura 5 e Figura 6): este componente é responsável pelo processo de alimentação do filamento de matéria-prima até a extrusora. Existem duas abordagens de tracionadores: o “Bowden” e o “Direct Drive”. O “Bowden”, de acordo com as fabricantes, traz estabilidade e velocidade para a impressão por estar “separada” da Extrusora, que fica em movimento durante o processo de impressão. Dessa maneira, é necessário um tubo de PTFE, que conecta o Tracionador a Extrusora, para que o filamento não retorça no caminho até a extrusora. Por outro lado, o “Direct Drive” fica conectado ao sistema de extrusão, avançando, ou retrocedendo, o filamento diretamente para a extrusora, exigindo menos esforços e reduzindo problemas com a movimentação do filamento, do que a opção anterior. Isso acontece pelo fato de já estar próximo ao sistema de fundição do filamento, consequentemente, possibilita maior controle sobre a tração no filamento aumentando a precisão e responsividade (CHUNG, ZHANG, REPKA, 2023).

Figura 5 – Sistema de abastecimento Direct Drive.



FONTE: O Autor (2023).

Figura 6 – Sistema de abastecimento Bowden.



FONTE: O Autor (2023).

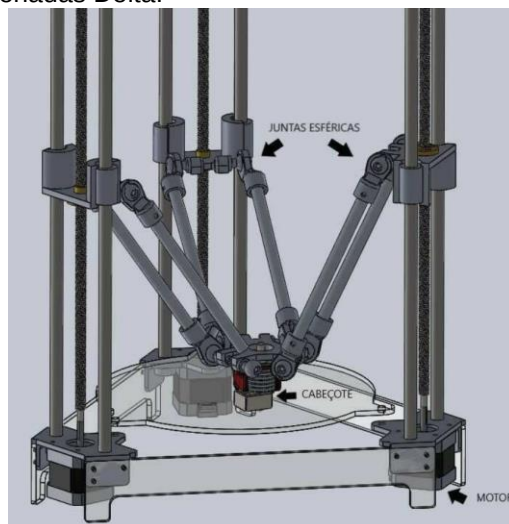
3. Estrutura: Na maioria das impressoras 3D por FDM existem três abordagens para imprimir objetos tridimensionais, sendo elas a estrutura em Delta, a Cartesiana e a Core XY. O sistema Delta (Figura 7) consiste no procedimento de coordenar a movimentação de eixos articulados com o objetivo de efetivar o movimento necessário para imprimir cada camada (ANTONELLI, 2019). Essa abordagem, por conter eixos associados, possui maior velocidade em comparação à Cartesiana e Core XY. No entanto, requer uma calibragem eficiente, o que demanda tempo. Já o sistema Cartesiano (Figura 8), consiste em uma estrutura tipo pórtico, por exemplo, onde esteiras independentes movimentam o bico de impressão. A principal vantagem desta tecnologia é o baixo grau de complexidade estrutural e de configuração necessária para se obter um bom resultado, diminuindo o custo e facilitando a operação e manutenção. Já o terceiro método é o Core XY (Figura 9), é semelhante à cartesiana, contendo dois eixos (X e Y) que trabalham simultaneamente (interpolação) e um terceiro eixo independente (Z), no qual é fixado a mesa de impressão. Essa característica possibilita maior liberdade ao cabeçote de impressão, no entanto, é mais custosa e mais complexa para projetar e construir.

A seguir, por já ter mapeado os componentes que fazem parte do processo de impressão 3D por FDM, foi resumido o processo de impressão em três principais etapas, sendo:

- criação do modelo para a impressão: nesta etapa utiliza-se softwares de geometria e engenharia 3D para criar o objeto necessário a ser impresso. O formato do

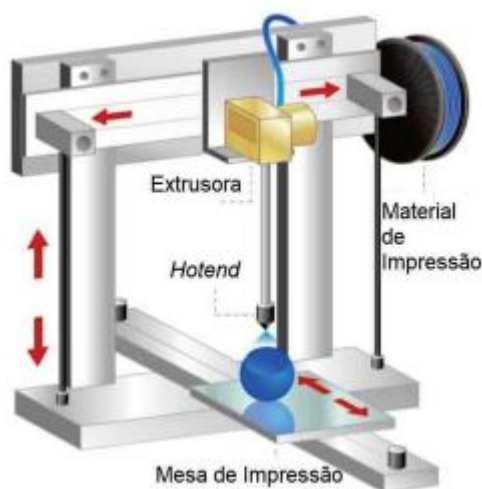
arquivo gerado por programas desse tipo é categorizado “.stl”. Neste tipo de arquivo o objeto digital tridimensional é resumido a uma malha com quantidade de polígonos bidimensionais de interesse;

Figura 7 – Sistema de Coordenadas Delta.



FONTE: ANTONELLI, (2019).

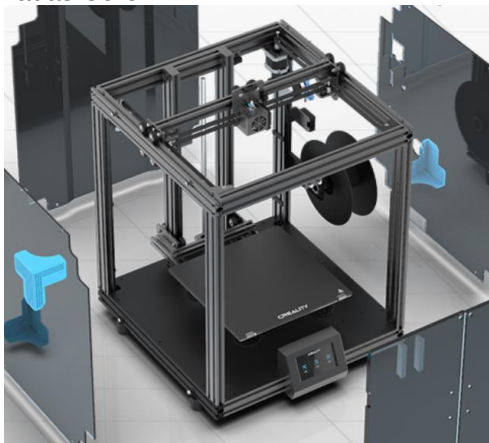
Figura 8 – Sistema de Coordenadas Cartesianas.



FONTE: ANTONELLI (2019).

- fatiamento do modelo para a impressora: nesta etapa utiliza-se softwares de fatiamento 3D como Cura 3D, Slic3r e entre outros com o objetivo de transformar a polígonos bidimensionais do arquivo “.stl” para um caminho de impressão. Visando guiar a impressora em diversos parâmetros como qual caminho seguir, espessura de cada camada, preenchimento de geometria e entre outros. Arquivo denominado “.gcode”.
- etapa de impressão: nesta etapa o Tracionador movimenta o filamento de termoplástico ou outro material até a extrusora que o aquece chegando em sua temperatura de fusão. Após isso, o bocal ou bico de impressão deposita o filamento fundido em camadas sobre uma plataforma repetidas vezes até concluir a geometria do objeto, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 9 – Sistema de Coordenadas Core XY.



FONTE: Creality (2023).

Figura 10 – Processo de Impressão por FDM.



FONTE: BRANDÃO, A. (2018).

Certamente, impressoras 3D que utilizam o método FDM para materializar projetos, estão bem difundidas no mercado (ALBERTI, CATAPAN, SIERRA, 2022). No entanto, com a segmentação dos projetos de impressoras por FDM, foram encontradas múltiplas limitações tanto na parte de hardware, matéria-prima e procedimento de produção que serão pontuados mais adiante. Sendo estes e outros os principais objetos de pesquisa e inovação atualmente (ALBERTI, CATAPAN, SIERRA, 2022).

3. METODOLOGIA

A abordagem de MA por FDM é uma das mais utilizadas quando empresas optam por aderir à Impressão 3D. A porcentagem de adesão à FDM nos processos internos das companhias chega a 71% (ERRERA 2022). Um exemplo de entidade com valor de mercado relevante que utiliza majoritariamente Fabricação por Filamento Fundido - FFF é a Stratasys. Em 2023 a empresa foi registrada com valor de mercado de 1,4 bilhões de dólares (3D SOURCED, 2023). Fatores que mostram a importância do entendimento dessa tecnologia. Tanto para aprimoramento, quanto para ampliação de aplicações.

Em vista disso, e com o intuito de responder ao objetivo do trabalho, a metodologia adotada baseia-se em analisar a evolução das tecnologias implementadas ao longo dos anos em impressoras de diversas fabricantes. Com o intuito de entender para onde o mercado está se direcionando e, possivelmente, identificar o que será desenvolvido ao longo dos próximos anos. Incentivando, futuramente, iniciativas de novos estudos.



Para dar início a pesquisa foi necessário criar o campo amostral que seria analisado. Com esse fim, inicialmente escolheu-se por meio de “Teoria de Amostragem” abordada pelo autor RENNÓ (2023, p. 5-16), o método mais adequado para tal. Julgou-se que a amostra probabilística é a mais adequada para este trabalho científico devido a sua a garantia de escolhas ao acaso. Portanto, ela foi empregue em todo o trabalho, exceto nas plataformas que serviram de universo para o uso da teoria de amostragem. Estas, por sua vez, foram selecionadas por conterem grande diversidade de modelos e fabricantes. Possibilitando maior representatividade para modelos não analisados e imparcialidade quanto a escolha de seus representantes.

Chegou-se à conclusão de que a melhor representante do universo populacional de impressoras “Home Office” (HO) é a “Amazon.com”. Em virtude de sua alta representatividade entre as plataformas de e-commerce e, essencialmente, por disponibilizar seu site e sistema logístico a varejistas visando trazer diversidade de produtos para a plataforma. Por consequência, não há parcialidade na seleção de produtos oferecidos englobando diversas representantes de fabricantes ou revendedoras de Impressoras 3D de MA. Elas que por sua vez disponibilizam no site muitas variantes do objeto de estudo otimizando o tempo dentro do estipulado para a pesquisa e sendo ao mesmo tempo imparcial. Tudo isso, com a finalidade de melhor retratar a real população de impressoras 3D de FDM.

Por não haver quantidade significativa de impressoras industriais em sites como a “Amazon.com”, outra fonte foi escolhida por apresentar diversos modelos diferentes, suficientes, para representar a população de impressoras industriais. O site escolhido foi o “directindustry.com”, por motivação de variedade entre indivíduos, relativa abundância de modelos e diferentes fabricantes.

Segue abaixo as configurações utilizadas na pesquisa dentro do universo definido, o site Amazon.com, que catalogaram todos os indivíduos e representaram todas as impressoras, isso garantiu maior fidelidade de dados e representatividade populacional que será melhor explícito nos tópicos a seguir:

Site “Amazon.com”:

- Login não efetuado;
- Site em inglês;
- Endereço do destinatário: Seattle 98109 Sede da Amazon (Google, 2024);
- Frase de busca na barra de pesquisa: “FDM 3D Printer”;

Site “Direct Industry”:

- Login não efetuado;
- Site em inglês;
- Frase de busca na barra de pesquisa: “FDM 3D Printer”;
- Filtros utilizados: “FDM”, “Industrial”.

Essas configurações foram escolhidas para que houvesse mínimas interferências regionais, recomendações de produtos já acessados ou de interesse, de produtos relevantes recomendados por algoritmo e similaridades.

Após à pesquisa e coleta de dados, criaram-se duas planilhas com todos os integrantes de cada população. Os indivíduos foram catalogados em dois grupos, como já especificado anteriormente, “Home Office” e “Industrial”. Todas as informações estão de acordo com o que estava descrito no site do respectivo fabricante de cada indivíduo. Executou-se dessa forma com o objetivo de analisar paralelamente cada um dos segmentos do mercado de impressão 3D de FDM, e obter resultados significativos tanto para os modelos mais modestos quanto para os de perfil industrial. Por fim, foram coletados os resultados apresentados nas Figuras 11 e 12, a seguir.

Figura 11 – Impressoras Industriais.

Número	Modelo	Número	Modelo	Número	Modelo
1	3DGENCE Industry F421	11	CreateBot D600Pro	21	Zmorph-fab
2	Lynxter S600D	12	CreateBot D1000	22	Volumic Ultra SC2
3	Lynxter S300X	13	Tiertime X5	23	Strateo3D Dual600
4	Alpha Additive MKII-500	14	Tiertime UP BOX PLUS	24	innovatiQ x400 V4
5	Roboze ARGO 500	15	Raise3D RMF500	25	Leonardo Revo - MTC3D
6	Roboze ARGO 1000	16	Ultimaker S3	26	Gearbox HT2
7	MK333	17	MakerBot Method X	27	Modix BIG-60 V4
8	HT	18	Markforged X3	28	Builder Extreme 1000 PRO
9	Mark One	19	Wasp 4070 ZX	29	AON M2+
10	CreateBot F160	20	Sharebot XXL Plus	30	Epsilon W50
				31	Zortrax Inventure

FONTE: O Autor (2023).

Após elucidar os universos e objetos de estudo, é necessário tomar conhecimento e delimitar as características técnicas da impressora importantes para o estudo. Como já visto na revisão bibliográfica, as características técnicas de uma impressora 3D têm total influência sobre o resultado da peça. Portanto, observou-se principalmente componentes (hardware) que interferem diretamente no processo de impressão. Foi executado dessa forma por não deter de todos os objetos de estudo para comparação de configurações relacionadas a software de fatiamento e impressão.

Logo, foram considerados sete pontos para as impressoras de HO:

1. Volume de Impressão (em mm³);

2. Velocidade Máxima de Impressão (em mm/s);
3. Precisão de Impressão (em mm);
4. Altura Média de Camada (em mm);
5. Temperatura Máxima da Extrusora (em °C);
6. Temperatura Máxima da Mesa de Impressão (em °C);
7. Placa-mãe (Bits);

Figura 12 – Impressoras Home Office.

Número	Modelo	Número	Modelo	Número	Modelo	Número	Modelo
1	Sovol SV05	21	Creality Ender 5 Plus	41	Anycubic Kobra 2 Plus	62	FlashForge Creator Pro 2
2	Creality Ender 3	22	Creality Ender-5 S1	42	Anycubic Kobra 2 Max	63	Voxelab Aquila X3 Plus
3	Creality Ender 3 Pro	23	MALYAN M200	43	ANYCUBIC Kobra 2 Neo	64	WEEDO ME40 Pro
4	ELEGOO Neptune 3 Pro	24	Voxelab Aries	44	Geeetech Mizar Pro	65	Creality CR-10 Smart Pro
5	Creality Ender 3 Max Neo	25	FLSUN V400	45	FLASHFORGE Adv. 5M Pro	66	IdeaFormer-3D IR3 V1
6	Mingda Magician X2	26	Creality Ender 3 S1 Pro	46	Artillery Sidewinder SW-X2	67	LNL TL-D3 V2
7	Creality Ender 3 V3 SE	27	Kingroon KP3S	47	Prusa i3 MK3S+	68	Snapmaker 2.0 A350T
8	Creality Ender 3 V2	28	Artillery Sidewinder X2	48	Sovol SV07 Plus	69	KOKONI EC1
9	Creality Ender 3 S1	29	GEEETECH Mizar S	49	GEEETECH Mizar M IDEX	70	Mixware Hyper-s
10	Longer LK5 Pro	30	Creality CR 10 SE	50	Voxelab Aquila D1	71	Creality CR-30
11	Voxelab Aquila X2	31	FLASHFORGE Adventurer 3	51	Voxelab Aquila S3	72	Creality Sermoon V1
12	SUNLU S9 Plus	32	Tronxy CRUX 1 Mini	52	Flashforge Adv. 4 Pro	73	Creality CR-M4
13	Sovol SV06	33	Creality Ender 2 Pro	53	FlashForge Guider II	74	AnkerMake M5
14	Creality Ender 3 V2 Neo	34	MALYAN MA21	54	Longer LK4 X	75	R QIDI TECH. X-MAX3
15	Creality Ender 3 Neo	35	SUNLU T3	55	FLSUN SR Super Racer	76	Creality Sermoon D3
16	ELEGOO Neptune 4 Pro	36	BIQU B1	56	FLASHFORGE Adventurer 4	77	Snapmaker J1s
17	Anycubic Kobra 2 Pro	37	MALYAN M300	57	FLASHFORGE Adv. 3 Pro	78	R QIDI TECH. X-PLUS3
18	Anycubic Kobra 2	38	Voxelab Aquila X3	58	Anycubic Kobra	79	Flashforge Guider 2S Prof.
19	Anycubic Kobra Plus	39	MALYAN MA10	59	AnkerMake M5C	80	R QIDI TECH. X-CF Pro
20	R QIDI TECH. X-Smart3	40	Flashforge Finder 3	60	Sovol SV01 Pro	81	Creality K1
				61	Creality Ender 3 S1 Plus	82	Creality K1 Max

FONTE: O Autor (2023).

Já para Impressoras Industriais foram avaliados os seguintes pontos:

1. Volume de Impressão (em mm³);
2. Velocidade Máxima de Impressão (em mm/s);
3. Altura Mínima de Camada (em µm);
4. Temperatura Máxima da Câmara de Impressão (em °C);
5. Temperatura Máxima da Extrusora (em °C);
6. Temperatura Máxima da Mesa de Impressão (em °C);

Por outro lado, os materiais analisados foram escolhidos de acordo com o suporte apresentado pelas impressoras, informação encontrada no site do fabricante ou manual de usuário das impressoras, e principais materiais encontrados na revisão bibliográfica citados pelos autores. Foi feito desta forma em função da diferenciação de materiais suportados por cada impressora. Gerando uma análise justa e imparcial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para apresentar os resultados, atentou-se que fazer isso por modelos específicos não era necessário, pois o que é de real interesse é a curvatura de desenvolvimento das tecnologias. Portanto, para discorrer sobre características técnicas das impressoras 3D, o estudo a seguir explorou relacionar as fabricantes de impressoras a suas tecnologias apresentadas em cada ano, a partir de 2015 para impressoras industriais e 2017 para impressoras HO. Abaixo estão as numerações utilizadas para se referir a cada fabricante.

Figura 13 – Relação de Fabricantes Home Office.

FABRICANTES HOME OFFICE			
Número	Fabricante	Número	Fabricante
1	Creality	14	Artillery
2	Anycubic	15	GEEETECH
3	Sovol	16	Tronxy
4	Flashforge	17	BIQU
5	Voxelab	18	Prusa
6	R QIDI TECHNOLOGY	19	Eastwood
7	MALYAN	20	AnkerMake
8	ELEGOO	21	WEEDO
9	Mingda	22	Ideaformer
10	Longer	23	LNL 3D Solutions
11	SUNLU	24	Snapmaker
12	FLSUN 3D	25	Kokoni
13	Kingroon	26	Mixware

FONTE: O Autor (2024).

Em linhas gerais, dos conhecimentos levantado na revisão bibliográfica e dos dados apresentados pelas fabricantes se concluiu que os materiais utilizados nos processos de FDM apresentam propriedades satisfatórias para a maioria das aplicações industriais. No entanto, nota-se que as principais características negativas relativas a polímeros utilizados em Impressão 3D são a temperatura de fusão elevada e baixa resistência a degradação térmica, características que são comuns na maioria dos polímeros. A Figura 15 relaciona os materiais, e suas propriedades de aplicação, citados por estudos feitos por outros autores, devidamente identificados na Figura, e voltados para impressão 3D por FDM, tanto industrial quanto HO.

Por outro lado, características técnicas como “temperatura da extrusora”, “temperatura da mesa de impressão”, “volume de impressão” e entre outras, apresentaram um desenvolvimento significativo que influenciou positivamente para a comercialização e popularização dessa tecnologia. Principalmente duas delas se mostraram relevantes para as impressoras HO e industriais, são elas a temperatura da extrusora e a velocidade de impressão.

Figura 14 – Relação de Fabricantes Industriais.

FABRICANTES INDUSTRIAIS			
Número	Fabricantes	Número	Fabricantes
1	3DGENCE	14	Sharebot
2	Lynxter	15	Zmorph
3	Alpha Additive	16	Volumic 3D
4	Roboze	17	eMotion Tech
5	3DMarkOne	18	innovatiQ
6	Intamsys	19	Leonardo Revo
7	CreateBot	20	3dxtech
8	Tiertime	21	Modix3D
9	Raise3D	22	Builder 3D
10	Ultimaker	23	Aon3D
11	MakerBot	24	BCN3D
12	Markforged	25	Zortrax
13	Wasp		

FONTE: O Autor (2024).

Figura 15 – Materiais empregados em impressão por FDM.

Material / Características Técnicas	Temp. da Extrusora (°C)	Temp. da Mesa de Impressão (°C)	Aplicações	Vantagens	Desvantagens	Referências
PLA (Ácido Polilático)	190 – 210	50 – 70	- Indústria Aeroespacial; - Engenharia de Tecidos; - Medicina.	- baixo custo; - biodegradável; - facilidade de manuseio; - biocompatibilidade; - reciclável.	- propriedades mecânicas; - baixa resistência térmica.	RAJESH, K. V. D. <i>et al.</i> ; JUGGERBOT 3D
ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno)	220 – 260	80 – 90	- Hidráulica; - acabamento automotivo; - aplicações que necessitam de materiais com baixa densidade e adaptabilidade.	- baixo custo; - leve; - propriedades mecânicas excelentes; - excelente adaptabilidade; - reciclável.	- baixa resistência térmica; - não é biodegradável; - odor tóxico.	DING, S. <i>et al.</i> ; RAJESH, K. V. D. <i>et al.</i> ; 3DGENCE
PEI (Polieterimida)	340 – 400	± 210	- Medicina; - Automotiva; - Aeroespacial; - Elétrica.	- excelentes propriedades mecânicas e químicas; - boas propriedades elétricas; - ótima resistência a luz UV.	- pouca resistência a degradação térmica.	DING, S. <i>et al.</i> ; NGUYEN, K. Q. <i>et al.</i>
PEEK (Polieteretercetona)	330 – 385	100 – 120	- Medicina; - Indústria Aeroespacial; - Indústria Automotiva.	- material com ampla biocompatibilidade; - excelentes propriedades mecânicas e químicas; - alta estabilidade térmica.	- ponto de fusão alto; - viscosidade.	HE, Y. <i>et al.</i> ; ZHAO, Y. <i>et al.</i>
PETG (Polietileno Tereftalato Glicol)	230 – 250	70 – 80	- garrafas de água; - armazenamento de alimentos; - Medicina; - embalagem de fármacos.	- reciclável; - excelentes propriedades químicas; - tenacidade; - ductilidade.	- não é biodegradável	RAJESH, K. V. D. <i>et al.</i> ; XOMETRY
Nylon com fibra de Carbono	250 – 280	± 80	- Automotiva; - órteses e próteses; - gabaritos e acessórios.	- aumento nas propriedades mecânicas em um dos eixos;	- abrasivo e degrada o bico da extrusora; - temperatura relativamente alta de fusão.	RODRIGUEZ-REYNA, S. L. <i>et al.</i> ; JUGGERBOT 3D
TPU (Poliuretano Termoplástico)	190 – 245	60 – 90	- sistemas de amortecimento; - peças para máquinas têxteis; - rodas e rodízios em geral.	- alta resistência à abrasão, desgaste e tensão cisalhante; - boa resistência a óleos e produtos químicos; - excelente resistência a impactos.	- difícil de imprimir - baixa velocidade de impressão - baixa resistência térmica	BCN3D; COMPOSTOS; RIBEIRO, F. B. V.; XOMETRY

FONTE: O Autor (2024).

Analisando as velocidades máximas de impressão encontradas para as impressoras HO, em um espaço de sete anos, notou-se uma das duas maiores evoluções para essa categoria de impressoras 3D. Saindo em 2017 de 240mm/s para, em 2023, 600mm/s. Evolução essa de 250%, mostradas na Figura 16. Logo, a velocidade de impressão mostrou-

se essencial para o desenvolvimento tecnológico e comercial de impressoras não industriais. Não só isso, com a expansão da possibilidade de escolhas para compra, os preços reduziram drasticamente. Ademais, os estudos comportaram impressoras, Ender-2 Pro Mini e.g., precificadas a menos que 180 dólares (Creality, 2024). Como também a K1 Max, impressora HO que custou, na amazon.com em 2024, quase 1000 dólares.

Figura 16 – Velocidade Máxima de Impressão em Impressoras Home Office.

Ano	Vel. Máx. de Impressão (mm/s)	Quant.	Fabricantes
2017	[180].	1	[1].
2018	[150];[180];[200].	4	[1];[4].
2019	[200].	1	[17].
2020	[80];[100].	2	[3];[4].
2021	[100];[120];[150];[180];[200];[300];[350].	11	[1];[4];[5];[6];[12];[14];[15];[24].
2022	[80];[100];[120];[150];[160];[180];[200];[220];[250];[600].	25	[1];[2];[3];[4];[5];[7];[10];[11];[15];[16];[22];[23].
2023	[80];[100];[120];[180];[200];[250];[300];[500];[600].	27	[1];[2];[3];[4];[5];[6];[8];[10];[11];[17];[20];[21];[25];[26].
Total		71	

Legenda: Vel. Máx. de Impressão (Velocidade Máxima de Impressão); Quant. (Quantidade de Modelos Registrados).

FONTE: O Autor (2024).

Outra especificação técnica que evoluiu de forma significativa foi a temperatura da extrusora. Peça que é responsável pelo processo de fusão e deposição do filamento na mesa de impressão. No ano inicial de estudo, o valor máximo encontrado foi de 250°C. Essa temperatura suporta apenas alguns materiais mais comuns como PLA e ABS, caso haja enclausuramento para controle de temperatura. Já quatro anos depois, houve um salto de 100°C no melhor modelo do ano, chegando a 350°C. Isto é 140% do valor inicial, ou seja, deu suporte a grande maioria dos materiais levantados na pesquisa. Possibilitando também a impressão com alguns materiais industriais como PEEK, material utilizado em impressoras industriais e para aplicações complexas como foi abordado na Figura 15.

A Figura 17 apresenta a evolução dos valores de Temperatura ofertados ao longo dos anos em Impressoras HO.

Figura 17 – Temperatura Máxima em Impressoras Home Office.

Ano	Temp. Máx. da Extrusora (°C)	Quant.	Fabricantes
2017	[250].	1	[1].
2018	[240];[300].	3	[4].
2019	[260];[300].	2	[1];[18].
2020	[240];[260].	2	[3];[4].
2021	[240];[250];[260];[265];[275];[300];[350].	14	[1];[4];[5];[6];[12];[14];[15];[24].
2022	[240];[250];[255];[260];[275];[290];[300].	28	[1];[2];[3];[4];[7];[8];[10];[11];[12];[15];[16];[22];[23].
2023	[250];[260];[280];[300];[350].	26	[1];[2];[3];[4];[5];[6];[8];[9];[10];[11];[17];[20];[21];[26].
Total		76	

Legenda: Temp. Máx. da Extrusora (Temperatura Máxima da Extrusora); Quant. (Quantidade de Modelos Registrados).

FONTE: O Autor (2024).

Como descrito anteriormente, também foram coletadas características das impressoras industriais, a pesquisa abrangeu dados de nove anos, de 2015 até 2023. Assim como as Impressoras HO, as especificações que se mostraram de crucial importância para o avanço tecnológico foram a velocidade de impressão e temperatura da extrusora.

Em 2015, primeiro ano estudado, a impressora industrial da 3DMarkOne chegou ao mercado imprimindo a 150mm/s. Três anos depois, o valor mais que triplica, atingindo o máximo encontrado de 500mm/s. Ao comparar esse valor com o encontrado para impressoras pessoais de mesmo ano, nota-se que a velocidade máxima é 2,5 vezes maior para a classe industrial. Diferença que depois foi minimizada passando apenas para 100mm/s a favor das impressoras casuais. A Figura 18 apresenta a evolução dos valores de Velocidades de impressão ofertado ao longo dos anos em impressoras Industriais.

Figura 18 – Velocidade Máxima de Impressoras Industriais.

Ano	Vel. Máx. De Impressão (mm/s)	Quant.	Fabricantes
2015	[150].	1	[5].
2016	N/A	N/A	N/A
2017	[200];[300].	2	[6];[7].
2018	[120];[500].	2	[7];[2].
2019	N/A	N/A	N/A
2020	[40];[100];[300].	4	[15];[20];[21];[22].
2021	[400];[500].	2	[1];[9].
2022	N/A	N/A	N/A
2023	[120];[500].	2	[7];[2].
Total		13	

Legenda: Vel. Máx. de Impressão (Velocidade Máxima de Impressão); Quant. (Quantidade de Modelos Registrados).

FONTE: O Autor (2024).

A temperatura máxima de 2015 refere-se também a impressora da 3DMarkOne. A fabricante da extrusora observada recomendou o valor extremo de 300°C. Após dois anos, atingiu-se o pico entre os valores levantados. Contrapondo com os modelos HO de mesmo ano, as impressoras industriais expressaram temperatura máxima de 500°C, ou seja, 200°C a mais. Isto é, o processo de fusão de filamentos comportava, já em 2017, a maioria dos materiais. Em virtude disso, a seguir mostra-se que não foi encontrado valor superior até o ano de 2023. Portanto, a tecnologia atingiu um patamar que, até o presente momento, não necessitou de melhorias no sistema de fusão de filamento.

Por fim, com base no estudo realizado, tanto para o setor HO quanto para o Industrial, se obteve resultados semelhantes. Isto é, a tecnologia apresenta evolução direcionada ao aumento de velocidade e temperatura. Com o objetivo de melhorar o tempo de impressão e o suporte a materiais mais técnicos também foram identificados esforços mais recentes relacionados a melhoria do projeto estrutural e do sistema de controle (*software*) para suportar maiores velocidades de impressão, mas são características intrínsecas aos parâmetros já explorados nesse trabalho, sendo eles a Temperatura e Velocidade de Impressão.

A Figura 19 apresenta a evolução dos valores de Temperaturas de impressão ofertado ao longo dos anos em impressoras Industriais.

Figura 19 – Temperatura Máxima de Impressoras Industriais.



PROGRAMA INSTITUCIONAL DE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XX Jornada de Iniciação Científica - 2024

Ano	Temp. Máx. Da Extrusora (°C)	Quant.	Fabricantes
2015	[300].	1	[5].
2016	N/A	N/A	N/A
2017	[420];[500].	2	[6];[7].
2018	[420];[450];[500].	3	[2];[7];[23].
2019	[280];[400].	2	[10];[17].
2020	[250];[500].	3	[15];[20];[22].
2021	[330];[400];[500].	3	[1];[9];[16].
2022	N/A	N/A	N/A
2023	[420].	1	[7].
Total		15	

Legenda: Vel. Máx. de Impressão (Velocidade Máxima de Impressão); Quant. (Quantidade de Modelos Registrados).

FONTE: O Autor (2024).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, notou-se que entre todas as variáveis estudadas e citadas na metodologia, as que demonstraram desenvolvimento realmente expressivo foram a velocidade de impressão e a temperatura de extrusão, tanto para o setor industrial quanto para impressoras de menor porte. Outro ponto levantado foi que o nível do sistema de fusão de filamento atual ainda não supre completamente os materiais mais complexos devido ao seu alto ponto de fusão. Todavia, é importante salientar que é notória a melhoria no sistema responsável pela velocidade de impressão. Isto é, ultimamente, encontram-se esforços significativos para sua melhoria. Como citado anteriormente e de acordo com o levantado neste estudo, os esforços de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias devem se voltar a estas duas necessidades. Portanto, o que se recomenda a partir deste trabalho é estudar novos métodos para melhorar os sistemas responsáveis pela estabilidade da extrusora e componentes que exercem a mudança de aceleração nos trilhos ou hastes de forma mais precisa e linear. De maneira semelhante, aconselha-se que voltem esforços de pesquisa e trabalho em cima do sistema de derretimento de polímeros na extrusora. Para que dessa forma, se alcance novos picos de velocidade, menor tempo de impressão, melhor acabamento superficial e suporte a matéria prima de maior valor agregado.

6. REFERÊNCIAS

3DGENCE, ABS filament for 3D printers, **3DGENCE**, Disponível em: <https://3dgence.com/3dnews/abs-filaments-for-3d-printers/> Acesso em: mai. 2024.

3D SOURCED. The 15 Most Valuable 3D Printing Companies & Manufacturers 2022. **3D Sourced**, jul. 2023. Disponível em: <https://www.3dsourced.com/rankings/most-valuable-3d-printing-companies/> Acesso em: out. 2023

ALBERTI, E. A.; CATAPAN, M. F.; SIERRA, I. **ANÁLISE DA RUGOSIDADE EM PEÇAS CONFECCIONADAS POR IMPRESSÃO 3D**. Revista Foco 15.4 (2022): E506. Acesso em: 10 set. 2023.

ANTONELLI, L. A. **Impressora 3D de baixo custo**, 2019, p. 11-12.

BRANDÃO, A. **Impressora FDM tipo Delta: estudo de impressão de cor e comparação de propriedades**. Dissertação de Mestrado, 2018.

BCN3D, Technical data sheet TPU, **BCN3D**, Disponível em: https://3dprint.pe/wp-content/uploads/2018/09/TDS_BCN3D_Filaments_TPU.pdf Acesso em: mai. 2024.

CHUNG, S.; ZHANG, P.; REPKA, M. A. Fabrication of timed-release indomethacin core-shell tablets for chronotherapeutic drug delivery using dual nozzle fused deposition modeling (FDM) 3D printing, **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, Volume 188, 2023, Pages 254-264, ISSN 0939-6411, <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2023.05.015>.

COMPOSTOS, **TPU**, Disponível em: <https://www.compostos.com.br/tpu#:~:text=Aplica%C3%A7%C3%B5es%20do%20TPU&text=A%20excelente%20resist%C3%A2ncia%20%C3%A0%20abras%C3%A3o,m%C3%A1quina%20%C3%A0%20entre%20outros%20materiais>. Acesso em: mai. 2024.

CREALITY. 2023. Disponível em: <https://www.crealitystore.com.br/impressora>. Acesso em: 03/09/2024.

DING S. *et al.* Effects of nozzle temperature and building orientation on mechanical properties and microstructure of PEEK and PEI printed by 3D-FDM, **Polymer Testing**, Volume 78, 2019, 105948, ISSN 0142-9418, <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.105948>.

ERRERA, R. 3D Printing Statistics (2022 Additive Manufacturing Data). **Toner Buzz**, out. 2022, Disponível em: <https://www.tonerbuzz.com/blog/3d-printing-statistics/> Acesso em: out. 2023.

HE, Y. *et al.* Effects of FDM parameters and annealing on the mechanical and tribological properties of PEEK, **Composite Structures**, Volume 313, 2023, 116901, ISSN 0263-8223, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2023.116901>.

JAYAWARDANE, H. *et al.* Sustainability perspectives – a review of additive and subtractive manufacturing, **Sustainable Manufacturing and Service Economics**, Volume 2, 2023, 100015, ISSN 2667-3444, <https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100015>.

JUGGERBOT3D, CARBON FIBER REINFORCED NYLON, 3D PRINTING FILAMENT REVIEW, **JuggerBot3D**, Disponível em: <https://juggerbot3d.com/nylon-cf-filament-review/> Acesso em: mai. 2024.

JUGGERBOT3D, POLYLACTIC ACID (PLA), 3D PRINTING FILAMENT REVIEW, **JuggerBot3D**, Disponível em: <https://juggerbot3d.com/pla-filament-review/> Acesso em: mai. 2024.

KAFLE, A. *et al.* 3D/4D Printing of Polymers: Fused Deposition Modelling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS), and Stereolithography (SLA). **Polymers**, 2021,13(18), 3101; <https://doi.org/10.3390/polym13183101>.

KRISTIAWAN, R. B. *et al.* A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters. **Open Engineering**, vol. 11, no. 1, 2021, pp. 639-649. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0063> Acesso em: 10 set. 2023.



KUNKEL, M. E. *et al.* **Manufatura Aditiva do Tipo FDM na Engenharia Biomédica. Fundamentos e Tendências em Inovação Tecnológica**: v.1, 1ed. Seattle, United States: Kindle Direct Publishing, 2020, p. 50-69.

MOBARAK, M. H. *et al.* Recent advances of additive manufacturing in implant fabrication – A review, **Applied Surface Science Advances**, Volume 18, 2023, 100462, ISSN 2666-5239, <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100462>.

NGUYEN, K. Q. *et al.* **Effect of in situ thermal treatment on interlayer adhesion of 3D printed polyetherimide (PEI) parts produced by fused deposition modeling (FDM)**, *Materials Today Communications*, Volume 39, 2024, 108588, ISSN 2352-4928, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.108588>.

PÉREZ, M. *et al.* **Current advances in additive manufacturing**, *Procedia CIRP*, Volume 88, 2020, Pages 439-444, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.076>.

RAJESH, K.V. D. *et al.* **Experimental research on the mechanical characteristics of fused deposition modelled ABS, PLA and PETG specimens printed in 3D**, *Materials Today: Proceedings*, 2023, ISSN 2214 7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.343>.

RENNÓ, C. D. **Estatística: Aplicação ao Sensoriamento Remoto**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2023, Disponível em: <https://www.dpi.inpe.br/~camilo/estatistica/pdf/01Introd.pdf> Acesso em: out. 2023

RIAZ, R. D. *et al.* **Inclusive characterization of 3D printed concrete (3DPC) in additive manufacturing: A detailed review**, *Construction and Building Materials*, Volume 394, 2023, 132229, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132229>.

RIBEIRO, F. B. V. **Filamentos de impressora 3D**, IF Camboriú, 2021, Disponível em: https://www.camboriu.ifc.edu.br/labifmaker/wp-content/uploads/sites/19/2021/10/CT_01-Filamentos-de-impressora-3D.pdf Acesso em: mai. 2024

RODRIGUEZ-REYNA, S. L. *et al.* **Mechanical properties optimization for PLA, ABS and Nylon + CF manufactured by 3D FDM printing**, *Materials Today Communications*, Volume 33, 2022, 104774, ISSN 2352-4928, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104774>.

SHANTHAR, R.; CHEN, K.; CHAMIL, A. **Powder-Based Additive Manufacturing: A Critical Review of Materials, Methods, Opportunities, and Challenges**. *Advanced Engineering Materials* (2023): Advanced Engineering Materials, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/adem.202300375>. Acesso em: 10 set. 2023.

SELVAMANI, S. K. *et al.* **Investigation of bending and compression properties on PLA-brass composite using FDM**, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Volume 128, 2022, 103251, ISSN 1474-7065, <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103251>.

XOMETRY, All About PETG 3D Printing Filament: Materials, Properties, Definition, **Xometry**, set. 2022, Disponível em: <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/petg-3d-printing-filament/> Acesso em: mai. 2024

ZHAO, Y. *et al.* **Mechanical characterization of biocompatible PEEK by FDM**, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 56, Parte A, 2020, pag. 28-42, ISSN 1526-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.04.063>.

Contatos: 10403563@mackenzista.com.br e elesandro.baptista@mackenzie.br