



GABRIEL LUCAS SILVA

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DOS MATERIAIS COPOLIÉSTERES
ABS, NYLON, PETG, PLA E TPU, FABRICADOS POR MANUFATURA ADITIVA**

**LAVRAS – MG
2023**

GABRIEL LUCAS DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DOS MATERIAIS COPOLIÉSTERES
ABS, NYLON, PETG, PLA E TPU, FABRICADOS POR MANUFATURA ADITIVA**

Artigo científico apresentado à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do curso
de Graduação em Engenharia
Mecânica, para obtenção do título de
Bacharel.

Prof. Dra. Joelma Rezende Durão Pereira
Orientador

Prof. Dr. Fabiano Magalhães
Coorientador

Prof. Dr. Sandro Pereira da Silva
Coorientador

Prof. Dr. Alex de Oliveira Ribeiro
Coorientador

**LAVRAS – MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Silva, Gabriel Lucas da.

Ensaio para a avaliação da performance dos materiais copoliésteres ABS, NYLON, PETG, PLA e TPU através da manufatura aditiva por meio do processo FDM / Gabriel Lucas da Silva. - 2023.

52 p. : il.

Orientador(a): Joelma Resende Durão Pereira.

Coorientador(a): Fabiano Magalhães, Sandro Pereira da Silva, Alex de Oliveira Ribeiro.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Manufatura aditiva. 2. Ensaio mecânico a tração. 3. Análises químicas. I. Pereira, Joelma Resende Durão. II. Magalhães, Fabiano. III. Silva, Sandro Pereira da. IV. Ribeiro, Alex

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DOS MATERIAIS COPOLIÉSTERES
ABS, NYLON, PETG, PLA E TPU, FABRICADOS POR MANUFATURA ADITIVA

EVALUATION OF THE TENSILE STRENGTH OF COPOLYESTER MATERIALS ABS,
NYLON, PETG, PLA AND TPU, MANUFACTURED BY ADDITIVE
MANUFACTURING

Artigo científico apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do curso de
Graduação em Engenharia Mecânica,
para obtenção do título de Bacharel.

Em 20 de julho de 2023

Dra. Joelma Rezende Durão Pereira UFLA

Dr. Filipe Augusto Gaio UFLA

Prof. Dra. Joelma Resende Durão Pereira
Orientadora

Prof. Dr. Fabiano Magalhães
Coorientador

Prof. Dr. Sandro Pereira da Silva
Coorientador

Prof. Dr. Alex de Oliveira Ribeiro
Coorientador

LAVRAS – MG
2023

*A Deus,
Aos meus pais Janissom e Heloísa,
Aos meus irmãos Michel e Rafael,*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo.

Inicialmente, gostaria de agradecer à Deus por me ter dado saúde, força e coragem para enfrentar e vencer todos os obstáculos que encarei durante esse período de desenvolvimento profissional.

Aos meus pais Janissom da Silva e Heloísa Raimunda da Silva e aos meus irmãos Michel e Rafael por terem me apoiado de todas as formas possíveis durante todos os anos de graduação e por terem acreditado em mim e em minhas habilidades.

Aos meus familiares que me incentivaram, apoiaram e me fizeram crer que todo o esforço valeria a pena.

Aos professores da instituição que me ensinaram e acompanharam crescimento, em especial minha Orientadora Prof. Dra. Joelma Rezende Durão Pereira e aos meus coorientadores, o Prof. Dr. Sandro Pereira da Silva, Prof. Dr. Alex de Oliveira Ribeiro e o Prof. Dr. Fabiano Magalhães, que sempre estiveram ao meu lado na construção de todo trabalho e se preocuparam verdadeiramente com meu bem-estar, indo muito além das obrigações como professores, sendo meus tutores nessa jornada.

À Universidade Federal de Lavras, por toda a estrutura disponibilizada e por todo o conhecimento fornecido, garantindo a mim uma profissão completa.

Por fim, aos amigos que fiz durante os anos de graduação e a minha namorada que sempre esteve comigo, sendo meu suporte emocional, compartilhando momentos incríveis e sempre me incentivando na busca dos meus objetivos.

MUITO OBRIGADO!

“Se estiver se sentindo desmotivado, ou que não é bom o suficiente, incendeie o seu coração. Enxugue as lágrimas e siga em frente. Quando se entristecer ou se acovardar, lembre-se que o fluxo do tempo nunca para. Ele não vai te esperar enquanto você se afoga em tristeza.”

(Kyojuro Rengoku)

RESUMO GERAL

A manufatura aditiva (MA) é um processo de produção que opera diversas ferramentas em conjunto. Popularmente, a manufatura aditiva é conhecida como impressão 3D, que leva esse nome devido a uma iteração entre softwares de modelagem CAD e softwares e equipamentos de prototipagem rápida. Os protótipos podem ser criados por diversos processos diferentes, como por exemplo o FDM (Fused Deposition Modeling), a Estereolitografia, a Sinterização Seletiva a Laser, dentre outros processos. Essa tecnologia tem sido amplamente aplicada na indústria, passando pelos setores aeronáutico, automobilístico, na construção civil e até mesmo nas áreas da saúde. Essas possibilidades de aplicação abrem portas para um grande potencial de inovação na sociedade moderna. A manufatura aditiva tem como uma de suas principais vantagens o detalhamento de protótipos, além da agilidade na produção de peças, a redução dos custos, a versatilidade e também sua sustentabilidade, uma vez que o desperdício é mínimo quando comparado aos processos convencionais. Conhecer as propriedades mecânicas e químicas de um material possibilita uma variada gama de aplicações. O estudo desenvolvido, tem como base a caracterização e avaliação dos comportamentos mecânicos e químicos dos filamentos PLA, PETG, ABS, NYLON e TPU, produzindo corpos de prova (CP) que passaram por ensaios de tração e analisados quimicamente em soluções de 2% de Álcool, Éter Etílico e Ácido Acético, com a finalidade de avaliar o comportamento de cada filamento para essas condições. Durante a análise dos dados, o PETG se revelou o filamento com o melhor comportamento mecânico, cuja resistência média geral foi de aproximadamente 35,872369 MPa e em contrapartida, o TPU apresentou o pior desempenho médio, com aproximadamente 7,115752 MPa. Ao analisar os dados, foram levantadas algumas constatações sobre o comportamento encontrado para os filamentos analisados e discutidas algumas aplicações.

Palavras-chave: Impressão 3D, Propriedades dos Materiais, Materiais Poliméricos, Indústria 4.0, Avanços Tecnológicos.

GENERAL ABSTRACT

Additive manufacturing (AM) is a production process that operates several tools together. Popularly, additive manufacturing is known as 3D printing, which takes its name from an iteration between CAD modeling software and rapid prototyping software and equipment. Prototypes can be created by several different processes, such as FDM (Fused Deposition Modeling), Stereolithography, Selective Laser Sintering, among other processes. This technology has been widely applied in industry, including the aeronautical, automotive, construction and even health sectors. These application possibilities open doors to a great potential for innovation in modern society. Additive manufacturing has as one of its main advantages the detailing of prototypes, in addition to agility in the production of parts, cost reduction, versatility and also its sustainability, since waste is minimal when compared to conventional processes. Knowing the mechanical and chemical properties of a material enables a wide range of applications. The study developed is based on the characterization and evaluation of the mechanical and chemical behaviors of PLA, PETG, ABS, NYLON and TPU filaments, producing specimens (CP) that underwent tensile tests and chemically analyzed in solutions of 2% Alcohol, Ethyl Ether and Acetic Acid, in order to evaluate the behavior of each filament for these conditions. During the data analysis, PETG proved to be the filament with the best mechanical behavior, whose overall average strength was approximately 35.872369 MPa and in contrast, TPU presented the worst average performance, with approximately 7.115752 MPa. When analyzing the data, some findings were raised about the behavior found for the filaments analyzed and some applications were discussed.

Keywords: Additive Manufacturing, Mechanical and Chemical Performance, Polymeric Materials, Industry 4.0, Technological Advances.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVO GERAL	12
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. O QUE É A MA E QUAIS SUAS APLICAÇÕES	13
2.2. CATEGORIAS DA MANUFATURA ADITIVA	13
2.3. PROCESSO FDM (<i>FUSED DEPOSITION MODELING</i>).....	15
2.4. MODELAGEM DOS CORPOS DE PROVA (CP'S)	15
2.5. INOVAÇÕES GERADAS PELA UTILIZAÇÃO MANUFATURA ADITIVA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS.....	15
2.6. APLICAÇÕES POR SETOR DENTRO DA INDÚSTRIA	16
2.7. INDÚSTRIA AEROESPACIAL	17
2.8. INDÚSTRIA AUTOMOTIVA	18
2.9. MEDICINA	20
3. ENSAIOS MECÂNICOS A TRAÇÃO EM POLÍMEROS	21
4. INFLUÊNCIA DOS REAGENTES QUÍMICOS NAS AMOSTRAS.....	22
5. REFERÊNCIAS	22

1. INTRODUÇÃO

Schwab (2019) defende que quando se encara a crescente evolução tecnológica e a consequente competitividade no mercado, tem-se um aumento nas demandas por produtos inovadores, com características únicas e que estejam atrelados a novos modelos de negócios.

Do ponto de vista do desenvolvimento de produtos, a manufatura aditiva (MA) destaca-se como uma grande possibilidade de estimular a competitividade do mercado e a inovação nos sistemas econômicos, tudo isso enquanto flexibiliza a cadeia logística, onde os recentes grandes investimentos na área comprovam isso.

Segundo Manyika, *et. al.* (2013), em seus primórdios a MA foi utilizada como uma base para acelerar o desenvolvimento de novos produtos devido a utilização de protótipos. Dessa forma, a manufatura aditiva foi definida como um método de prototipagem rápida.

Popularmente conhecida como impressão 3D, a manufatura aditiva é definida como o processo de fabricação de objetos a partir de modelos virtuais a partir da deposição de material camada a camada. Com a utilização de software de plataforma CAD, pode-se elaborar projetos complexos. Pode-se dizer também que o maior diferencial das tecnologias de impressão 3D são as possibilidades de produção mais complexas e personalizadas quando comparadas a processos tradicionais já existentes (MecaLux, 2021).

A tecnologia de impressão tridimensional consiste basicamente modelar digitalmente um objeto com o auxílio de um software CAD, em seguida enviá-lo para um software fatiador que fará a conversão do modelo CAD em um arquivo que é possível ser lido pela impressora 3D. Este arquivo é comum a todas as impressões 3D, cada propriedade de orientação das coordenadas X, Y e Z para cada impressora ou tecnologia de impressão 3D.

Dado a grande disseminação das tecnologias de impressão 3D no mundo moderno, tornou-se necessário realizar estudos que possam caracterizar as propriedades dos filamentos e processos que envolvem tal tecnologia. Dessa forma, definindo as aplicações ideais a cada tipo de filamento e processo existente.

Dito isso, o trabalho desenvolvido visa caracterizar os aspectos mecânicos e químicos dos filamentos PLA, PETG, ABS, NYLON e TPU, através da utilização de corpos de prova (CP's). Buscando compreender como os materiais se comportam em diferentes condições de operação, dado que existe um cenário crescente para a produção por manufatura aditiva. Utilizar os diferentes agentes químicos vem da crescente necessidade da indústria química que busca novas tecnologias e materiais que possam operar em meios agressivos.

Observa-se que a demanda por novas tecnologias e materiais em condições adversas

existe e baseado nisso é que foi elaborado o escopo do projeto a ser realizado.

1.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consistiu em analisar a resistência mecânica a tração e as interações químicas em corpos de provas dos materiais copoliéster PLA, PETG, ABS, NYLON e TPU, extensamente utilizados na Manufatura Aditiva (MA).

1.2. Objetivos específicos

- Modelar e imprimir corpos de prova dos materiais copoliésteres mencionados, que serão analisados de acordo com as suas respectivas normas técnicas;
- Analisar os dados obtidos nos ensaios mecânicos para cada um dos materiais, relacionando-os a tensão mecânica média a tração (MPa);
- Analisar comparativamente os resultados práticos com os dados obtidos estatisticamente, afim de definir qual material irá garantir o melhor desempenho mecânico, relacionado as três vertentes analisadas (tensão, carga e deformação);
- Analisar os corpos de prova submetidos a ação química quando mergulhados em uma solução de 2% de Éter Etílico, Álcool e Ácido Clorídrico, em um período de aproximadamente 07 (sete) dias.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Neiva, *et. al.* (2020), a manufatura inteligente, no conceito da Indústria 4.0, está se tornando a realidade de muitos segmentos da indústria, e a tendência para o futuro é fortalecer esse conceito, tornando-se o *modus operandi* cotidiano dos ambientes industriais. Portanto, cabe aos profissionais e organizações da indústria investir em treinamento e qualificação avançados, alinhados com os requisitos e desafios da Indústria 4.0.

2.1. O que é a MA e quais suas aplicações

A NBR - ISO/ASTM 52900 (2018), definiu a manufatura aditiva (MA) como “um processo de união de materiais para criar objetos a partir de dados de modelos 3D, geralmente camada sobre camada, em oposição às metodologias de fabricação subtrativas. Esta definição é amplamente aplicável a todas as classes de materiais, incluindo metais, cerâmicas, polímeros, compósitos e sistemas biológicos.

Horst, *et. al.* (2018), concluem que, embora existam algumas dúvidas sobre sua aplicabilidade na produção em massa, o uso de MA na Indústria 4.0 está em ascensão devido aos novos avanços na produção de protótipos, concepção de ideias e escala produtiva com baixo desperdício. Sendo uma tecnologia em desenvolvimento para criar objetos precisos com alta velocidade de produção, esta pode oferecer uma forma de substituir as técnicas convencionais de fabricação em um futuro próximo.

2.2. Categorias da manufatura aditiva

Segundo Levy, *et. al.* (2003), ao falar das categorias de manufatura aditiva, existem diversas divergências referentes as suas nomenclaturas. Antes da padronização dos termos, os autores definiam tecnologias de MA baseados apenas na relação com seus processos, conforme eram registradas nas patentes ou por outras variáveis, fazendo com que para um mesmo processo semelhante, vários nomes sejam encontrados nas literaturas.

A classificação do Quadro 1 foi retirada de um estudo realizado por Levy, *et. al.* (2003), onde os autores classificaram os processos conhecidos até então.

Quadro 1 - Exemplo de classificação das categorias da manufatura aditiva antes das padronizações.

Nome	Abreviação
<i>Stereolithography</i>	STL
<i>Solid Ground Curing</i>	SGC

<i>Laminated Object Manufacturing</i>	LOM
<i>Fused Deposition Modeling</i>	FDM
<i>Selective Laser Sintering</i>	SLS
<i>3D Printing</i>	3DP

Fonte: Levy, *et. al.* (2003).

Depois da padronização, grande parte dessas nomenclaturas continuam sendo utilizadas, porém são consideradas como subtipos das categorias padronizadas, e outras estão em desuso devido a nomenclatura moderna considerar alguns processos idênticos, como por exemplo, a SGC.

Por outro lado, algumas foram renomeadas, como a 3DP que na época era referida a um processo que hoje é conhecido como Binder Jetting (BJ), ou Jateamento de Aglutinante (JA).

De acordo com a ASTM F2792 – 12A (2014), com relação as categorias de MA, a norma técnica padronizou a terminologia dessas categorias em sete grupos distintos, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Categorias de Manufatura Aditiva.

Inglês	Português (Brasil)
<i>Binder Jetting</i>	Jateamento de Aglutinante
<i>Powder Bed Fusion</i>	Fusão em Leito de Pó
<i>Sheet Lamination</i>	Laminação em Folha
<i>Direct Energy Deposition</i>	Deposição por Energia Direcionada
<i>Vat Photopolymerization</i>	Fotopolimerização em Cuba
<i>Material Jetting</i>	Jateamento de Material
<i>Material Extrusion</i>	Extrusão de Material

Fonte: Autor (2023)

Atualmente, são utilizadas em maior frequência na produção de peças metálicas: Jateamento Aglutinante (JA), Fusão em Leito de Pó (FLP), Laminação em Folha (LF) e Deposição por Energia Direta (DED).

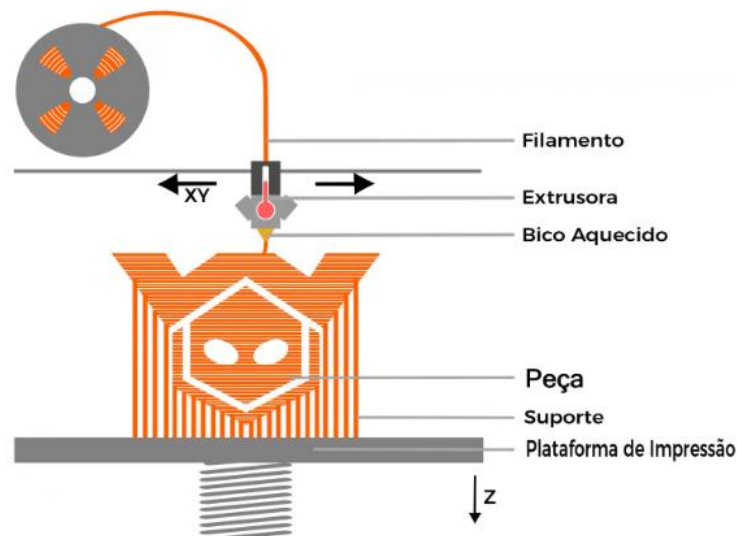
Quanto as demais, Fotopolimerização em Cuba (FC), Jateamento de Material (JM) e Extrusão de Material (EM) são majoritariamente utilizadas ao trabalhar com polímeros e materiais cerâmicos (PRAGANA *et al.*, 2021).

2.3. Processo FDM (*Fused Deposition Modeling*)

Segundo Fletcher (2003), o processo FDM originalmente pertencia a uma classe de tecnologias de prototipagem rápida (PR) chamadas de modeladores conceituais (*concept modellers*), devido ao fato de que os modelos criados não apresentavam um comportamento mecânico satisfatório, especialmente em termos de resistência, assim como seu acabamento superficial era considerado pobre, especialmente quando comparado a outros processos existentes, como por exemplo, a estereolitografia. Esses modeladores deixam os processos mais rápidos e limpos para a criação de peças onde qualquer erro considerado grosseiro pudesse ser verificado, tal processo era utilizado como uma ferramenta de comunicação interna entre o grupo de desenvolvimento de produtos.

A Figura 1 apresenta o princípio básico de funcionamento de um corpo impresso com a utilização do processo FDM.

Figura 1- Princípio de funcionamento do processo FDM.



Fonte: Wishbox Technologies (2019).

2.4. Modelagem dos corpos de prova (CP's)

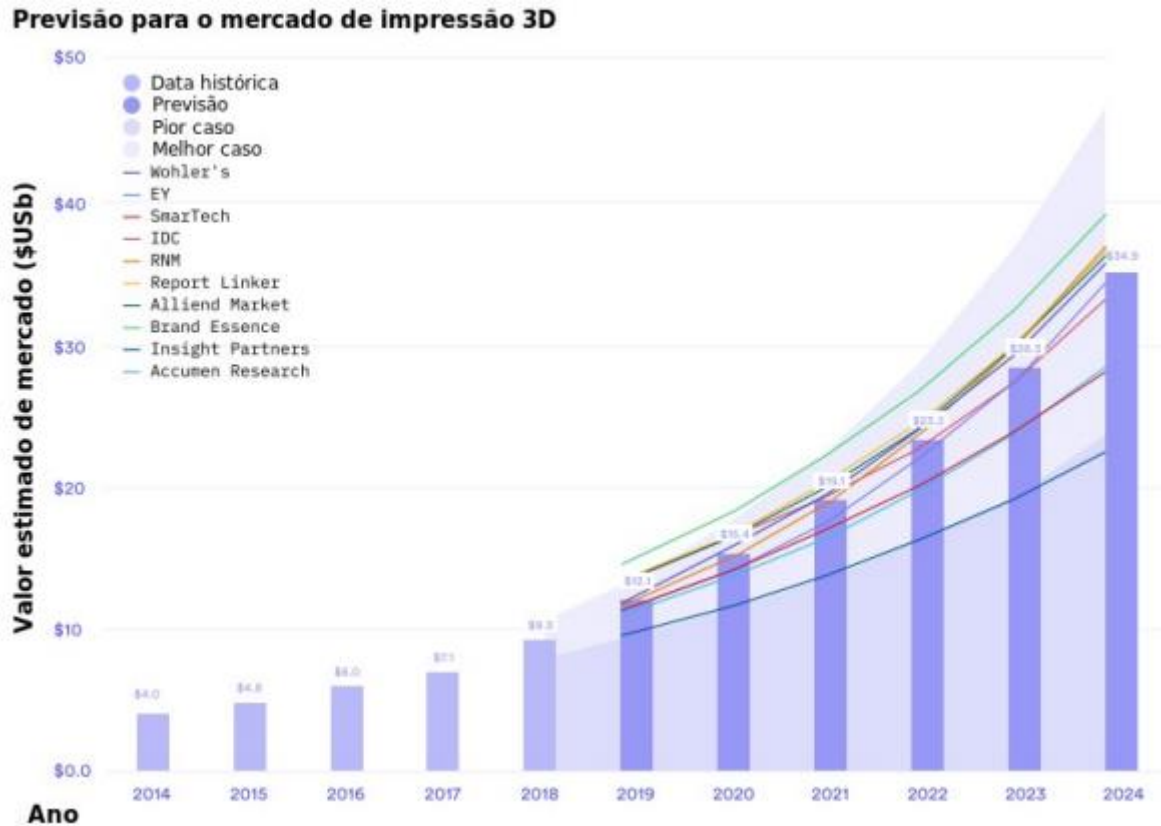
Tanto a elaboração dos corpos de prova quanto os ensaios práticos, são normatizados com o intuito de padronizar como devem ser realizados. Neste projeto foi utilizada a norma ISO 527-1 (2019) como norma padrão para modelagem dos corpos de prova para os materiais copolíésteres mencionados anteriormente.

2.5. Inovações geradas pela utilização manufatura aditiva e as tendências futuras

De acordo com o Wohlers Report (2019), a adoção da manufatura aditiva por profissionais triplicou nos últimos 3 anos, e a expectativa para o cenário é promissora. Os

dados podem ser visualizados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Gráficos com as tendências e previsões futuras.



Fonte: Wohlers Report (2019).

Em 2019, o mercado global de impressão 3D foi estimado em uma média de US\$ 12,1 bilhões, crescendo 25% anualmente desde 2014. Nos próximos cinco anos, os analistas esperam que o mercado cresça em média 24%, dobrando de tamanho aproximadamente a cada três anos (Wohlers Report, 2019).

2.6. Aplicações por setor dentro da indústria

Segundo Lettori, *et al* (2020), as aplicações que impulsionam as vantagens da manufatura aditiva são divididas em cinco categorias:

- Componentes estruturais em que se objetiva maximizar a rigidez enquanto diminui o peso;
- Produtos que precisam de uma geometria complexa e específica para otimizar sua aplicação, como aumentar eficiência fluidodinâmica de componentes;
- Produção de ferramentas rápidas para testes ou para produzir outras peças, como por exemplo moldes;
- Produtos em que é exigido alta personalização, como em produtos

biomédicos, odontológicos dentre outros;

- Protótipos para realização de testes, avaliar dimensões.

A Alpargatas, empresa brasileira de calçados e artigos esportivos, utiliza desde 2007 técnicas de impressão 3D para fazer projetos de solado da linha Mizuno. Outras multinacionais como a Fiat, MAN e Thyssen Krupp já contabilizam ganhos com a aplicação da tecnologia (ÉPOCA, 2017).

A General Electrics (GE) adquiriu quatro empresas especializadas em manufatura aditiva, em 2012 as empresas Morris Technologies e Rapid Quality Manufacturing, e em 2016 a Arcam AB e 75% da Concept Laser (ALMEIDA, 2017).

Em 2016 a Siemens AG adquiriu 85% da Material Solutions Ltd., uma empresa que utiliza a tecnologia SLM para produzir peças de superliga de níquel para turbinas a gás, componentes de aço e de titânio para sistemas aeroespaciais e automotivos de alto desempenho (BROOKS, 2016).

Na produção de componentes de turbinas a gás por exemplo, a Siemens aparece como um grande exemplo dos benefícios da manufatura aditiva, produzindo até 16 turbilhonadores para turbinas em uma máquina de manufatura aditiva apenas, reduzindo a complexidade para obtenção desses equipamentos (AMFG, 2020).

2.7. Indústria aeroespacial

Algumas características fundamentais da indústria aeroespacial são encontradas em aplicações de manufatura aditiva, como peças mais leves e de alta temperatura com geometrias complexas, produção econômica de baixo volume e peças de reposição digital devido à longa vida útil da maioria das peças. O peso é um dos principais fatores na indústria aeroespacial, e quanto mais leve o componente, menor o gasto energético necessário para voar. Materiais com boa relação resistência-peso, como titânio, alumínio, carbono e compósitos reforçados, são comumente usados em aplicações aeroespaciais e estão sendo cada vez mais incorporados à manufatura aditiva. (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015).

Na Figura 2, observa-se o cabeçote do injetor de um foguete modelo Ariane 6, fabricado pela utilização de técnicas de Manufatura Aditiva.

Figura 2- Cabeçote injetor do foguete Ariane 6 produzido por MA.



Fonte: EOS (2021)

Em 2017 a *GKN Aerospace* e o Laboratório Nacional de *Oak Ridge* assinaram um contrato de cinco anos com o objetivo de desenvolver peças de titânio em larga escala para a indústria aeroespacial. De acordo com a empresa, o primeiro foco foi desenvolver um processo de manufatura aditiva através da fusão de fios de metal com laser, visando criar um protótipo de uma máquina que irá fabricar estruturas complexas de aeronaves de médio e grande porte em titânio (GKN AEROSPACE, 2017).

2.8. Indústria automotiva

Os benefícios da manufatura aditiva também são de grande valor dentro da indústria de automóveis, à semelhança do aeroespacial, a possibilidade de inovação, Componentes mais leves e eficientes, eficiência de materiais, redução da cadeia de suprimentos e o alto desempenho alcançado por meio de projetos de manufatura aditiva pode ser um fator diferenciador no mercado (AMS Brasil, 2021).

Uma peça fabricada em MA pode se unir as várias outras peças fabricadas de outra forma, eliminando a montagem, reduzindo o peso e aumentando a estanqueidade como pode ser visto na Figura 1, no qual uma única peça (B) elimina a necessidade de fabricação de várias parte e conexões desnecessárias no projeto peça (A) (Gomes; Wiltgen, 2020).

É possível observar na Figura 3, as características da peça A preservadas na peça B. Porém fica claro o aperfeiçoamento inserido na fabricação da manufatura aditiva (B) em comparação com a manufatura subtrativa (A). Nota-se que na peça do A há clara necessidade de montagens devido a forma de fabricação em manufatura subtrativa, que não permite, devido a forma geométrica construção diferente, e assim, necessitando fabricar a peça em partes para depois ser montada. O fato da peça B ser construída em uma só peça, evita

problemas de imperfeições nas montagens, vazamentos ou falhas de junção, diminui o tempo e o custo da utilização da peça na aplicação, e por fim, permite que a peça seja mais leve devido ao alívio de massa obtido na fabricação (Gomes; Wiltgen, 2020).

Figura 3- Comparação entre manufatura subtrativa (A) e manufatura aditiva (B).



Fonte: Gomes e Wiltgen (2020).

Gomes e Wiltgen (2020) concluem que entre as vantagens da MA estão a customização das peças automotivas em diversos modelos de veículos; mudanças nas geometrias de peças; diversidade nas adaptações que podem ser feitas para ajuste de diferentes tipos de peças em diferentes veículos.

Gomes, J. F. B. (2020), ao comparar a manufatura aditiva (MA) e a manufatura subtrativa (MS) foi possível constatar uma redução considerável na quantidade de componentes na ordem de 35% ou em números absolutos de 12 peças, isto ocorreu por conta da integração de componentes. Outra diferença a se levar em conta é a redução no peso total do conjunto de trem de pouso de aeronave, pois em todas as versões de TDP via MA apresentadas nesta pesquisa, houve redução de peso considerável, esta variação foi de 9 a 65%, dependendo da versão escolhida, o que em números absolutos gerou uma redução de até 93 kg.

Já na Figura 4, pode ser observado os assentos personalizados, produzidos pela Porsche no ano de 2020. Devido a fabricante não produzir carros em larga escala e também não terem um número enorme de modelos, produzir tais assentos pela manufatura aditiva seja financeiramente viável quando se compara os processos convencionais, por exemplo, extrusão, laminação ou conformação mecânica.

Figura 4 - Kit de assentos personalizados da Porsche produzidos por MA.



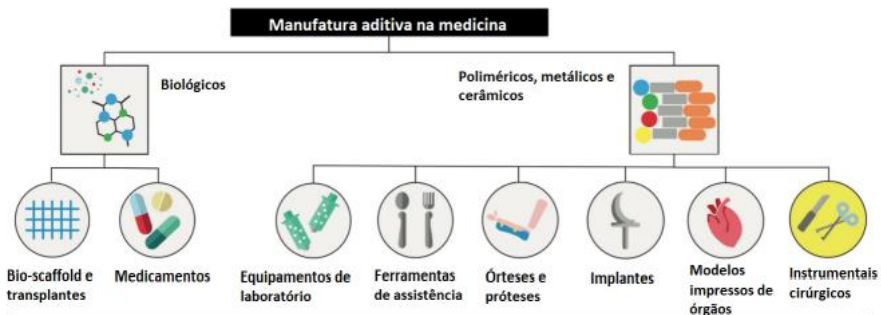
Fonte: Boissonneault (2020).

2.9. Medicina

A manufatura aditiva tem sido usada na medicina quase desde o advento da prototipagem rápida. Considerando que a manufatura aditiva evoluiu paralelamente aos softwares CAD, a medicina também evoluiu com inúmeros dispositivos médicos capazes de reproduzir imagens, como tomografia computadorizada, raio-X, ressonância magnética, ultrassom, entre outros. Com isso, medicamentos que originalmente eram usados apenas para fins de diagnóstico por imagem encontraram na manufatura aditiva a possibilidade de reproduzir essas imagens em modelos físicos 3D reais para diversos outros usos. (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015).

Como pode ser visto na Figura 5, são apresentadas algumas aplicações da Manufatura Aditiva dentro das áreas da saúde, baseada principalmente no tipo de material trabalhado.

Figura 5 - Aplicações da MA na área da saúde.

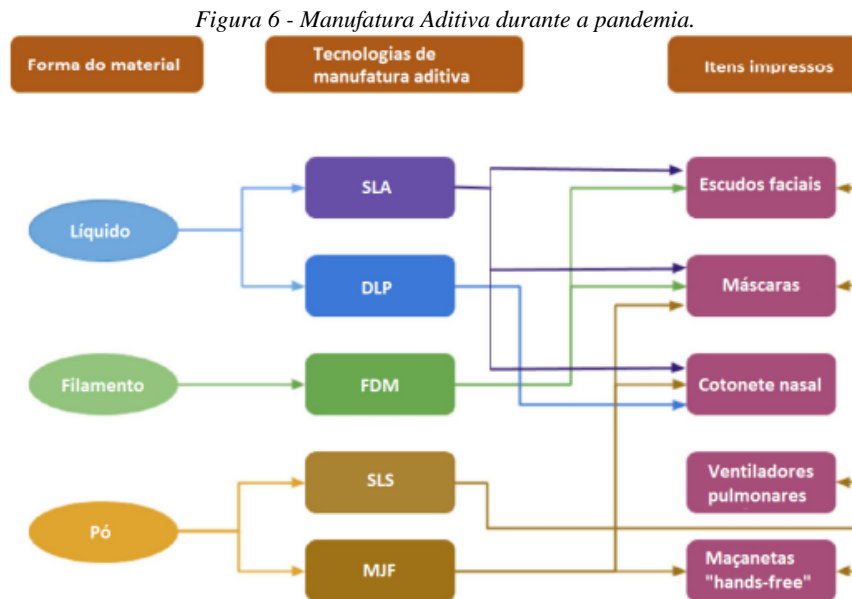


Fonte: Culmone, et. al. (2019).

Dada a situação mundial afetada pela pandemia de COVID-19, a crise isolamento econômico, social e número crescente de casos positivos, há uma crescente demanda por

equipamentos de proteção individual por parte dos profissionais de saúde. Cuidados de saúde, ventiladores pulmonares e outros equipamentos essenciais para combater doenças. Diante dessa demanda, a manufatura aditiva vem se mostrando importante nesse período (Culmone, *et. al.*, 2019).

A Figura 6 mostra algumas aplicações dos processos de manufatura durante o período de pandemia, utilizados



Fonte: Adaptado de Tareq *et. al.* (2021).

Segundo Kauppila (2021), a tecnologia MJF mencionada na imagem refere-se à *Multi Jet Fusion* desenvolvida pela HP, cuja primeira impressora foi lançada em 2016. Esta é uma técnica recente de fusão em leito de pó (FLP) na qual cada camada é depositada sobre a anterior para que as camadas se misturem totalmente e forneçam mais detalhes na impressão.

3. ENSAIOS MECÂNICOS A TRAÇÃO EM POLÍMEROS

Lima, *et. al.* (2021), mencionam que foi conduzida uma análise das propriedades mecânicas do Nylon 6, um polímero de engenharia amplamente utilizado na indústria, em comparação com o ABS e PLA, polímeros frequentemente empregados em processos de manufatura aditiva. O objetivo dessa comparação foi avaliar a viabilidade de utilizar peças fabricadas por impressão 3D em aplicações industriais como substitutos dos polímeros normalmente escolhidos.

Segundo Bolelli, *et. al.* (2019), devido a sua alta flexibilidade, o TPU apresenta um comportamento diferente dos demais, onde o mesmo se deforma em uma escala maior antes que ocorra a ruptura, isso faz com que o mesmo apresente um comportamento mecânico

insatisfatório entre os filamentos ensaiados por eles.

4. INFLUÊNCIA DOS REAGENTES QUÍMICOS NAS AMOSTRAS

Segundo Seixas (2013), materiais poliméricos quando submetidos a ataques por submersão em álcool tendem a deformar sua estrutura, gerando contração nas fibras do material devido a evaporação da solução. Os polímeros mostraram-se muito mais suscetíveis a degradação ocasionada pela solução. Com a análise em microscópios óticos, foi possível observar algumas cavidades em sua microestrutura segundo o autor. O material manteve uma boa flexibilidade, porém houveram perdas em suas propriedades mecânicas.

De acordo com Matos (2016), para alguns polímeros quando submersos em soluções de pH ácido, como o ácido acético, por exemplo, faz com que suas nanofibras percam suas características.

Portanto, compreender como cada ensaio funciona fornece uma base sólida para a execução, de maneira adequada e que valide os resultados obtidos. Seguir as orientações das normas técnicas garante qualidade e confiabilidade ao estudo desenvolvido.

5. REFERÊNCIAS

ALCALDE, E. e WILTGEN, F. **“Estudo das tecnologias em prototipagem rápida: passado, presente e futuro”** Revista de Ciências Exatas, Universidade de Taubaté (UNITAU), v. 24, n. 2, p. 12-20, 2018.

ALMEIDA, S. M. C. D. **Estudo sobre Perspetiva de Aplicação de Tecnologia de Manufatura Aditiva ao Setor Aeronáutico.** Dissertação (Mestrado). Universidade daBeira Interior. Engenharia Aeronáutica, 2017.

AMFG. **Industrial Applications of 3D Printing: The Ultimate Guide.** c2020. Disponível em: <https://amfg.ai/industrial-applications-of-3d-printing-the-ultimateguide/>. Acesso em: 22 de abril de 2023.

ARAÚJO, J. P., AGRAWAL, P., MÉLO, T. J. A., —**Blendas PLA/PEgAA: avaliação da reatividade entre os polímeros e da concentração de PEgAA nas propriedades e na morfológica, Revista Eletrônica de Materiais e Processos.** v.10, n. 3, pp. 118-127, Aug.

2015.

BOLELLI, Raquel Meirelles; LEBRÃO, Guilherme Wolf. **Avaliação das propriedades de material produzido por FDM em impressora 3D**. In: 19º Congresso Nacional de Iniciação Científica. São Paulo. 2019.

BRANCO, Rodolfo Ramos Castelo et al. **Caracterização da performance do material Poliacido Láctico (PLA) manufaturado pela tecnologia de Modelagem de Fusão e Deposição (FDM)**. Research, Society And Development, Paraíba, v. 1, n. 1, p. 22-32, mar. 2022.

BROOKS, Robert. GE, Siemens Invest, **Re-Commit to Metal Manufacturing**. Foundry, 2016. Disponível em: <https://www.foundrymag.com/melt-pour/article/21928887/gesiemens-invest-recommit-to-metal-manufacturing>. Acesso em: 02 de abril de 2023.

FRAZIER, William E. **Metal additive manufacturing: a review**. Journal of Materials Engineering and performance, v. 23, n. 6, p. 1917-1928, 2014.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies**. 2ed. New York: Springer, 2015.

GIORDANO, C. M.; ZANCUL, E. S.; RODRIGUES, V. P. **Análise dos Custos da Produção por Manufatura Aditiva em Comparação a Métodos Convencionais**. Revista Produção Online. v. 16, n. 2, 2016.

GOMES, João Francisco Bueno; WILTGEN, Filipe. **Avanços na manufatura aditiva em metais: técnicas, materiais e máquinas**. Revista Tecnologia, v. 41, n. 1, 2020.

GOMES, João Francisco Bueno. **Estudo, simulação e desenvolvimento de trens de pouso de aeronaves integrados via manufatura aditiva**. 2020.

GKN AEROSPACE. **GKN Aerospace And Oak Ridge National Laboratory Join Forces On Additive Manufacturing, 2017**. Disponível em:

<https://www.gknaerospace.com/en/newsroom/news-releases/2017/gkn-aerospace-andoak-ridge-national-laboratory-join-forces-on-additive-manufacturing/>. Acesso em: 23 de abril de 2023.

GKN AEROSPACE. GKN Aerospace Opens World's Largest Additive Manufacturing Pilot Production Cell At Oak Ridge National Laboratory, 2019. Disponível em: <https://www.gknaerospace.com/en/newsroom/news-releases/2019/gknaerospace-opens-worlds-largest-additive-manufacturing-pilot-production-cell-at-oakridge-national-laboratory/>. Acesso em: 23 de março de 2023.

HULL, C.W., Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography - US Patent US4,575,330, 1984.

LACERDA, Daniel. **Filamento Tritan: saiba como imprimir esse material. 3D Lab Soluções em impressão 3D.** Disponível em: <<https://3dlab.com.br/filamento-tritan/>>. Acesso em 25 de abril de 2023.

LEE, John; HUANG, Adam. **Fatigue analysis of FDM materials. Mechanical Engineering.** University Of Arkansas, Fayetteville, Arkansas, Usa, p. 291-299, 8 mar. 2012. (A1)

LETTORI, J. et al. **Additive manufacturing adoption in product design: an overview from literature and industry. Procedia Manufacturing.** v. 51, p. 655-662, 2020.

LIU, K.; PIGGOTT, M. R. **Fracture Failure Processes in Polymers: mechanical tests and results.** Advanced Composites Physics & Chemistry Group: Department of Chemical Engineering & Applied Chemistry University of Toronto, Toronto, Ontario M5S 1A4 Canada, v. 38, n. 1, p. 60-68, jan. 1998. (A2)

MANYIKA, J. et al. **Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy.** McKinsey Global Institute San Francisco, 2013.

MARTINS, K. Y. N. **Metodologia para adoção de Sistemas de Gestão baseada na ISO 9001 em organizações de Manufatura Aditiva aplicadas à saúde.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia em Saúde) - Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Campina

Grande, 2015.

MATOS, Cynthia Casagrande. **Síntese e caracterização de nanofibras de policaprolactona com adição de progesterona utilizando o solvente ácido acético pelo método de eletrofição.** 2016.

MEDINA, Matheus Santos; MEDEIROS, Natan do Nascimento. **Análise do Efeito do Material nas Propriedades Mecânicas de Componentes Poliméricos Produzidos por Manufatura Aditiva.** 2020. 93 f. Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Educação Superior, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – Cefet/Rj, Rio de Janeiro, 2020.

PADILHA, Angelo Fernando. **Materiais de Engenharia – Microestrutura e Propriedades.** Hemus Livraria, Editora e Distribuidora S.A., 2000.

RODRIGUES, L. F.; JESUS, R. A.; SCHÜTZER, K. **Indústria 4.0 Uma Revisão da Literatura.** Revista de Ciência & Tecnologia, v. 19, n. 38, p. 33 45, 2016.

SARTORI, A.; CASSEL, R. A. **Impactos da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos.** In: SIMPÓSIO DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25, Bauru, 2018. Anais. Bauru: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2019. ISSN 1809 7189.

SEIXAS, Marcus Vinicius de Souza. **Materiais poliméricos para contato com etanol em condições agressivas.** 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOUZA, Leandro Rodrigues da Silva; STOPPA, Marcelo Henrique. **PROCEDIMENTO PARA CONFECÇÃO DE CORPOS DE PROVA PARA ENSAIOS DE TRAÇÃO A PARTIR DE TUBOS DE PVC.** 2014. 9 f. Monografia (Especialização) - Curso de Eng. Mecânica, Lamot, Regional Catalão, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2014.

TEÓFILO, Edvânia T. et al. **Stress cracking and chemical attack of pet under different chemicals.** *Polímeros*, v. 19, p. 202-211, 2009.

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

VOLPATO, N.; CARVALHO, J. **Prototipagem rápida como processo de fabricação.** In: AHRENS, C. H. *et al.* *Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações.* 1. ed. São Paulo: Blucher, 2007.

**ARTIGO: “AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DOS MATERIAIS
COPOLIÉSTERES ABS, NYLON, PETG, PLA E TPU, FABRICADOS POR
MANUFATURA ADITIVA”**

ARTIGO 1 - AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DOS MATERIAIS COPOLIÉSTERES ABS, NYLON, PETG, PLA E TPU, FABRICADOS POR MANUFATURA ADITIVA.

Gabriel Lucas da Silva ¹; Joelma Rezende Durão Pereira ²; Fabiano Magalhães ³;
Maria Laura Pereira Rosa ⁴

RESUMO

Define-se a impressão 3D na manufatura aditiva como um termo complementar, uma vez que a MA usa softwares e hardwares específicos para projetos em diversas áreas. Por isso existe o nome “aditivo”, a impressão no modelo 3D pode ativar as matérias-primas camada por camada, para não as desperdiçar, de modo a aproveitar as matérias-primas. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar as propriedades mecânicas de polímeros de acordo com o método de produção de amostras produzidas pelo processo FDM (*Fused Deposition Modeling*) e então avaliar suas propriedades de acordo com os critérios necessários, além de analisar os corpos de prova depois de mergulhados em soluções de 2% de Álcool, Ácido Acético e Éter Etílico visando compreender o seu comportamento. Para tanto, foram avaliadas as propriedades mecânicas dos filamentos poliméricos para medir suas respectivas propriedades mecânicas. Os polímeros em questão foram: Copoliéster ABS, NYLON, PETG, PLA e TPU. O trabalho desenvolvido é baseado, principalmente, na norma ISO 527-1 de 2019, a impressora utilizada foi uma multifuncional 3D Zmorf. A resistência do filamento de PETG atingiu um valor máximo de 45,374973 MPa quando submerso em álcool enquanto que o TPU nas mesmas condições, apresentou um valor máximo de 9,038717 MPa. Portanto, todos os materiais copoliésteres estudados apresentaram características interessantes, possibilitando diversas aplicações.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Variância; Propriedades Mecânicas; Análises Químicas.

TESTS TO EVALUATE THE PERFORMANCE OF ABS, NYLON, PETG, PLA AND TPU COPOLYESTER MATERIALS THROUGH ADDITIVE MANUFACTURING USING THE FDM PROCESS

ABSTRACT:

3D printing in additive manufacturing is defined as a complementary term, since AM uses specific software and hardware for projects in various areas. That is why there is the name "additive", printing in the 3D model can activate the raw materials layer by layer, so as not to waste them, in order to take advantage of the raw materials. In this context, the objective of this study was to evaluate the mechanical properties of polymers according to the production method of samples produced by the FDM (Fused Deposition Modeling) process and then evaluate their properties according to the necessary criteria, in addition to analyzing the specimens after being immersed in solutions of 2% Alcohol, Acetic Acid and Ethyl Ether in order to understand their behavior. For this purpose, the mechanical properties of the polymeric filaments were evaluated to measure their respective mechanical properties. The polymers in question were: ABS Copolyester, NYLON, PETG, PLA and TPU. The work developed is mainly based on the ISO 527-1 standard of 2019, the printer used was a Zmorf 3D multifunction. By analyzing all the work, it was found that the filaments tested have interesting applications and can replace some conventional processes due to their remarkable mechanical strength. The strength of the PETG filament, for example, reached a maximum value of 45.374973 MPa when submerged in alcohol while the TPU under the same conditions, showed a maximum value of 9.038717 MPa. Therefore, all the copolyester materials studied presented interesting characteristics, enabling several applications. It can be concluded that the objectives initially stipulated were satisfactorily achieved.

KEYWORDS: Analysis of Variance; Mechanical Properties; Chemical Analysis.

1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva é o resultado de séculos de evolução do processo tradicional de usinagem. Ao longo da história, os métodos de fabricação sofreram mudanças de acordo com o surgimento de novas tecnologias, passando de métodos artesanais, como forja e fundição, por exemplo, e outros processos como torneamento, fresamento, retificação, entre outros, conhecidos como manufatura subtrativa. Esses métodos tradicionais de usinagem foram o núcleo da indústria moderna sendo responsável por toda a cadeia de produção de todos os nichos por muitos anos (COMPRINT.COM.BR, 2019).

Um ensaio mecânico de tração tem como finalidade avaliar as propriedades mecânicas de um material, especialmente sua resistência à tração. É realizado para medir a

força necessária para alongar o material e sua extensão máxima antes da ruptura. Os parâmetros avaliados incluem limite de elasticidade, resistência à tração, deformação e módulo de elasticidade. Esses ensaios são usados para selecionar materiais adequados, projetar componentes e garantir a segurança e confiabilidade em diversas indústrias (Biopdi, 2022).

A resistência química é a capacidade do polímero de resistir a um ataque de determinados produtos químicos durante um período de tempo específico, mantendo as suas propriedades físicas e mecânicas. Os materiais com baixa resistência química, quando expostos, registam uma queda nas propriedades mecânicas, causando bolhas, inchaço e fissuras em um curto espaço de tempo. A estrutura molecular do polímero, os aditivos adicionados juntamente com a concentração de solventes e reagentes químicos, o tempo de exposição e a temperatura são as principais variáveis que determinam a resistência química (ESquare, 2022).

Na indústria bélica, os polímeros têm sido usados na criação de blindagem, munições, roupas e até em embalagens de refeições por muitos anos. Essa tecnologia permitiu que os aplicativos tivessem um peso menor, durassem por períodos mais longos e absorvessem mais impactos do que os materiais tradicionais. Polímeros também são um ingrediente em compósitos, que consistem tipicamente em uma ou mais resinas plásticas que são compostas, ligadas ou extrudadas juntas para criar camadas muito finamente empilhadas que fornecem mais resistência do que uma única camada de material (Entec, 2022).

A decisão de atacar diferentes materiais copoliésteres vem da necessidade de diversificar o estudo sobre como os meios corrosivos interagem com os polímeros, devido ao constante crescimento da manufatura aditiva nas aplicações industriais. Testes laboratoriais com soluções no estado líquido simplifica a execução dos testes. Em alguns casos, as soluções são mais agressivas nesse estado. Tais constatações motivaram o desenvolver desse estudo.

1.1. Objetivos

O objetivo deste estudo é avaliar as propriedades mecânicas de polímeros de acordo com o método de produção das amostras de corpos de prova (CP) produzidas pelo processo FDM (Fused Deposition Modeling) dentro da manufatura aditiva (MA) e então avaliar suas propriedades de acordo com os critérios necessários, também serão analisados os

comportamentos dos corpos de prova depois de mergulhados em uma solução de 2% em Éter, Álcool e Ácido Acético. O estudo também servirá de base para pesquisas futuras em tecnologia de impressão 3D industrial, bem como todos os materiais utilizados na tecnologia FDM, para obter resultados comparativos relevantes para o uso industrial e científico da manufatura aditiva.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Confeção dos Corpos de Prova (CP's)

A impressão das amostras foi realizada no Laboratório de Manufatura Avançada (LAM) do Departamento de Engenharia (DEG-ABI) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) entre novembro de 2022 a maio de 2023.

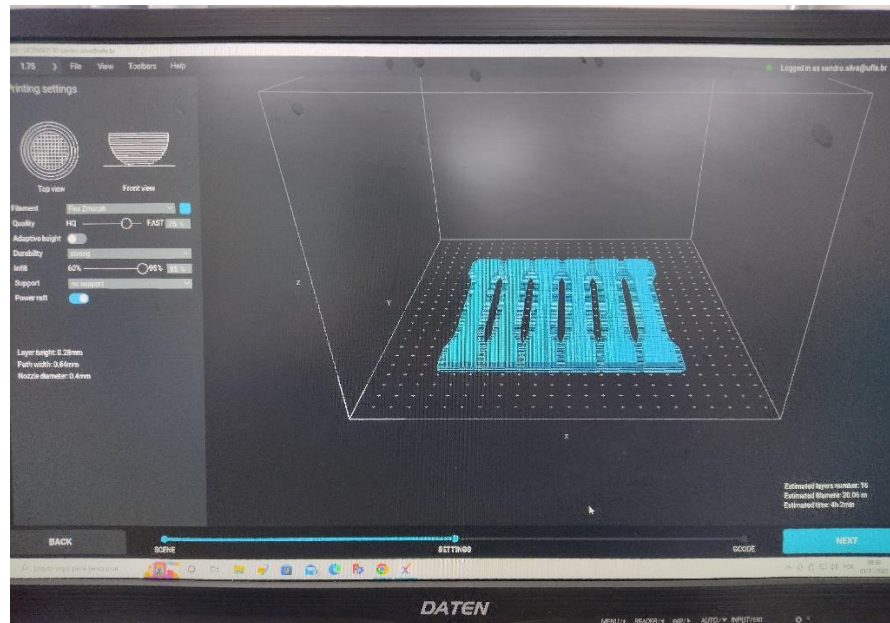
De acordo com a norma ISO 527-1 (ISO, 2019) elaborou-se os corpos de prova com o auxílio do Software TopSolid 2021[®], cuja licença é fornecida gratuitamente aos estudantes da universidade.

Analisou-se filamentos ABS, Nylon, PETG, PLA e TPU submetidos a três soluções químicas: éter etílico, álcool e ácido acético com três repetições cada. Contudo, fez-se a impressão de mais três repetições para cada filamento para ser analisado como hipótese nula. Assim, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, no esquema fatorial 5x4x3 totalizando 60 corpos de prova impressos.

Para a impressão dos corpos de prova, foram utilizadas impressoras 3D ZMorph, com construção intercambiável e bicos de 0,2mm, contando com mesa aquecida, área de trabalho de 250 x 235 x 165mm. Seu posicionamento e precisão são de 14 microns para o eixo X e Y, 0,625 microns para o eixo Z. Além de uma resolução de impressão operando entre 50 – 400 microns (3D Criar, 2023).

Com os modelos eletrônicos prontos, os mesmos foram levados ao software Voxelizer 2.0[®]. A finalidade de inserir os modelos nesse software é o de definir os parâmetros utilizados para a impressão, conforme pode-se observar na Figura 1.

Figura 1 - Utilização do software Voxelizer 2.0 para parâmetros de impressão.



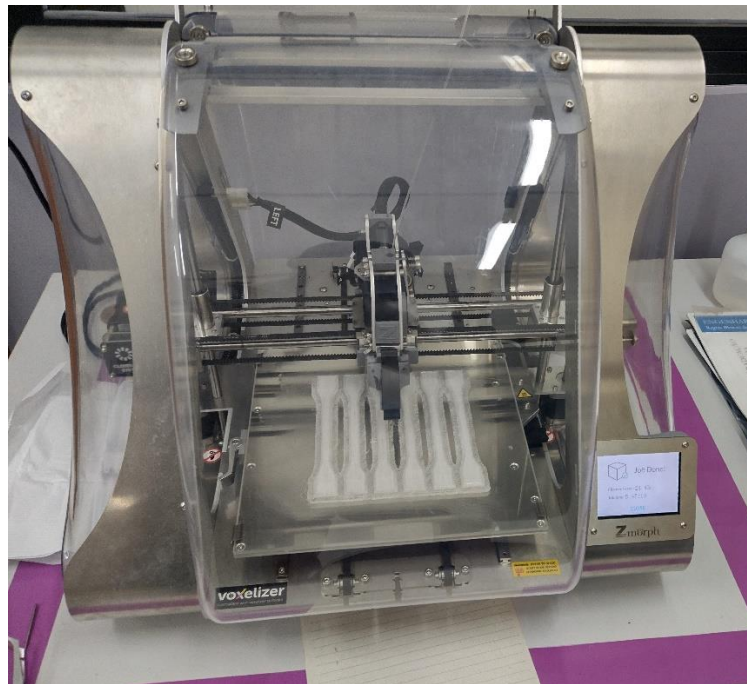
Fonte: Autor (2023)

Para a impressão dos corpos de prova, foram utilizadas duas impressoras tridimensionais 3D ZMorph com as seguintes características:

- Tecnologia: FDM/FFF, CNC, gravação a laser;
- Volume de construção: 250 x 235 x 165 mm (cabeçote específico);
- Resolução de camada: 25-400 microns;
- Diâmetro do material: 1,75 mm;
- Diâmetro do bico: 0,4 mm (singel);
- Nivelamento da plataforma: automático;
- Plataforma: vidro borossilicato (Impressão 3D);
- Conectividade: USB, SD;
- Temperatura máxima da extrusora: 250 ° C;
- Temperatura máxima da plataforma: 120°C;
- Pacote de software: Voxelizer 2.0.

A Figura 2 apresenta a impressora em funcionamento, imprimindo as primeiras amostras do filamento PLA. O tempo de impressão das 12 amostras foi de aproximadamente 8 horas, cujo gasto de filamento para as amostras foi de aproximadamente 50 metros. O processo de impressão ocorreu em ambiente com condições de temperatura e humidade controlada.

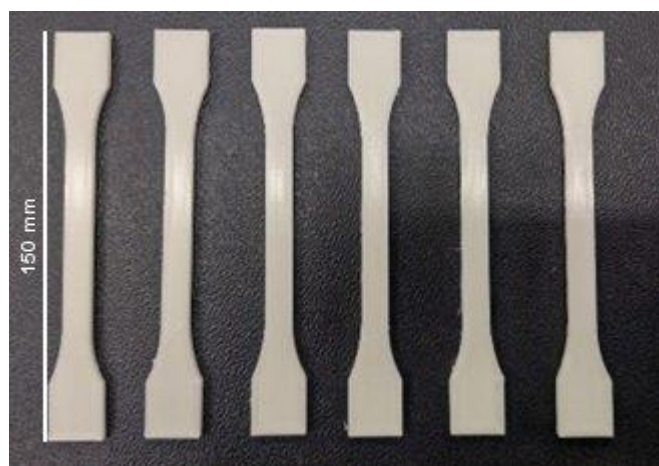
Figura 2 - Impressão das primeiras amostras.



Fonte: Autor (2023)

Pode-se observar algumas amostras recém impressas em PLA na Figura 3. Com já mencionado, as amostras foram modeladas e impressa seguindo as recomendações da ISO 527-1 e da 3D Fila (fabricante do filamento), respectivamente.

Figura 3 - Amostras impressas em PLA.



Fonte: Autor (2023)

Todo o processo de impressão das amostras ocorreu em ambiente controlado em termos de temperatura e humidade. Trabalhou-se com as amostras a uma temperatura ambiente de aproximadamente 22°C e umidade do ar em aproximadamente 52%. Os

parâmetros referentes as impressões dos corpos de prova podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades das impressões.

TABELA DE IMPRESSÕES					
Filamento	Vel. (%) (°C)	T_{Mesa} (°C)	T_{Ext.} (°C)	t_{Imp.} (h)	G_{Fil.} (m)
ABS	95	70	240	10h 15min	24,79
NYLON	90	70	250	07h 28min	24,31
PETG	90	70	235	05h 10min	23,52
PLA	95	60	190	03h 52min	24,49
TPU	90	80	240	14h 33min	24,89

Fonte: Autor (2023)

2.2. Ensaios de Ataques Químicos

Os ensaios de ataques químicos visam compreender como os CP's se comportaram mecanicamente após serem submersos a algumas soluções específicas.

Para dar início ao ensaio, foi necessário utilizar o Laboratório de Química Inorgânica (LQI) do Departamento de Química (DQI) da UFLA. Foi definido com base nas necessidades do departamento que para este experimento, as soluções utilizadas seriam respectivamente, Álcool, Ácido Acético e Éter Etilico. Todas as soluções na concentração específica de 2% seguindo as recomendações do professor Dr. Fabiano Magalhães que desenvolveu uma linha de pesquisa que trata dessas soluções a concentrações mais agressivas. O experimento teve uma duração de 07 (sete) dias para ser realizado.

Nos primeiros sete dias foram mergulhadas três amostras de cada um dos CP's referentes a cada um dos filamentos na solução de etanol.

Com um período pré-determinado de 24 horas os corpos de prova foram removidos da solução afim de medir o quanto sua massa variou em decorrência da absorção de solução e também completar a solução, para garantir que as amostras sempre estivessem submersas.

A Figura 4 mostra como os corpos de prova foram submersos nas provetas.

Figura 4 - Ensaio de ataques químicos.



Fonte: Autor (2023)

A pesagem das amostras fora realizada utilizando uma balança de precisão da fabricante G&G, modelo JJ124BC com calibração automática e resolução de 0,1 mg. Tal equipamento é necessário quando precisa-se aferir um valor com exatidão e para variações na casa de miligramas, conforme pode-se observar na Figura 5.

Figura 5 - Pesagem diária das amostras.



Fonte: Autor (2023)

Ao fim dos sete dias, descartou-se de maneira adequada a solução em recipientes vítreos no departamento de química, para que o material pudesse ser destinado ao local ideal. Ao secar os CP's, os mesmos foram envoltos em plástico filme e armazenados em uma câmara selada afim de evitar a contaminação das amostras.

Posterior ao ensaio com Etanol, partiu-se para a solução em Ácido Acético e por fim, a solução de Éter Etílico, mantendo a mesma metodologia.

Para a análise com éter etílico foi necessário levar em consideração algumas peculiaridades da solução, como por exemplo, o fato de ser uma solução muito volátil e que evapora muito facilmente a temperatura ambiente dificultou o seu armazenamento, para isso, utilizou-se uma câmara climatizada, cuja temperatura era fixa a 16 °C.

As amostras submersas no Éter Etílico foram armazenadas em uma caixa selada e com utilização de bolsas térmicas afim de manter a temperatura constante, conforme observado na Figura 6.

Figura 6 - Condições especiais para o ensaio com Éter Etílico.



Fonte: Autor (2023)

Assim como as amostras de Etanol e Ácido, foi preciso completar as provetas de Éter para que as amostras sempre estivessem submersas e assim não influenciar os resultados.

2.3. Ensaio Mecânico a Tração

Todos os testes mecânicos de tração, foram realizados seguindo as orientações da ISO 527-1 (2019) que determina como os ensaios de tração devem ser realizados em

plásticos.

Utilizou-se uma EMIC DL 3000 disponível no Laboratório de Mecânica Aplicada (LMA) do Departamento de Engenharia (DEG-ABI), cuja a célula de carga tinha um valor de 20 N a uma taxa de deformação mecânica de aproximadamente 50 mm/min. Para as medições de deformações dos CP's, estabeleceu-se no software da *Tesc*, uma distância de aproximadamente 50 mm entre os pares de garras de fixação da máquina, assim como a largura de aproximadamente 25 mm e uma espessura de aproximadamente 3,04 mm.

Antes da realização dos ensaios, manteve-se a condição padrão de que o laboratório estaria a uma temperatura controlada de aproximadamente 20 °C.

Todo o processo experimental foi realizado de maneira inteiramente casualizado, os filamentos ABS, Nylon, PETG, PLA e TPU foram submetidos a três soluções químicas pré-determinadas com três repetições cada.

A Figura 7 exemplifica uma amostra de PLA sendo ensaiada mecanicamente a tração.

Figura 7 - Ensaio mecânico de uma amostra de PLA.



Fonte: Autor (2023)

Enquanto isso, a Figura 8 apresenta uma amostra impressa em NYLON que foi ensaiada e se rompeu quando atingiu a carga máxima suportada por ela.

Figura 8 - Amostra de NYLON rompida a tração.



Fonte: Autor (2023)

Durante todo o ensaio mecânico, foi necessário o uso de máscaras cirúrgicas, uma vez que todas as amostras ainda exalavam um odor forte devido as soluções em que foram mergulhadas.

Foi necessário um período de aproximadamente 8 horas para ensaiar todas as amostras, uma vez que alguns filamentos ficaram elásticos devido as soluções, o que elevou o tempo de tração dos mesmos até a sua ruptura.

2.4. Análise de Variância (ANAVA)

Realizou-se a ANAVA e o teste de *Tukey* com a utilização do software estatístico Sisvar 5.6 desenvolvido por Ferreira (2015), desenvolvido e fornecido pela UFLA, com nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas em parceria com o Departamento de Estatística (DES) da Universidade Federal de Lavras.

2.5. Ensaio de Microscopia

O ensaio de microscopia tinha como objetivo, analisar de maneira mais aproximada como as fibras dos corpos de prova se romperam. Para tal, foi utilizado um microscópio do modelo Optec Sz810 juntamente do software ToupView da marca para o processamento das imagens.

Com o microscópio devidamente configurado foram feitos registros fotográficos das 60 amostras ensaiadas a tração.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira fase dos ensaios trativos, buscou-se desenvolver o comportamento mecânico das amostras *in natura*, que serão considerados os parâmetros de comparação para as fases seguintes. A segunda, terceira e quarta fases irá tratar das amostras submetidas a ataques químicos para soluções de álcool, ácido acético e éter etílico, respectivamente.

Por fim, uma desenvolveu uma análise microscópica levantando considerações acerca dos dados observados.

3.1. Filamentos e Ataques Químicos

Na Tabela 2 tem-se a ANAVA considerando as fontes de variação Filamentos e Ataques Químicos.

Tabela 2 - Análise de variância considerando Filamentos e Ataques Químicos.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA – ANAVA						
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
FILAMENTO	4	5480,555462	1370,138865	508,429	0,0000**	
ATAQUES QUÍMICOS	3	1885,484534	628,494845	233,226	0,0000**	
FILAMENTOS x ATAQUES QUÍMICOS	12	2129,871615	177,489301	65,864	0,0000**	
Erro	40	107,791727	2,694792			
Total Corrigido	59	9603,70338				
CV (%) =		7,72				
Média geral:		21,236153		Número de observações:	60	

Fonte: Autor (2023).

Analisando a coluna $P_c > F_c$ e tendo 95% de confiabilidade, obteve-se através da ANAVA um valor de 0,0000 em $P_c > F_c$, isso significa que a análise apresentou diferenças estatísticas a nível de 1% entre as fontes de variação (FV) analisadas.

Estas fontes de variações, interferiram nas propriedades mecânicas e químicas dos corpos de prova, observou-se que filamentos como o TPU a flexibilidade aumentou bastante, já o PETG não foi observado tanta interferência.

Na Tabela 3, observa-se o comportamento dos filamentos, quanto aos testes de

tração, sem ataques químicos.

Tabela 3 – Teste de Tukey para os filamentos.

Tratamentos	Médias	Resultado do Teste	
TPU	7,115752	a1	
NYLON	16,290739	a2	
ABS	21,348501	a3	
PLA	25,553404		a4
PETG	35,872369		a5

Fonte: Autor (2023).

O PETG foi o filamento de melhor desempenho mecânico, uma vez que apresenta a maior média e também o maior índice (a5) dentro do teste, cuja tensão é de 35,872369 MPa. Enquanto que o TPU apresentou o pior desempenho dentro do teste, com o menor índice (a1) e uma média de 7,115752 MPa.

Fernandes, *et. al.* (2021), compararam as propriedades mecânicas dos copoliésteres PLA e ABS, o teste de tração em corpos de prova revelou que o PLA apresentou uma tensão à tração de 22,44 MPa. Comparando estes valores com os resultados obtidos, observa-se uma diferença no valor médio da tensão à tração. Essa diferença pode ser atribuída a diversas condições, como temperatura, ambiente, máquina utilizada para imprimir os corpos de prova e para o teste mecânico, que podem influenciar no resultado final.

A Tabela 4 apresenta o teste de *Tukey* cuja fonte de variação foi os ataques químicos.

Tabela 4 - Teste de Tukey para as soluções.

Tratamentos	Médias	Resultado do Teste	
Éter Etilico	11,542101	a1	
Ácido Acético	24,161731		a2
Álcool	24,260398		a2
Sem Ataque	24,980382		a2

Fonte: Autor (2023).

O teste de *Tukey* para FV representando os ataques químicos, demonstra que o éter etílico foi a solução de maior influência sobre os filamentos, onde a média se mostrou a mais baixa para as amostras submersas nesta solução, aproximadamente 11,542101 MPa.

Enquanto que para as demais condições, o teste não apresentou uma diferença significativa entre as médias encontradas, ficando próximas de 24 MPa, aproximadamente.

A diferença significativa do éter etílico é devido as suas propriedades químicas, ou seja, é uma substância que afeta diretamente o polímero, seja qual for, devido a presença de ácidos em sua composição. Atenta-se, assim, quanto a elaboração de elementos mecânicos para uso na indústria, se estão suscetíveis a vapores éteres, pois terão o desgaste mais acentuado durante o uso deste elemento mecânico em algum equipamento.

3.2. Desdobramento dos filamentos em relação aos ataques químicos

Na Tabela 5, é apresentado a ANAVA realizada para a condição de desdobramento dos filamentos com relação aos ataques químicos e também a condição sem ataque.

Tabela 5 – ANAVA: Desdobramento dos filamentos.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA – ANAVA						
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
FILAMENTOS /1	4	2154,770528	528,692632	199,901	0,0000**	
FILAMENTOS /2	4	3157,121764	789,282941	292,892	0,0000**	
FILAMENTOS /3	4	65,951384	16,487846	6,118	0,0006**	
FILAMENTOS /4	4	2232,572401	558,14335	207,119	0,0000**	
Erro	40	107,791727	2,694792			

Fonte: Autor (2023).

A codificação da ANAVA para os filamentos é dada como:

- /1 = Ácido acético;
- /2 = Álcool;
- /3 = Éter etílico;
- /4 = Sem ataque.

Analisando a tabela acima, pode-se obter a relação $Pr > Fc$ menores que 0,0010, o que indica a existência de diferenças significativas a nível de 1%. A análise foi realizada considerando-se uma confiabilidade de 95%.

Considerando um DMS de 3,829379 e um desvio padrão de aproximadamente 0,947768, pode-se desenvolver o teste de *Tukey* para a primeira condição de desdobramento sendo o ácido acético, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Teste Tukey para desdobramento com relação ao ácido acético.

Tratamentos	Médias	Resultado do Teste	
TPU	9,038717	a1	
NYLON	18,636867		a2
ABS	21,773617		a2
PLA	25,984480		a3
PETG	45,374972		a4

Fonte: Autor (2023).

O teste de *Tukey* indicou que entre os tratamentos NYLON e ABS não existiram diferenças significativas entre suas respectivas médias. O com PETG apresentou o melhor comportamento mecânicos, com média de 45,374972 MPa e o maior índice (a4).

Observou-se a partir dos resultados que o TPU, na condição de ataque pelo ácido acético foi o material de menor desempenho, cuja média foi de 9,038717 MPa e com o menor índice (a1).

A Tabela 7 apresenta o teste de os resultados encontrados para a condição de desdobramento dos filamentos dentro do álcool.

Tabela 7 - Teste Tukey para desdobramento com relação ao álcool.

Tratamentos	Médias	Resultado do Teste	
TPU	2,289457	a1	
NYLON	15,196857		a2
ABS	26,702890		a3
PLA	32,523547		a4
PETG	44,589240		a5

Fonte: Autor (2023).

Analisando os dados, tem-se o PETG como o material de melhor comportamento, com média de 44,589240 MPa e o maior índice (a5), enquanto que o TPU desempenhou o pior resultado, com média de 2,289457 MPa e o menor índice (a1).

A próxima condição é referente ao desdobramento dos filamentos com relação ao éter etílico, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Teste Tukey para desdobramento com relação ao éter etílico.

Tratamentos	Médias	Resultado do Teste		
TPU	9,117447	a1		
PETG	9,696053	a1	a2	
ABS	11,057780	a1	a2	a3
PLA	13,158920		a2	a3
NYLON	14,680293			a3

Fonte: Autor (2023).

Os resultados apresentados indicam diferenças significativas entre os tratamentos, por exemplo, o TPU apresentou o menor desempenho mecânico, com média de 9,117447 MPa e o menor índice (a1), enquanto que o NYLON apresentou o melhor desempenho, com média de 14,680293 MPa e o maior índice (a3).

O teste apresenta também que entre agrupamentos de dados não existiram diferenças significativas, por exemplo, entre o PETG com média de 9,696053 MPa, o ABS com média de 11,057780 MPa e o PLA com média de 13,158920 MPa não apresentam diferenças significativas entre si, porém apresentam diferenças entre os demais tratamentos.

Na Tabela 9, apresenta-se os desdobramentos dos filamentos com relação a condição de hipótese nula, ou seja, sem que exista a submersão das amostras em uma solução específica.

Tabela 9 - Teste Tukey para desdobramento em condição sem ataque.

Tratamentos	Médias	Resultado do Teste		
TPU	8,017387	a1		
NYLON	16,648940		a2	
ABS	25,859717		a3	
PLA	30,546660		a4	
PETG	43,829210			a5

Fonte: Autor (2023).

Os resultados apresentados acima indicam que, na condição de hipótese nula e considerando uma confiabilidade de 95%, todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas entre si a nível de 1%.

Os resultados permitem concluir que o PETG apresentou o melhor comportamento mecânico a tração, com média de 43,829210 MPa e o maior índice (a5), enquanto que o TPU apresentou o pior desempenho, com média de 8,017387 MPa e o menor índice (a1).

3.3. Desdobramento dos ataques químicos em relação aos filamentos

A Tabela 10 apresenta a ANAVA realizada para o desdobramento: ataques químicos com relação aos filamentos.

Tabela 10 – ANAVA: Desdobramento dos ataques químicos.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA – ANAVA						
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	
ATAQUES QUÍMICOS /1	3	465,300631	155,100210	57,556	0,0000**	
ATAQUES QUÍMICOS /2	3	28,268210	9,422737	3,497	0,0241*	
ATAQUES QUÍMICOS /3	3	2744,382449	914,794150	339,467	0,0000**	
ATAQUES QUÍMICOS /4	3	681,972920	227,324307	84,357	0,0000**	
ATAQUES QUÍMICOS /5	3	92,431939	31,810646	11,804	0,0000**	
Erro	40	107,791727	2,694792			

Fonte: Autor (2023).

A codificação da ANAVA para os ataques químicos é dada como:

- /1 = ABS;
- /2 = NYLON;
- /3 = PETG;
- /4 = PLA;
- /5 = TPU.

Com base nos resultados encontrados, observa-se que a relação $Pr > Fc$ apresentou diferenças significativas a nível de 1% para as condições 1, 3, 4 e 5. Enquanto que para a condição 2, houveram diferenças significativas a nível de 5%.

Considerando-se um DMS de 1,914689 e um desvio padrão de aproximadamente 0,473884, pode-se desenvolver o teste de *Tukey* para a primeira condição de desdobramento sendo o ABS, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Teste Tukey para desdobramento com relação ao ABS.

Tratamentos	Médias	Resultado do Teste
Éter Etfílico	11,057780	a1
Ácido acético	21,773617	a2
Sem ataque	25,859717	a3
Álcool	26,702890	a3

Fonte: Autor (2023).

Os resultados apresentados acima demonstram que o ABS quando submetido as condições listadas foi incapaz de apresenta uma diferença significativa. Nas médias com relação a condição sem ataque (hipótese nula) e quando submerso em álcool, as amostras atingiram médias de 25,859717 MPa e 26,072890 MPa, respectivamente.

Os resultados apontam que o éter se mostrou a solução de maior influência para o filamento devido a média ser a menor dentro do teste, aproximadamente 11,057780 MPa.

A Tabela 12, apresenta os resultados dos desdobramentos das condições de trabalho com relação ao filamento NYLON.

Tabela 12 – Teste Tukey para desdobramento com relação ao NYLON.

Tratamentos	Médias	Resultado do Teste	
Éter Etílico	14,680293	a1	
Álcool	15,196857	a1	a2
Sem ataque	16,648940	a1	a2
Ácido acético	18,636867		a2

Fonte: Autor (2023).

Os resultados apresentam o novamente o éter como a solução de maior influência dentre as utilizadas, resultando em um valor médio das tensões a tração do NYLON de aproximadamente 14,680293 MPa. O ácido acético foi a solução de menor influência, resultando em uma média de 18,636867 MPa.

Comparando-se as condições para o álcool e também para a condição de hipótese nula, não houveram diferenças significativas para as condições analisadas.

Na Tabela 13, apresenta-se os resultados encontrados para os desdobramentos dos ataques químicos com relação ao filamento PETG.

Tabela 13 – Teste Tukey para desdobramento com relação ao PETG.

Tratamentos	Médias	Resultado do Teste	
Éter Etílico	9,696053	a1	
Sem ataque	43,829210		a2
Álcool	44,589240		a2
Ácido acético	45,374953		a2

Fonte: Autor (2023).

Os resultados do teste de *Tukey* demonstram que para as amostras de PETG

submersas em álcool e em ácido acético e para a condição de hipótese nula não apresentaram diferença significativa entre as médias. Isso impossibilita dizer qual dessas condições teve maior influência sobre o filamento.

Entretanto, o éter etílico mostrou ser a solução de maior influência para o material, cuja média foi de aproximadamente 9,696053 MPa e também o menor índice (a1).

A quarta condição de desdobramento é com relação aos ataques químicos dentro do filamento PLA, conforme a Tabela 14.

Tabela 14 – Teste Tukey para desdobramento com relação ao PLA.

Tratamentos	Médias	Resultado do Teste	
Éter Etílico	13,158930	a1	
Ácido acético	25,984480		a2
Sem ataque	30,546660		a3
Álcool	32,523547		a3

Fonte: Autor (2023).

Ao analisar os dados, observa-se que para as condições de submersão em álcool e também para a condição sem ataque não foi possível observar diferenças significativas entre os dados.

Entre as demais condições apresentou-se diferenças significativas que permitem concluir que o éter etílico foi a solução de maior influência com uma média de 13,158930 MPa, seguido do ácido acético com uma média de 30,546660 MPa.

Por fim, tem-se o desdobramento das soluções com relação ao TPU, conforme é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Teste Tukey para desdobramento com relação ao TPU.

Tratamentos	Médias	Resultado do Teste	
Álcool	2,289457	a1	
Sem ataque	8,017387		a2
Ácido acético	9,038717		a2
Éter Etílico	9,117447		a2

Fonte: Autor (2023).

Os resultados explicam que para o TPU a solução de maior influência foi o álcool, cuja média foi de 2,289457 MPa. Enquanto que para as demais soluções não houveram

diferenças significativas entre si, impossibilitando dizer qual foi a condição de maior influência dentre elas.

Observou-se que o éter etílico se mostrou mais agressivo para os filamentos analisados, com exceção das amostras impressas em TPU. De modo geral, esta solução enfraqueceu drasticamente os materiais ao ponto de torna-los mais frágeis do que eram nas demais condições.

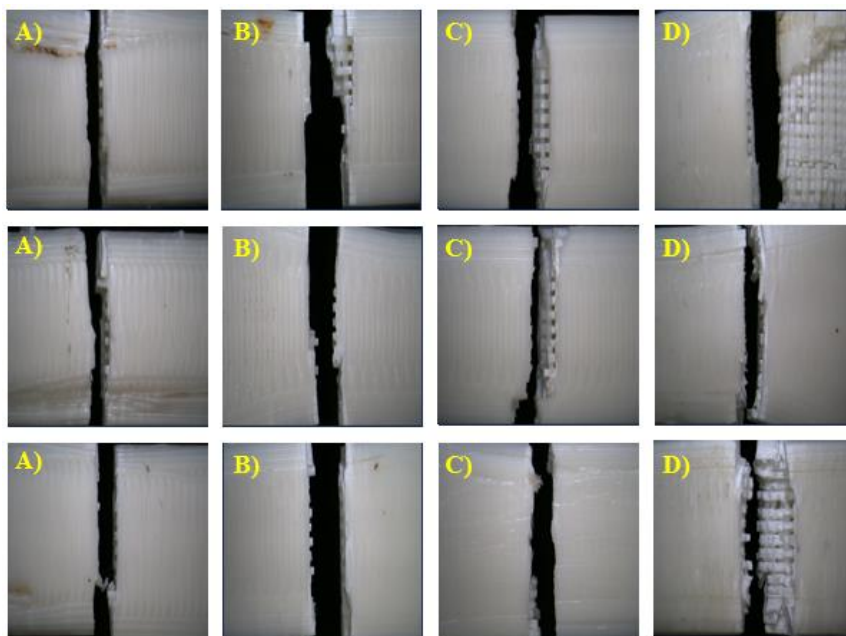
3.4. Do ensaio de microscopia

O ensaio de microscopia tinha como objetivo, visualizar com mais detalhes a região de fratura das amostras em cada uma das situações trabalhadas, sendo:

- A) Amostras tracionadas *in natura*;
- B) Amostras tracionadas após submersão em álcool;
- C) Amostras tracionadas após submersão em ácido acético;
- D) Amostras tracionadas após submersão em éter etílico.

A Figura 9 apresenta o padrão de ruptura de todas as 12 amostras impressas em ABS.

Figura 9 – Ruptura do ABS: A) *In natura*; B) Álcool; C) Ácido acético; D) Éter etílico.



Fonte: Autor (2023).

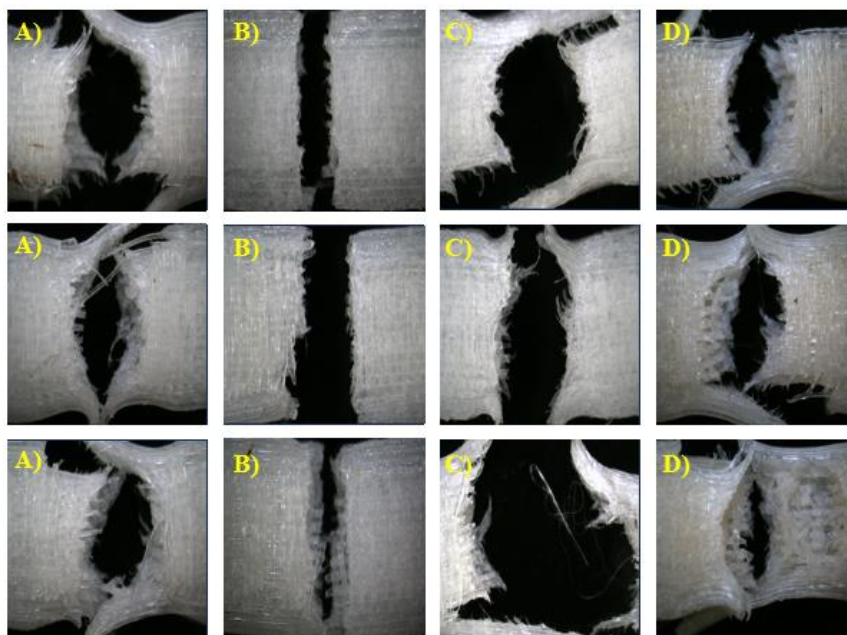
Observa-se na que em todos os casos de ataque químico (B, C e D) quanto *in natura* (A), a região de fratura do material apresentou um padrão de corte “limpo”. Este padrão pode ter ocorrido devido a interação entre o material do filamento e as soluções não serem tão

intensas ao ponto de afetar visualmente a macroestrutura das amostras.

JARDIM, Ana P. N. (2020) em seu estudo encontrou padrões de fratura similares aos encontrados neste trabalho. Padrões de preenchimento em malha apresentam ruptura frágeis transversalmente no material, tal comportamento de ruptura era previsto dada a rigidez as amostras.

Na Figura 10, observa-se a região de fratura das amostras impressas em Nylon.

Figura 10 - Ruptura do NYLON: A) *In natura*; B) Álcool; C) Ácido acético; D) Éter etílico.



Fonte: Autor (2023).

A imagem mostra uma característica do Nylon, sua grande fibrosidade. O material tende a ter uma grande deformação devido a sua flexibilidade antes da ruptura, tal deformação “descolou” as fibras resultando nas imagens acima. Tanto para as amostras *in natura* (A) quanto para as amostras atacadas quimicamente pelas soluções C e D o padrão de rompimento e a fibrosidade do material aparentam ser o mesmo.

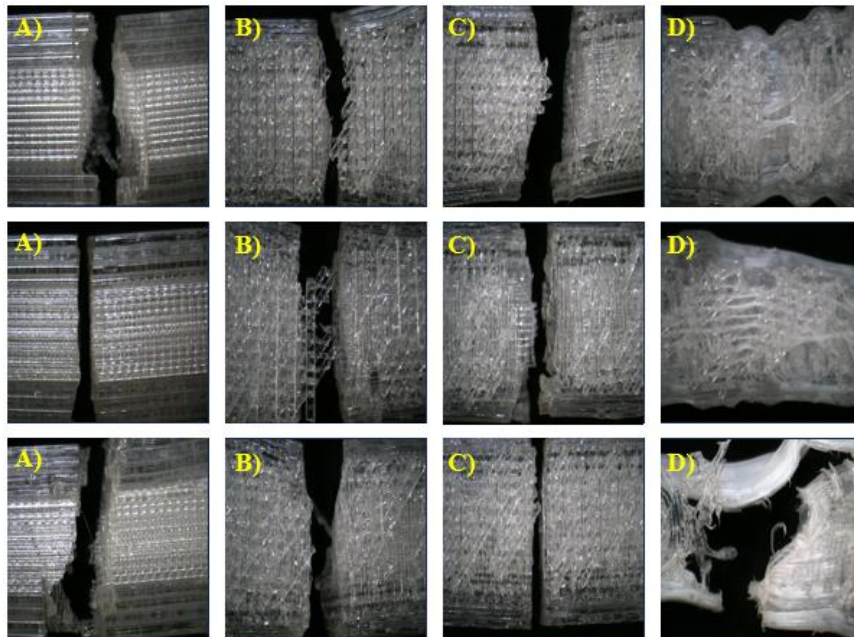
Enquanto que para as amostras submersas em álcool, o comportamento visto na imagem acima, pode ser resultado da interação entre a solução e o material, resultando em um enfraquecimento das fibras, ocasionando uma fratura frágil nas amostras.

Martins, *et. al.* (2018), concluem que nos ensaios de tração foram observados uma padronização no que diz respeito aos resultados do ABS, obtendo valores próximos das propriedades mecânicas entre os corpos de prova. Porém observou-se que nesses ensaios os

valores de Limite de Resistência à Tração do Nylon 6 deram valores superiores, assim como a Deformação Total.

A Figura 11 apresenta a o padrão de ruptura das amostras impressas em PETG.

Figura 11 - Ruptura do PETG: A) *In natura*; B) Álcool; C) Ácido acético; D) Éter etílico.



Fonte: Autor (2023).

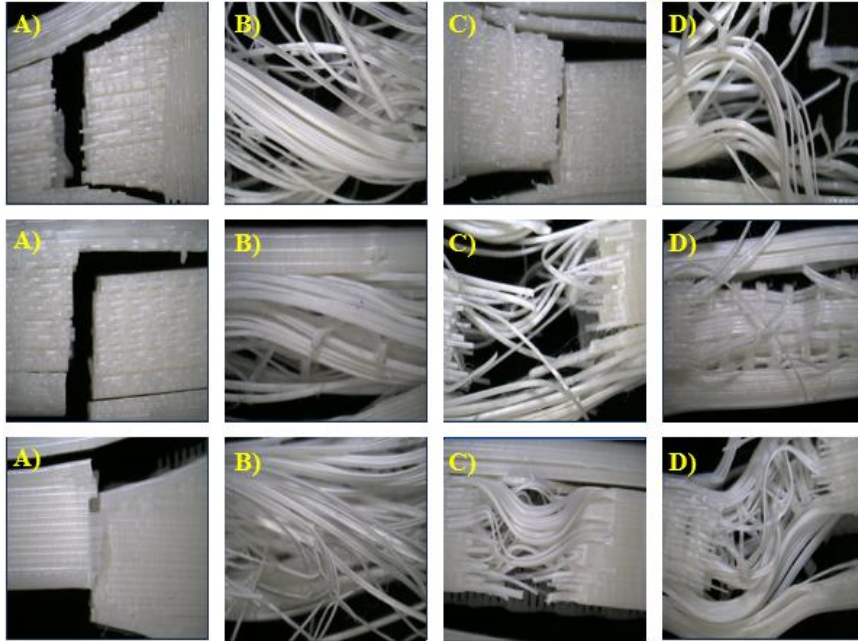
Observa-se que nas amostras *in natura* (A) e para aquelas submetidas a ataques por álcool (B) e ácido acético (C), o padrão de quebra das fibras foi similar, especialmente entre B e C. Isso resulta da incapacidade dessas soluções em deformar macroscopicamente as fibras do material.

Para as amostras atacadas pelo éter etílico (D), observa-se a interação entre a solução e o material. Mostrando a agressividade da solução e potencial solvente que a mesma apresenta sobre o material. No ensaio a tração do PETG, as amostras submersas em éter foram as que apresentaram quedas significativas nas propriedades mecânicas do material.

Santana, *et. al.* (2018) comparam as propriedades dos polímeros PLA e PETG quando submetidos a esforços mecânicos a tração, resultando em fraturas frágeis. Onde, para o PLA a fratura ocorreu a um ângulo de aproximadamente 45° e para o PETG, ocorreu a fratura de maneira transversal ao comprimento do material.

Na Figura 12, observa-se o padrão de ruptura para cada um dos CP's impressos em PLA.

Figura 12 - Ruptura do PLA: A) *In natura*; B) Álcool; C) Ácido acético; D) Éter etílico.



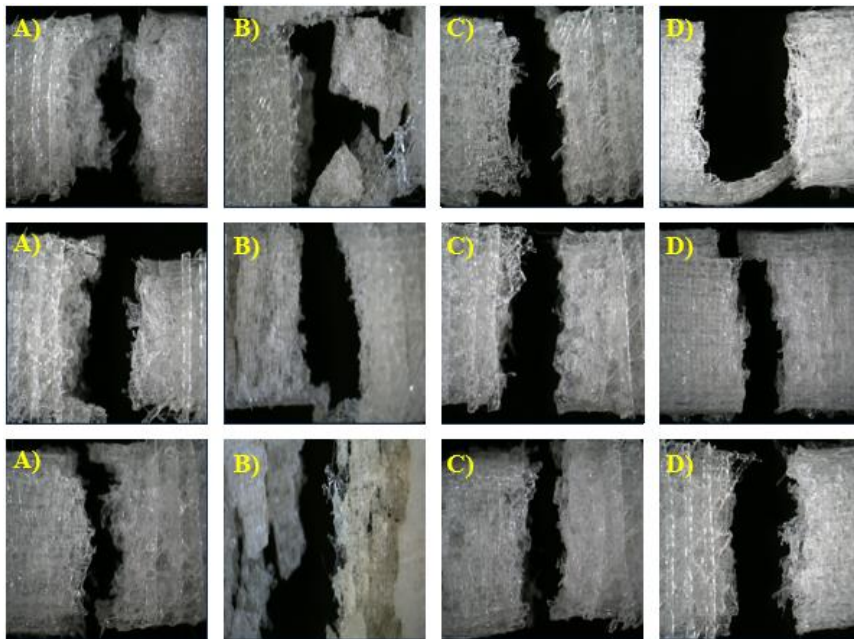
Fonte: Autor (2023).

Para as amostras *in natura* (A), observa-se um padrão de fratura já visto anteriormente, a fratura frágil do material, comportamento esperado devido a rigidez do material.

Para as amostras atacadas quimicamente pelo álcool (B), ácido acético (C) e éter etílico (D) observa-se um fenômeno de “espaguetificação” das amostras, demonstrando-se a interação entre material e as soluções.

Na Figura 13, observa-se o padrão de fratura das amostras impressas utilizando o filamento flexível TPU.

Figura 13 - Ruptura do TPU: A) *In natura*; B) Álcool; C) Ácido acético; D) Éter etílico.



Fonte: Autor (2023).

Observa-se que tanto para as amostras *in natura* (A) quanto para as amostras submersas em álcool (B), ácido acético (C) e éter etílico (D) o filamento aparenta um padrão de fratura similar. Durante os ensaios trativos, o material apresentou uma grande deformação antes da fratura, resultando no padrão observado na imagem acima.

4. CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados obtidos nos ensaios de tração é possível concluir que todos os filamentos, mesmo que minimamente, interagiram com as soluções. Os resultados demonstram que as amostras que interagiram com o éter etílico foram as que mais sofreram influência em suas propriedades mecânicas. Demonstrando que o éter foi um solvente mais eficaz do que as demais soluções utilizadas.

Os dados apontam que, para as condições de trabalho apresentadas, o filamento com melhor performance e melhores propriedades mecânicas foi o PETG, seguido do PLA, ABS, NYLON e TPU. Observa-se nos resultados que o PETG desempenhou melhor do que os demais filamentos, cuja média geral foi de aproximadamente 35,872369 MPa. Em contrapartida, o TPU desempenhou as piores médias, com uma média de resistência a tração geral de aproximadamente 7,115752 MPa.

Analisando-se as soluções, o éter etílico mostrou-se a solução de maior influência

sobre os materiais estudado, onde a média foi de aproximadamente 11,542101 MPa. Para as demais condições, os resultados dos respectivos testes não possibilitaram dizer qual teve a maior influência, uma vez que as médias não apresentaram diferenças significativas entre si. De um modo geral, para as demais condições, suas médias foram de aproximadamente 24 MPa para todas.

Conclui-se que o PETG possibilita maiores aplicações na indústria, tanto para as condições de hipótese nula quanto para condições em meios agressivos. Deve-se tomar cuidado com o meio ao qual o material será trabalhado, visto que o PETG, apesar dos resultados superiores, mostrou-se impotente quando submerso em éter etílico. De um modo geral, os resultados apresentados foram satisfatórios e abrem possibilidades para o desenvolver de novos estudos com diferentes materiais, diferentes soluções e diferentes formas de ataque que não apenas a submersão dos corpos de prova, mas também o ataque das amostras por gases.

5. TRABALHOS FUTUROS

- I. Realização de novos estudos aumentando as concentrações das soluções estudadas.
- II. Adição de novas soluções de trabalho, visando diversificar o campo de estudo, além da utilização da água (H₂O) como uma solução de trabalho.
- III. Alteração do padrão de impressão (Honeycomb, Triangular, Grid, Retilinear, dentre outros) e da densidade de preenchimento (25%, 50% e 100%) dos corpos de prova.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM D638 - 14: **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**. 2014.

BOLELLI, Raquel Meirelles; LEBRÃO, Guilherme Wolf. **Avaliação das propriedades de material produzido por FDM em impressora 3D**. In: 19º Congresso Nacional de Iniciação Científica. São Paulo. 2019.

ISO 527-1: Plastics — **Determination of tensile properties — Part 1: General principles.** 2012.

ISO 527-2: Plastics — **Determination of tensile properties — Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics.** 2012.

JARDIM, Ana Paula Nascimento. **Efeito do padrão de preenchimento em impressão 3D nos resultados de resistência à tração do polímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS).** 2020.

LOPES, A. A. **Produção e Caracterização de Filmes de Poli (ácido lático) e Lignina para Embalagens de Alimentos.** Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

MARTINS, Samuel de Oliveira et al. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas de polímeros de impressão 3D e de plásticos de engenharia utilizados em indústrias.** 2018.

SANTANA, Leonardo et al. **Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica.** *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 23, p. e12267, 2018.

VOLPATO, N. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D.** Edição 1, Blucher, 2017.

VOLPATO, Neri (org.). **PROTOTIPAGEM RÁPIDA: Tecnologias e Aplicações.** São Paulo: Blucher, 2007.