

IMPRESSÃO 3D DE BAIXO CUSTO: COMPARAÇÃO DE ASPECTOS MECÂNICOS ENTRE PLA E ABS.

Adeilton Fernandes, adeiltonfernandes7@gmail.com
Diego Garrido Vaz dos Santos, diegogarridosantos@hotmail.com
Nicolas Pereira de Jesus, nicolaspereira@yahoo.com
Victor de Oliveira Marçal, victor.marcal99@outlook.com

FIEL Faculdades Integradas Einstein de Limeira, rua: Raul Machado, nº 134 – Bairro: Vila Queiroz, Limeira – São Paulo
– CEP: 13485-023
contato@einsteinlimeira.com.br, coord.mecanica@einstein-net.com.br

Resumo: No século atual, grande parte da produção nas indústrias de grande porte são automatizadas devido aos avanços tecnológicos, entre esses avanços se encontra o método de Fused Deposition Modeling, habitualmente chamado de impressão 3D. Atualmente esta tecnologia se encontra acessível a comunidade em geral, isso se deve a uma onda de projetos de hardware livre, como por exemplo o RepRap iniciado em 2004, apesar de este movimento ser em uma escala global existem uma enorme carência de pesquisas e dados confiáveis. Dentro deste contexto trazemos um estudo analítico através de ensaios mecânicos, focados na resistência de dois dos materiais mais utilizados neste processo: o PLA (Ácido Polilático) e ABS (Copolímero de Acrilonitrila, Butadieno e Estireno) e subsequente comparativo de resultados entre suas características mecânicas com o objetivo de trazer para a comunidade dados práticos adquiridos com rigor científico. Após a análise dos resultados obtidos com os ensaios de tração verificou-se que quando tais materiais são impressos em uma impressora 3D com os parâmetros utilizados neste artigo o ABS tem um limite de resistência aproximadamente 29% maior do que o PLA.

Palavras-Chave: Prototipagem rápida. Impressão 3D. Ensaios mecânicos.

Abstract. In the current century, much of the production in large industries is automated due to technological advances, among these advances is the Method of Fused Deposition Modeling, usually called 3D printing. Currently this technology is accessible to the community in general, this was possible due to the advance of open hardware projects, such as RepRap started in 2004, although this movement is on a global scale there is a huge lack of research and reliable data. Within this context we bring an analytical study based on mechanical tests, focused on the resistance of two of the most used materials in this process: PLA (Polylactic Acid) and ABS (Copolymer of Acrylonitrile, Butadiene and Styrene) and subsequent comparison of results between its mechanical characteristics with the objective of bringing to the community practical data acquired with scientific rigor. After analyzing the results obtained with the tensile tests, it was found that when such materials are printed on a 3D printer with the parameters used in this article, ABS has a strength limit approximately 29% higher than PLA.

Keywords: Rapid prototyping. 3D printing, Mechanical tests.

1. INTRODUÇÃO

O conceito da impressão 3D ou Fused Deposition Modeling, a famosa “prototipagem rápida”, imagina-se que é uma tecnologia criada na última década devido sua alta performance e algo que só pode ser comparado após a terceira etapa da revolução industrial, mas não, o conceito de manufatura aditiva (3D), surgiu desde 1984 pelo engenheiro norte-americano Chuck Hull, onde na época o mesmo desenvolveu a estereolitografia, máquina elaborada com o intuito de acelerar prazos e reduzir custos (Raulino, 2011).

Esta surgiu com o princípio de poder se obter peças por meio da manufatura aditiva, algo que se resume em alcançar algum tipo de modelo com geometria nas três dimensões, através de um desenho moldado e repassado ao sistema inicialmente, que logo em seguida passa pelo processo de impressão em camadas sucessivas até o desejado (Kelly, 2014).

O fato do conceito da impressão 3D ter sido criado por Chuck Hull foi basicamente para atender com maior agilidade e precisão, demandas de engenharias, impostas a ele naquela época. Com o passar dos anos, vieram o aumento da demanda por produtos sob medida e de fabricações personalizadas em todos os tipos de segmentos e junto a isso, se identifica uma grande resposta por parte da “manufatura aditiva”, onde novos processos foram criados e técnicas desenvolvidas e aperfeiçoadas para qualquer tipo de produção (Chua, 2010).

Como prova disso, basta uma empresa necessitar de um alto nível de desenvolvimento ou de um processo otimizado que no qual visa redução de custos, que elas já partem para esse conceito de manufatura aditiva (3D) desde que seja viável ao seu processo, pois é uma das poucas tecnologias que pode trazer resultados de alta performance em curto prazo, sendo assim, já é comum vê-la nas indústrias do segmento aeroespacial, automobilístico, bioengenharia (medicina e odontologia), produtos elétricos e eletrônicos, setores de joalheria, construção civil etc. (Volpato, 2018).

Estimasse que a diminuição de tempo e custo desse tipo de fabricação seja entre 70 a 90 %, números extremamente significativos, comparados aos custos provenientes da usinagem de materiais, mesmo os métodos de remoção de material sendo muito eficazes. O método de impressão 3D vem se destacando pela facilidade de se adquirir a mesma.

No início essa tecnologia era restrita a grande companhias e organizações devido seu valor proibitivo, felizmente na atualidade podemos encontrar impressoras 3D de valores acessíveis isso graças a um movimento global chamado de Hardware Livre que são projetos de placas ou aparelhos eletrônicos onde toda a informação é livre para ser acessada, distribuída e alterada, existe inúmero projetos que seguem a mesma linha como o Mozilla Firefox dentre outros, especificamente na impressão 3D existe o projeto RepRap iniciado em 2004 na Inglaterra na Universidade de Bath que consiste na construção de uma impressora 3D de baixo custo, hoje tal projeto é conhecido mundialmente e sem dúvida foi um dos responsáveis peça expansão desta tecnologia mundo afora, existem hoje inúmeras impressoras que foram construídas com base no material desta iniciativa.

A redução de custos nos últimos anos o possibilitou muitas pessoas a utilizar essa tecnologia tanto para fins de divertimento, didáticos e profissionais, mas como se trata de uma tecnologia que ganhou o mercado geral recentemente existe um gap muito grande de pesquisas, informação e dados no tocante a características mecânicas das peças que tais máquinas conseguem produzir e essa necessidade é um dos pilares que sustenta a motivação para a execução deste trabalho, além de nosso desejo de contribuir com o crescimento da iniciativa Hardware Livre.

2.METODOLOGIA

A metodologia foi realizada através de um estudo técnico sobre dois tipos de materiais (PLA e ABS), no qual foi utilizado das normas impostas pela ASTM, após a formulação do processo, foi realizado o experimento por meio das impressões dos Corpos de Provas e do Ensaio de Tração, visando assim, encontrar as características físicas e identificar qual o melhor material para cada tipo de processo.



Figura 1: Fluxograma de processo realizado para o desenvolvimento do artigo científico, (Autor)

Visando imprimir corpos de provas dos materiais ABS e PLA utilizando as normas impostas pelo padrão ASTM D638-14, que no qual se refere a materiais plásticos de espessuras menores ou igual à 7 mm, o método experimental, foi inicialmente trabalhado em uma sala com uma temperatura ambiente de 36° C, utilizando como equipamento, uma impressora 3D, modelo Ender 3, com um fatiador Ultimaker Cura 4.4.1, (ASTM, 2014).

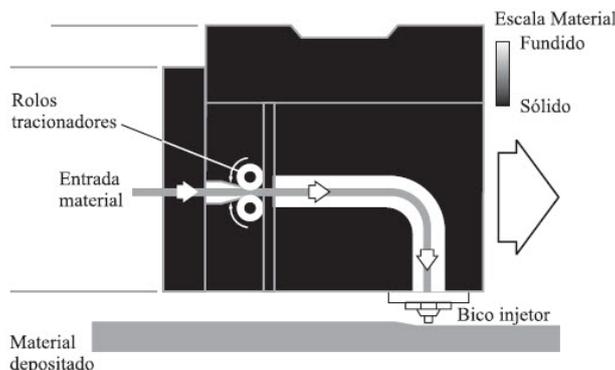


Figura 2: Cabeçote extrusor de filetes, (Ahrens C. H.; Salmoria, 2004)

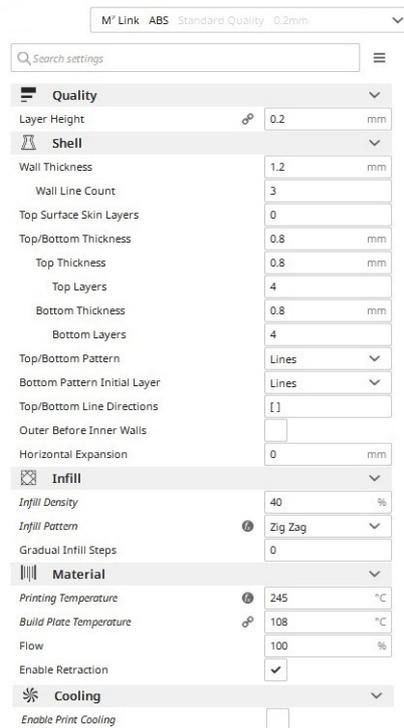


Figura 3: Parâmetros de set-up utilizados para impressão do material ABS, (Autor)

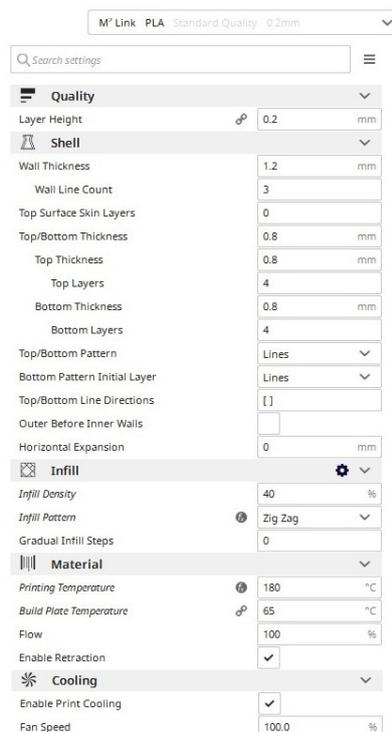
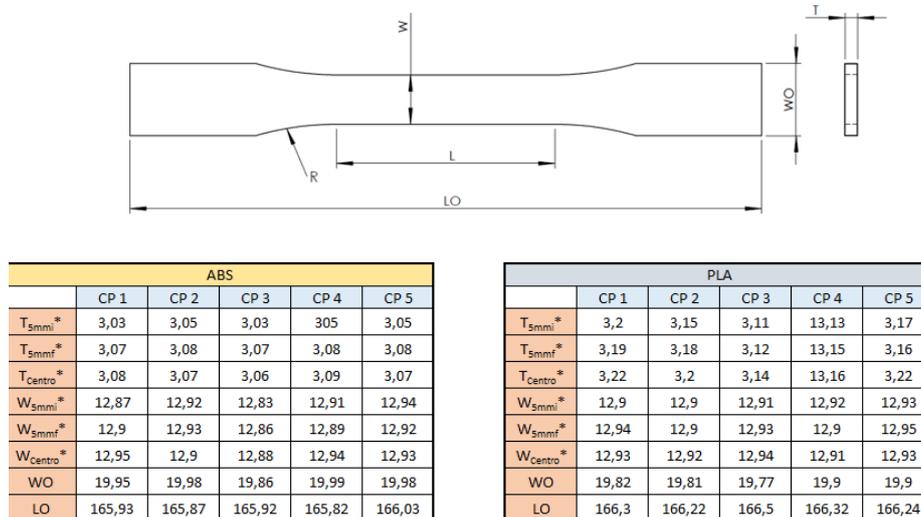


Figura 4: Parâmetros de set-up utilizados para impressão do material PLA, (Autor)

Como existem diversos ensaios mecânicos para todos os tipos de materiais, a ASTM (American Society for testing and Materials), se trata de um órgão internacional que foi fundado justamente para ser responsável em desenvolver e estabelecer normas para vários tipos de produtos, sistemas e serviços para que sejam executados de uma forma padronizada e correta (Tubonasa, 2019).

Os materiais estudados ABS e PLA são de materiais isotrópicos (materiais de propriedades mecânicas semelhantes em todas as suas direções), sendo assim, a quantidade mínima de corpos de provas estabelecido para realização dos ensaios, refere-se à 5 unidades por material. Caso os materiais fossem não isotrópicos, a quantidade mínima exigida seria de 10 peças (ASTM, 2014).



*Segundo a norma ASTM D638-14 na parte 10.1.1, a largura e espessura devem ser medidas em 3 pontos: No centro (T/W_{centro}) e dentro de 5mm de cada ponta do *gage length* (Na tabela estas dimensões são as que tem 5mmi e 5mmf subscritos)

Figura 5: Medidas desenvolvidas conforme ASTM para impressão de corpos de provas em ABS e PLA, (Autor)

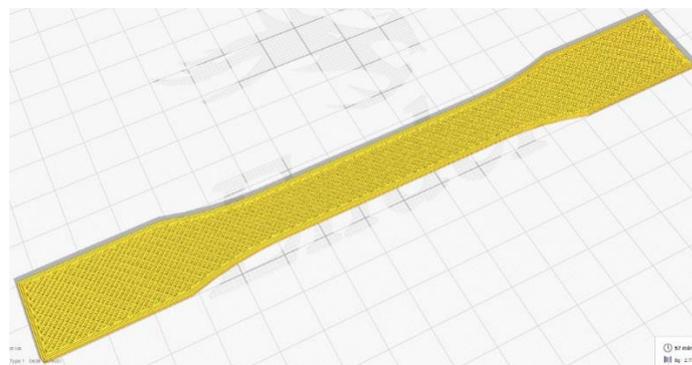


Figura 6: Corpo de prova ao ser programado antes da impressão, (Autor)

2.1. Realização do ensaio mecânico de tração

O ensaio de tração é realizado visando encontrar dados fundamentais, tais como: resistência à tração, deformação na ruptura, módulo de elasticidade, módulo secante, alongamento no escoamento e ruptura, determinando assim, as propriedades mecânicas do material utilizado em teste (Dowling, 1999).

Em processo de ensaio, os resultados gerados pelo maquinário são dados pontuais de tensão e deformação do corpo de prova, que no qual, permite a partir desses dois dados encontrar qual o tipo de fratura que o material está apresentando, ou seja, mostrando se o mesmo é dúctil ou frágil. (Leandro, 2019)

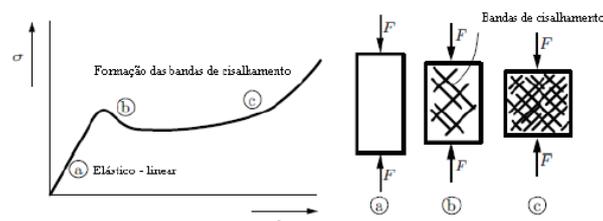


Figura 7: Representação de deformação em um termoplástico amorfo submetido à carga, (Roesler, et al., 2007, p278)

Após a finalização das impressões dos materiais, foi dado início ao teste de tração de acordo com os procedimentos determinados pela norma ASTM D638-14 em uma máquina, modelo EMIC DL 2000, utilizando o programa Tesc versão 1.10.



Figura 8: Equipamento utilizado para realização dos ensaios de tração, (Autor)

Nos tópicos abaixo, será abordado o passo a passo dos ensaios realizados.

- ✓ Realizado a medição da espessura e largura de cada corpo de prova em ao menos 3 pontos;
- ✓ Verificado se estavam isentos de falhas, arranhões ou imperfeições;
- ✓ Posicionado o corpo de prova no centro das garras, fazendo com que o mesmo ficasse alinhado ao sentido da tração;
- ✓ Posicionado o extensômetro e determinando o curso de elasticidade do material;
- ✓ Ajustado a velocidade do ensaio para 5 mm/min, a tal modo que a ruptura do material ocorresse entre um intervalo de 0,5 e 5 minutos;
- ✓ Iniciado tração e registrar os dados obtidos.

2.2. Fórmulas

Equação: Limite de Resistência

$$LR = F_{m\acute{a}x}/S_o \quad (01)$$

LR = Limite de Resistência, dado em Pa (Pascal)

$F_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima aplicada no material é adotada como unidade de medida N (Newton)

S_o = Área da seção inicial do corpo de prova, dado em m^2 (metros quadrados)

3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi analisado o comportamento dos materiais ABS e PLA através de ensaios de tração utilizando corpos de prova impressos em uma impressora 3D, no qual será evidenciado uma base matemática para ambos os materiais.

Ressaltamos que a tração aplicada durante o ensaio foi paralela em relação as camadas de impressão, caso tal força seja aplicada perpendicularmente a tensão máxima encontrada poderá ter uma variação em relação aos dados descritos neste trabalho.

Na figura 9 se encontra os resultados dos ensaios de tração, no cabeçalho está descrito a máquina e o programa utilizado, logo abaixo temos uma listagem com os corpos de provas enumerados e os seus respectivos valores de força máxima encontrados e por fim o gráfico representando os valores.

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL2000** Célula: **Trd 26** Extensômetro: - Data: **08/12/2020** Hora: **09:35:37**
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **Tração - Polímero**
 Material: **Copolímero de Acrilonitrila, Butadieno e Estireno - ABS**

Corpo de Prova	Largura Inicial (mm)	Espessura Inicial (mm)	Força Máxima (N)
CP 1	13,00	3,00	476,44
CP 2	13,00	3,00	950,84
CP 3	13,00	3,00	908,89
CP 4	13,00	3,00	868,96
CP 5	13,00	3,00	578,63
Número CPs	5	5	5
Média	13,00	3,000	756,8

Máquina: **Emic DL2000** Célula: **Trd 26** Extensômetro: - Data: **08/12/2020** Hora: **10:01:23**
 Programa: **Tesc versão 1.10** Método de Ensaio: **Tração - Polímero**
 Material: **Poliácido Lático - PLA**

Corpo de Prova	Largura Inicial (mm)	Espessura Inicial (mm)	Força Máxima (N)
CP 1	13,00	3,00	717,36
CP 2	13,00	3,00	730,22
CP 3	13,00	3,00	530,58
Número CPs	3	3	3
Média	13,00	3,000	659,4

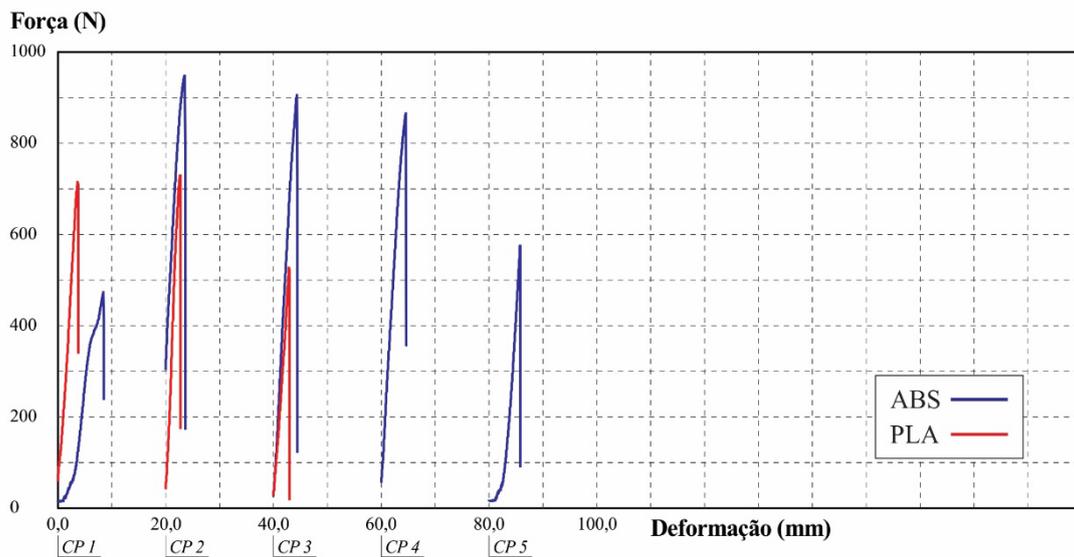


Figura 9: Resultados obtidos dos ensaios realizados utilizando os corpos de provas em ABS e PLA (Autor)

A figura 10 mostra os resultados dos cálculos de tensão máxima que cada corpo de prova suportou antes de seu rompimento, para calcular a tensão máxima média foi descartado os valores que apresentaram maior diferença entre os demais a fim de conseguirmos a melhor aproximação, tais cálculos foram realizados em duas unidades de tensão: Pascal, unidade padrão do SI e kgf/mm², para facilitar comparações e o uso prático destes dados.

ABS - Unidades SI				
	Força Máx [N]	Área [m ²]	Tensão Máxima [Pa]	Tensão Máxima Média [Pa]
CP1	476,44	4,16E-05	1,15E+07	2,24E+07
CP2	950,84		2,29E+07	
CP3	908,89		2,38E+07	
CP4	868,96		2,09E+07	
CP5	578,63		1,39E+07	

PLA - Unidades SI				
	Força Máx [N]	Área [m ²]	Tensão Máxima [Pa]	Tensão Máxima Média [Pa]
CP1	717,36	0,0000416	1,72E+07	1,74E+07
CP2	730,22		1,76E+07	
CP3	530,58		1,28E+07	

ABS - Unidades Alternativas				
	Força Máx [Kgf]	Área [mm ²]	Tensão Máxima [Kgf/mm ²]	Tensão Máxima Média [Kgf/mm ²]
CP1	48,58	416	1,17	2,28
CP2	96,96		2,33	
CP3	92,68		2,23	
CP4	88,61		2,13	
CP5	59,00		1,42	

PLA - Unidades Alternativas				
	Força Máx [Kgf]	Área [mm ²]	Tensão Máxima [Kgf/mm ²]	Tensão Máxima Média [Kgf/mm ²]
CP1	73,15	416	1,78	1,77
CP2	74,461		1,79	
CP3	54,104		1,30	

Figura 10: Cálculos efetuados para os materiais PLA e ABS, (Autor)

4.CONCLUSÃO

Neste trabalho buscamos trazer e comparar informações obtidas por meios confiáveis sobre PLA e ABS, quando utilizados no contexto de impressão 3D, que sejam uma base sólida para ser usada em futuras pesquisas ou ainda utilizada de forma prática para projetos que utilizem peças feitas por impressora 3D de baixo custo. É importante citar que neste processo existem muitas variáveis que podem interferir nas características mecânicas finais das peças produzidas, como temperatura de impressão e do ambiente caso a impressora não seja fechada, a qualidade do material utilizado, a velocidade de impressão, entre muitas outras questões, porém a mais importante e que tem um impacto direto na tensão máxima é a porcentagem de preenchimento da peça, onde utilizamos uma peça com preenchimento de 40%.

Para se obter os resultados aqui descritos é mandatório que seja utilizado os mesmos parâmetros de impressão descritos neste trabalho. Analisando os resultados obtidos por meio do ensaio de tração, verificou-se que a tensão máxima média suportada pelo corpo de prova de PLA foi 1,77 Kgf/mm² ou 1,74x10⁷Pa, enquanto o de ABS suportou 2,28 Kgf/mm² ou 2,24x10⁷ Pa. Com base nesses dados é possível afirmar que o ABS apresenta um limite de resistência aproximadamente 29% maior do que o PLA quando utilizados os parâmetros presentes neste artigo. Os dados e conclusões supracitados podem ser utilizados como ponto de partida para investigações mais profundas. A impressão 3D de baixo custo embora esteja em expansão é carente de informações técnicas de qualidade o que abre um largo campo para pesquisas relacionadas, tomamos o cuidado para conseguir dados que possam ser facilmente utilizados de forma prática por qualquer pessoa que possua uma impressora 3D e deseje confeccionar peças utilizadas para fins mecânicos, portanto com base no que foi percorrido até aqui concluímos que o nosso objetivo inicial foi atingido.

5.AGRADECIMENTOS

Agradecemos as Faculdades Integradas Einstein de Ensino por investir na criação de um ambiente propício para pesquisas e fomentar a produção de artigos científicos, ao coordenador de nosso curso Bianco Gallazzi pelo inestimável apoio durante a produção deste trabalho, a Universidade Metodista de Piracicaba por ter cedido o laboratório para realização dos ensaios, ao Prof^o MSc Eric Ferreira por nos motivar e ter compartilhado seu extenso conhecimento conosco, a BGL - Bertoloto&Grotta Ltda. e em especial os colaboradores Ferruccio Fontana (Técnico de Fundação), Antônio de Souza Santos (Gerente de Fundação) por terem partilhado de seu expertise sobre ensaios de tração, a M² Link pela modelagem e impressão dos corpos de prova e ao Prof^o MSc Adeilton Fernandes por acreditar em nossa capacidade e trabalhar junto conosco nessa empreitada.

6.REFERENCIAS

- Abreu, S.A.C. Impressão 3D baixo custo versus impressão em equipamentos de elevado custo. Porto, 2015.
- Ahrens C. H.;Salmoria, G. V. . P. A. T. N. F. J. A. . Moldes de abs construídos pelo processo de modelagem por fusão e deposição para injeção de pp e pebd. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 14, n. 5, p. 349–353, dec 2004.
- Askland, D.R. - The Science and Engineering of Materials - Solution manual, Chapman & Hall, 1996. 400p
- ASTM: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics – ASTM D638 -14
- ASTM D638. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics D638. [S.l.], 2014.
- Dowling, Norman E. Mechanical behavior of materials: engineering methods for deformation, fracture, and fatigue. 2 ed., New Jersey: 1999.
- Hailing He, Yuezhao Pang, Zhiwei Duan, Na Luo and Zhenqing Wang, The Sthegthening and Toughening of Biodegradable Poly (Lactic Acid) Using the SiO₂-PBA Core–Shell Nanoparticle.

- Leandro, A. R. (2019). Análise de tenacidade à fratura em ABS por impressão 3D. UnB - Universidade de Brasília, 41.
- Luz, Gelson. Limite de resistência a tração. Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/12/limite-de-resistencia-tracao.html>. Acesso em: 8 de dezembro de 2020.
- Martinez,A. C. P., Souza, D. L. de, Santos,D. M. dos, Pedroti, L. G., Carlo, J. C., & Martins, M. A. D. (2019). Avaliação do comportamento mecânico dos polímeros ABS e PLA em impressão 3D visando simulação de desempenho estrutural. *Gestão&Tecnologia De Projetos*, 14(1), 125-141.
- Raulino B. R. Manufatura Aditiva: Desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (Modelagem por fusão e deposição), Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Universidade de Brasília, Brasília, 2011
- Roesler, Joachim. Harders, Harald.Baeker, Martin. Mechanical behaviour of engineering materials: metals, ceramics, polymers and composites. Berlin: Springer Science + Business Media, 2007.
- Shady Farah a,b,c , Daniel G. Anderson a,b,c,d,e , Robert Langer a,b,c,d,e, Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review.
- Tubonasa (agosto de 2019). Acesso em 10 de dezembro de 2020, disponível em Tubonasa: <https://tubonasa.com.br/noticias/o-que-e-astm>.
- Kelly, J. F. D Printing: Build Your Own 3D Printed and Print Your Own 3D Objects. Indianópolis, 2014.
- Volpato, Neri. Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo, Blucher, 2017.
- William D. Callister, Jr. Ciência e Engenharia de Materiais