

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PEÇAS DE ABS OBTIDAS UTILIZANDO UMA IMPRESSORA 3D REPRAP

André Luiz Alves Guimarães, andrelu78@hotmail.com¹

Luiz Antonio Vasques Hellmeister, hellmeister@faac.unesp.br¹

¹Universidade Estadual Paulista, campus de Bauru, Av. Eng. Luís Edmundo Carrijo Coube, 14-01 - Vargem Limpa, Bauru - SP, 17033-360

Resumo: Manufatura aditiva deixou de ser um processo de prototipagem de grandes empresas e está se tornando cada vez mais popular nas casas das pessoas, principalmente o método de FDM, ou impressão 3D. Com esse crescimento, é importante conhecer quais os principais parâmetros e suas influências no processo, para otimizar as propriedades mecânicas e o gasto de material. Esse artigo apresenta um estudo sobre a influência dos parâmetros usuais de impressão 3D, utilizando softwares de CAM gratuitos e impressora 3D construída por aluno do tipo RepRap. Corpos de provas foram produzidos seguindo a norma ASTM 638-02a variando a temperatura de extrusão, tipo de preenchimento, velocidade de preenchimento, porcentagem de preenchimento e altura da camada. Os corpos de prova foram submetidos a ensaio de tração em uma máquina EMIC. Os resultados são analisados e as relações entre os parâmetros são discutidos em função do resultado das propriedades mecânicas de cada série de corpo de prova, mostrando quais possuem efeito positivo ou negativo nas propriedades mecânicas de limite de escoamento, tensão de ruptura e módulo de elasticidade.

Palavras-chave: ABS, Propriedades Mecânicas, Manufatura Aditiva, FDM, Impressão 3D

1. INTRODUÇÃO

A partir do século XIX a utilização de polímeros se tornou difundida pela descoberta do processo de vulcanização feita por Charles Goodyear, concedendo à borracha natural características que hoje achamos tão comuns nos polímeros, como a elasticidade e durabilidade. Baekeland no começo do século XX produziu o primeiro polímero sintético. E finalmente na década de 20, Hermann Staudinger propôs a teoria da macromolécula, fundamentando a ciência dos polímeros. Mais de 90 anos depois, os polímeros são uma das classes de materiais mais utilizada no mundo, estando presente em uma variedade de produtos, desde a indústria de automóveis até vestuário, entre muitos outros. Apenas nos Estados Unidos da América em 2002 foram consumidas 43000 toneladas de plástico (CANEVAROLO JR, 2006)

Os polímeros são utilizados em recipientes para alimentos, bebidas, brinquedos, peças automotivas, tecidos sintéticos de roupas entre muitos outros usos. Alguns exemplos mais conhecidos são o Nylon, utilizados em fibras, poliéster em embalagens e roupas, poliestireno em embalagens, utensílios domésticos e isolantes térmicos, PVC em tubulações e o acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), um termo polímero de engenharia, muito utilizado em partes automotivas e carcaças de diversos eletrodomésticos.



Figura 2 – Objetos comuns que utilizam polímeros como matéria prima. Fonte: Wikipédia

Materiais poliméricos podem ser frágeis, dúcteis ou elásticos, dependendo do modo de deformação. Materiais frágeis possuem fratura enquanto se deforma elasticamente, sem deformação plástica, materiais dúcteis se deformam elasticamente e depois plasticamente antes de romperem, já materiais elásticos possuem grandes deformações elásticas com baixa tensão.

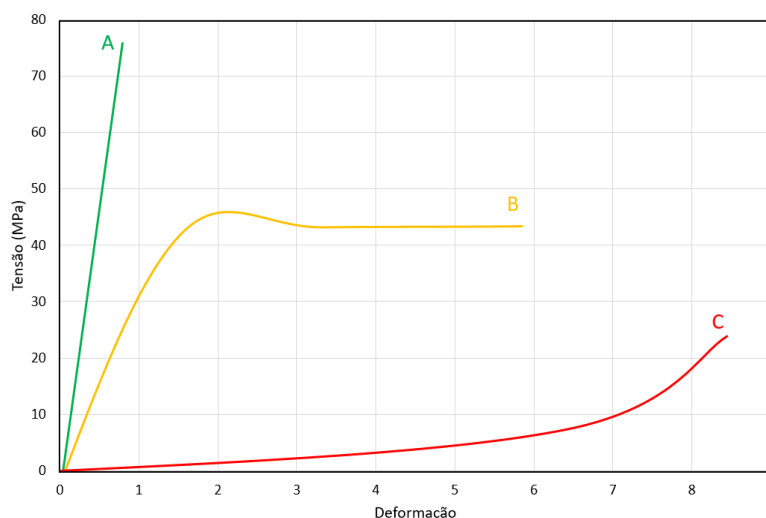


Figura 2. Comportamento mecânico dos polímeros, curva A para frágil, curva B para plástico e curva C para elástico. Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma classe de material tão utilizada e diversa possuiu também muitos métodos de fabricação, sendo os mais comuns a extrusão e injeção. A extrusão produz formas sólidas, filmes, chapas, tubos e alguns outros, é um processo que produz formas regulares, através de um mecanismo em forma de rosca que empurra um termoplástico aquecido e aditivos, através de uma abertura da matriz com a forma desejada. A injeção é um processo que consiste no transporte de uma porção de material plástico amolecido, por meio de um êmbolo, até um molde relativamente frio onde o material preenche suas cavidades, esfriando e tomando forma. O processo de injeção possui altas taxas de produtividade, com geometrias complexas, porém os moldes são muito caros o que inviabiliza a produção de poucas peças.

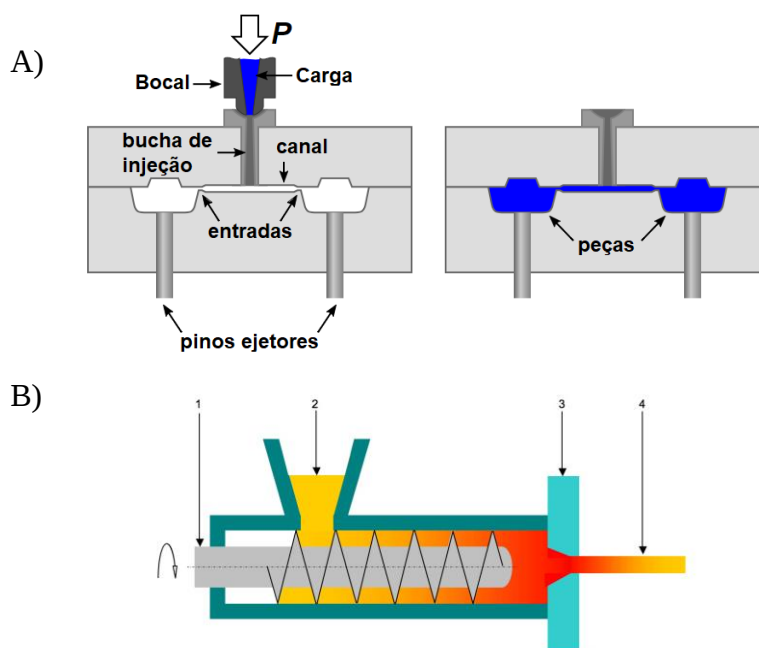


Figura 3. Métodos de fabricação usuais de polímeros. A) Injeção; B) Extrusão. Fonte: Wikipédia

Um novo método de fabricação de peças plásticas tem se popularizado não só no meio industrial, mas também de uma forma doméstica e no setor de serviços, a manufatura aditiva, conhecida popularmente como impressão 3D. Essa popularização começou em 2009, quando a patente para o processo de modelagem por depósito de material fundido, do inglês *fused deposition modeling* (FDM), expirou. Nos anos 80 surgiram os 3 principais métodos de manufatura aditiva, antes chamada de prototipagem rápida devido ao uso limitado a protótipos no início do processo. Esses métodos são a estereolitografia, do inglês *stereolithography* (SLA), método em que uma resina fotossensível é polimerizada por luz

ultravioleta, o processor de sinterização seletiva a laser, do inglês selective laser sintering (SLS), onde pó é sinterizado com laser camada a camada por um laser e o processo de FDM onde material fundido é depositado em camadas.

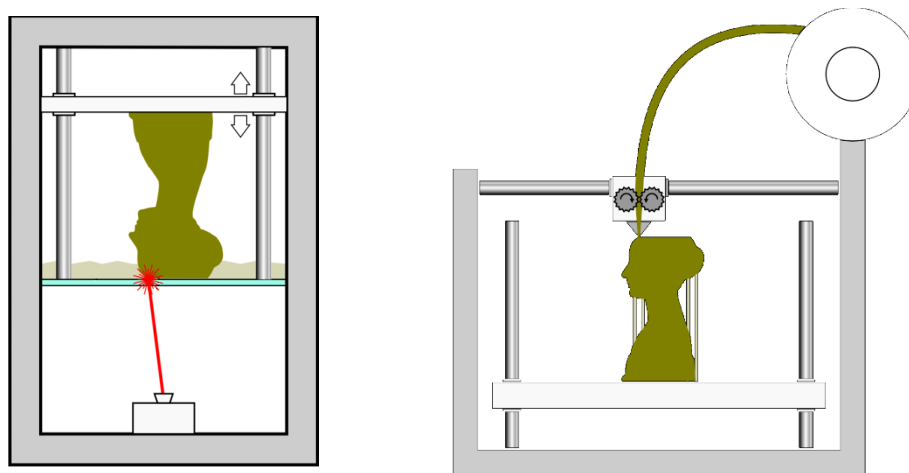


Figura 4. Processo de A) estereolitografia (SLA) B) Modelagem por depósito de material fundido (FDM)
Fonte: Wikipédia

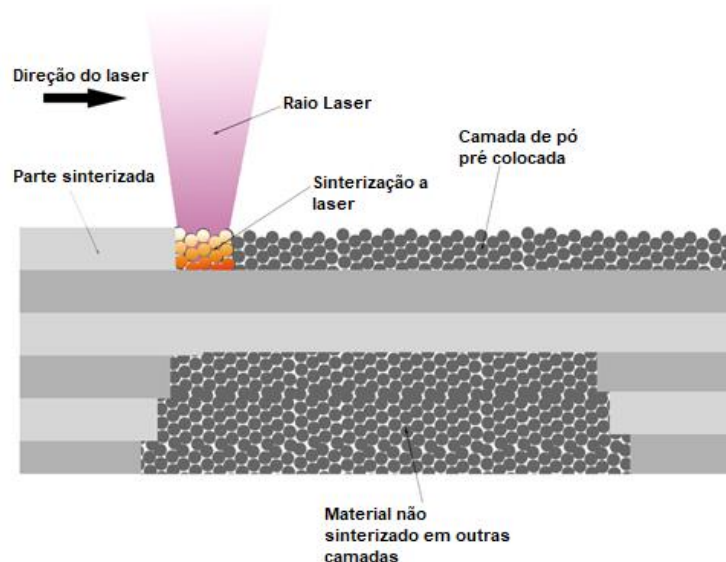


Figura 5. Processo de sinterização seletiva a laser (SLS). Fonte: Wikipédia.

Em 2004 foi criado o projeto *RepRap*, que visa a difusão e criação de projetos de impressoras 3D *open source* autorreplicáveis, onde grande parte das peças são impressas em 3D, possibilitando um menor custo e fácil construção desde que já se tenha uma impressora 3D disponível. Junto com a quebra das patentes em 2009, esse projeto contribuiu para a grande popularização para a popularização das impressoras “mesa” (desktop).

Com o aumento do uso desse processo de fabricação, ele deixou de ser utilizado apenas para a confecção de protótipos e está sendo utilizado para fabricação de peças de engenharia, como peças automotivas e próteses além de diversas peças em que usuários que possuem impressora 3D possam imaginar e projetar. Por esse motivo, é necessário o conhecimento do funcionamento do processo e das propriedades mecânicas final do material “impresso”.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Processo de FDM

O processo de FDM é preparado em 3 etapas. Primeiro a peça a ser produzida é modelada utilizando *softwares* de desenho assistido por computador, *computer aided design* (CAD), ou *softwares* de modelagem 3D. Esses modelos são salvos em formato STL, um formato de arquivo nativo da estereolitografia que significa linguagem padrão de triângulos (o modelo é convertido em muitos triângulos).

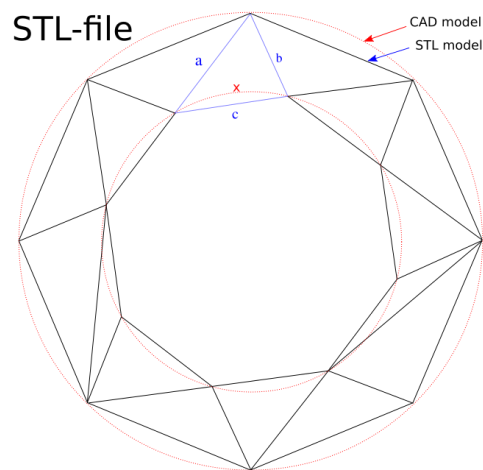


Figura 6. Comparação de um modelo em CAD e em STL. Fonte: Wikipédia.

O arquivo estando salvo em STL, ele é convertido por um fatiador (*slicer*) em camadas. Nessa etapa entram grande parte dos parâmetros. A altura da camada, tipo de preenchimento, porcentagem de preenchimento, grossura da “casca”, basicamente ele converte a peça sólida no arquivo STL na peça final, com camadas e preenchimentos típicos do processo. A última etapa é a conversão em código G, onde um *software* geralmente junto do fatiador vai gerar o código G, para controle da máquina/impressora 3D, nessa etapa entram os parâmetros como velocidade de impressão, temperatura de extrusão entre outros.

Após pronto a preparação do código G ele é carregado na impressora 3D que realiza o trabalho. O material, usualmente polímeros, passam por uma extrusora, que empurra o material por um bico aquecido, fundindo o material. Esse processo é basicamente o mesmo da extrusão convencional, porém com filamentos de pequeno diâmetro (usualmente 1,75mm e 3mm). O bico da extrusora se movimenta por uma superfície plana, depositando o material fundido em camadas. Finalizada a camada a extrusora tem sua altura relativa a superfície plana (mesa de impressão) aumenta, e inicia-se uma nova camada. Esse processo ocorre sucessivamente até a conclusão da peça, como ilustrado na fig. 7.

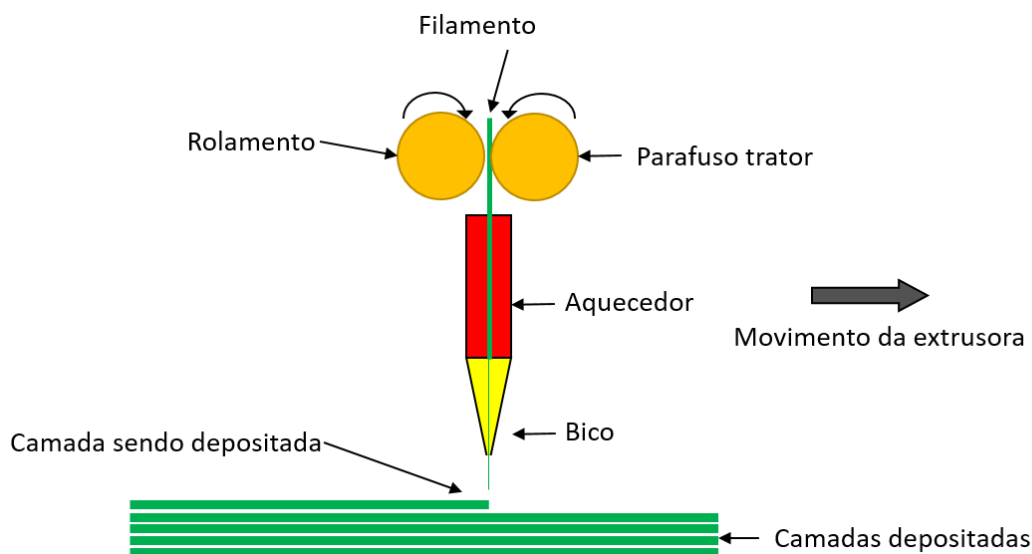


Figura 7 – Ilustração da deposição das camadas do material no processo de FDM. Fonte: Elaborado pelo autor

2.2. Parâmetros do processo

Sung-Hoon Ahn *et. al.* (2002) mostra que existem alguns parâmetros críticos durante o processo. Esses parâmetros são a temperatura de extrusão que controla a viscosidade do material fundido que é extrudado pelo bico; o tipo de preenchimento que muda a orientação das linhas de *raster*; porcentagem de preenchimento que aumenta a densidade no interior do objeto, com 100% sendo um objeto maciço, sem espaçamento entre filamentos (*air gap*); a espessura da camada depositada pelo material.

Jaya Christiyana *et. al.* (2016) demonstra que a velocidade do processo, além da já comentada altura da camada, influencia na resistência mecânica da peça final. Isso ocorre devido a maior qualidade da ligação entre as camadas em velocidades menores.

Outros autores chegaram a conclusões similares nos parâmetros que influenciam na resistência e podem ser consultados nas referências deste trabalho.

Esses parâmetros foram então escolhidos para servirem de base da análise dos parâmetros mecânicos dos corpos de provas impressas em uma impressora 3D “de mesa” *RepRap*, modelo Graber i3.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os corpos de provas foram modelados utilizando o software de CAD *SolidWorks*, seguindo os padrões tipo I da norma ASTM D638–02a.

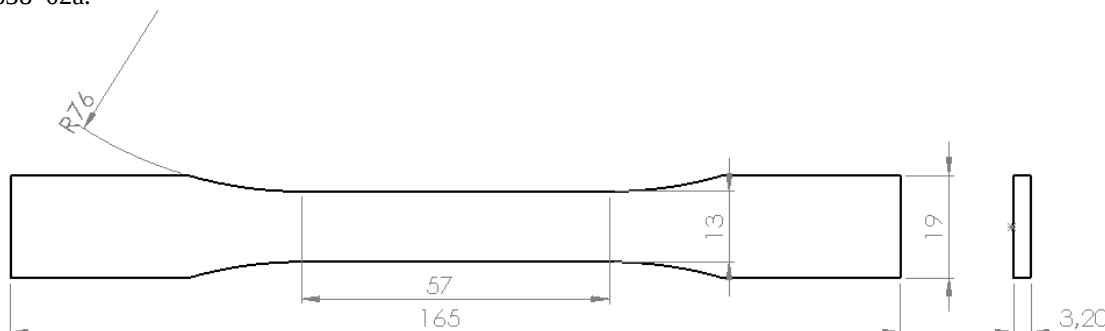


Figura 8 – Corpo de prova feito no SolidWorks seguindo a norma ASTM D638-02a. Fonte: Elaborada pelo autor

Os modelos foram convertidos no formato STL (*Standard Template Library*, em português, Biblioteca Padrão de Gabaritos), para o software *Repetier-Host*, usando o fatiador *slic3r* (ambos gratuitos), fatiando o modelo STL em camadas transversais e finalmente convertendo a informação em código de máquina (G-CODE). Os parâmetros variados são demonstrados na Tab. 1, variando 6 parâmetros, que formam 22 grupos de corpo de provas com 5 corpos cada totalizando 110 corpos de prova.

Tabela 1 – Parâmetros de fabricação dos corpos de prova.

Cor	Azul	Branco	Verde	
Temperatura de extrusão	210°C	217°C	225°C	
Tipo de preenchimento	Linear	Concêntrico	Retilíneo	Hexagonal (honeycomb)
Velocidade de preenchimento	30mm/s	35mm/s	40mm/s	
% de preenchimento	20	30	40	
Altura da camada	0,1mm	0,2mm	0,3mm	

Todo o processo de fabricação foi realizado em uma impressora 3D do modelo Graber i3 construída pelo aluno-autor no projeto Difusão, como mostrado na Fig. 9.

Todos os 110 corpos de prova foram medidos em sua espessura e largura da região mais fina para se calcular individualmente a área da seção transversal utilizada para o cálculo da tensão.

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de tração na EMIC disponível no Laboratório de Matérias da FEB (Faculdade de Engenharia de Bauru). Cada grupo de parâmetros foi testado com 5 amostras, que compõe o resultado médio final. Os resultados dos ensaios, resistência mecânica e módulo de elasticidade, foram organizados em tabelas e gráficos para serem analisados e comparados cada variação dos parâmetros.

Os corpos de prova foram todos impressos com sucesso, sendo marcados para fácil reconhecimento com o seguinte padrão TTMMPPVV%%, onde TT é a temperatura em 200°C+TT, MM é a temperatura da mesa em 100°C+MM, P é o tipo de preenchimento (L para linear, R para retilíneo, C para concêntrico e H para hexagonal), VV é a velocidade de impressão em mm/s e %% é a porcentagem de preenchimento como mostra a Fig. 11.

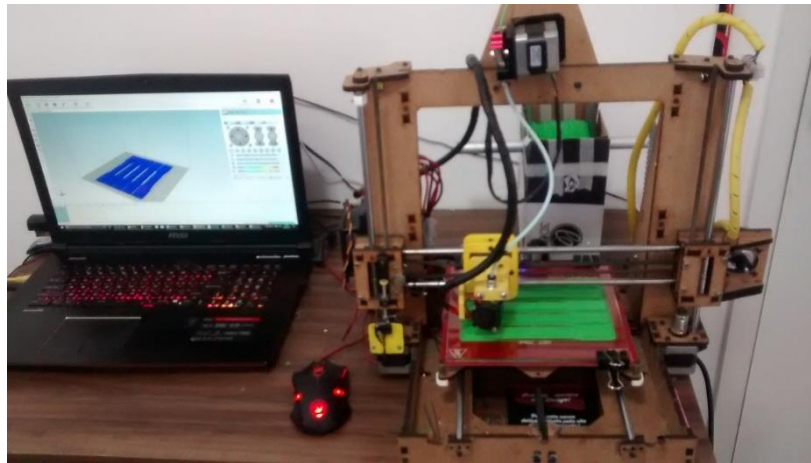


Figura 9 – Impressora 3D modelo Graber i3 imprimindo um conjunto de corpos de prova. Fonte: elaborada pelo autor

O corpo de prova 1 foi usado como base de comparação, onde os outros corpos de prova têm um dos parâmetros desse primeiro corpo de prova alterado. Os corpos de prova 2 e 3 variam a porcentagem de preenchimento, os corpos 4 e 5 variam a velocidade de preenchimento, os corpos 6 e 7 variam a temperatura, os corpos 8 a 14 variam o tipo de extrusão e a porcentagem de preenchimento dentro de cada tipo de extrusão, os corpos 15 e 16 variam a altura da camada, os corpos 17 a 22 variam a cor e a temperatura de extrusão dentro de cada cor. Os valores dos parâmetros para cada conjunto de corpo de provas, inumerados de 1 a 22, estão dispostos na tabela 2.

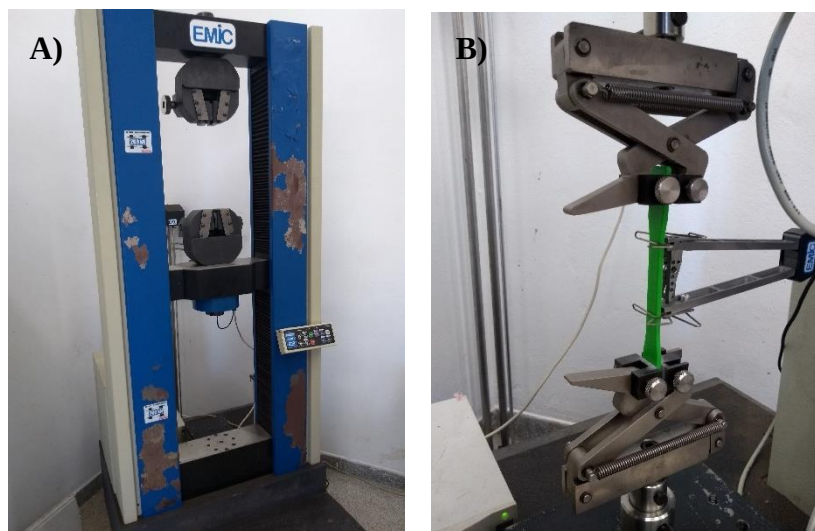


Fig. 10 – A) Máquina EMIC para ensaios mecânicos. B) Setup do corpo de prova para o ensaio de tração. Fonte: elaborada pelo autor

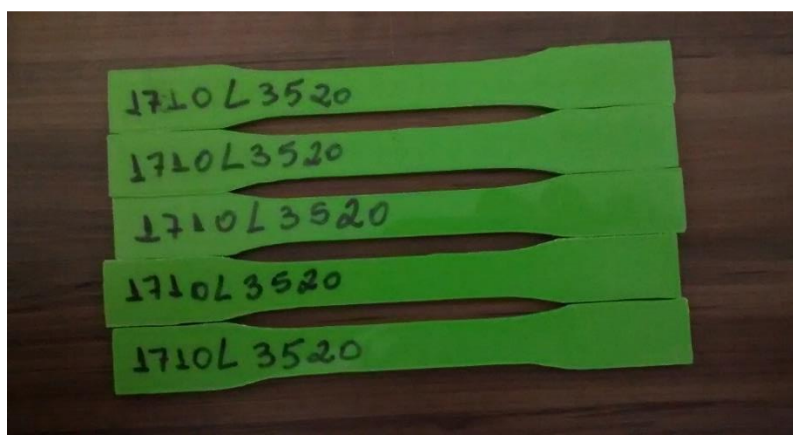


Figura 11 – Corpo de prova referente aos parâmetros 217°C de temperatura de extrusão, 110°C de temperatura da mesa, tipo de preenchimento linear com velocidade de 35mm/s e 20% de preenchimento. Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 2 – Parâmetros de fabricação de cada corpo de prova testado.

Corpo de Prova	Temperatura de extrusão	Tipo de preenchimento	Cor	Velocidade de preenchimento	% de Preenchimento	Altura da camada
1	217	Linear	Verde	35	30	0,2
2	217	Linear	Verde	35	40	0,2
3	217	Linear	Verde	35	20	0,2
4	217	Linear	Verde	30	30	0,2
5	217	Linear	Verde	40	30	0,2
6	210	Linear	Verde	35	30	0,2
7	225	Linear	Verde	35	30	0,2
8	217	Hexagonal	Verde	35	30	0,2
9	217	Hexagonal	Verde	35	40	0,2
10	217	Concêntrico	Verde	35	30	0,2
11	217	Concêntrico	Verde	35	40	0,2
12	217	Retilíneo	Verde	35	30	0,2
13	217	Retilíneo	Verde	35	40	0,2
14	217	Retilíneo	Verde	35	20	0,2
15	217	Linear	Verde	35	30	0,3
16	217	Linear	Verde	35	30	0,1
17	225	Linear	Branco	35	30	0,2
18	217	Linear	Branco	35	30	0,2
19	210	Linear	Branco	35	30	0,2
20	225	Linear	Azul	35	30	0,2
21	217	Linear	Azul	35	30	0,2
22	210	Linear	Azul	35	30	0,2

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medidas dos corpos de prova tiveram uma variação em média de 8,91% na espessura e 2% na largura em relação ao modelado em CAD. Devido a defeitos da impressora 3D e do processo, que sendo de MDF pode apresentar instabilidade dimensional devido à variação de umidade, bem como retração do próprio material do corpo de prova devido à variação de temperatura da extrusão e da mesa aquecida.

A fig. 12 mostra os resultados para a tensão de escoamento, o corpo de prova 1, com temperatura de extrusão de 217°C, cor verde, preenchimento linear, velocidade de preenchimento de 35 mm/s e porcentagem de preenchimento de 30%, considerado o padrão possuindo valores médios dos parâmetros, obteve um valor atípico, possuindo limite de escoamento e de ruptura menor do que os valores dos parâmetros de comparação, maior e menor, em todos os casos, com exceção do corpo de prova 12, que a diferença do corpo de prova 1 é o tipo de preenchimento retilíneo no lugar de linear, e o corpo de prova 21 que tem como diferença a cor azul no lugar da verde.

O efeito do aumento da porcentagem de preenchimento aumenta o limite de escoamento nos corpos de prova as que possuem preenchimento do tipo linear, concêntrico e retilíneo, porém nos corpos de prova que possuem preenchimento do tipo hexagonal, a maior porcentagem de preenchimento teve um efeito negativo diminuindo o limite de escoamento.

Com o aumento da velocidade de preenchimento, tem-se uma diminuição do limite de escoamento, o que indica que com o aumento da velocidade também tem o aumento de instabilidade na deposição do material fundido, provavelmente devido a maiores vibrações da máquina.

O aumento de temperatura de extrusão também causa um aumento do limite de escoamento até certo ponto. Quanto maior a temperatura, maior a fluidez do material, facilitando a passagem dele pelo bico da impressora 3D, porém esse efeito tem um limite, e a resistência volta a diminuir para a temperatura de 225°C.

A maior altura de camada melhora o limite de escoamento, já que possui menos camadas para uma peça do mesmo tamanho. Quanto maior o número de camadas por altura total da peça, maior a facilidade de alguma camada falhar, gerando uma reação de falha geral da peça, rompendo o material.

Entre as três cores, a branca obteve melhor desempenho no que se diz respeito à resistência à escoamento seguido da azul e a verde obteve os menores valores de resistência escoamento.

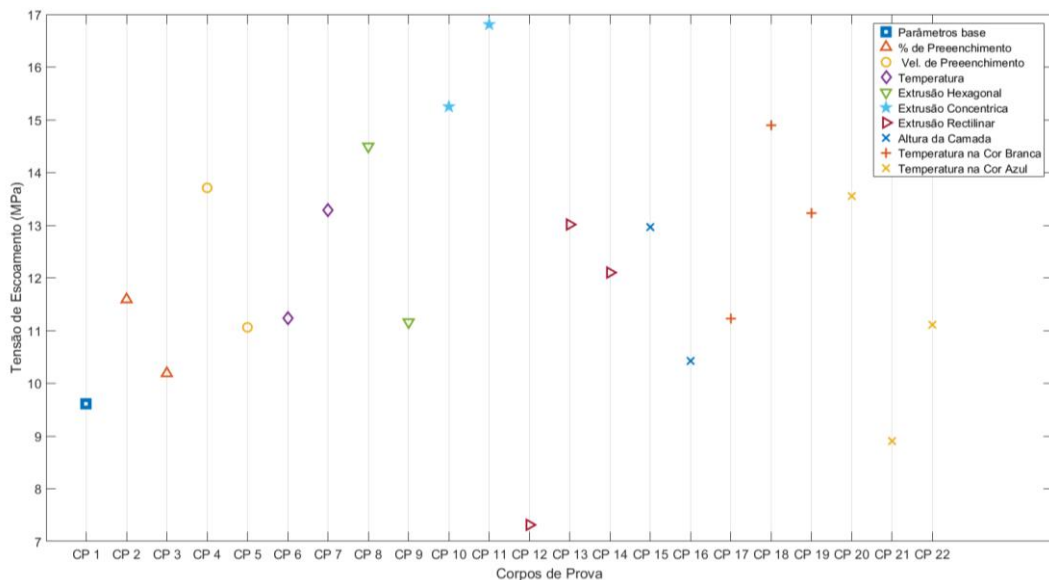


Figura 12 – Valores médios da tensão de escoamento, em MPa, para cada conjunto de corpos de prova, marcados como CP

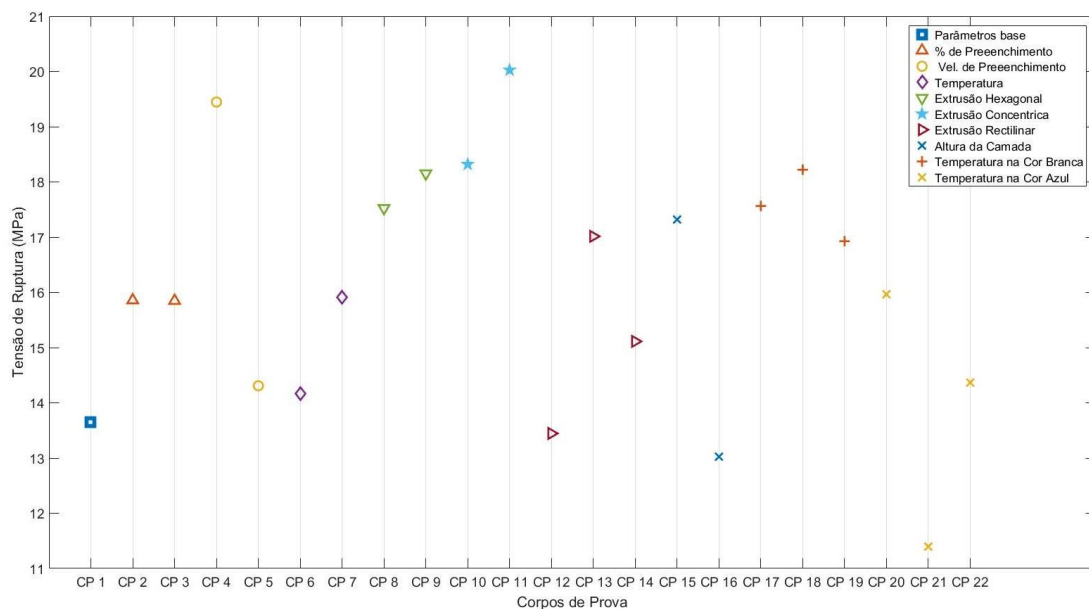


Figura 13 – Valores médios da tensão de ruptura, em MPa, para cada conjunto de corpos de prova, marcados como CP

Quase todos os efeitos na resistência de escoamento se repetem na tensão de ruptura, entretanto alguns pontos possuem diferenças interessantes. A porcentagem de preenchimento não provocou efeitos no corpo de prova com preenchimento linear no que diz respeito à tensão de ruptura. O tipo de preenchimento hexagonal agora teve um aumento no valor da tensão de ruptura com o aumento da porcentagem de preenchimento ao contrário do que havia ocorrido para o limite de escoamento.

A última propriedade mecânica analisada, o módulo de elasticidade, não obteve resultados para todos os corpos de prova porque esses corpos de prova romperam foram da área do extensômetro durante o ensaio. Esses corpos de prova, 3, 7 e 10, estão sem valores na fig. 14. O comportamento dessa propriedade mecânica com os parâmetros de fabricação segue a mesma tendência da tensão de ruptura, com a exceções do preenchimento retilíneo e a variação da temperatura para corpos de prova na cor branca.

Com o preenchimento retilíneo, a elasticidade diminui (aumentando o módulo de elasticidade) quando a porcentagem de preenchimento aumenta de 20 para 30%, mas volta a subir quando a porcentagem de preenchimento sobe para 40%.

Com o corpo de prova de cor branca, quanto menor a temperatura de extrusão, maior a elasticidade.

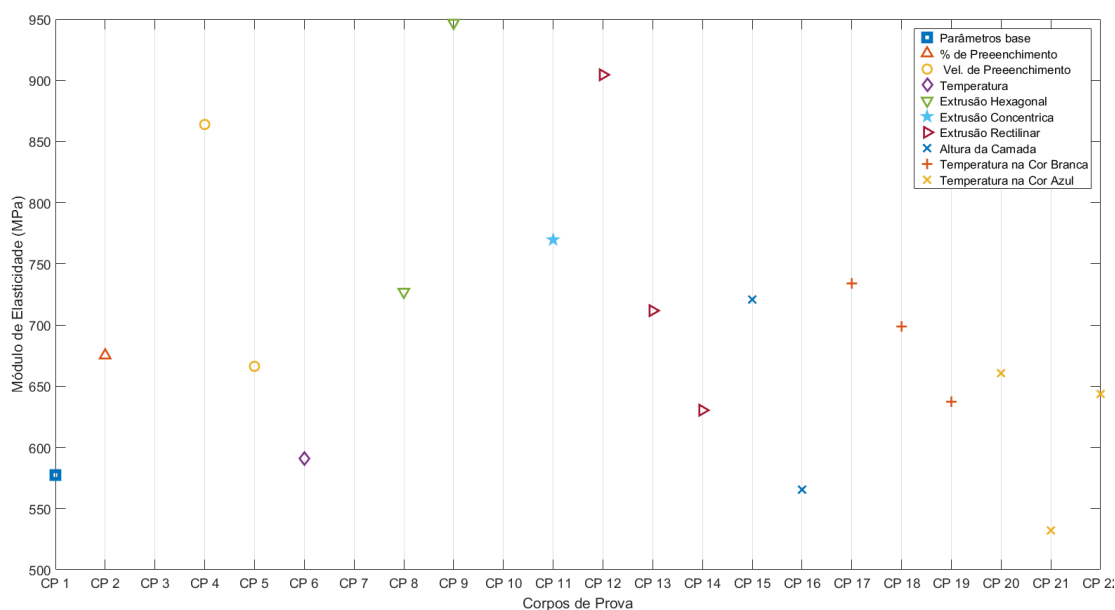


Figura 14 – Valores médios da do módulo de elasticidade, em MPa, para cada conjunto de corpos de prova, marcados como CP

5. CONCLUSÃO

Nem todos os resultados obtidos foram os esperados, o que nos faz perceber a necessidade de analisar o processo de fabricação a fundo.

A porcentagem de preenchimento aumenta a área efetiva, o que aumenta o valor da tensão de ruptura para todos os tipos de preenchimento. A o limite de escoamento diminuiu com aumento da porcentagem de preenchimento apenas para o tipo de preenchimento hexagonal. A elasticidade só não segue esse padrão para o preenchimento retilíneo.

A velocidade de preenchimento, quando aumentada, piora a interface entre camadas fazendo com que a resistência mecânica diminua, mas melhorando a elasticidade

Existe uma temperatura ótima intermediária, entre as temperaturas mínima e máxima estipuladas pela fabricante que são 210°C e 225°C respectivamente. Maiores esforços para determinar a temperatura ótima de extrusão é um tópico interessante futuras pesquisas.

Quanto maior o número de camadas em uma determinada altura da peça diminuiu a resistência mecânica, tanto o limite de escoamento quando a tensão de ruptura, por aumentar as chances de descolamento de camada e início de fratura, ou seja, quando menor a altura da camada menor o limite de escoamento; a tensão de ruptura e o maior é a elasticidade da peça.

A cor do material influencia na resistência mecânica, com o branco tendo o maior limite de escoamento e tensão de ruptura na temperatura de 217°C. As composições químicas da tinta influenciam no processo de fundição e solidificação do material, por isso a diferença significativa entre as cores e suas temperaturas de extrusão.

O maior aumento na tensão de ruptura ocorreu com o tipo concêntrico e 40% de preenchimento e velocidade de preenchimento de 30 mm/s. O tipo de preenchimento concêntrico também possuiu o maior limite de escoamento.

O corpo de prova com maior módulo de elasticidade é o hexagonal com 40% de preenchimento.

6. REFERÊNCIAS

- Canevarolo Jr, S. V., 2006, “Ciência dos Polímeros um texto básico para tecnólogos e engenheiros”, 2ª edição, editora Artiber Editora Ltda
- Volpato, N., 2007, “Prototipagem Rápida - Tecnologias e Aplicações”, editora Edgard Blucher.
- Test Standard Labs, ABS Material Data Sheet. Disponível em: http://www.teststandard.com/data_sheets/ABS_Data_sheet.pdf. Acesso em: 08 out. 2017
- ASTM D638-02a, “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International”, West Conshohocken, PA, 2002, www.astm.org
- Bensoussanm H., “The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today”, 2016, disponível em: <https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/14/the-history-of-3d-printing-3d-printing-technologies-from-the-80s-to-today/>. Acesso em: 16 mar. 2018

Sung-Hoon Ahn, Montero M., Odell D., Roundy S., Wright P. K., 2002, "Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS", Rapid Prototyping Journal, Vol. 8 Issue: 4, pp.248-257

K.G. Jaya Christiyana, U. Chandrasekhar, K. Venkateswarlu, 2016, "A study on the influence of process parameters on the Mechanical Properties of 3D printed ABS composite", IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 114 012109.

Villamil, M. L. G., Botia, G. C. P., Lizardo, B. F., Vieira, L. M. G., Rubio, J. C. C., 2016, "Análise de parâmetros de impressão de corpos de provas usando modelagem por deposição de fundido (FDM)", In: Congresso de Engenharia de Produção, 6., Ponta Grossa.

Onwubol, G. C., Rayegani, F., 2014, "Characterization and Optimization of Mechanical Properties of ABS Parts Manufactured by the Fused Deposition Modelling Process", School of Mechanical and Electrical Engineering & Technology, Faculty of Applied Science and Technology, Sheridan Institute of Technology and Advanced Learning, Brampton, Canada.

Magalhães, C. L., Volpato, N., Luersen, M. A., 2010, "A influência dos parâmetros construtivos no comportamento mecânico de peças fabricadas pela técnica de modelagem por fusão e deposição (FDM)", In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 6, Campina Grande.

Sood, A. K., Ohdar, R. K., Mahapatra, S. S., 2012, "Experimental investigation and empirical modeling of FDM process for compressive strength improvement", Journal of Advanced Research, Vol. 3, pp.81-90.

Durgun, I., Rtan, K., 2014, "Experimental investigation of FDM process for improvement of mechanical properties and production cost", Rapid Prototyping Journal, Vol. 20 Issue: 3, pp.228-235,

Aliheidari, N., Tripuraneni, R., Ameli, A., Nadimpalli, S., 2017, "Fracture resistance measurement of fused deposition modeling 3D printed polymers", Polymer Testing, vol. 60, pp94-101.

Tanoto, Y. Y., Anggono, J., Siahaan, I. H., Budiman, W., 2017, "The effect of orientation difference in fused deposition modeling of ABS polymer on the processing time, dimension accuracy, and strength", AIP Conference Proceeding 1788.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho

MECHANICAL PROPERTIES OF ABS PARTS OBTAINED THROUGH A REPRAP 3D PRINTER

André Luiz Alves Guimarães, andrelu78@hotmail.com¹

Luiz Antonio Vasques Hellmeister, hellmeister@faac.unesp.br¹

¹São Paulo State University, campus de Bauru, Av. Eng. Luís Edmundo Carrijo Coube, 14-01 - Vargem Limpa, Bauru - SP, 17033-360

Abstract: Additive Manufacturing has stopped being a prototyping process for big industries and is becoming increasingly popular in people homes, mainly the FDM method, or 3D printing. With this growth, is important to have knowledge of the main parameters and its influence on the process to optimize the mechanical properties and material cost. This article shows a study about the influence of the common parameters in 3D printing, using free CAM software and a RepRap 3D printer build by the author. Test specimens were produced following the ASTM 638-02a standard with varying extruding temperature, type of fill, fill speed, fill percentage and layer height. The test specimens were subjected to a tensile test in an EMIC machine. The results were analyzed and the relationship between the parameter are discussed in function of the result of the mechanical properties of each series of the tests specimens.

Keywords: ABS, Mechanical Properties, Additive Manufacturing, FDM, 3D Printing.

The authors are the only ones responsible for the content of this work