

COMPARAÇÃO DE DIREÇÃO DE IMPRESSÃO 3D EM ABS E PLA PRODUZIDOS PELO MÉTODO FDM

Andréia Neumann Pelegrino¹

Carolina Koxne Monteiro²

Kleber Rios Mikolayczyk³

Alexandre Maneira dos Santos⁴

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo comparar as características mecânicas de peças produzidas por meio da manufatura aditiva pelo método FDM (*Fused Deposition Modelling*). Para isso, foram utilizados dois materiais diferentes, o ABS e o PLA, além de considerar duas direções de impressão, vertical e horizontal. A comparação foi feita por meio de um ensaio de tração em corpos de prova impressos de acordo com a norma ASTM D638-14. Foi realizada uma análise microscópica a fim de verificar as superfícies de cada corpo de prova e a seção destruída pelo ensaio realizado. Bem como uma análise estatística para verificar se as diferenças eram significativas para a direção de impressão e material utilizado. Considerando o tipo de material e o mesmo sentido de filamento, houve pouca variação nos resultados. O fator que mais difere é o sentido de impressão, sendo o horizontal mais resistente à ruptura, além de apresentar menor tempo para a produção, menos material de base, ou seja, menos desperdício, e melhor acabamento superficial. Através das análises realizadas, o ABS impresso na direção horizontal foi considerado a melhor das opções para a impressão no método *Fused Deposition Modelling*.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Impressão 3D. PLA. ABS.

¹ Aluna do Curso de Engenharia Mecânica da FAE Centro Universitário. *E-mail*: andreianp92@gmail.com

² Aluna do Curso de Engenharia Mecânica da FAE Centro Universitário. *E-mail*: carolinakmonteiro50@gmail.com

³ Aluno do Curso de Engenharia Mecânica da FAE Centro Universitário. *E-mail*: kleeheh@gmail.com

⁴ Orientador da Pesquisa. Mestre em Engenharia Mecânica pela UFPR. Engenheiro Químico pela USP com MBA pela FGV. Professor das disciplinas de Gestão de Operações, Qualidade e Segurança do Trabalho nos cursos de Engenharia e Administração da FAE Centro Universitário. *E-mail*: alexandre.santos@fae.edu

INTRODUÇÃO

Na Primeira Revolução Industrial houve iniciativas de mecanização, sendo os motores a vapor o principal destaque. Na Segunda Revolução Industrial o foco foi a produção em massa e a utilização da energia elétrica e combustão, enquanto na terceira revolução veio a automação de processos, os computadores, entre outros. O mundo já está vivendo a 4ª Revolução Industrial, ou seja, a indústria 4.0 que procura a conectividade (ABDI, 2019).

Existem 9 pilares na indústria 4.0, sendo eles basicamente: segurança da informação, realidade aumentada, big data, robôs autônomos, simulações, sistemas integrados, computação de nuvem, internet das coisas e manufatura aditiva. Todos eles usam a tecnologia a favor dos processos de produção, a fim de torná-los mais eficientes, autônomos e customizáveis (GRILLET, 2019).

O pilar foco deste estudo é a manufatura aditiva, mais conhecida como impressão 3D, e veio para mudar a maneira de pensar na fabricação de produtos.

Diferentemente da manufatura convencional a mesma não trabalha com a remoção de material e sim com a deposição de material camada por camada até formar a geometria desejada, tudo com base em modelos virtuais. Isto possibilita a construção de produtos dos mais variados, para os mais diversos campos de aplicação. Atualmente é comumente utilizada para a prototipagem rápida (USPTO, 2017).

Assim como os métodos convencionais de produção são dos mais diversos, com base em pesquisas foi observado que já existem diversos métodos de impressão também, que permitem a utilização de materiais poliméricos, metálicos entre outros, pois a cada dia surgem novas possibilidades.

O método de impressão escolhido para esse estudo foi o FDM (*Fused Deposition Modelling*), por ser o mais comum, mais barato e permitir boa precisão e repetibilidade.

No FDM são utilizados materiais termoplásticos, sendo assim, optou-se por trabalhar com o ABS, que é um polímero bem comum na indústria e no dia a dia de todos, aplicado na produção de brinquedos, telefones e bens de consumo. Também irá ser analisado o PLA, que é um polímero de fontes renováveis e tem sido muito utilizado para substituir polímeros que possuem petróleo em sua composição, podendo ser encontrado na produção de garrafas, sacos plásticos e copos.

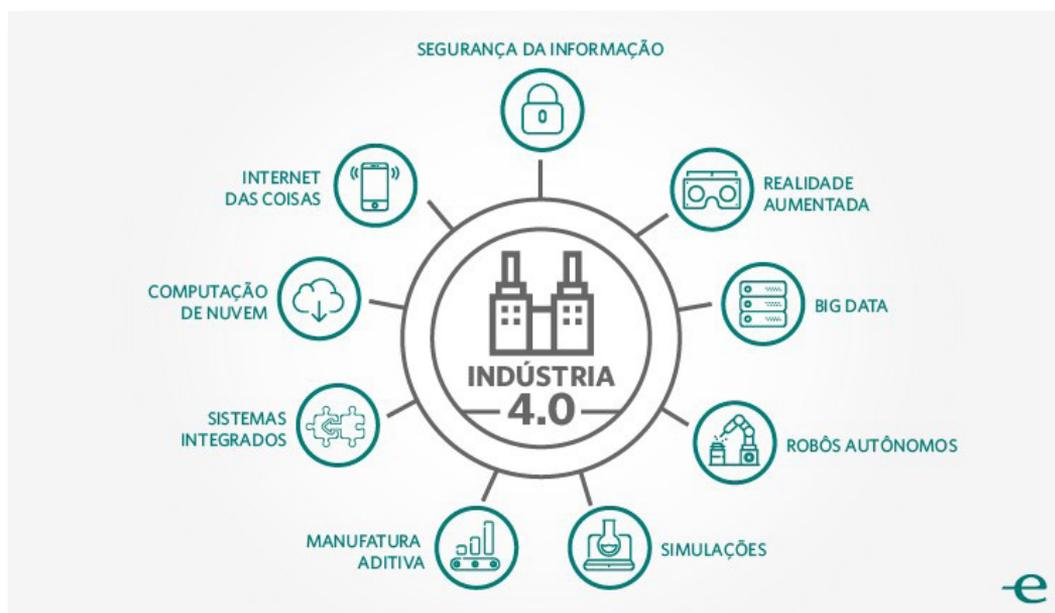
Esta pesquisa então tem como objetivo: comparar as diferentes direções de impressão 3D em ABS e PLA, produzidos pelo método FDM. Para isso foram traçados objetivos específicos, dentre eles:

- Imprimir corpos de prova em ambos os materiais nas direções vertical e horizontal;
- Realizar ensaio de tração nos corpos de prova;
- Analisar corpos de prova microscopicamente;
- Fazer análise estatística dos resultados para verificar se houveram diferenças significativas;
- Analisar as vantagens e desvantagens de cada método e cada material;
- Definir melhor direção de impressão e material no método FDM.

1 REVISÃO DA LITERATURA

A manufatura aditiva é um dos pilares da indústria 4.0 que veio para mudar a maneira como as indústrias trabalham, conectando todo o processo e cadeia produtiva por meio de dispositivos inteligentes.

FIGURA 1 – Indústria 4.0



FONTE: Grillett (2017)

No ano de 1964, Arthur C. Clarke foi o primeiro a descrever os princípios da impressão 3D, porém apenas em 1987 a primeira impressora 3D foi desenvolvida por Chuck Hull (3D HUBS, 2018).

A manufatura aditiva consiste na deposição de camadas de determinado material para formar a geometria de peças tridimensionais e pode ser realizada por diferentes

métodos. É um processo completamente diferente dos processos convencionais, pois dispensa o uso de ferramentas específicas para cada operação e baseia-se sempre em um modelo digital 3D (USPTO, 2017).

1.1 BENEFÍCIOS DA MANUFATURA ADITIVA

Podem-se destacar como grandes ganhos da manufatura aditiva a possibilidade de produzir produtos dos mais diversos tipos e especialmente customizados, em um *lead time* muito menor do que os métodos tradicionais. Além de reduzir o desperdício da matéria prima utilizada no processo de fabricação (A.T. KEARNEY, 2015).

Destacam-se também a capacidade de redução de peso dos objetos por meio da otimização da geometria dos mesmos e a não limitação quanto à complexidade do que se deseja produzir (ROLAND BERGER, 2013).

1.2 APLICAÇÕES

As aplicações da impressão 3D se dão nos mais diversos campos, como por exemplo: automotivo, aeroespacial, medicina e de customização, como acessórios, jóias, objetos de decoração, entre outros (WISHBOX, 2019).

No setor automobilístico, destaca-se o uso para a prototipagem de peças novas e desenvolvimento de peças que já saíram de linha, no caso de veículos antigos (LWT, 2019).

1.3 MÉTODOS DE IMPRESSÃO

Assim como na manufatura tradicional encontram-se diversos métodos de produção, dos mais manuais aos mais automáticos e robustos, na manufatura aditiva existem diversos métodos de impressão, porém todos com o mesmo fundamento de transformar um modelo virtual em uma peça tridimensional apenas com adição de material.

Os métodos mais comuns de impressão são:

- *Binder Jetting (BJ)*;
- *Laminate object manufacturing (LOM)*;
- *Selective Laser Sintering (SLS)*;
- *Laser Engineered Net Shaping (LENS)*;
- *Stereolithography (SLA)*;
- *Direct Metal Laser Melting (DMLM)*;
- *Direct Metal Laser Sintering (DMLS)*.

Neste estudo será abordado o método FDM que se encontra descrito abaixo.

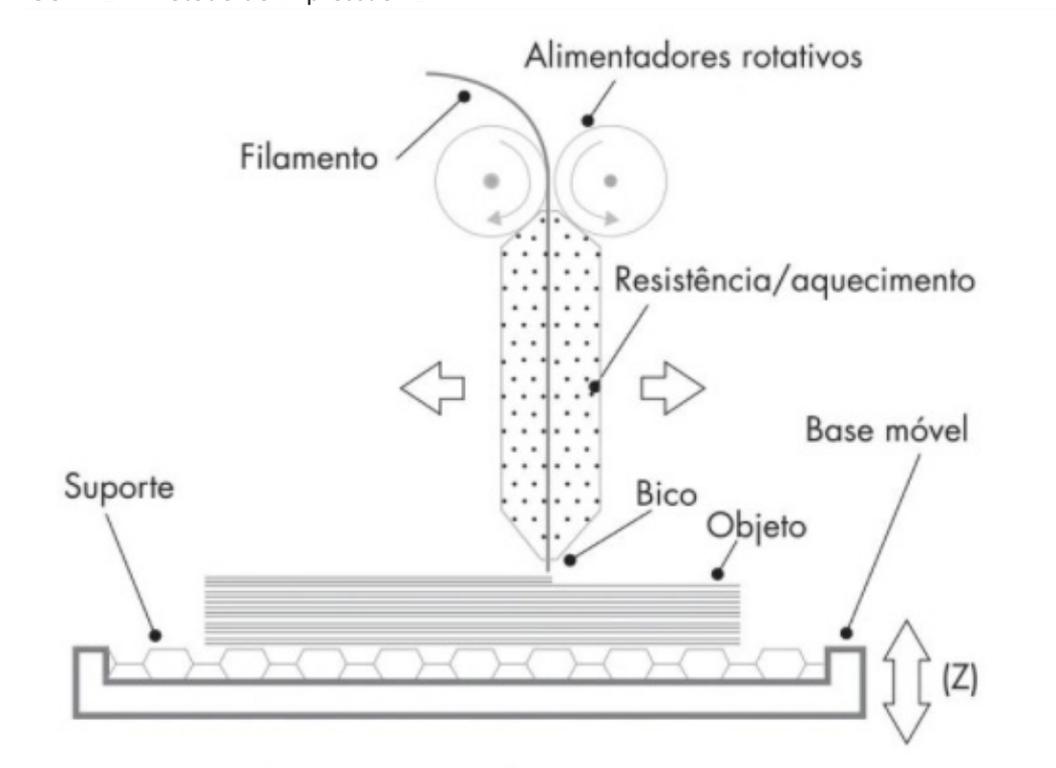
1.3.1 Fused Deposition Modelling (FDM)

Consiste no processo de extrusão de material, onde o mesmo é puxado e aquecido por um injetor, para então passar por bicos extrusores que depositarão uma camada de material. Assim será feito para cada camada a ser depositada até formar o objeto desejado. Nesse tipo de processo costumam-se utilizar materiais termoplásticos (PORTO, 2016).

O FDM permite a confecção de peças mais resistentes, dependendo do material a ser utilizado, com maior vida útil e dimensionalmente estáveis, maior precisão e repetibilidade (STRATASYS, 2019).

Entre os benefícios deste método destacam-se o fácil uso, podendo ser aplicada mesmo nos locais mais simples e de pouco espaço, os materiais que utiliza são ambientalmente estáveis e permite a produção de geometrias complexas dos mais diversos tipos e aplicações (STRATASYS, 2019).

FIGURA 2 – Método de impressão FDM



FONTE: Lira (2017)

1.4 MATERIAIS NA MANUFATURA ADITIVA

Nos primeiros processos de manufatura aditiva os materiais mais comuns a serem utilizados eram polímeros, porém com o avanço da tecnologia já é possível realizar impressões em materiais metálicos. As peças fabricadas por manufatura aditiva podem também ser feitas de compósitos, cerâmicas, madeira, entre outros materiais, cada um permitindo uma determinada característica de acordo com a aplicação da peça (3D HUBS, 2018).

No geral os materiais se apresentam em forma de pó, filamentos ou grãos. A seguir são apresentadas as principais características e qualidades dos materiais deste estudo, o ABS e o PLA.

1.4.1 ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno)

O ABS é um polímero obtido por meio de um processo de polimerização por emulsão ou massa do acrilonitrilo e estireno na presença de polibutadieno. Como resultado desta transformação um material com uma considerável resistência ao impacto e rigidez mecânica é obtido.

Este tipo de polímero é muito utilizado para a produção de brinquedos, bens de consumo, telefones, etc. Para a utilização como matéria prima na manufatura aditiva ele pode ser encontrado em forma de filamento ou em pó, que permite a sua utilização nos diversos tipos de impressão (RESINEX, 2018).

1.4.2 PLA (Poliácido Láctico)

O PLA é um polímero obtido da extração de dextrose (açúcar) de materiais de fontes renováveis, por isso é popularmente chamado de bioplástico ou biopolímero. É um material que por ser bastante flexível e elástico, vem substituindo alguns polímeros que tem em sua composição petróleo, o que fortalece a sua utilização nos dias atuais.

Este tipo de material pode ser empregado para a produção de garrafas, sacos plásticos, copos, entre outros e encontra-se em forma de grãos ou filamentos para a manufatura aditiva (ECYCLE, 2017).

1.5 NORMA ASTM D638-10

Para confeccionar os corpos de prova utilizados nesta pesquisa, foi preciso conhecer a norma da ASTM (*American Society for Testing and Materials*) D638-10 (*Standard test method for tensile properties of plastics*).

Esta norma inclui a determinação de propriedades de plásticos reforçados e não reforçados, com amostras em formato de haltere, testados em condições definidas de pré-tratamento, temperatura, umidade e máquina de teste de velocidade. A norma cobre materiais de qualquer espessura até 14 mm. De acordo com essa norma, pode haver cinco tipos de amostra.

O tipo 1 é o preferido, segundo a norma, devendo ser usado quando o material com espessura igual ou inferior a 7 mm está disponível. O tipo 2 é recomendado quando o material não se rompe na seção estreita do tipo 1. O tipo 3 deve ser usado para todos os materiais com espessura entre 7 e 14 mm. O tipo 4 é utilizado quando deve-se fazer a comparação entre materiais rígidos e não rígidos. O tipo 5 deve ser usado apenas quando o material é limitado a no máximo 4 mm de espessura ou quando um grande número de amostras é exposto em um espaço limitado.

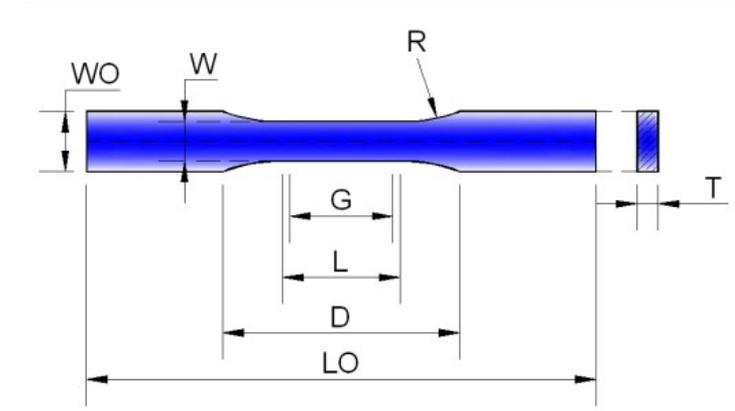
Levando em consideração que o tipo 1 é o mais utilizado, foi optado para realizar a análise no tipo 2, imaginando um cenário mais crítico, em que a peça é mais estreita e o limite de tensão máxima suportado deve ser menor.

TABELA 1 – Dimensões de corpos de prova

Dimensões (mm)	Esp. <= 7mm		Esp. 7 a 14 mm	Esp <= 4mm	
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
W – Largura da seção delgada	13	6	19	6	3,18
L – Comprimento da seção delgada	57	57	57	33	9,53
WO – Largura total	19	19	29	19	9,53
LO – Comprimento total	165	183	246	115	63,5
G – Comprimento para instrumentação	50	50	50	25	7,62
D – Distância entre garras	115	135	115	65	25,4
R – Raio	76	76	76	14	12,7

FONTE: ASTM-D638

FIGURA 3 – Ilustração das dimensões e formato dos corpos de prova



FONTE: ASTM D638

1.6 PROPRIEDADES E ENSAIO DE TRAÇÃO

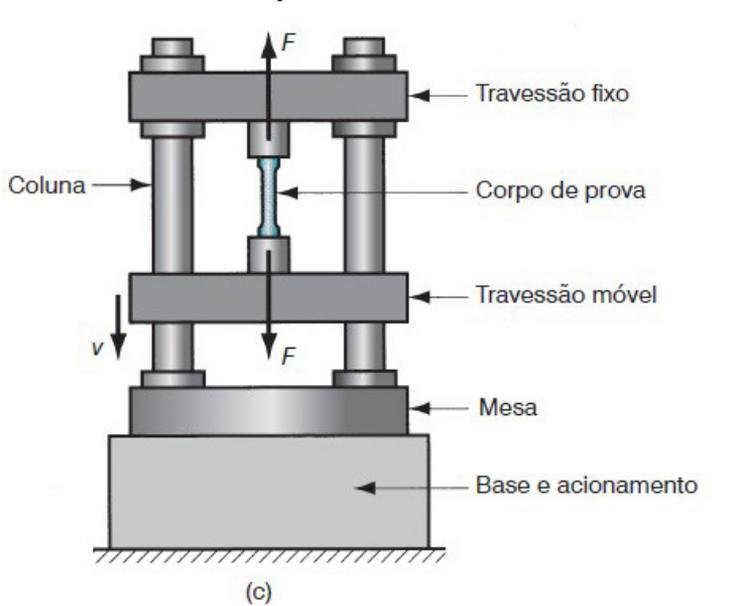
Para que haja confiabilidade na utilização dos materiais, é importante que se conheça o nível de tensão onde a deformação plástica tem início, ou onde ocorre o escoamento. O limite de escoamento representa a medida de sua resistência à deformação plástica (CALLISTER, 2000).

Para Callister (2000), após o ponto do escoamento, a tensão necessária para a continuidade da deformação dos materiais aumenta até um valor máximo, e então diminui até o ponto de rompimento do material. O limite de resistência à tração é o ponto de tensão máxima que poderá ser aplicada a uma estrutura que se encontra sob tração. Se uma tensão além desse valor for aplicada continuamente, a estrutura irá sofrer fratura.

Outra propriedade mecânica de grande importância é a ductilidade, ela representa a medida de deformação de um material até sua fratura. Um material que suporta pequenas deformações antes da ruptura é chamado de frágil, e o que suporta grandes deformações antes de se romper, é chamado de dúctil. Materiais que possuem deformação de fratura inferior a aproximadamente 5%, podem ser considerados frágeis (CALLISTER, 2000).

O ensaio de tração é um dos ensaios mais comuns, realizado principalmente nos metais e é feito aplicando uma carga de tração em um corpo de prova até a ruptura do mesmo (GARCIA, SPIM, SANTOS, 2012).

FIGURA 4 – Ensaio de tração



FONTE: Groover (2014)

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

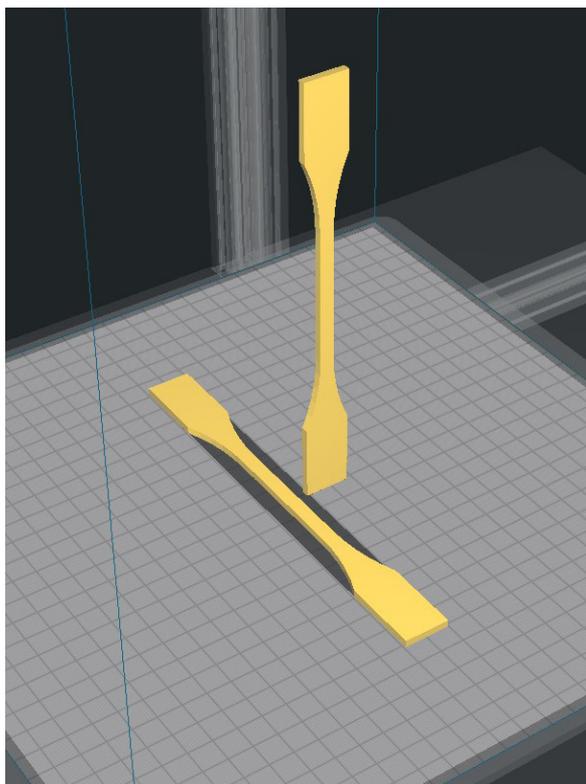
A pesquisa é qualitativa, descritiva e experimental, tem como objetivo comparar as diferentes direções de impressão 3D em ABS e PLA, produzidos pelo método FDM.

Para isso foram impressos corpos de prova em ambos os materiais nas direções vertical e horizontal, depois os mesmos foram submetidos a ensaio de tração sob parâmetros pré-estabelecidos. Com os resultados houve análise estatística e microscópica, para verificar qual o melhor material e direção de impressão no método FDM.

2.1 CORPOS DE PROVA

Levando a norma ASTM D638-10 em consideração foi escolhido para esse estudo o “Tipo 2”. Os corpos de prova foram impressos em duas posições diferentes, com os filamentos na vertical e na horizontal, para que possa ser avaliado o efeito da posição dos filamentos nas propriedades mecânicas das peças e se há uma posição ideal de impressão.

FIGURA 5 – Modelagem dos corpos de prova



FONTE: Os autores (2019)

A quantidade de corpos de prova impressa foi de acordo com a disponibilidade de impressão e do orçamento disponível. Esperam-se valores baixos de variância, por tratar-se de um método que possui parâmetros definidos de fabricação que não possuem grandes desvios ao longo da impressão.

Portanto foram impressos 15 corpos de prova, 5 com deposição dos filamentos na horizontal e 5 na vertical em ABS e 5 na horizontal em PLA, usando o método FDM (*Fused Deposition Modelling*) na impressora *Stratasys Fortus 250mc* para as peças em ABS e na *Crealty 10S Pro* para as peças em PLA.

Não foram impressos corpos de prova na vertical em PLA, pois após algumas tentativas com diversos parâmetros a impressora disponível não pode imprimir os mesmos com a qualidade mínima para que os testes pudessem ser realizados. Portanto deu-se continuidade no estudo com ABS na vertical e horizontal e PLA apenas na horizontal.

FIGURA 6 – Detalhe das diferentes orientações de impressão dos corpos de prova



NOTA: À esquerda observa-se o corpo de prova com filamentos orientados paralelamente ao comprimento; à direita, com os filamentos orientados perpendicularmente ao comprimento do corpo de prova

FONTE: Os autores (2019)

Na impressão em ABS, o preenchimento é sólido, com 0,2540mm de camada, uma temperatura de 280°C para extrudar o plástico e 75°C na câmara de impressão. O tempo de impressão de cada amostra foi de 5h4min para a posição vertical, totalizando 25h20min e 25min na horizontal, totalizando 4h10min.

FIGURA 7 – Impressora Stratasys Fortus



FONTE: Nadel (2019)

No processo de impressão em PLA, o preenchimento foi de 100%, com 0,3mm de camada, 200°C para extrudar o plástico e 60°C para a câmara de impressão. Durou 48min para as amostras na horizontal, totalizando 8h.

FIGURA 8 – Creality 10S Pro



FONTE: Banggood (2019)

Todo o processo levou 37 horas e 30 minutos e custou em torno de R\$ 200. Em relação ao tempo de impressão, percebe-se que o processo mais vantajoso foi em ABS na posição horizontal.

Em relação a quantidade de material gasto para imprimir cada amostra, tem-se a seguinte comparação:

TABELA 2 – Quantidade de material por amostra

Material	Direção de Imp.	Qtd. de Material (g)
ABS	Vertical	19,5
ABS	Horizontal	9,4
PLA	Horizontal	8

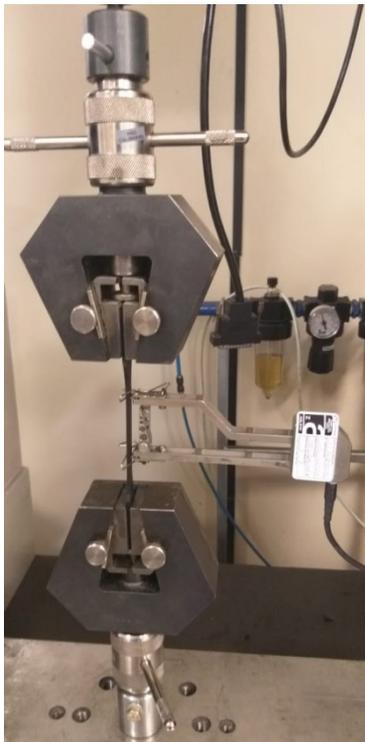
FONTE: Os autores (2019)

2.2 TESTES

O teste escolhido para análise foi o de tração, além de análise estatística e microscópica.

Para o teste de tração foi utilizado a máquina Emic DL30000N, célula Trd 26 e extensômetro Trd 6, o programa é o Tesc versão 3.04. Os parâmetros utilizados para o mesmo foram a velocidade de ensaio de 10 mm/min e a capacidade da célula de carga de 20kN.

FIGURA 9 – Teste de tração, vista frontal



FONTE: Os autores (2019)

FIGURA 10 – Teste de tração, vista lateral



FONTE: Os autores (2019)

FIGURA 11 – Máquina de teste Emic DL30000N



FONTE: Os autores (2019)

A ANOVA ou análise de variância foi realizada com os resultados dos ensaios de tração para verificar se havia diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes sentidos dos filamentos na impressão e entre os diferentes tipos de material. A análise foi realizada com erro de 0,05 ou 5%, e para saber se há ou não diferença entre os diferentes corpos de prova.

Na microscopia pode-se observar a qualidade de acabamento, a ordenação dos filamentos e a região de ruptura das amostras. O microscópio utilizado foi o Zeiss Stemi 2000-C Stereo com aproximação de 50x.

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

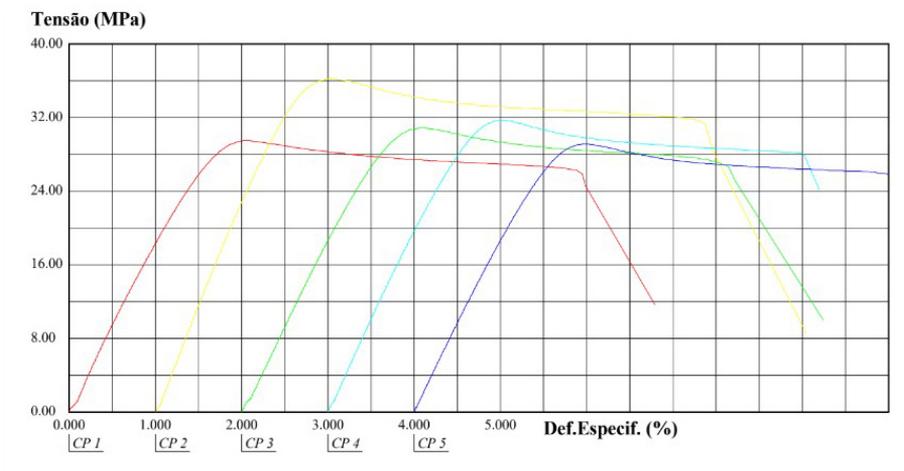
Para os corpos de prova de ABS impressos com os filamentos na horizontal foram obtidos os resultados abaixo:

TABELA 3 – Resultados dos corpos de prova em ABS com filamento horizontal

Corpo de prova	Tensão de força Máx (MPa)	Tensão de escoamento (MPa)	Def. Especif. Ruptura (%)
CP1	29	23	6
CP2	36	34	6
CP3	31	29	6
CP4	32	29	5
CP5	29	27	6

FONTE: Os autores (2019)

FIGURA 12 – Resultado dos corpos de prova em ABS com filamento horizontal



FONTE: Os autores (2019)

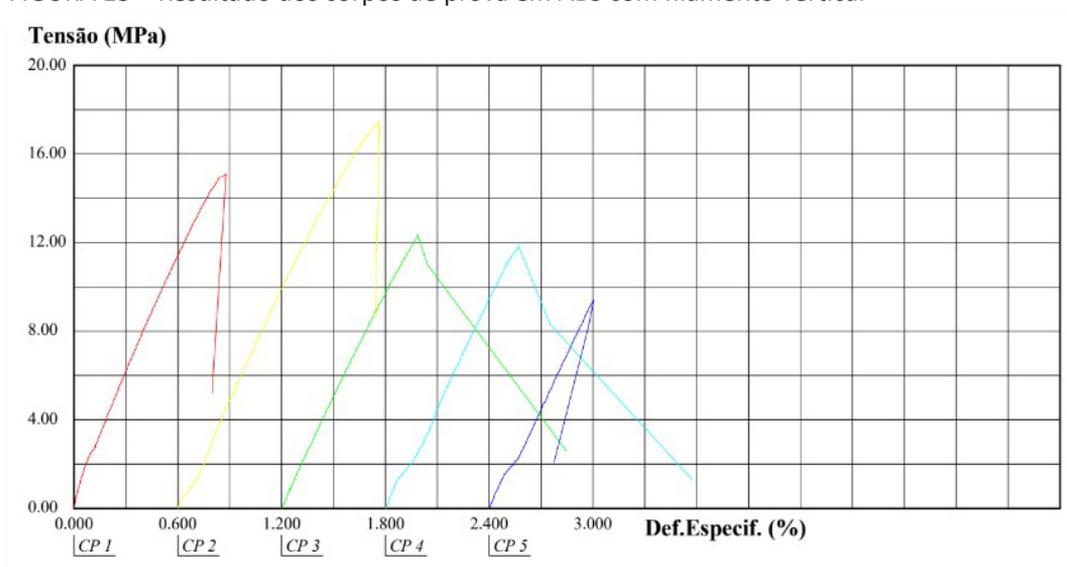
Para os corpos de prova de ABS impressos com os filamentos na vertical foram obtidos os resultados abaixo:

TABELA 4 – Resultados dos corpos de prova em ABS com filamento vertical

Corpo de prova	Tensão de força Máx (MPa)	Tensão de escoamento (MPa)	Def. Especif. Ruptura (%)
CP1	15	12	1
CP2	17	17	1
CP3	12	11	1
CP4	12	11	1
CP5	9	5	1

FONTE: Os autores (2019)

FIGURA 13 – Resultado dos corpos de prova em ABS com filamento vertical



FONTE: Os autores (2019)

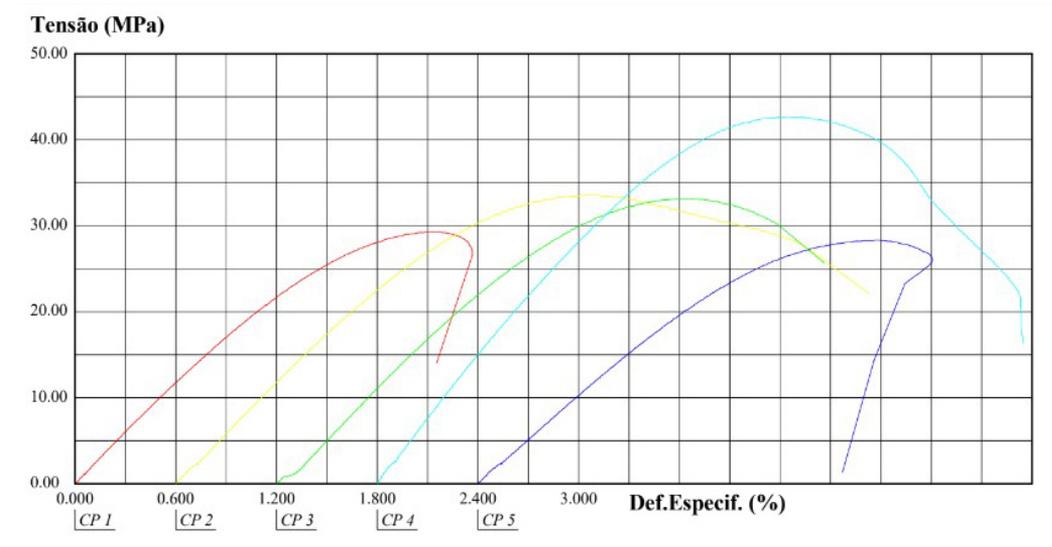
Para os corpos de prova de PLA impressos com os filamentos na horizontal foram obtidos os resultados abaixo:

TABELA 5 – Resultados dos corpos de prova em PLA com filamento horizontal

Corpo de prova	Tensão de força Máx (MPa)	Tensão de escoamento (MPa)	Def. Especif. Ruptura (%)
CP1	29	25	2
CP2	34	29	4
CP3	33	28	3
CP4	43	36	4
CP5	28	25	3

FONTE: Os autores (2019)

FIGURA 14 – Resultado dos corpos de prova em PLA com filamento horizontal



FONTE: Os autores (2019)

3.2 ANOVA

A partir da realização de análise de variância entre os diferentes tipos de impressão, pôde-se concluir que há diferenças estatisticamente significativas entre os sentidos dos filamentos na impressão 3D. Os valores de tensão força máxima suportada pelos corpos de prova com os filamentos do sentido do comprimento do mesmo, mostraram-se superiores, conforme o que se observa nas tabelas 3 e 5.

TABELA 6 – ANOVA entre os diferentes sentidos do filamento para um mesmo material

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F Crítico
Entre grupos	846,4	1	8	846,4	95,10112	5,317655
Dentro dos grupos	71,2	8	8,9			
Total	917,6	9				

FONTE: Os autores (2019)

Ainda, de acordo com a análise, não há diferenças estatisticamente significativas entre os valores de tração para os diferentes materiais testados com o mesmo sentido dos filamentos. Sendo a tensão força máxima suportada um critério que não influenciaria na escolha do material para impressão.

TABELA 7 – ANOVA para diferentes materiais com mesmo sentido dos filamentos na impressão 3D

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F Crítico
Entre grupos	10	1	10	0,45816	0,517328	5,317655
Dentro dos grupos	174,4	8	21,8			
Total	184,4	9				

FONTE: Os autores (2019)

Porém, outros fatores como custo do material ou sua deformação anterior ao rompimento podem ser critérios de escolha.

3.3 INSPEÇÃO VISUAL E MICROSCOPIA

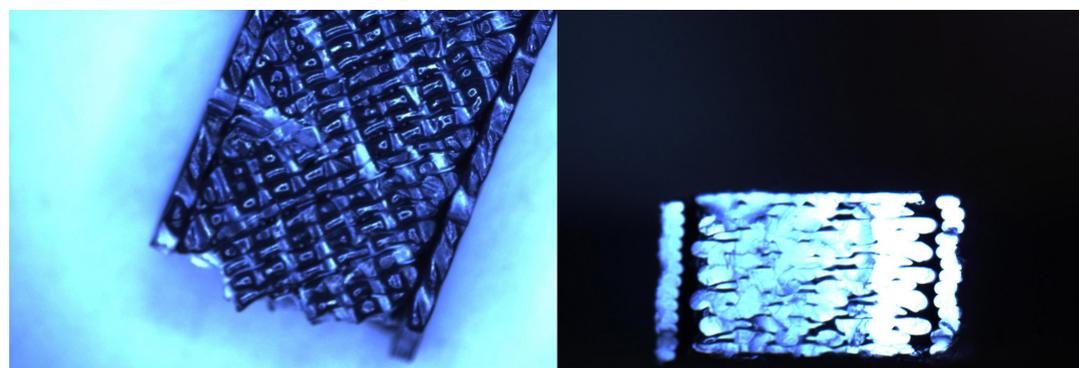
Na microscopia pode-se observar a qualidade de acabamento, mas acima de tudo foi possível verificar a ordenação dos filamentos e após o teste de tração como foi o processo de ruptura das amostras.

FIGURA 15 – ABS com filamento horizontal



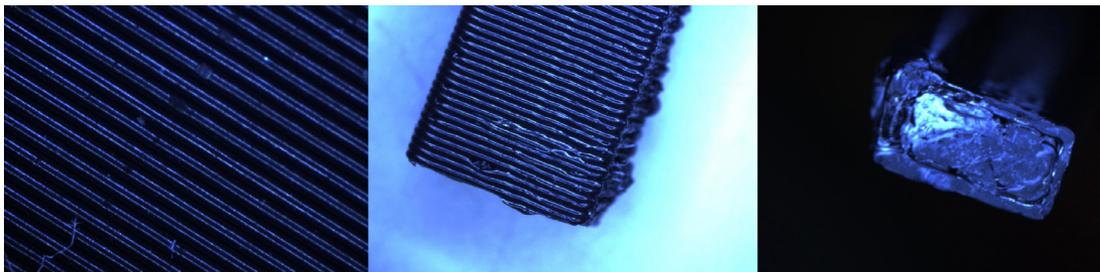
FONTE: Os autores (2019)

FIGURA 16 – ABS com filamento horizontal, local de ruptura



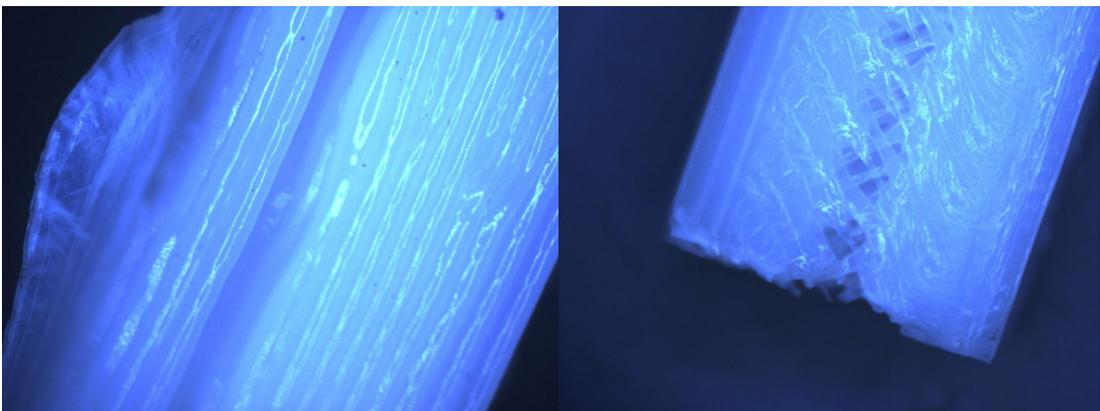
FONTE: Os autores (2019)

FIGURA 17 – ABS com filamento vertical, no meio e à direita local de ruptura



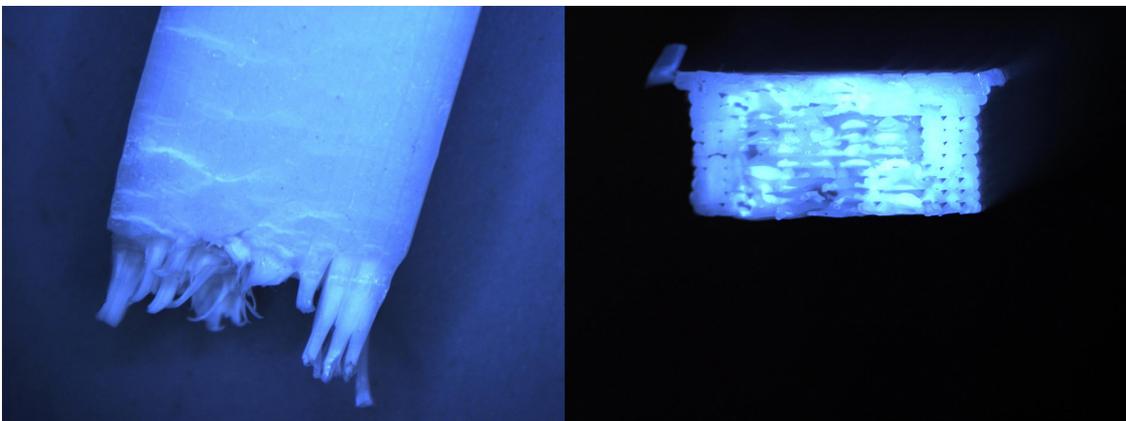
FONTE: Os autores (2019)

FIGURA 18 – PLA com filamento horizontal, à direita local de ruptura



FONTE: Os autores (2019)

FIGURA 19 – PLA com filamento horizontal, área de ruptura



FONTE: Os autores (2019)

Com os resultados em mãos pode-se traçar a TAB. 8 para a comparação dos materiais e sentidos de impressão:

TABELA 8 – Comparação de materiais e direção de impressão

Material	Direção de Imp.	Tempo de Imp.	Qtd. de Material	Tensão Escoamento
ABS	Vertical	25h 20min	19,5 g	11 MPa
ABS	Horizontal	4h 10min	9,4 g	29 MPa
PLA	Horizontal	8h	8 g	38 MPa

FONTE: Os autores (2019)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes de tração realizados nos corpos de prova impressos em ABS e PLA nas direções vertical e horizontal demonstraram por meio de seus resultados que tanto o PLA como o ABS possuem valores similares quando impressos na direção horizontal. Porém, quando comparado ao ABS na direção vertical pode-se notar uma grande diferença nos resultados.

A média das tensões no PLA horizontal resultou 28 MPa e no ABS horizontal 29 MPa, fazendo a análise estatística de variância com todos os resultados é possível concluir que de material para material não houveram diferenças significativas.

Na análise microscópica, entretanto, foi observado que o ABS resistiu um pouco mais à ruptura em comparação ao PLA, pelas regiões em que ficou esbranquiçado após a exposição às forças no teste de tração. No local em que romperam também é perceptível a diferença das fibras.

Já comparando as direções de impressão no ABS, a média para a horizontal foi de 29 MPa e para a vertical foi de 11 MPa, o que apresentou diferença significativa na ANOVA.

Olhando por meio de um microscópio é possível perceber que o corpo de prova impresso verticalmente praticamente não apresentou resistência antes de romper, o que na horizontal é claramente visto.

Avaliando a qualidade de impressão entre os materiais, nota-se uma ligeira vantagem por parte do ABS, que apresenta fibras mais alinhadas e com menos imperfeições do que o PLA, comparados no sentido horizontal. Contudo, o sentido vertical apresentou um acabamento inferior com maiores imperfeições.

Quanto à quantidade de material utilizada, percebe-se que o sentido vertical necessita de mais material para a impressão do mesmo corpo de prova, já entre PLA e ABS não há grande diferença na quantidade de material utilizado.

O tempo de impressão do ABS verticalmente também se apresentou muito maior em comparação com o tempo de impressão na horizontal, com a diferença chegando a

ser mais do que 5x. Já o PLA levou praticamente o dobro do tempo que o ABS quando comparados na direção horizontal.

Portanto pode-se concluir que para o método de impressão FDM na impressora *Stratasys Fortus 250mc* para as peças em ABS e na *Creality 10S Pro* para as peças em PLA, o ABS impresso na horizontal foi o que apresentou os melhores resultados.

A direção de impressão horizontal é a melhor maneira para que se obtenham bons resultados nos testes de tração, com maior resistência a ruptura quando comparada a direção vertical no mesmo material utilizando os mesmos parâmetros no método FDM.

O ABS se mostrou mais vantajoso devido aos seus resultados no teste de tração, além de apresentar o melhor acabamento e menor tempo de execução.

REFERÊNCIAS

3D HUBS. **What is 3D printing?** The definitive guide. Disponível em: <<https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/#basics>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Indústria 4.0**. Disponível em: <<http://www.industria40.gov.br>>. Acesso em: 5 nov. 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for tensile properties of plastics. **Designations D638 – 14**. Disponível em: <<http://www.dept.aoe.vt.edu/~aborgolt/aoe3054/manual/expt5/D638.38935.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

BANGGOOD. **Creativity 10S Pro**. Disponível em: <<https://www.banggood.com>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

CALLISTER, William D. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

ECYCLE. **Plástico PLA**: alternativa biodegradável e compostável. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/37-tecnologia-a-favor/738-pla-o-plastico-compostavel.html>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos dos. **Ensaio dos Materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GRILLETTI, Laís. Indústria 4.0: as oportunidades de negócio de uma revolução que está em curso. **Endeavor**, ago. 2017. Disponível em: <<https://endeavor.org.br/tecnologia/industria-4-0-oportunidades-de-negocio-de-uma-revolucao-que-esta-em-curso>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

GROOVER, Mikell P. **Introdução aos processos de fabricação**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

HD STORE. **Tipos de impressão 3d**: conheça as mais importantes. Disponível em: <<https://blog.hdstore.com.br/tipos-de-impressoras-3d>>. Acesso em: 01 out. 2019.

KEARNEY. **3D printing**: a manufacturing revolution. Disponível em: <<https://www.at Kearney.com>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

LIRA, Valdemir Martins. **Princípios dos processos de fabricação utilizando metais e polímeros**. São Paulo: Blucher, 2017.

LWT SISTEMAS. **Os benefícios da impressão 3D na indústria automobilística**. Disponível em: <<https://www.lwtsistemas.com.br/beneficios-impressao-3d-automobilistico>>. Acesso em: 12 maio 2019.

NADEL, Brian. **Stratays Fortus 250 mc Review**. Disponível em: <<https://www.business.com/reviews/fortus>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

PORTO, Thomás Monteiro Sobrino. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. 2016. 93 f. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

RESINEX. **ABS – Acrilonitrilo-butadieno-estireno**. Disponível em: <<http://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/abs.html>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

ROLAND BERGER, STRATEGY CONSULTANTS. **Additive manufacturing**: a game changer for the manufacturing industry? Munich, 2013.

STRATASYS. **O que é a Tecnologia FDM?** Disponível em: <<https://www.stratasys.com/br/fdm-technology>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

USPTO. **United states patent and trademark office**. 2018. Disponível em: <<http://www.uspto.gov>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

WISHIBOX. **Indústria 4.0 e a impressão 3D**. 2019. Disponível em: <<https://www.wishbox.net.br/industria-4-0-e-a-impressao-3d/#btn-continuar-lendo>>. Acesso em: 12 maio 2019.