

ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE PEÇAS FABRICADAS VIA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE CONSTRUÇÃO NAVAL

Data de aceite: 01/09/2023

Gisele Duarte Caboclo Antolin

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Brasil

Mauricio Quelhas Antolin

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Brasil

Paula de Castro Brasil

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Brasil

Maria Iaponeide Fernandes Macedo

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Brasil

Bruno Sousa da Cunha

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Brasil

Marcelo Musci Zaib Antonio

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Brasil

RESUMO: A técnica de impressão 3d tem sido cada vez mais utilizada em diversos setores da indústria, devido a sua grande versatilidade e potencialidade. Devido a isto, tem sido empregada em diversos setores da indústria. Contudo, a utilização deste processo de fabricação no setor

naval ainda é modesta. Uma das questões a serem discutidas é o preço das peças fabricadas e a variação das propriedades das peças com a variação dos parâmetros de impressão. Desta forma, este artigo abordará como a variação de parâmetros como ângulo de impressão, velocidade de impressão, preenchimento e temperatura das camadas alteram as propriedades de corpos de prova, feitos de ABS, fabricados via impressão 3d utilizando a técnica FDM (Modelagem por deposição fundida). Além disso, com os melhores parâmetros encontrados, foram fabricados 3 protótipos de peças para o setor naval: o protótipo de um mancal, que é utilizado em lemes de embarcações de pequeno porte, um protótipo de uma hélice utilizada em embarcações de médio porte e um protótipo de rolamento. Para determinação das propriedades mecânicas foram realizados testes de tração e de dureza. Com isso, o objetivo central deste artigo é abordar e analisar o uso da tecnologia de impressão 3d no setor naval e a viabilidade deste processo de produção para este setor, bem como o emprego destas peças no ensino.

PALAVRAS-CHAVE: Impressão 3D; Setor Naval; FDM; ABS; ensino.

ABSTRACT: The 3d printing technique has been increasingly used in various sectors of the industry, due to its great versatility and potential. Due to this, it has been used in several sectors of the industry. However, the use of this manufacturing process in the naval sector is still modest. One of the issues to be discussed is the price of the manufactured parts and the variation of the properties of the parts with the variation of the printing parameters. In this way, this article will address how the variation of parameters such as printing angle, printing speed, filling and temperature of the layers change the properties of specimens, made of ABS, manufactured via 3d printing using the FDM technique (Fused Deposition Modeling). In addition, with the best parameters found, 3 prototypes of parts for the naval sector were manufactured: a prototype of a bearing, which is used in rudders of small vessels, a prototype of a propeller used in medium-sized vessels and a bearing prototype. To determine the mechanical properties, tensile and hardness tests were performed. Thus, the main objective of this article is to approach and analyze the use of 3d printing technology in the naval sector and the feasibility of this production process for this sector as well as the use of these pieces in teaching.

KEYWORDS: 3D printing; Naval Sector; FDM; ABS; Teaching.

1 | INTRODUÇÃO

A busca pela maior competitividade no mercado, têm levado as empresas a buscarem tecnologias que as auxiliem na melhoria dos processos de fabricação, na melhoria da qualidade de seus produtos e sobretudo na redução dos custos. Uma das tecnologias que tem despontado no mercado é a impressão 3D, que é uma técnica que consiste em construir sólidos tridimensionais, através da sobreposição de camadas. Também conhecida como produção por manufatura aditiva, essa técnica possui como vantagens a redução de desperdício de matéria prima e redução de custos em relação a outros processos de fabricação usualmente empregados na manufatura (Camargo et al., 2021).

A primeira impressora 3D surgiu na década de 80 e foi criada por Chuck Hull. Essa primeira impressora seguia um método chamado estereolitografia, que consiste na solidificação de resinas através de prototipagem rápida para a obtenção do objeto em 3D. Após quatro anos já em 1988, começaram a ser comercializadas impressoras do tipo FDM (Fused deposition modeling) – Modelagem por Deposição Fundida. Desenvolvidas pela empresa Sott Scrup, essas impressoras entregavam o objeto final através de extrusão de material, que é o método mais utilizado até os dias atuais (Alcade et al., 2018).

Nos últimos anos, com o avanço da tecnologia e a melhoria dos métodos de produção, vários setores industriais já utilizam a prototipagem 3D, como exemplo, os setores automotivo e aeroespacial, e até outros setores profissionais como, medicina, engenharia e arquitetura.

Na área da saúde, por exemplo, destacam-se as próteses feitas sob medida para os pacientes, que podem ser impressas em algumas horas, e na odontologia, espera-se

que o uso de aparelhos ortodônticos feitos de metal desapareça com o tempo, devido ao fato de já existirem várias empresas trabalhando com modelos fabricados com poliuretano, que também são feitos sob medida para os pacientes, e já foram comprovados serem mais eficientes do que os modelos metálicos (Rodrigues et al., 2018).

Em relação a indústria automobilística, as aplicações da impressão 3d são diversas e vão desde a fabricação de painéis frontais e arcos de roda, a pequenas peças para o interior dos veículos (Gomes et al., 2020). Nas áreas de engenharia e arquitetura ganham destaque as soluções personalizadas para a decoração de ambientes, e até mesmo a construção de casas e edifícios na área da construção civil (Sacramento, 2021).

Na educação básica, a utilização da impressão 3d tem ganhado destaque com a elaboração de projetos voltados para a cultura maker. No ensino superior encontram-se aplicações de seu emprego em cursos de medicina, arquitetura e engenharia.

Contudo, a despeito dos setores citados acima já utilizarem extensivamente a tecnologia de impressão 3d, verifica-se que a utilização desta tecnologia ainda é tímida no setor naval. Conforme apontado por Trisciuzzi (2018), é de vital importância que a manufatura aditiva seja efetivamente implementada na indústria naval, conduzindo a um barateamento dos produtos e serviços, e fomentando o desenvolvimento de pesquisas neste setor. Isto faz-se necessário sobretudo devido à mudança no crescimento do setor naval brasileiro. Enquanto no início dos anos 2000 ocorreu uma importante elevação do número de embarcações brasileiras, a partir de 2014 o setor vem enfrentando um período de estagnação. Devido a isto, o setor naval brasileiro possui um grande gap tecnológico, tanto no que diz respeito à construção de novas embarcações quanto às tecnologias e logística para o reparo das mesmas (Sinaval, 2018).

Dentre as aplicações para o setor naval, podemos citar a construção de cascos de uma embarcação de pequeno porte (Trisciuzzi, 2018), que foi possível dividindo-se o desenho do casco em blocos que foram impressos em grupos, a fabricação de um propulsor em tamanho real com propósito de verificar o potencial da impressão 3d nestes equipamentos, a fabricação de protótipos para competições estudantis e a fabricação de peças de reposição para embarcações.

Em relação a esta última aplicação, existe uma grande diferença no período de tempo usado para se fabricar uma embarcação e o período de tempo disponível para o reparo e manutenção da mesma. O primeiro pode levar um longo período de tempo, que depende do tipo da embarcação a ser construída, o que pode durar de meses a anos. Por outro lado, os serviços de reparo e manutenção são realizados em poucas semanas e, portanto, faz-se necessário que o serviço de reparo ocorra próximo à rota da embarcação. Outra diferença é o fato de que os estaleiros de reparo devem dispor de maior variedade de ferramentas do que as exigidas pelos construtores, já que cada embarcação que necessita de reparo tem suas particularidades.

No Brasil, a indústria de peças de reposição é ainda uma das fragilidades deste setor, em virtude das durações de reparos periódicos e reparos de operação, que ainda são superiores à de outros países, tais como a China e alguns outros países da Ásia. Conforme apontado por Pinhão et al. (2019) o prazo de entrega e substituição de peças é o fator mais importante para as companhias de navegação, o que faz com que o país ainda careça de desenvolvimento neste aspecto.

Além disso, após o grande aumento experimentado pelo setor naval no Brasil entre os anos de 2003 e 2014, o país atravessou uma grave crise, que ocorreu principalmente em virtude da grave crise da economia brasileira e da Petrobras. Neste período, em virtude do retrocesso deste setor, houve uma redução da demanda de peças de reposição e manutenção, fazendo com que esta necessidade fosse absorvida por empresas estrangeiras.

Ainda no ano de 2014, uma pesquisa feita pela Clarksons Shipping Intelligence divulgou o ranking da construção naval mundial, analisando o número de embarcações construídas em cada país naquele ano. Nesta avaliação, o Brasil ocupava a quarta posição, logo acima dos EUA. De acordo com o Sindicato da Indústria Naval, há pelo menos sete anos não ocorrem negociações consistentes no setor de petróleo e gás no país, além disso, o número de empregos no setor teve uma queda de mais de 60% em relação a 2014, o pico da atividade neste setor (Sinaval, 2014).

Cabe destacar, que de acordo com Pinhão (2019), no ano de 2018, o valor do mercado global de serviços de reparo e manutenção naval foi da ordem de US\$ 20 bilhões, e estima-se que será de algo em torno de US\$ 40 bilhões em 2028, de acordo com um estudo realizado pela Future Market Insights (FMI).

Para o ano de 2022, a grande questão a ser enfrentada diz respeito aos efeitos causados na economia devido à pandemia de covid 19. Somente no ano de 2020, observou-se uma queda significativa no comércio marítimo, somente comparada à crise financeira internacional do ano de 2009, indicando uma queda de mercado de 4,4%. Espera-se que nos próximos anos este mercado volte a se expandir, o que será obtido sobretudo a partir do desenvolvimento tecnológico e da solução de problemas, já aqui anteriormente apontados, enfrentados pelo setor (Gavalas et al., 2022).

Uma das tecnologias que tem sido amplamente discutidas para resolver a questão da duração dos reparos das embarcações é a impressão 3D. Uma das aplicações desta tecnologia no setor naval foi apontada pela empresa ShipParts. A ideia consiste em uma mudança na estratégia de aquisição de peças para o reparo de embarcações. Ao invés de adquirir uma peça e enviá-la ao cliente, a empresa almeja fornecer arquivos digitais a um especialista em impressão 3D que esteja localizado próximo ao cliente, reduzindo a logística e desta forma minimizando os custos de produção, além de ser possível uma redução em 80% o tempo de processamento de pedidos de peças de reposição (Portos e Navios, 2020).

Porém, o estado atual da tecnologia de impressão 3d, o preço da peça fabricada através da impressão possui um valor mais elevado que a peça fabricada de forma tradicional, porém, estima-se que isso mude no futuro, já que as peças possuem qualidade equivalente e podem ser fabricadas em uma ampla gama de materiais (Portos e Navios, 2020).

Nesse contexto, a proposta deste trabalho foi avaliar a utilização da impressão 3D por método FDM na indústria naval, com a produção de protótipos de peças utilizadas em embarcações, avaliando suas resistências mecânicas em diferentes parâmetros de impressão como velocidade de impressão, temperatura de extrusão, ângulo de impressão e preenchimento. A fabricação de protótipos possui grande aplicabilidade no setor de ensino, pois permite aos alunos o contato material com peças que poderiam ser vistas apenas no papel, sendo desta forma, uma importante ferramenta para o ensino.

Para este trabalho foram fabricadas peças que conseguissem atender as demandas de resistência necessárias para ser utilizada como protótipo, já que estas serão desenvolvidas em polímero ABS. Uma das propostas para a fabricação destes protótipos é a sua aplicação na indústria e em competições universitárias, tais como o Desafio Universitário de Nautidesign (DUNA). Desta forma, realizamos um estudo voltado para a avaliação de como a variação de parâmetros tais como velocidade e ângulo de impressão e temperatura de extrusão afetam as propriedades mecânicas das peças. Após a realização deste estudo os parâmetros que conduziram as melhores propriedades foram utilizados para a fabricação de 3 tipos de protótipos (1 mancal, 1 hélice de embarcação e 1 rolamento) com vistas a utilização de embarcações em competições estudantis.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Escolha das peças e processo de fabricação

Os corpos de prova utilizados neste estudo foram projetados no software Autocad (figura 1). Foram feitos dois corpos de prova de tamanhos diferentes, um maior e um menor, as medidas de ambos podem ser vistas na figura 1. Cabe destacar que os corpos de prova da figura 1-b foram fabricados de acordo com a norma ASTM 638.

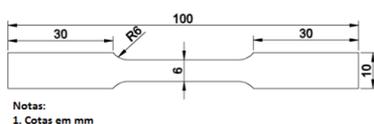


Figura 1-a Cotas do corpo de prova menor.

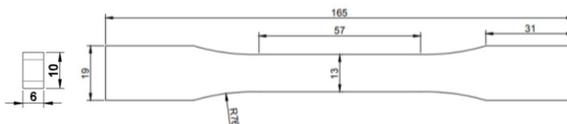


Figura 1-b Cotas do corpo de prova maior.

Após isto, os corpos foram fabricados via impressão 3d em diferentes parâmetros que são sumarizados na tabela 1 (variação da velocidade de impressão), na tabela 2 (variação do preenchimento), na tabela 3 (variação da temperatura das camadas) e na tabela 4 (variação do ângulo de impressão). Os corpos de prova foram impressos em ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) utilizando a técnica FDM em uma impressora GTmax 3D modelo H5 (figura 2), aliado ao fatiador simplify 3D. Em resumo, esse modo de impressão 3D derrete um filamento do material escolhido, que no caso desse projeto foi o ABS, e o coloca sobre uma mesa aquecida no formato do arquivo de CAD que foi enviado a impressora. Esse filamento derretido vai sendo colocado camada por camada, até que se chegue ao objeto final. A figura 3 mostra a impressão de alguns corpos de provas obtidos para este trabalho.

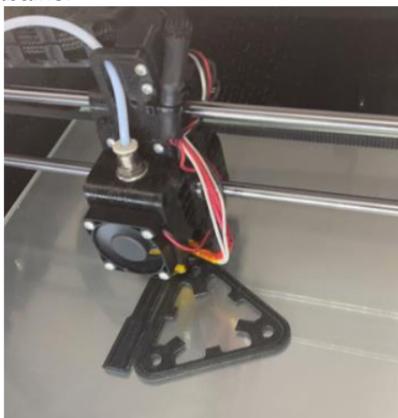


Figura 2 - Processo de fabricação da peça em FDM. Figura 3 - Corpos de prova.

2.1.1 *Variação da velocidade de impressão e do preenchimento*

Para esta primeira parte do trabalho foram variados a velocidade de impressão e o preenchimento da peça, os demais parâmetros que foram mantidos fixos durante a fabricação da peça foram a temperatura da mesa que foi igual a 110oC, a temperatura de extrusão da primeira camada foi 250oC e a temperatura de extrusão da segunda camada foi 235oC. A tabela 1 mostra os parâmetros variados:

Velocidade (mm/s)	7100	7150	7200	7250	7300	7200	7200	7200
Preenchimento	20%	20%	20%	20%	20%	15%	25%	30%

Tabela 1 - Variação de parâmetros por peça.

Fonte: O Autor.

Dos resultados encontrados, os parâmetros que conduziram as melhores propriedades foram escolhidos para serem utilizados na fabricação de um Mancal da

marca SKF, do tipo FNL 508 B + 22208 K + H 308 (SKF, 2022), que pode ser observada nas figuras 4. Este tipo de mancal é utilizado em navios em lugares que precisam deixar um eixo giratório firme, sem instabilidades, por exemplo, as hélices. Para a fabricação do protótipo seu tamanho foi reduzido em 50%, e desta forma o mesmo foi fabricado com diâmetro externo de 52,5 mm, diâmetro interno 17,5 mm, largura igual a 33 mm e 80 mm de comprimento. Na figura 5 temos uma imagem de um corpo de prova e de um mancal construídos para este trabalho.

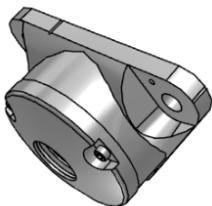


Figura 4-a Perspectiva.

Fonte: O Autor.



Figura 4-b Vista superior.

Fonte: Skf (2022)



Figura 5 - Mancal e um corpo de prova.

Fonte: O Autor.

2.1.2 Variação da temperatura de extrusão

Para a segunda parte do trabalho, entre os parâmetros de impressão, apenas as temperaturas de extrusão foram alteradas, a temperatura da mesa foi mantida em 110°C, todas as impressões foram feitas com a velocidade de impressão em 7200 mm/s e com 20% de preenchimento.

Conforme mostrado na tabela 2, para as temperaturas de extrusão, na primeira bateria de impressões foram utilizados os valores de 240°C a 260°C para a primeira camada, enquanto as demais camadas foram mantidas em 225°C. Na segunda bateria de impressões, a primeira camada foi mantida em 250°C, e as demais foram alteradas entre os valores de 215°C a 235°C.

Variação da primeira camada					
Temperatura (°C)	240	245	250	255	260
Variação da segunda camada					
Temperatura (°C)	215	220	225	230	235

Tabela 2 – Variação da temperatura das camadas.

Fonte: O Autor.

Dos resultados encontrados, os parâmetros que conduziram as melhores propriedades foram escolhidos para serem utilizados na fabricação de um protótipo de uma hélice para embarcação. O protótipo da hélice foi desenhado em autocad e depois fabricado via impressão 3d, com as dimensões 10 cm X 1 cm X 0,5 cm (Figura 6).



Figura 6 – Protótipo de hélice.

Fonte: O Autor.

2.1.3 Variação da orientação de fabricação

Para esta parte do trabalho os corpos de prova foram fabricados via impressão 3d na direção longitudinal e transversal. A temperatura da mesa foi mantida em 110oC, todas as impressões foram feitas com a velocidade de impressão em 7200 mm/s e com 20% de preenchimento. Os ângulos utilizados na impressão são mostrados na tabela 3. É importante destacar, que aqui, o ângulo de impressão foi definido como sendo o ângulo formado entre a peça e o eixo x, conforme mostrado na figura 7.

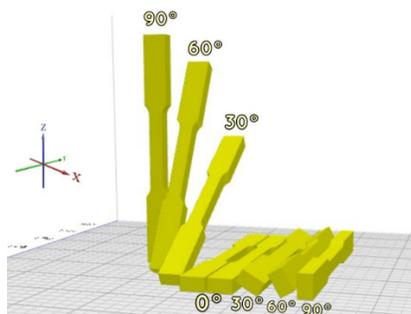


Figura 7: Peças impressas com diferentes ângulos de impressão.

Fonte: O Autor.

Direção	Ângulos (°)			
	0	30	60	90
Horizontal	0	30	60	90
Vertical	0	30	60	90

Tabela 3: Ângulos utilizados para a fabricação das amostras.

Fonte: O Autor.

Os melhores resultados obtidos para as propriedades mecânicas foram utilizados para a fabricação de um rolamento tal como o mostrado na figura 8, com dimensões 3,9 cm de diâmetro externo, 1,1 cm de diâmetro interno, 1,1, cm de altura, com rolamentos internos de 0,9cm de diâmetro. Este tipo de rolamento pode ser empregado em inúmeras aplicações do setor naval, dentre as quais podemos citar os sistemas de rolamentos de propulsão e demais sistemas de eixos giratórios.



Figura 8: Protótipo de rolamento para o setor naval. Fonte: O Autor

2.2 Ensaio Mecânicos

Foram realizados dois tipos de ensaios de mecânicos nos corpos de prova: o ensaio de dureza e o ensaio de tração.

O ensaio de dureza shore D foi feito para analisar a dureza em cada um dos corpos de prova de cada variação de parâmetro. Seguindo a norma utilizada para medidas de dureza (Norma ASTM 2240), este valor foi medido em 5 pontos diferentes da peça. Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Polímeros da UERO (UERJ-ZO).

O segundo teste que os corpos de prova foram submetidos foi o ensaio de tração. Esse teste foi realizado pela TECPOL do IPRJ seguindo a norma ASTM D638 (tipo I) com velocidade de teste de 5mm/min.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos resultados que se seguem, utilizaremos a seguinte designação: σ_r é a tensão de ruptura, σ_m é a tensão máxima, σ_e é a tensão de escoamento e E é o módulo de elasticidade.

A tabela 4 mostra um resumo para os resultados encontrados para as peças fabricadas em que se variou a velocidade de impressão e o preenchimento. Em relação ao ensaio de dureza, verificou-se a variação de preenchimento e de velocidade de impressão não conduziram a alterações da dureza das peças. Isto pode ser justificado pelo fato de a medida de dureza ser uma medida superficial, atingindo poucos milímetros abaixo da superfície da amostra.

Observando a tabela 4 é possível identificar a dispersão dos valores nos resultados dos ensaios de tração, porém, podemos observar que a amostra que apresentou melhor resistência mecânica foi a amostra fabricada com velocidade de 7200mm/s. Em relação ao módulo de elasticidade, tensão de ruptura e limite de resistência, também não foi verificada uma tendência de aumento ou redução em função do aumento da velocidade. Isto indica a existência de um valor ótimo para a velocidade de impressão em relação aos outros parâmetros utilizados.

Isto pode estar relacionado ao fato de que a velocidade de impressão afeta a temperatura de extrusão, pois quanto maior a velocidade de impressão, maior necessidade de temperatura de extrusão. Isto justificaria a queda da resistência mecânica para maiores valores de velocidade de impressão. Além disso, é importante destacar que quanto mais rápida for a impressão, menos precisa será a impressão. Porém, não podemos reduzir muito a velocidade de impressão pois isso aumenta o tempo de impressão das peças.

Analisando os resultados obtidos para o parâmetro de preenchimento da peça, conseguimos notar que os valores de tensão de escoamento, tensão de ruptura e limite de resistência à tração crescem com o aumento do preenchimento da peça. Desta forma, avaliando-se a questão de resistência podemos concluir que em relação às amostras em que foi variado o preenchimento, a que resultou nas melhores propriedades mecânicas foram as amostras com 25% de preenchimento.

Comparando estes valores com os valores obtidos por Silva (2019), verificamos que a peça deste estudo obteve resultados ótimos com 25% de preenchimento, obtendo tensão de escoamento igual a 11,1 MPa, enquanto na literatura alcançaram 6,22 MPa para 100% de preenchimento, o que mostra que as nossas peças foram mais resistentes. O mesmo foi verificado para o módulo de elasticidade onde Silva (2019) encontrou o valor de 0,34 GPa e neste estudo o valor encontrado foi de 0,57 GPa para amostras com 25% de preenchimento.

Desta forma, podemos confirmar que quanto maior o preenchimento da peça mais resistente às tensões aplicadas a peça será. Isto está em concordância com a literatura e com o fato de que quanto maior for a quantidade de preenchimento mais material a peça terá para resistir aos esforços a ela impostos.

Contudo, cabe destacar que conforme citado por Oliveira (2017), aumentar a porcentagem de preenchimento de um corpo feito por impressão 3D corresponde ao aumento do número de linhas de material plástico em seu interior, o que reflete diretamente em um aumento do tempo de impressão.

Como o processo de fabricação por FDM é feito através da fusão e deposição de filamento, a viscosidade do termoplástico impossibilita o preenchimento completo da amostra. Uma forma de minimizar este efeito é aumentando a temperatura do bico, o que reduz a viscosidade do filamento, possibilitando um melhor preenchimento desses espaços vazios, em detrimento da qualidade dimensional da peça finalizada (Carneiro et al., 2019).

Em relação as peças em que foi variada a temperatura de extrusão da primeira e da segunda camada, os resultados são sumarizados na tabela 5 e na tabela 6. Um fato importante, que tem sido citado em outros trabalhos, é o empenamento sofrido pelas peças fabricadas em ABS. Conforme o apontado por Oliveira (2017), quando o ABS das camadas superiores encontra-se mais aquecido do que o material das camadas inferiores, a peça sofre empenamento em virtude dos diferentes coeficientes de dilatação das camadas. Para evitar este fenômeno, a camada inferior deve manter-se aquecida, além de se aplicar algum produto para melhorar a aderência entre primeira camada e mesa, ou ainda, pode-se adotar a estratégia seguida neste trabalho em que as temperaturas praticadas na extrusão da primeira camada eram superiores as demais camadas, o que evita que o material descole da mesa.

		Valores médios				
		7100	7150	7200	7250	7300
Velocidade	Velocidade (mm/s)					
	σ_m (MPa)	16,02	15,50	15,75	15,94	16,09
	σ_r (MPa)	14,78	13,98	14,42	14,24	14,57
	E (GPa)	0,61	0,50	0,47	0,53	0,58
	σ_e (MPa)	11,4	9,7	11,8	11,3	8,4
	Dureza (Shore D)	22	22	22	22	22
		Valores médios				
Preenchimento		15%	20%	25%		
	σ_m (MPa)	15,62	15,75	15,98		
	σ_r (MPa)	14,14	14,42	14,95		
	E (GPa)	0,50	0,47	0,57		
	σ_e (MPa)	10,4	10,9	11,1		
	Dureza (Shore D)	22	22	22		

Tabela 4 - Análise das médias dos valores de ensaio para cada parâmetro.

Fonte: O Autor.

		Valores médios				
Temperatura da primeira camada	T (°C)	240	245	250	255	260
	σ_m (MPa)	15,90	15,97	15,72	15,96	15,77
	σ_r (MPa)	14,79	14,62	14,87	14,75	14,54
	E (GPa)	0,56	0,67	0,67	0,62	0,57
	σ_e (MPa)	15,86	15,69	15,58	15,67	15,50
	Dureza (Shore D)	67,8	67	65	64	66,4
		Valores médios				
Temperatura da segunda camada	T (°C)	215	220	230	235	
	σ_m (MPa)	16,3	16,05	14,59	14,81	
	σ_r (MPa)	15,37	14,55	14,74	13,54	
	E (GPa)	0,51	0,53	0,91	0,57	
	σ_e (MPa)	15,87	15,38	14,98	13,98	
	Dureza (Shore D)	65,2	64,6	68,4	70	

Tabela 5: Resultados encontrados para a variação da temperatura de extrusão.

Fonte: O Autor.

Pode-se observar que a redução da temperatura da primeira camada favorece o aumento de resistência da peça, conforme pode ser observado nos valores de tensão de escoamento do material. O mesmo pode ser observado em relação ao aumento da temperatura da segunda camada.

Contudo, verificou-se que o aumento da temperatura favoreceu o aumento do módulo de elasticidade e da tensão de ruptura para a segunda camada, bem como o aumento no valor da dureza das peças.

Estes resultados concordam com o trabalho de Oliveira (2017) que mostrou que o grau de cristalinidade de um polímero, pode ser entendido como uma espécie de empacotamento das moléculas de um material. Devido a isto, quanto maior a temperatura utilizada na fabricação, menos próximas e concentradas se encontram as moléculas. Assim sendo, ao se aplicar uma temperatura maior para a impressão, os polímeros acabam atingindo um grau menor de cristalinidade.

Comparando estes resultados com os encontrados por Zekavat et al. (2018), que estudou o efeito da temperatura de impressão em peças fabricadas via FDM através de tomografia computadorizada, verifica-se que neste trabalho, as peças impressas em temperaturas mais baixas tinham maiores lacunas de ar, o que provocou uma diminuição de sua resistência. Isso significa que, para peças mais resistentes, as temperaturas de impressão mais altas são ideais.

Em relação as peças em que se variou a direção e o sentido de impressão, temos os resultados sumarizados na tabela 6.

		Valores médios			
		0°	30°	60°	90°
Orientação de impressão (Horizontal)	σ_m (MPa)	15,18	19,19	10,97	17,08
	σ_r (MPa)	14,21	18,43	10,97	16,21
	E (GPa)	0,34	0,23	0,22	0,37
	σ_e (MPa)	14,23	13,23	11,23	17,95
	Dureza (Shore D)	22	22	21,8	21,9
		Valores médios			
		0°	30°	60°	90°
Orientação de impressão (Transversal)	σ_m (MPa)	15,27	13,06	11,74	18,05
	σ_r (MPa)	13,96	12,05	11,74	16,75
	E (GPa)	0,33	0,17	0,31	0,36
	σ_e (MPa)	14,33	13,46	10,14	17,92
	Dureza (Shore D)	22	22	22	22

Tabela 6 – Parâmetros utilizados para a impressão de peças com diferentes orientações.

Fonte: O Autor.

A primeira observação a ser feita é que o tempo de impressão é influenciado pela variação de direções e sentidos de impressão. Esta diferença de tempo é explicada pela velocidade de movimentação no eixo Z ser inferior aos valores encontrados nos eixos X e Y, além de variar a quantidade de material consumido na fabricação das peças, uma vez que em algumas direções é necessário o uso de suportes.

Os resultados das tabelas 6 mostram que os valores de dureza se mantiveram constantes, o que mostra que esta propriedade não é sensível a variação da direção e do sentido de impressão. Em relação a resistência mecânica, observa-se que as amostras impressas a 90° Horizontal, seguidas das amostras impressas a 90° Vertical, foram aquelas que apresentaram maiores valores de tensão de escoamento e módulo de elasticidade. Estes resultados concordam com o verificado por (Oliveira, 2019). A variação da resistência mecânica em função da direção e sentido da impressão podem ser explicados pelo modo como as moléculas poliméricas são formadas após o polímero ser derretido no bico da impressora. Quanto mais ramificações e mais fases o polímero possuir, maiores serão as variações de suas propriedades. É importante salientar que, conforme destacado por Galeja et al. (2020), peças fabricadas por impressão 3d possuem valores de resistência

mecânica inferiores àqueles previstos pela teoria em virtude da porosidade encontrada nas mesmas.

Apesar de neste trabalho não investigarmos a fratura dos materiais, foi encontrado na literatura o trabalho de Yao et al. (2020), que propõem um modelo no qual verificam que corpos de prova impressos com ângulo entre 45 a 90°, a fratura ocorre com o rompimento das cadeias poliméricas, de forma a atravessar as camadas poliméricas “in layer”.

4 | CONCLUSÃO

Através deste trabalho podemos verificar como os parâmetros de impressão e a trajetória de extrusão afetam as propriedades mecânicas do ABS fabricado via impressão 3d. Foram fabricados uma série de corpos de prova, onde pode-se observar que o aumento do preenchimento das peças aumenta a resistência das mesmas, a velocidade de impressão possui um valor ótimo que depende dos demais parâmetros empregados no processo, a redução da temperatura da primeira camada favorece o aumento de resistência da peça, assim como o aumento da temperatura da segunda camada. Em relação a orientação da impressão, podemos verificar que as peças impressas a 90° (na horizontal ou na vertical), foram aquelas que exibiram maior resistência mecânica.

A adoção destes parâmetros permitiu a fabricação de protótipos de peças para o setor naval, o que demonstra a viabilidade do uso desta técnica para este setor, e define os melhores parâmetros a serem utilizados.

As peças fabricadas possuem grande potencial para serem utilizadas no ensino, de forma a facilitar a visualização e interpretação das mesmas. Além disso, podem ser utilizadas em projetos multidisciplinares que envolvam desde a disciplina de desenho técnico até a disciplina de projetos de embarcações, o que demonstra o grande potencial da mesma na área de ensino.

AGRADECIMENTOS

À FAPERJ pelo suporte financeiro e a TECPOL pela realização dos ensaios de tração.

REFERÊNCIAS

Alcade, E., Wiltgen, F. Estudo das tecnologias em prototipagem rápida: passado, presente e futuro, Revista de Ciências Exatas da Universidade de Taubaté, Taubaté, v. 24, n. 2, p. 12-20, 2018.

Camargo, G. R. R., Barbosa, P. A. G. Santos, F. A. Impressão 3D na Manutenção Industrial e a Redução de Custos. ABCustos, São Leopoldo: Associação Brasileira de Custos, v. 16, n. 1, p. 118-143, jan.-abr. 2021

Carneiro, L. R. R., Barbar, G. D., Santos, L. C. P., Guarato, A. Z. Influência da Temperatura da Mesa de Impressão 3D na Dureza e Dimensões Geométricas da Amostras em ABS. Em: XXVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, 2019. 19 a 23 de agosto de 2019, Ilhéus, BA, Brasil,

Galvalas, D., Syriopoulos, T., Tsatsaronis, M. COVID-19 impact on the shipping industry: An event study approach. *Transport Policy*, 116, 157-164, 2022

Gomes, J. F. B., Wiltgen, J. Avanços na manufatura aditiva em metais: técnicas, materiais e máquinas. *Rev. Tecnol. Fortaleza*, v. 41, n. 1, p. 1-16, jun. 2020.

Oliveira, D. S. C. Efeito do ângulo de Impressão Nas Propriedades de Peças Poliméricas Impressas em 3D. Trabalho de Conclusão de Curso, Licenciatura em física, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba. 2019.

Oliveira, G. A. Influência das Propriedades Dos Polímeros Nas Características Finais Das Peças Obtidas Por Impressão 3D. Departamento de Engenharia Mecânica Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2017.

Pinhão, C. M. A. M., Rocio, M. A. R., Mendes, A. P. A., Teixenta, C. A. N., Prates, H. F. Estaleiro de Reparo e Manutenção Naval. *BNDES Set.*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 50, p. 67-107, set. 2019.

PORTOS E NAVIOS. Disponível em: Disponível em: <https://www.portosenavios.com.br/noticias/ind-naval-e-offshore/a-impressao-3d-pode-revolucionar-a-aquisicao-de-pecas-de-reposicao>. Data de acesso: 05/07/2022.

PORTOS E NAVIOS. Disponível em: <https://www.portosenavios.com.br/noticias/ind-naval-e-offshore/a-impressao-3d-pode-revolucionar-a-aquisicao-de-pecas-de-reposicao>. Data de acesso: 03/07/2022.

Rodrigues Jr, J. L., Cruz, L. M. S., Sarmanho A. P. S. Impressora 3D no desenvolvimento de pesquisas com próteses. *Rev. Interinst. Bras. Ter. Ocup.* Rio de Janeiro. 2018. v.2(2): 398- 413.

Sacramento, L., P., B. Desenvolvimento de Protótipos Estruturais Com Uso da Impressora 3D Para o Ensino da Arquitetura. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal do Espírito Santo. Curso de Arquitetura e Urbanismo. 2021.

SINAVAL. Disponível em: <http://sinaval.org.br/2017/04/brasil-e-o-quarto-maior-construtor-naval-do-mundo/>. Data de acesso: 06/07/2022/.

SINAVAL. Disponível em: <http://sinaval.org.br/2018/07/industria-naval-brasileira-vive-grave-crise-a-espera-de-encomendas-com-queda-de-64-nos-empregos-desde-2014/>. Data de acesso: 05/07/2022

SINAVAL. Disponível em: <http://sinaval.org.br/2020/07/impressao-3d-no-setor-naval/>. Data de acesso: 04/07/2022.

SKF. Disponível em: <https://www.skf.com/br/products/mounted-bearings/bearing-housings/flanged-housings-fnl-series/productid-FNL%20508%20B%20%2B%2022208%20K%20%2B%20H%20308>. Acesso em: 19 jan. 2022.

Yao, T., Ye, J, Deng, Z., Zhang, K., Ma, Y., Ouyang, H. Tensile failure strength and separation angle of FDM 3D printing PLA material: Experimental and theoretical analyses. *Composites Part B: Engineering*. Volume 188, 1 May 2020.

Zekavat, A. R., Jansson A., Larsson, J., Pejryd, L. Investigating the effect of fabrication temperature on mechanical properties of fused deposition modeling parts using X-ray computed tomography. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 100, pages287–296 (2019).