

IMPACTO DE CONFIGURAÇÕES DE SUPORTE NA QUALIDADE SUPERFICIAL EM MANUFATURA ADITIVA

Lucas Bello Boaventura¹

Fernanda Vaz Borges Carneiro²

Alexandre Crepory Abbott de Oliveira³

Andréa Cristina dos Santos⁴

Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília

¹lucasbellob@hotmail.com

²fernandavazbc@gmail.com

³alex.crepory@gmail.com

⁴andreasantos@unb.br

Resumo: A fabricação por filamento fundido (FFF) é uma das tecnologias de fabricação mais difundidas na Manufatura Aditiva (MA), e vem tomando grandes proporções com o crescimento da MA no mundo, principalmente com o avanço da Indústria 4.0. Isso se deve a sua rápida curva de aprendizagem e a sua versatilidade de aplicação em diferentes tipos de peças. No entanto, isso não significa que não há desafios na sua utilização. Dependendo da geometria das peças, se faz necessário o uso de estruturas de suporte, cuja presença impacta diretamente na qualidade final da peça e na sua aplicabilidade. Porém, observa-se uma falta de estudos sobre parâmetros de configuração da impressão e os impactos nas estruturas de suporte. Este artigo tem como objetivo estudar diferentes implementações de suportes em impressões 3D e seus impactos diretos na qualidade de peça final. Para realizar a avaliação do efeito dos parâmetros de suporte na fabricação de peças, esse artigo propõe um corpo de prova que possa ser fabricado em diferentes tipos de materiais. Nesta peça é possível avaliar a retirada de material de suporte interno e externo, e o acabamento das superfícies em contato com os suportes. Os estudos foram feitos levando em conta os parâmetros de configuração de suporte presentes no software de fatiamento PrusaSlicer: estilo de suporte; distância no eixo z do contato da peça com o material de suporte; quantidade de camadas de interface superior. Os corpos de prova foram fabricados em PLA por uma mesma impressora 3D (Prusa Mk3S). Os aspectos principais a serem avaliados na peça foram a facilidade em retirar o suporte, a qualidade superficial da peça e a quantidade de material de suporte que não pôde ser removida. Como resultado, observou-se que a distância no eixo Z entre o suporte e a peça teve impacto relevante na facilidade de retirada do suporte e na quantidade de material restante na peça após o processamento. Além disso, a presença de pelo menos uma camada de interface também impactou positivamente o material remanescente. Dessa forma, tem-se um direcionamento inicial sobre parâmetros de impressão para otimização de suportes de possuir uma distância no eixo Z entre o suporte e a peça de 0.2 mm e duas camadas de interface superior.

Palavras-chave: Manufatura aditiva, Material de suporte, Acabamento superficial, Parâmetros de impressão;

1. INTRODUÇÃO

O advento da 4ª Revolução Industrial foi responsável pelo desenvolvimento de tecnologias que possibilitaram que a Manufatura Aditiva (MA) se tornasse um dos mais importantes pilares que sustentam essa mudança na indústria, e essa área vem se desenvolvendo rapidamente (Gordev, 2018). Diferentemente do que ocorre na manufatura subtrativa, no processo de manufatura aditiva é feito um acúmulo seletivo de material por camadas (Renjith; Park; Kremer, 2020). A MA permite uma maior liberdade geométrica que processos tradicionais, possibilitando a criação de peças que seriam impossíveis de fabricar por outras tecnologias. Além disso, devido a sua integração com o digital e a não necessidade de moldes, a personalização de peças é economicamente viável no contexto de MA (Pradel et al., 2018).

O processo de fabricação por MA se inicia de uma modelo 3D gerado por um software de Projeto Auxiliado por Computador (CAD, do inglês *Computer Aided Design*) ou de um escaneamento 3D. Esse modelo digital tridimensional precisa ser convertido em um modelo de representação por faces, o mais comum é o STL (do inglês *STereoLithography*). Este modelo é transformado em fatias ou camadas por um software de fatiamento, juntamente com os parâmetros e configurações de impressão específicas para cada peça. Após esta transformação, o arquivo gerado é salvo em formato .gcode e inserido na máquina pelo meio selecionado (via internet, cartão SD, comunicação serial e entre outros) (Thompson et al., 2016; Renjith; Park; Kremer, 2020). Nesse processo alguns parâmetros podem ser modificados de acordo com a aplicação da peça e impactarão diretamente em seu resultado final (Wu, 2018). O

microcontrolador da máquina converte o código em movimentações dos motores, construindo a peça camada a camada (Renjith; Park; Kremer, 2020). Esse processo de fabricação é sintetizado pela Figura 1. Nesta imagem, os processos são apresentados em retângulos e os resultados desses processos em elipses.

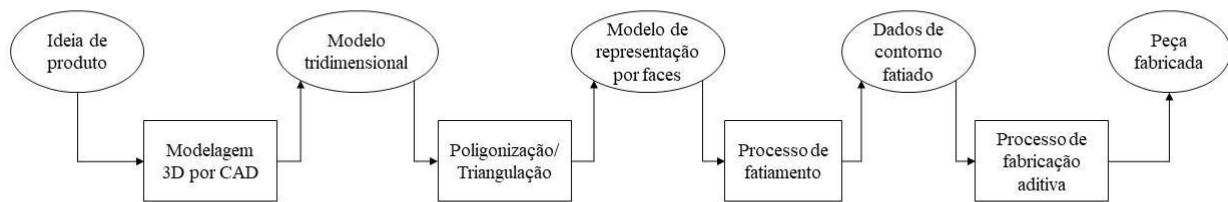


Figura 1. Processos e resultados de MA. Adaptado de (Thompson et al., 2016).

Entre as tecnologias de manufatura aditiva, popularmente chamada de impressão 3D, pode-se destacar a *fabricação por filamento fundido* (FFF), Estereolitografia (SLA, do inglês *Stereolithography*) e Sinterização Seletiva a Laser (SLS, do inglês *Selective Laser Sintering*). Dentre elas, a FFF é uma das mais tecnologias mais populares, tanto pela rápida curva de aprendizado de utilização quanto pelas diversas possibilidades de aplicação. Além da tecnologia ter reduzido de custo (Alves et al., 2021).

No processo de fabricação por FFF, um filamento de termoplástico é aquecido no cabeçote extrusor até um estado semilíquido e forçado a passar por um bico de forma controlada. Esse material expelido é depositado sobre uma superfície, chamada de mesa de impressão, ou sobre uma camada anterior seguindo as instruções do código máquina. Dessa forma, camada a camada uma peça tridimensional é criada. Entre os termoplásticos mais comuns pode-se destacar o poliláctico (PLA) e o acrilonitrila butadieno estireno (ABS, do inglês *acrylonitrile butadiene styrene*) (Turner e Gold, 2015; Alves et al., 2019).

Por se tratar de uma tecnologia que realiza a fabricação camada por camada, é necessário que haja material imediatamente abaixo de onde será depositada a nova camada. Caso não haja, a camada será depositada no ar e, devido a ação da gravidade, ela vai cair e não vai manter a forma esperada. Em geral, a camada anterior da peça cumpre esse papel de suporte. No entanto, em casos em que há uma parte da peça que se projete além da base, há necessidade de criar estruturas de suporte para apoiá-la. Essas estruturas podem ser do mesmo material da peça, de um material diferente com baixa interação com o da peça, ou de material solúvel (Diegel; Nordin; Motte, 2019).

A inclusão dessas estruturas de suporte, entretanto, influenciam diretamente no custo total de fabricação das peças e principalmente, afetam o acabamento superficial da peça. Isso acontece pois os suportes não farão parte da peça final e devem ser retirados após a finalização da impressão, seja de forma mecânica ou química. Dessa forma, as estruturas de suporte devem ser facilmente removidas e não devem deixar marcas após a remoção. Como a própria impressão da peça, existem diversos parâmetros de impressão aplicáveis ao suporte que também devem ser levados em consideração durante as configurações da máquina.

Em pesquisas em bases científicas, foram encontrados artigos que investigavam a influência e otimização dos parâmetros de FFF em propriedades da peça fabricada, como em Qattawi (2017), Alves et al. (2019) e Pulipaka (2023), mas que não focam em estruturas de suporte. Em Qattawi (2017), é ressaltado a forma que o corpo de prova foi criado de forma a facilitar o teste de elementos finitos e a validar as configurações de suporte. Essa forma foi utilizada na modelagem 3D do corpo de prova que foi utilizado no trabalho. Além da metodologia que foi utilizada para a alteração de parâmetros de impressão 3D. Também pode se destacar a quantidade de corpos de prova utilizados em ambos estudos. Além disso, em Alves et al. (2019), o autor também discorre sobre a metodologia utilizada para os corpos de prova e a aleatorização dos testes, como foi feito neste trabalho. Destaca-se a precisão dimensional estudada por ambos (Alves e Qattawi), tendo em vista a tolerância da impressora e como isso afeta de acordo com o contexto da peça. Enquanto Pulipaka (2023) analisa mais as propriedades de materiais de engenharia, com foco no PEEK, porém, novamente, focado na metodologia de fabricação de corpos de prova, como determina o método científico.

Há também trabalhos que propõem formas de se evitar o uso de suporte, como o trabalho de Fazzini et al (2019) que apresenta um algoritmo de movimentação do extrusor que permite a impressão de peças sem apoio. Buj-Corral, Bagheri e Domínguez-Fernández (2018) apresentam um estudo da relação de parâmetros de impressão (resolução do pilar de suporte, distância horizontal da peça e porcentagem de preenchimento do suporte) com a rugosidade média e a rugosidade de profundidade média. No entanto, não analisam se o processo de retirada do suporte deixa material preso a peça e o quão fácil é a sua remoção. Dessa forma, esse artigo se propõe a estudar a relação de alguns parâmetros de impressão com o acabamento de superfícies após o processamento e a facilidade da retirada mecânica do material de suporte.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 é detalhada a metodologia seguida na pesquisa, incluindo o planejamento experimental e o corpo de prova desenvolvido; na seção 3 são apresentados e discutidos os resultados obtidos; as conclusões e sugestões de trabalhos futuros são apresentados na seção 4; e, por fim, na seção 5 são feitos os agradecimentos da pesquisa.

2. METODOLOGIA

Durante o planejamento do processo de impressão da peça nos softwares, é possível ajustar diferentes parâmetros na configuração de impressão que terão impacto direto na fabricação. Além disso, há variação de quais parâmetros diferentes softwares de fatiamento disponibilizam para o usuário ajustar. Considerando esse cenário e o conhecimento de especialistas na área, foram selecionados três parâmetros para serem analisados neste trabalho. O primeiro parâmetro é o estilo de suporte, que caracteriza a geometria das estruturas de suporte. Optou-se por utilizar dois estilos de suporte, o de grade e o confortável (em inglês, *snug*), representados na Figura 2. O segundo parâmetro avaliado é a distância no eixo z do contato da peça com o suporte. Avaliou-se esse parâmetro com três valores: 0.2 mm, 0.1 mm e 0 mm. O terceiro parâmetro é a quantidade de camadas de interface entre o suporte e a peça na parte superior. Os testes foram feitos com 2, 1 e nenhuma camada de interface superior.

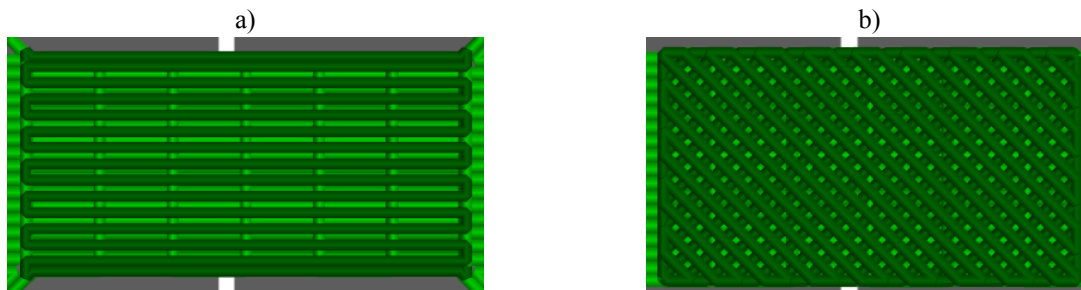


Figura 2. Estilos de suporte, a) grade e b) confortável.

Considerando os parâmetros e os seus níveis, foi desenvolvido um planejamento experimental fatorial completo. Dessa forma, além do efeito individual dos parâmetros, é possível observar o impacto das interações entre eles. Para aumentar a confiabilidade nos resultados, evitando a inclusão de *outliers*, foram feitas 3 réplicas de cada teste. Dessa forma, no total serão fabricados 54 corpos de prova para o experimento. A fabricação foi organizada em três rodadas, em que uma rodada era composta por uma réplica de teste. A ordem de impressão dos corpos de prova foi definida aleatoriamente para cada rodada.

Tabela 1. Ensaios de corpo de prova com diferentes associações de parâmetros.

Identificação do teste	Estilo de Suporte	Distância Z de contato com suporte (mm)	Quantidade de camadas de interface superior	Quantidade de réplicas
Teste 1	Grade	0.2	2	3
Teste 2	Grade	0.2	1	3
Teste 3	Grade	0.2	0	3
Teste 4	Grade	0.1	2	3
Teste 5	Grade	0.1	1	3
Teste 6	Grade	0.1	0	3
Teste 7	Grade	0	2	3
Teste 8	Grade	0	1	3
Teste 9	Grade	0	0	3
Teste 10	Confortável	0.2	2	3
Teste 11	Confortável	0.2	1	3
Teste 12	Confortável	0.2	0	3
Teste 13	Confortável	0.1	2	3
Teste 14	Confortável	0.1	1	3
Teste 15	Confortável	0.1	0	3
Teste 16	Confortável	0	2	3
Teste 17	Confortável	0	1	3
Teste 18	Confortável	0	0	3

O corpo de prova desenvolvido para esse trabalho é apresentado na Figura 3. A sua geometria permite o uso de suporte em duas situações comuns em manufatura por FFF, suporte a partir da mesa de impressão e suporte a partir da própria peça. Nas duas situações, a área da peça que precisa de suporte é a mesma. Dessa forma, é possível uma avaliação mais abrangente do esforço necessário para retirar o suporte do corpo de prova. Na Figura 4 é apresentado as dimensões do corpo de prova.

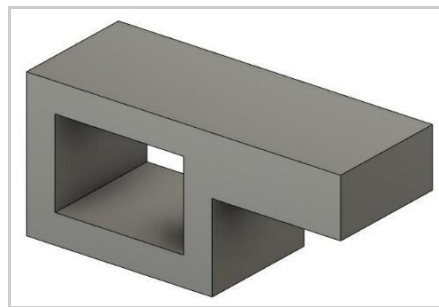


Figura 3. Modelo 3D do corpo de prova.

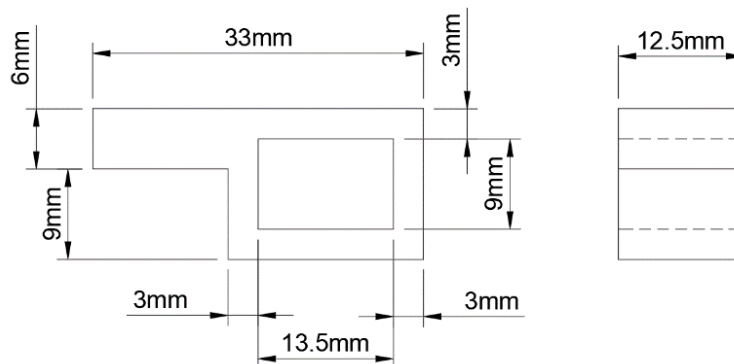


Figura 4. Desenho técnico do corpo de prova.

Os corpos de teste foram fabricados na mesma impressora 3D, uma Prusa Mk3S. A ficha técnica da máquina pode ser observada na Tabela 2. Para a realização dos testes, foi feita uma manutenção preventiva na impressora, em que foi realizada a limpeza geral, lubrificação de eixos e fusos, checagem da tensão das correias e checagem da calibração geral da impressora (primeira camada, e eixos x, y e z). Além disso, o bico da impressora foi trocado por um bico de 0.4 mm de latão novo. A impressora foi separada para fabricação exclusiva dos corpos de prova, não sendo utilizada para fabricação de outras peças durante o período dos experimentos. Os corpos de prova foram fabricados com PLA Basic cinza da empresa 3DFila. O PLA foi escolhido devido a sua facilidade de impressão e ampla adoção em FFF. Um filamento novo foi aberto para o trabalho e utilizado em todas as impressões. Nos períodos em que ele não era utilizado, o filamento foi armazenado dentro de um saco hermeticamente fechado com sílica para retirar a umidade.

Tabela 2. Ficha técnica da Prusa Mk3S

Característica	Valor
Volume de impressão	250 x 210 x 210 mm
Altura de camada	0.05 – 0.35 mm
Bico de extrusão	0.4 mm padrão
Diâmetro de filamento	1.75 mm
Velocidade de movimentação máxima	200+ mm/s
Temperatura de bico máxima	300 °C
Temperatura da mesa de impressão máxima	120 °C
Tipo de extrusor	Direct drive, E3D V6 hotend

No início de cada rodada, antes de iniciar a impressão dos corpos de prova, foi impresso com o mesmo material e configurações uma peça de verificação calibração e recursos, o *Benchy* (disponível em: www.3dbenchy.com/), comumente utilizada na comunidade de impressão 3D. Isso foi feito para garantir que a impressora estava em condições de prosseguir com os ensaios. A Figura 5 apresenta um dos *Benchy's* impressos durante os testes.



Figura 5. Peça para verificação da integridade da impressora, o *Benchy*.

O software de fatiamento PrusaSlicer 2.5.0 (disponível em: www.prusa3d.com/page/prusaslicer_424/) foi utilizado para a criação dos códigos de máquina dos testes. Ele foi escolhido por permitir o ajuste de diversos parâmetros de configuração na impressão 3D. Os parâmetros de configurações mais relevantes utilizados são apresentados na Tabela 3. Eles foram definidos para se obter uma peça maciça. No processo de planejamento do processo de impressão, o software fornece as informações de tempo de impressão da peça e a quantidade de material utilizado.

Tabela 3. Parâmetros de configuração de impressão utilizados

Parâmetro de configuração	Valor
Altura de camada	0.2 mm
Porcentagem de preenchimento da peça	20%
Quantidade de perímetros	22
Quantidade de camadas sólidas de base	13
Quantidade de camadas sólidas de topo	16
Temperatura do bico de extrusão	200 °C
Temperatura da mesa de impressão	60 °C
Espaçamento entre linhas de material de suporte	2 mm

O teste de retirada de suporte foi feito utilizando um alicate de corte rente. Utilizou-se o alicate para fazer uma única retirada de cada corpo de prova, de forma a analisar a facilidade da retirada, o acabamento da peça e a quantidade de suporte que ficou na peça. Todas as retiradas foram feitas pelo mesmo operador, com o mesmo alicate e a ordem das peças também feita de maneira aleatória. A retirada foi feita em dois passos, um retirando o suporte que fica em contato com a mesa impressão e outro passo retirando o suporte que fica em cima da própria peça.

Após o processamento do corpo de prova, o operador avaliava os resultados em função de três quesitos. No primeiro ele indicava a retirada do material de suporte como sendo fácil, média ou difícil. No segundo, ele caracterizava o acabamento da superfície da peça em contato com o suporte como bom, médio ou ruim. E no terceiro, ele avaliava a quantidade de material de suporte que sobrou na peça após o processamento como sendo nenhuma/pouca (N/P), média ou muita.

3. RESULTADOS

As impressões foram realizadas seguindo a metodologia proposta e ocorreram sem falhas. A Tabela 4 mostra os tempos de impressão e o material utilizado para cada configuração de teste fornecidos pelo software de fatiamento PrusaSlicer. Considerando as três repetições de cada teste, no total foram 27 horas e 9 minutos de impressão e 263,67 g de filamento consumido. A Figura 6 mostra de forma gráfica o comportamento da quantidade de material em gramas necessário para imprimir cada teste e o seu tempo de impressão. A Figura 7 apresenta um dos corpos de prova logo após a impressão, antes de ser processado. É possível observar na figura como ficaram os suportes na peça. Os barcos de teste de integridade da impressora não apresentaram alterações, indicando que a impressora estava em condições similares durante toda a execução dos experimentos.

Tabela 4. Tempos e material utilizado por teste.

Identificação do teste	Tempo de impressão (minutos)	Quantidade de material utilizado (g)
Teste 1	31	5,04
Teste 2	31	4,96
Teste 3	30	4,89
Teste 4	30	4,9
Teste 5	31	4,97
Teste 6	31	5,05
Teste 7	30	4,92
Teste 8	31	4,98
Teste 9	31	5,06
Teste 10	30	4,84
Teste 11	30	4,78
Teste 12	29	4,72
Teste 13	29	4,73
Teste 14	30	4,79
Teste 15	30	4,85
Teste 16	29	4,75
Teste 17	30	4,8
Teste 18	30	4,86

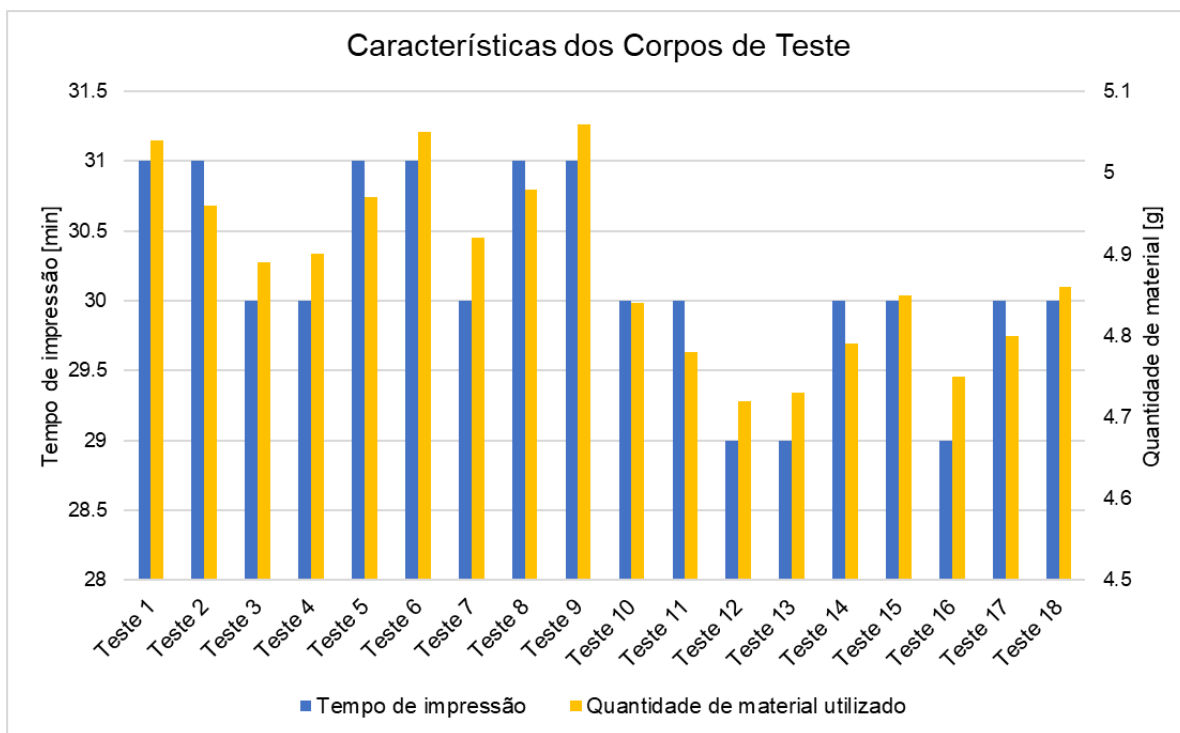


Figura 6. Comportamento Tempos e material utilizado por teste.

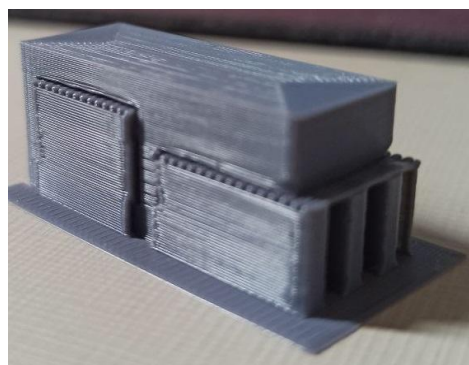


Figura 7. Corpo de prova impresso com seus respectivos suportes

Após finalização da fabricação de todas as peças, o processamento dos suportes foi iniciado. As percepções do operador foram compiladas na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados dos testes de retirada de suporte.

Testes	Dificuldade de retirada do material de suporte			Acabamento da peça			Quantidade de suporte não removida		
	Rodada 1	Rodada 2	Rodada 3	Rodada 1	Rodada 2	Rodada 3	Rodada 1	Rodada 2	Rodada 3
Teste 1	Fácil	Fácil	Fácil	Bom	Bom	Bom	N/P	N/P	N/P
Teste 2	Fácil	Fácil	Fácil	Bom	Bom	Médio	N/P	N/P	N/P
Teste 3	Fácil	Fácil	Fácil	Médio	Médio	Médio	N/P	N/P	N/P
Teste 4	Fácil	Fácil	Fácil	Médio	Médio	Médio	N/P	N/P	N/P
Teste 5	Médio	Fácil	Médio	Bom	Bom	Bom	Muita	Média	Média
Teste 6	Fácil	Fácil	Fácil	Bom	Bom	Bom	N/P	N/P	N/P
Teste 7	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Média	N/P	Média
Teste 8	Difícil	Difícil	Médio	Bom	Bom	Bom	Muita	Muita	Muita
Teste 9	Difícil	Difícil	Difícil	Bom	Bom	Bom	Muita	Muita	Muita
Teste 10	Fácil	Fácil	Fácil	Bom	Bom	Bom	N/P	N/P	N/P
Teste 11	Fácil	Fácil	Fácil	Bom	Bom	Bom	N/P	N/P	N/P
Teste 12	Fácil	Fácil	Fácil	Médio	Médio	Médio	N/P	N/P	N/P
Teste 13	Fácil	Fácil	Fácil	Médio	Médio	Médio	N/P	N/P	N/P
Teste 14	Fácil	Fácil	Fácil	Médio	Bom	Bom	Média	Média	Média
Teste 15	Médio	Médio	Médio	Bom	Bom	Bom	Muita	Muita	Média
Teste 16	Médio	Médio	Médio	Bom	Médio	Médio	Muita	Muita	Muita
Teste 17	Médio	Médio	Médio	Médio	Bom	Médio	Muita	Muita	Muita
Teste 18	Médio	Médio	Médio	Médio	Bom	Médio	Muita	Muita	Muita

Analisando inicialmente a dificuldade de retirada de suporte, pode-se destacar os testes 1, 2, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 13 e 14 por apresentarem facilidade em todas as rodadas. Ao cruzar esse resultado com as informações da Tabela 1, é possível identificar que todos têm uma distância no eixo Z de contato com o suporte maior que 0. Uma das possíveis explicações é que como não há uma separação entre o suporte e a peça, as camadas se unem quando uma é depositada sobre a outra, dificultando o seu desacoplamento. Foi notado pelo operador um conforto maior ao retirar suportes quando havia duas camadas de interface, pois a camada ficava mais sólida, fazendo com que o suporte fosse completamente removido.

Os testes que apresentaram um bom acabamento em todas as rodadas foram o 1, 5, 6, 8, 9, 10, 11 e 15. Não foi percebido o único parâmetro determinante para o bom acabamento da superfície. Possivelmente, o acabamento é consequência de interações entre parâmetros. É interessante destacar que os testes 2 e 14 apresentaram duas rodadas com avaliação “bom” e uma com “médio”.

Por fim, ao analisar a quantidade de suporte que ficou na peça após o processamento, observa-se um comportamento positivo dos testes 1, 2, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 13. Todos os testes em que a distância Z era de 0.2 mm tiveram pouco ou nenhum material de suporte não removido, independente do estilo de suporte e da quantidade de camadas de interface. Em três testes (4, 6 e 13), a distância Z era de 0.1 mm, mas não foi identificado um padrão que explicasse o comportamento diretamente.

Agrupando os resultados obtidos, os testes que apresentaram os melhores resultados foram o 1, 2, 6, 10 e 11. A maioria possui distância Z de 0.2 mm e quantidade de camadas de interface maior ou igual a 1. Os resultados destes foram indiferentes em relação ao estilo de suporte. O único que se difere dos outros é o teste 6 que apresenta uma distância Z de 0.1 mm, grade como estilo de suporte e nenhuma camada de interface. É interessante notar que a mesma

combinação de distância Z e quantidade de camadas de interface não obteve um bom resultado com o estilo de suporte confortável.

4. CONCLUSÕES

Tendo em vista a necessidade de garantir a qualidade superficial e a otimização de retirada de suporte de uma peça impressa em FFF, este artigo estudou o impacto de três parâmetros de impressão de estruturas de suporte: estilo do suporte; distância no eixo z do contato da peça com o suporte; e a quantidade de camadas de interface superior, que faz contato direto com a peça. Sobre a execução do estudo, foi desenvolvido um corpo de prova para avaliar duas aplicações de suporte, a partir da mesa de impressão e da própria peça. Quanto aos parâmetros de impressão, a partir do conhecimento de especialistas, seus valores foram selecionados e um planejamento de experimento foi montado, avaliando todas as combinações.

Os resultados obtidos indicam que a dificuldade de retirar o suporte está mais relacionada à distância no eixo Z de contato entre o suporte e a peça. Os testes com distâncias maiores que 0 foram retirados com maior facilidade. Esse parâmetro também é relevante na quantidade de suporte que fica após a retirada, uma vez que nos testes em que essa distância foi 0.2 mm sobrou pouco ou nenhum suporte na peça. No entanto, esse parâmetro não é o único determinante para um bom resultado, foi identificado que ter pelo menos uma camada de interface superior também auxilia no acabamento da peça. E, por fim, observou-se que o estilo de suporte teve pouco impacto nos resultados.

Conclui-se que um direcionamento inicial sobre parâmetros de impressão para otimização de suportes é possuir uma distância no eixo Z entre o suporte e a peça de 0.2 mm e duas camadas de interface superior. No entanto, há mais variáveis a serem analisadas. Como trabalhos futuros, indica-se avaliar outros parâmetros não abordados neste estudo. Além de reproduzir os testes feitos para outros materiais, como ABS e PETG, e outras máquinas, a fim de validar os resultados obtidos neste artigo.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

- Alves, T. C.; De Oliveira, A. C. A.; Santos, A. C. Dimensional Accuracy for Additive Manufacturing. *Proceedings of the 25th International Congress of Mechanical Engineering - COBEM2019*. Uberlândia, Brasil, 2019.
- Alves, T. C. Proposta de uma Sistemática do Projeto para Manufatura Aditiva (DfMA) no contexto de Desenvolvimento de Produtos. 2021. 152 f., il. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) — Universidade de Brasília, Brasília, 2021.
- Buj-Corral, I.; Bagheri, A.; Domínguez-Fernández, A. Influence of structure support printing parameters on surface finish of PLA hemispherical cups for emulation of ceramic hip prostheses. *Procedia Cirp*, v. 68, p. 347-351, 2018.
- Diegel, O.; Nordin, A.; Motte, D. *A Practical Guide to Design for Additive Manufacturing*. [S.l.]: Springer, 2019.
- Fazzini, G. et al. Print on air: Fdm 3d printing without supports. In: *2019 II Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4.0&IoT)*. IEEE, 2019. p. 350-354.
- Gordeev E. G.; Galushko A. S.; Ananikov V. P. Improvement of quality of 3D printed objects by elimination of microscopic structural defects in fused deposition modeling. *PLoS ONE* 13(6): e0198370, 2018.
- Pradel, P. et al. Investigation of design for additive manufacturing in professional design practice. *Journal of Engineering Design*, Taylor & Francis, v. 29, n. 4-5, p. 165-200, 2018.
- Pulipaka, A. et al. Effect of 3D printing process parameters on surface and mechanical properties of FFF-printed PEEK. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 85, p. 368-386, 2023.
- Qattawi, A., Alrawi, B., Guzman, A. et al., 2017. "Experimental optimization of fused deposition modelling processing parameters: a design-for-manufacturing approach". *Procedia Manufacturing*, 2017.
- Renjith, S. C.; Park, K.; Kremer, G. E. O. A design framework for additive manufacturing: Integration of additive manufacturing capabilities in the early design process. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Springer, v. 21, n. 2, p. 329-345, 2020.
- Thompson, M. K. et al. Design for additive manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP annals*, Elsevier, v. 65, n. 2, p. 737-760, 2016.
- Turner, B. N. and Gold, S. A. "A review of melt extrusion additive manufacturing processes: Ii. materials, dimensional accuracy, and surface roughness". *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 21, No. 3, pp. 250-261, 2015.
- Wu, J. Study on optimization of 3D printing parameters, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 392(6), 2018.
- K. J. De Laurentis and C. Mavroidis, "Rapid fabrication of a non - assembly robotic hand with embedded components," *Assem. Autom.*, vol. 24, no. 4, pp. 394-405, Dec. 2004.

R. Anitha, S. Arunachalam, and P. Radhakrishnan, "Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modelling," J. Mater. Process. Technol., vol. 118, no. 1–3, pp. 385–388, 2001.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

Construction of a functional model for the optimization of configurations of supports used in additive manufacturing

Lucas Bello Boaventura¹

Fernanda Vaz Borges Carneiro²

Alexandre Crepory Abbott de Oliveira³

Andréa Cristina dos Santos⁴

Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília

¹lucasbellob@hotmail.com

²fernandavazbc@gmail.com

³alex.crepory@gmail.com

⁴andreasantos@unb.br

Abstract. Fused filament fabrication (FFF) is one of the most widespread manufacturing technologies in Additive Manufacturing (AM), and has been taking on great proportions with the growth of AM in the world, especially with the advancement of Industry 4.0. This is due to its fast learning curve and its versatility of application in different types of parts. However, that doesn't mean there aren't challenges in using it. Depending on the geometry of the parts, it is necessary to use support structures, whose presence directly impacts the final quality of the part and its applicability. However, there is a lack of studies on printing configuration parameters and the impacts on support structures. This article aims to study different support implementations in 3D printing and their direct impact on the final part quality. In order to evaluate the effect of support parameters in the manufacture of parts, this article proposes a specimen that can be manufactured in different types of materials. In this piece, it is possible to evaluate the removal of internal and external support material, and the finishing of the surfaces in contact with the supports. The studies were carried out taking into account the support configuration parameters present in the PrusaSlicer slicing software: support style; distance on the z axis of contact between the part and the support material; number of upper interface layers. The specimens were manufactured in PLA by the same 3D printer (Prusa Mk3S). The main aspects to be evaluated in the part were the ease of removing the support, the surface quality of the part and the amount of support material that could not be removed. As a result, it was observed that the distance on the Z axis between the support and the part had a relevant impact on the ease of removing the support and on the amount of material remaining in the part after processing. Furthermore, the presence of at least one interface layer also positively impacted the remaining material. In this way, there is an initial guideline on printing parameters for optimization of supports having a distance on the Z axis between the support and the part of 0.2 mm and two superior layers of interface.

Keywords: Additive Manufacturing, Support Material, Surface Finish, Print Parameters;

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.