

GEÍSA GAIGER DE OLIVEIRA
GUSTAVO JAVIER ZANI NÚÑEZ
ORGANIZADORES

Des
ign
pes. em
qui
sa. vol 3

GEÍSA GAIGER DE OLIVEIRA
GUSTAVO JAVIER ZANI NÚÑEZ
ORGANIZADORES

Des
ign
em
pes.
qui
sa. vol 3

Este livro é uma das publicações do Instituto de Inovação, Competitividade e Design (IICD) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (www.ufrgs.br/iicd).

© dos autores – 2020

Projeto gráfico: Melissa Pozatti

D457 Design em pesquisa: volume 3 [recurso eletrônico] / organizadores Geísa Gaiger de Oliveira [e] Gustavo Javier Zani Núñez. – Porto Alegre: Marcavisual, 2020.

789 p. ; digital

ISBN 978-65-990001-1-9

Este livro é uma publicação do Instituto de Inovação, Competitividade e Design (IICD) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (www.ufrgs.br/iicd)

1. Design. 2. Gestão do Design. 3. Design contra a criminalidade. 4. Gestão de Projetos. 5. Inovação. 6. Tecnologia. 7. Sustentabilidade. 8. Desenvolvimento humano. I. Oliveira, Geísa Gaiger. II. Núñez, Gustavo Javier Zani.

CDU 658.512.2

CIP-Brasil. Dados Internacionais de Catalogação na Publicação.
(Jaqueline Trombin – Bibliotecária responsável CRB10/979)



Capítulo 13

Contribuições para a discussão dos resíduos gerados pelo processo de fabricação por filamento fundido (FFF)

Gabriela Cerveira Sallenave, Greice Carvalho Caldovino, Fabio Pinto da Silva, Luis Henrique Alves Candido e Jocelise Jacques de Jacques

RESUMO

A manufatura aditiva apresenta algumas vantagens em relação a métodos de fabricação convencionais, como flexibilidade no design e economia de material. Porém, o potencial de ser mais sustentável nem sempre é concretizado, pois a difusão dessas tecnologias também traz consequências negativas, entre elas o aumento de resíduos provenientes do seu uso não otimizado. Este trabalho tem como objetivo elucidar e classificar os resíduos gerados durante processo de manufatura aditiva de Fabricação por Filamento Fundido (FFF) dentro do cenário acadêmico e avaliar seus possíveis impactos ambientais. Para tal, foi feito um estudo de caso tendo como referência os resíduos gerados durante a realização de ensaios de caracterização e comparação de filamentos termoplásticos virgem e reciclado de Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS). O procedimento metodológico aplicado foi coleta, categorização, pesagem e análise dos resíduos, que foram originados na etapa de pré-impressão. Também foram analisados o excedente de peças defeituosas, não acabadas ou que foram manufaturadas para fins de teste e as peças finais (corpos de prova) que passaram por ensaios mecânicos destrutivos. Os resultados das análises deixam claro que 50% dos resíduos são ocasionados em decorrência de erros durante a impressão e a outra metade ocorre na etapa de pré-impressão e testagem de parâmetros, procedimento este indispensável à maioria das impressoras FFF existentes. O estudo concluiu que, apesar da impressão 3D ser um método produtivo que pode reduzir significativamente os resíduos quando comparada a outros meios de produção, ela não deve ser considerada um processo livre de qualquer impacto ambiental.

Palavras-chave: impressão 3D, manufatura aditiva, fabricação por filamento fundido, resíduos de impressão, filamento termoplástico.

1 INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva consiste na sobreposição de sucessivas camadas de material e envolve vários métodos, materiais e equipamentos. De acordo com Gomez-Gras et al. (2018), o processo de Fabricação por Filamento Fundido (FFF, do inglês: *Fused Filament Fabrication*), também conhecido pelo nome proprietário de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM, do inglês: *Fused Deposition Modelling*), é o mais utilizado entre as tecnologias de fabricação disponíveis na impressão 3D. Esta técnica é a mais utilizada, pois possui alto potencial de fabricação de peças poliméricas, além de permitir uma larga escala de aplicação (COUTINHO, 2016).

Conforme Ngo et al. (2018), o crescente consenso de substituir as técnicas tradicionais pelo sistema de fabricação 3D é atribuído a várias vantagens, incluindo a fabricação de geometrias complexas com alta precisão, economia máxima de material, flexibilidade no design e personalização. Além disto, a fabricação aditiva tem o potencial de ser mais sustentável em comparação aos métodos de fabricação convencionais. No entanto, apesar desses possíveis benefícios, a manufatura aditiva ainda não foi suficientemente explorada do ponto de vista da sustentabilidade. Embora possa ser um facilitador para melhorar a sustentabilidade da manufatura, as consequências de sua implementação no sistema industrial podem levar a um cenário alternativo em que a produção local seja menos ecoeficiente. Nesta situação, as demandas por mercadorias personalizadas por parte dos clientes podem aumentar as taxas de obsolescência do produto ocasionando, conseqüentemente, o aumento do consumo de recursos (FORD e DESPEISSE, 2016).

Sob condições ideais, o único desperdício no processo FFF seria o material de suporte. Na prática, no entanto, impressoras 3D podem ser usadas de maneira semelhante às impressoras convencionais em escritórios e resultar em erros imprevisíveis. Como muitos usuários de impressoras comerciais FFF são inexperientes na operação de impressão, o desperdício de material pode ser maior do que aquele sob condições operacionais ideais sem erro humano ou de equipamento (SONG e TELENKO, 2017). Neste contexto, Faludi et al. (2015) apud Song e Telenko (2017) alegam que a sustentabilidade da fabricação aditiva depende principalmente

dos perfis de usuário e, em seguida, dos equipamentos e parâmetros da impressão.

Com base nisso, o sucesso na aplicação deste processo depende da seleção adequada dos parâmetros de processamento, pois estes possuem um papel importante na qualidade das peças fabricadas, precisão dimensional, redução de desperdício de material, aumento da produtividade e redução do tempo de produção e do custo. A técnica de FFF pode ser considerada complexa sob o ponto de vista das dificuldades em determinar uma combinação ótima de parâmetros, uma vez que são muitos e algumas vezes conflitantes (COUTINHO, 2016). Assim sendo, sob o ponto de vista ambiental, esta técnica ainda não é adequada ao público leigo.

Em se tratando de público, a impressão 3D é utilizada em diferentes campos, na qualidade de tecnologia acessível abrange tanto os chamados entusiastas quanto as grandes empresas e instituições reconhecidas internacionalmente. Contudo, conforme Hunt et al. (2015), esse crescimento na impressão 3D corre o risco de gerar ainda mais resíduos poliméricos, que não serão reciclados ou que serão desperdiçados, do que o atualmente gerado pela indústria plástica convencional. Assim, na realidade atual, é importante discutir os limites da tecnologia associada ao impacto ambiental, e esta reflexão é o objetivo do presente trabalho.

2 CONTEXTO

De forma geral, é possível se afirmar que um dos maiores difusores das tecnologias de manufatura aditiva foram e continuam sendo os Fab Labs. O conceito de laboratório de fabricação nasceu em 2002, no laboratório interdisciplinar chamado Center for Bits and Atoms do MIT (Massachusetts Institute of Technology). A ideia central dos Fab Labs era de que esses espaços seriam um lugar de empoderamento, ou seja, espaços onde as pessoas pudessem “se tornar protagonistas tecnológicos e não apenas espectadores” (GERSHENFELD, 2005). Esses laboratórios constituem uma rede mundial de espaços *maker*, organizados através da Fab Foundation, que comportam, além das atividades de criatividade, prototipação e fabricação, uma comunidade de pesquisa (SELBACH, 2018). A partir de Neves e Ragusa (2014) e da Fab Foundation, a

autora Selbach (2018) estipula os principais objetivos de um Fab Lab, dentre eles estão:

Fabricar “quase qualquer coisa”: devido a quantidade e variedade de ferramentas disponibilizadas pelos Fab Labs, é possível fabricar uma grande diversidade de coisas. Os recursos disponibilizados nesses espaços seguem um padrão mínimo, determinado pela Fab Foundation. São eles: cortadora laser, impressora 3D, fresa de precisão, cortadora de vinil, kit de eletrônica, sistema de videoconferência e computadores com acesso à internet.

Oferecer espaço para aprendizagem e formação: os Fab Labs funcionam pelo princípio “mão na massa” (*hands-on*), oferecendo oportunidades de aprendizado através da prática e da experimentação. Não se espera que o usuário de um Fab Lab tenha formação em engenharia para poder utilizar o espaço, mas sim que, ao final do seu projeto, ele tenha aprendido várias coisas sobre áreas como engenharia, design, computação, entre outros. Além disso, a carta de princípios (*Fab Charter 5*) determina que projetos e processos desenvolvidos em um Fab Lab devem permanecer disponíveis para uso e aprendizagem da comunidade.

Nesse sentido, os Fab Labs são espaços democráticos sem o pré-requisito de conhecimento prévio sobre o funcionamento dos equipamentos e que geram aprendizagem através da experimentação, o que por sua vez traz uma série de consequências, entre elas o aumento de resíduos provenientes do uso não otimizado das tecnologias de fabricação aditiva. Segundo Barros (2018), os perfis do usuário da manufatura aditiva são bastante diversificados e ainda pouco estudados. A maioria dos estudos encontrados na literatura enfoca os perfis de usuários de Fab Labs, em que a manufatura aditiva é apenas uma parte da fabricação digital.

De acordo com Moilanen & Vadén (2012), uma pesquisa realizada pelos Estudos Estatísticos de Produção por Pares com 358 usuários de impressão 3D mostrou que a idade média dos usuários é de 30 anos, a maioria são pessoas do sexo masculino e que o número de usuários aumentou a partir de 2005. A pesquisa conclui que esse é um cenário em rápida evolução, que fornece um terreno fértil para os setores sociais e melhorias tecnológicas. Isso

incentiva novos usuários e amplia a produção caseira, a criação de empresas *Makerspaces* (Fab Labs) e de impressão 3D. A mesma pesquisa verifica que a RepRap, uma impressora 3D de baixo custo e código aberto foi identificada como a mais comum entre 20 opções diferentes. Segundo o autor, existem quatro tipos de usuários por ordem decrescente por representatividade: usuários hobistas (iniciantes), usuários em potencial (pessoas sem experiência prévia), usuários visionários (intermediários) e usuários profissionais (*experts*).

Seguindo esse raciocínio, é possível concluir que a maioria dos usuários apresenta pouco ou nenhum conhecimento sobre a tecnologia em questão. Por isso, é importante ressaltar que, conforme Barros (2018), “a maneira como as pessoas usam a tecnologia geralmente gera mais impactos do que a própria tecnologia”. Algo que claramente deve ser levado em consideração quando se está analisando os impactos ambientais gerados por um processo produtivo.

3 ESTUDO DE CASO

Este tópico tem como objetivo a explanação da geração de resíduos durante a impressão tridimensional de corpos de prova para uma pesquisa de caracterização e comparação de dois filamentos termoplásticos distintos, realizado pelas autoras no primeiro semestre de 2019 e seguirá o modelo de estudo de caso. O estudo concentra-se na etapa de pré-impressão, e analisa, ainda, o excedente de peças defeituosas, não acabadas ou que foram manufaturadas para fins de teste, além das peças finais (corpos de prova) que passaram por ensaios mecânicos destrutivos.

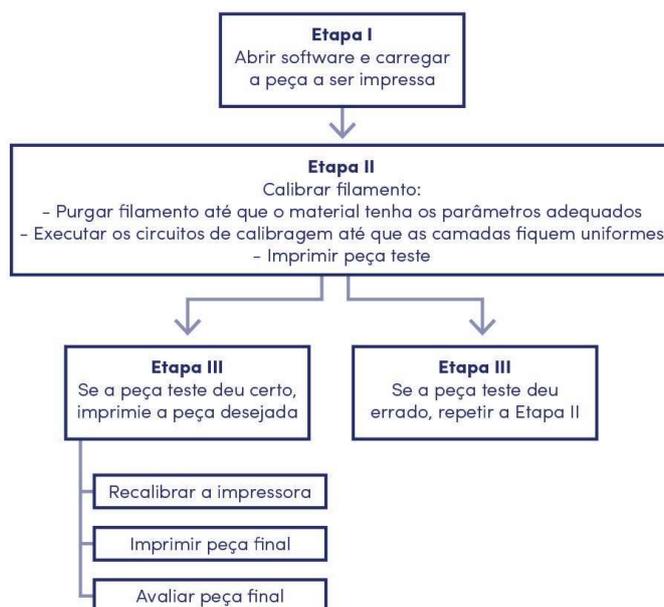
3.1 Materiais e métodos

Os materiais utilizados foram dois filamentos de Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS), um virgem (rolo de 1 kg do fabricante Filamentos 3D Brasil) e um reciclado (rolo de 500 g do fabricante Print Green 3D), ambos fabricados no Brasil. Para uma comparação mais acertada, optou-se pela seleção dos materiais ambos na cor preta e com espessura de 1,75 mm. Segundo a Filamentos 3D Brasil, 2020, o ABS virgem premium é fabricado com uma resina que possui alto

índice de fluidez, enquanto o ABS reciclado é produzido por meio de carcaças de eletrônicos do setor automotivo (PRINT GREEN 3D, 2020). Para o estudo em questão, foram realizadas impressões de corpos de prova com geometrias que seguem a norma ASTM D638 - 02a (tipo IV) para ensaio de tração e a norma ASTM D256 para ensaio de impacto Izod. Todos os modelos de corpos de prova foram impressos em uma impressora 3D Cliever CL1 (pertencente ao Laboratório de Inovação e Fabricação Digital da Escola de Engenharia - LIFEE). Foram utilizadas as seguintes definições de impressão: preenchimento de 50%, sendo este o máximo valor permitido pelo software padrão do equipamento, paredes com quatro camadas de espessura, altura entre camadas de 0,1 mm, orientação de construção XYZ com camadas a 45° e, ainda, foi definida a opção sem suporte, o que excluiu a necessidade da etapa de acabamento pós-impressão.

Todos os resíduos gerados durante cinco semanas de impressão foram coletados, separados por tipos, categorizados e em seguida o material foi pesado em uma balança de precisão Quimes - Q500L210C do Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LDSM) da UFRGS. A categorização dos resíduos seguiu a ordem de ocorrência, conforme exposto no diagrama (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma das etapas de impressão 3D e ocorrência de resíduos



Fonte: Desenvolvido pelas autoras (2020).

3.2 Categorização dos resíduos gerados

Nesta etapa, os resíduos coletados foram categorizados a fim de se obter uma visão geral dos motivos pelos quais houve ocorrência de erro.

3.2.1 Discos de calibragem

Antes da impressão de qualquer peça utilizando uma impressora 3D Cliever cL1 é recomendado realizar a etapa de calibragem, a qual gera discos de calibragem (figura 2A), que após a finalização tornam-se resíduos. No procedimento, a máquina realiza medições e ajusta o alinhamento da mesa, em seguida imprime discos em cinco pontos da mesa de impressão (cantos superiores, centro e cantos inferiores). Estes discos servem para verificar a qualidade da camada em relação a sua localização na mesa de impressão, a qual também é influenciada pela temperatura de extrusão e pela aproximação e/ou distanciamento do bico extrusor da mesa de impressão.

3.2.2 Filamento purgado

Procedimento comumente utilizado para verificar que o filamento termoplástico atingiu sua temperatura de fusão e remover resíduos do bico de extrusão. Assim que o material atinge a temperatura, o bico extrusor purga o material para fora. Entrando em contato com o ambiente externo, ele solidifica e deve ser retirado do bico extrusor com uma pinça a fim de não prejudicar a impressão da peça, que ocorrerá em seguida.

Este procedimento também pode ser realizado de forma voluntária, de modo que o operador da máquina pode solicitar que o bico extrusor purgue um pouco de material para testar se a temperatura de extrusão está correta. Ao analisar o fio, pode-se perceber se ele mantém uma uniformidade ou se existe a presença de bolhas ou alguma imprecisão diametral. Na figura 2B observa-se um emaranhado de fios, por serem muito finos existe uma dificuldade de separação dos mesmos.

3.2.3 Filamento excluído

São fragmentos de filamento descartados por vários motivos (fi-

gura 2C), por exemplo ao apresentarem algum dano em sua extensão ou não serem suficientes para realizar a impressão de uma nova peça, entre outras razões. Sempre pode ocorrer a necessidade de descarte de alguma parte do filamento, o que indica que sempre haverá algum resíduo.

3.2.4 Testagem de parâmetros

No início do trabalho, verificou-se a não adequação das temperaturas de impressão indicadas pelos fabricantes em relação à manufatura de peças com boa qualidade de impressão. Desta forma, foi necessário realizar uma etapa de testes modificando os valores de temperatura do bico extrusor e da mesa de impressão, tanto para o filamento virgem quanto para o reciclado. Para tal, ocorreram diversas impressões de cubos com 1 cm de lado, com o intuito de estipular valores de temperatura para a impressão com boa qualidade. Destes testes foram gerados três cubos para o material virgem e dois para o reciclado, cuja única função foi a testagem de parâmetros (figura 2D).

Figura 2 – Resíduos gerados na etapa de pré-impressão e testagem de parâmetros



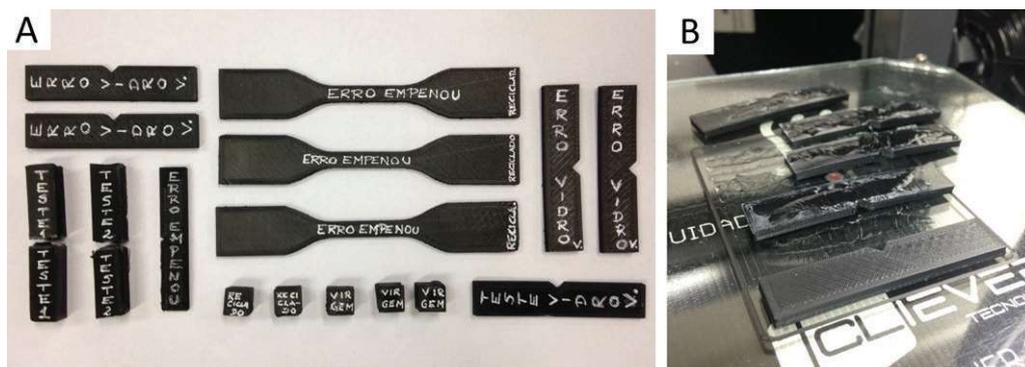
A) Discos de calibragem. B) Filamento extrudado purgado. C) Filamento excluído. D) Testagem de parâmetros.

Fonte: Desenvolvido pelas autoras (2020).

3.2.5 Erros e defeitos

O filamento de ABS apresenta maiores dificuldades de impressão quando comparado a outros materiais utilizados, como o Poli Ácido Lático (PLA), por exemplo. Por necessitar de mesa aquecida, a ocorrência de peças com erro do tipo empenamento é mais comum. Além disso, o equipamento utilizado não possui caixa de proteção, assim influências climáticas como umidade e correntes de ar, comprometeram a qualidade da impressão. As peças suprimidas durante o estudo por alguns dos motivos acima citados podem ser vistas na figura 3A. Observaram-se também erros inesperados como a alta adesão entre algumas peças impressas e o vidro da mesa de impressão (figura 3B), inclusive quebrando o vidro ao tentar removê-las. Este é um erro pouco comum, o qual pode ter sido ocasionado pelo uso de um vidro não-temperado e não-original do equipamento.

Figura 3 - Erros e defeitos em peças impressas



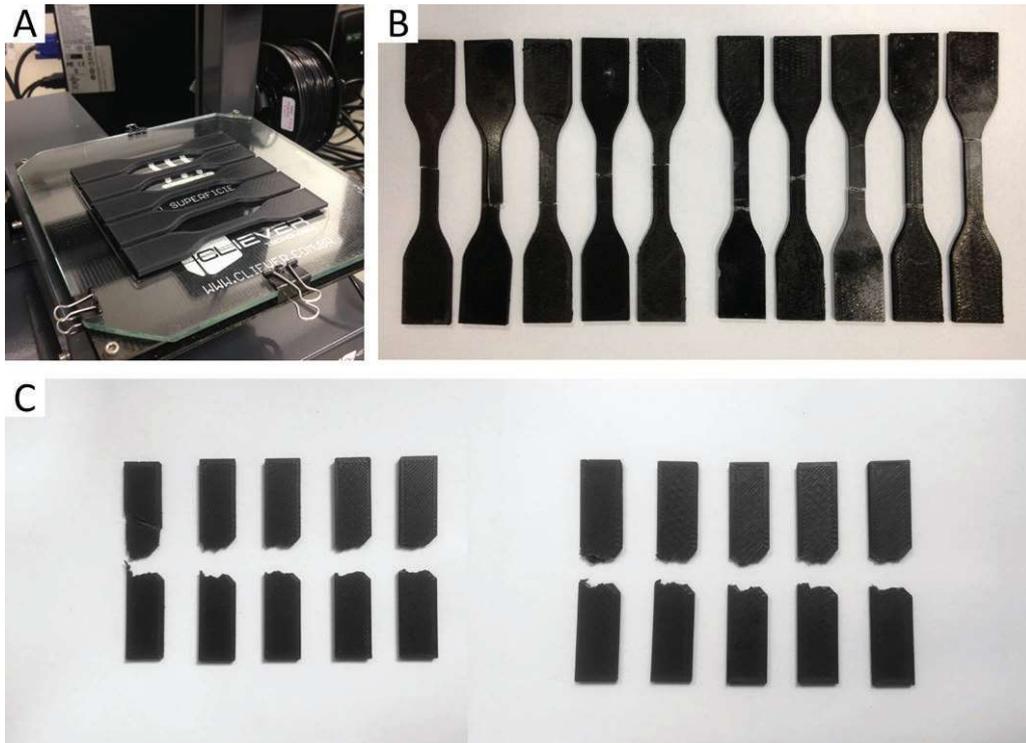
A) Peças suprimidas durante o estudo B) Alta adesão entre algumas peças impressas e o vidro da mesa de impressão.

Fonte: Desenvolvido pelas autoras (2020).

3.2.6 Peças produzidas/ensaiadas

Após a calibragem do equipamento e o aprendizado com os erros ocorridos, foram produzidas as peças finais com impressão de boa qualidade, as quais foram utilizadas para os ensaios do estudo realizado (figura 4A), ao total foram 10 corpos de prova para o ensaio de tração e 10 para o ensaio de impacto. As peças tornaram-se resíduos após o ensaio de caráter destrutivo, de modo que todos os corpos de prova foram partidos ao meio (figura 4B e 4C).

Figura 4 - Corpos de prova impressos (FFF) antes e após o ensaio de caráter destrutivo



A) Corpos de prova antes do ensaio de tração. B) Corpos de prova após o ensaio de tração. C) Corpos de prova após o ensaio de impacto.

Fonte: Desenvolvido pelas autoras (2020).

4 RESULTADOS

Com a categorização dos resíduos, o estudo encaminhou-se para a pesagem do material, desta forma, pode-se também especificar a quantidade de resíduos gerados em relação às peças produzidas para os ensaios. O quadro 1 mostra esta relação, os primeiros itens referem-se aos resíduos gerados, conforme a classificação especificada, e abaixo estão os dados das peças que foram efetivamente ensaiadas.

Cabe salientar que, de modo geral, as peças impressas com o filamento reciclado geraram um pouco mais de resíduos do que o seu equivalente virgem. Isso acontece pois, como foi comprovado durante a caracterização destes materiais, que deram origem ao estudo anterior, o filamento reciclado apresentava características mais sensíveis e desempenho levemente inferior. Entretanto, se pensarmos na pegada ecológica, o filamento reciclado tem como vantagem a economia de energia e água se comparado a um

material de primeiro ciclo. Ford e Despeisse (2016) apud Song e Telenko (2017) comparam a reciclabilidade do ABS em relação ao PLA, sendo o último mais indicado para reciclagem, pois apresenta menor taxa de perda em termos de propriedades. No caso dos filamentos para impressão 3D, essa perda acaba por ocasionar uma dificuldade ainda maior em estabelecer e manter os parâmetros de extrusão, aumentando, assim, a chance de erros e conseqüentemente os resíduos, especialmente quando se trata de impressoras 3D de baixa complexidade.

Quadro 1 - Comparação entre resíduos e peças ensaiadas

	Tipo de resíduo	ABS virgem (g)	ABS reciclado (g)	Total (g)
Pré-impressão & Defeitos	Discos de calibragem	4		68,3
	Filamento purgado	15		
	Filamento excluído	10,7		
	Cubos para testagem de parâmetros	4,5		
	Corpos de prova para ensaio de impacto (com erros e defeitos)	21,5		
	Corpos de prova para ensaio de tração (com erros e defeitos)	12,6		
Peças Ensaaiadas	Corpos de prova para ensaio de impacto (corretos)	10,2	10,4	60,6
	Corpos de prova para ensaio de tração (corretos)	19,6	20,4	

Fonte: Desenvolvido pelas autoras (2020).

Dando continuidade à análise dos dados, pode-se notar que os resíduos advêm de dois grupos: pré-impressão & defeitos e peças ensaiadas. Nota-se que no primeiro grupo 34,2 g, o equivalente a mais ou menos 50%, são intrínsecos ao uso do equipamento e advêm da etapa de pré-impressão e da testagem dos parâmetros. Já a outra metade é decorrente de peças com erros e defeitos. No segundo grupo, os valores dividem-se de forma proporcional, pois refletem as características dimensionais das peças

que foram submetidas aos dois ensaios em questão. Esses dados ajudam especificar qual a contribuição de cada uma das etapas na produção total de resíduos.

Os resultados revelam ainda que, para se obter 60,6 g em corpos de prova adequados para os ensaios programados, foram gerados 68,3 g de resíduos entre as fases de pré-impressão, testagem de parâmetros e considerando também os defeitos que ocorreram durante o processo. Em outras palavras, os resíduos iniciais representam 51,3% do total, ou seja, foram gerados mais resíduos do que corpos de prova efetivamente ensaiados. Adicionado a essa porcentagem de resíduos, tem-se também as peças que após serem ensaiadas serão descartadas, totalizando 128,9 g de resíduos gerados no curto estudo em questão. De acordo com Jones (2018), os polímeros ABS e PLA, amplamente utilizados como insumo para impressão 3D, fazem parte da categoria de classificação de polímeros do tipo 7 – Outros. Desta forma, não podem ser reciclados pelos típicos programas de reciclagem municipais. Isso indica que mesmo com o descarte correto, quando chegarem ao centro de triagem, no melhor dos cenários, serão encaminhados a um aterro sanitário.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração os dados e argumentos apresentados neste estudo, é possível afirmar que, apesar da impressão 3D potencialmente apresentar uma redução significativa dos resíduos quando comparada a outros meios de produção, ela não deve ser considerada um processo livre de qualquer impacto ambiental, corroborando com o afirmado por Ngo et al. (2018). A fim de manter o foco deste estudo, os impactos ambientais aqui explorados foram a quantidade e os tipos de resíduos gerados em um ambiente padrão de um Fab Lab universitário, porém, muitos outros podem ser explorados futuramente, tais como: consumo de energia elétrica, emissão de vapores, consumo de água para produção de insumos, impacto ambiental de diferentes modelos de impressoras, entre outros.

Além disso, apesar dos Fab Labs serem lugares democráticos que não exigem dos usuários qualquer tipo de conhecimento prévio,

fica claro que há uma tendência de usuários inexperientes gerarem mais resíduos. Já que, mesmo pessoas com vasta experiência com esse tipo de fabricação, não são capazes de evitar, e sim de apenas minimizar, erros durante o processo. Dessa forma, é possível se pensar criticamente sobre os impactos que os métodos de ensino empíricos, podem vir a causar no meio ambiente.

É prudente ressaltar também que a forma com a qual será feito o descarte desses resíduos tem um peso importante no que se refere à pegada ecológica causada por essa tecnologia. Muitas instituições que sediam Fab Labs não possuem infraestrutura para gerenciar esse tipo de material. Foi observado que na maioria das vezes os polímeros acabavam misturados ao lixo comum e, em algumas exceções, quando peças muito grandes davam errado, a equipe dos laboratórios acabava por estocá-las sem saber ao certo qual destino elas teriam. Esse posicionamento deixa claro que, para uma nova impressora ser adquirida e entrar em uso, não há nenhuma política ou pré-requisito que obrigue alguém a se responsabilizar pelos resíduos provenientes desse novo equipamento. Isto indica que é preciso criar meios efetivos de reciclagem e que os usuários de impressoras 3D devem estar atentos para efetuar o descarte correto de cada material para assim se responsabilizar pelo resíduo que geram.

Relativo à natureza dos resíduos que foram gerados e documentados neste estudo, também se pode chegar a algumas conclusões. Primeiramente, que muitos deles são indispensáveis para o bom funcionamento do equipamento em questão, tais como os discos de calibragem e o filamento que precisa ser purgado para que se tenha certeza de que o material apresenta os parâmetros adequados. Em segundo lugar estão os resíduos advindos de impressões nas quais o material não se comportou como o esperado, como as peças que acabaram se deformando ou que se aderiram ao vidro. Nesses casos, a peça acaba por ser inutilizada. As que apresentam apenas deformações estruturais, teoricamente, poderiam ser recicladas, diferente das demais. Em terceiro lugar estão as peças que efetivamente correspondem ao que se buscava, essas peças serão submetidas a ensaios e posteriormente também serão descartadas. Por último, se pode citar o filamento

excluído, sendo esse um material que não apresenta nenhum problema e que acaba por ser descartado única e exclusivamente porque essas impressoras não levam em consideração a otimização do uso de filamento e que, em alguns casos, inclusive induz ao desperdício.

Assim, pode-se afirmar de forma segura que a própria natureza dos resíduos faz com seja difícil sua separação e, posteriormente, a reciclagem ou o descarte adequado, afinal nenhum deles apresenta um código que sinalize a qualquer pessoa qual o material em questão. A caracterização desses materiais em um centro de triagem seria muito complexa, tomaria tempo demais e seria muito dispendiosa, tornando assim inviável a reciclagem e o devido descarte. Desta forma, fica ainda mais evidente que os usuários desta tecnologia têm papel essencial no descarte adequado destes insumos.

Em certas situações, tanto no cenário acadêmico quanto na indústria, a manufatura aditiva é usada para criar iterações de um produto/peça e não para a produção de bens minimamente duráveis. Finaliza-se ressaltando a importância da reflexão sobre questões como: seria um polímero, material esse de longo tempo de degradação, a escolha mais responsável para criação de protótipos que são intrinsecamente efêmeros? E se, de fato, a produção de uma peça for justificável, é preciso que se pense onde, quando e quem deve ser responsabilizado pelos possíveis resíduos advindos desse processo.

REFERÊNCIAS

BARROS, K. **Identification of the environmental impacts contributors related to the use of Additive Manufacturing technologies**. 2017. 155f. Tese de doutorado. Université Grenoble Alpes, Grenoble, 2017.

BORGES, K. **Um Estudo Sobre Pensamento Formal no Contexto dos Makerspaces Educacionais**. 2018. 200f. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

COUTINHO, R. **Avaliação de Parâmetros de Processo nas Propriedades de Peças de PBAT/PLA Fabricadas por Impressão 3D**. 2016. 53f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2016.

FILAMENTOS 3D BRASIL. **Filamento ABS premium 1,75 mm para impressora 3D**. 2020. Disponível em: <<http://filamentos3dbrasil.com.br/produtos/filamento-abs-premium-175-mm-para-impressora-3d-cor-preto-1kg/>>. Acesso em 27 abr. 2020.

FORD, S; DESPEISSE, M. **Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges.** Journal of Cleaner Production, 137, 1573-1587. 2016.

GERSHENFELD, N. **Fab: The Coming Revolution on Your Desktop From Personal Computers to Personal Fabrication.** Primeira edição. Nova York: Basic Books, 2005.

GOMEZ-GRAS, G. et al. **Fatigue performance of fused filament fabrication PLA specimens.** Materials & Design, 140, 278-285, 2018.

HUNT, E. et al. **Polymer recycling codes for distributed manufacturing with 3-D printers.** Resources, Conservation and Recycling 97, 24-30, 2015.

JONES, M. **Recycling 3D Printer Plastic - Tips for Your Waste.** 2018. Disponível em: <<https://all3dp.com/2/3d-printer-recycled-plastic-tips-for-your-waste-plastic/>>. Acesso em: 19 out. 2019.

MOILANEN, J.; VADÉN, T. **Manufacturing in motion: first survey on 3D printing community.** 2012. Disponível em: <<http://surveys.peerproduction.net/2012/05/manufacturing-in-motion/>> Acesso em: 19 out. 2019.

NEVES, H.; RAGUSA, J. **Fab Educação.** 2014. Disponível em: <https://www.dropbox.com/s/0mop6iasz0ue82f/FAB_Educa%C3%A7%C3%A3o_WeFab.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2019.

NGO, T et al. **Additive manufacturing (3d printing): A review of materials, methods, applications and challenges.** Composites Part B, 143, 172-196, 2018.

PRINT GREEN 3D. **Filamento ABS sustentável.** 2020. Disponível em: <<https://www.printgreen.com.br/filamento-abs-sustentavel>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

SONG, R; TELENKO, C. **Material and energy loss due to human and machine error in commercial FDM printers.** Journal of Cleaner Production, 148, 895-904, 2017.

Como citar este capítulo (ABNT):

SALLENAVE, G. et al. Contribuições para a discussão dos resíduos gerados pelo processo de fabricação por filamento fundido (FFF). In: OLIVEIRA, G. G. de; NÚÑEZ, G. J. Z. **Design em Pesquisa - Volume 3.** Porto Alegre: Marcavisual, 2020. cap. 13, p. 244-258. E-book. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/iicd/publicacoes/livros>. Acesso em: 15 ago. 2020 (exemplo).

Como citar este capítulo (Chicago):

Sallenave, Gabriela Cerveira, Greice Carvalho Caldovino, Fabio Pinto da Silva, Luis Henrique Alves Candido e Jocelise Jacques de Jacques. 2020. "Contribuições para a discussão dos resíduos gerados pelo processo de fabricação por filamento fundido (FFF)." In *Design Em Pesquisa - Volume 3*, edited by Geísa Gaiger de Oliveira and Gustavo Javier Zani Núñez, 244-258. Porto Alegre: Marcavisual. <https://www.ufrgs.br/iicd/publicacoes/livros>.