



ConBRepro

XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



ESG nas Engenharias

30 a 02
de dezembro 2022

TIPOS E PORCENTAGENS DE PREENCHIMENTO NA RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE PEÇAS IMPRESSAS EM 3D POR FFF

Ricardo Júnior de Oliveira Silva

Engenharia de produção – Universidade Federal do Paraná

Fabiano Oscar Drozda

Engenharia de produção – Universidade Federal do Paraná

Resumo: *Fused Filament Fabrication* (FFF) é uma tecnologia a qual faz parte da Manufatura Aditiva e que atualmente tem sido amplamente usado devido a sua facilidade de utilização. Por ter seu processo produtivo sem muitas restrições para fabricação, essa tecnologia possibilita a criação e produção desde peças e/ou objetos com geometrias simples, até fabricações mais robustas e com certo grau de complexidade. Ao estudar sobre Manufatura Aditiva através de uma perspectiva mais técnica, é possível perceber que ainda há uma vulnerabilidade no que diz respeito a quantidade de estudos na área. Em paralelo, pesquisas que tratam sobre a influência da porcentagem e do tipo de preenchimento nas peças feitas por tecnologia FFF, e suas propriedades de resistência ao impacto, são ainda menores. Diante ao exposto, o presente estudo se justifica por colaborar de forma prática e teórica para a cobrir essa lacuna existente. Como objetivo geral de pesquisa visou-se investigar, por meio da revisão bibliométrica e sistemática, pesquisas que tratavam sobre tipos de padrões de preenchimento com boa resistência a impacto e as porcentagens de preenchimento utilizadas. Como resultado, pode-se dizer que os tipos de preenchimento com melhores propriedades de resistência a impacto que vêm sendo trabalhados atualmente são: giróide e linha. Já referente as porcentagens de preenchimento, destacam-se os valores de 100% e 85% para o design de linha, e 80% para o giróide.

Palavras-chave: Impressão 3D, resistência ao impacto, Manufatura aditiva, preenchimento.

TYPES AND PERCENTAGES OF FILLING IN THE IMPACT RESISTANCE OF 3D PRINTED PARTS BY FFF

Abstract: Fused Filament Fabrication (FFF) is a technology that is part of Additive Manufacturing and which has currently been widely used due to its ease of use. Because it has its production process without many restrictions for manufacturing, this technology enables the creation and production of parts and / or objects with simple geometries, to more robust fabrications and with a certain degree of complexity. When studying additive manufacturing from a more technical perspective, it is possible to notice that there is still a vulnerability with regard to the amount of studies

in the area. In parallel, research dealing with the influence of the percentage and type of fill on parts made by FFF technology, and their impact resistance properties, are even lower. In view of the above, the present study is justified by collaborating in a practical and theoretical way to cover this existing gap. The general objective of this research aimed to investigate, through bibliometric and systematic review, research that dealt with types of filling patterns with good impact resistance and the percentages of filling used. As a result, it should be said that the types of filler with the best impact resistance properties that have been currently worked are: gyroid and line. Regarding the filling percentages, the values of 100% and 85% for the line design stand out, and 80% for the gyroid.

Keywords: 3D printing, impact resistance, additive manufacturing, infill.

1. Introdução

Fused Filament Fabrication (FFF), também conhecido como *Fused Deposition Modeling* (FDM) (RAJPUROHIT e DAVE, 2018) é o nome dado a tecnologia que algumas impressoras 3D utilizam para fazer a impressão de peças. Ela consiste em utilizar um filamento, o qual, na maioria das vezes, é um polímero ou um composto polimérico. Este filamento é aquecido por um bico extrusor até o ponto em que seja possível fazer a deposição do material para começar a construção das camadas (RAJPUROHIT e DAVE, 2018).

Por mais que o termo FDM seja amplamente utilizado em todo o mundo, ele é um nome cujo qual foi patenteado pela empresa Stratasys (DIZON et al., 2017). Dessa forma, a expressão mais recomendada para se referir a essa tecnologia sem alusões à uma organização é *Fused Filament Fabrication* (FFF). Se tratando de seu processo de produção, de acordo com Rodríguez-Panes, Claver e Camacho (2018), as características mecânicas de peças que são produzidas por meio de tecnologia aditiva são altamente dependentes dos processos de fabricação. Alves et al. (2021) reforçam essa ideia ao dizerem que há um problema relacionado ao procedimento de fabricação na impressora 3D o qual está interligado com os diferentes parâmetros de impressão. Isso porque, salva-se tempo de impressão e quantidade de filamento usado, ainda há um *gap* considerável de registros na literatura sobre as particularidades mecânicas de uma peça feita através desse processo (BRISCHETTO, TORRE e FERRO, 2019). Ponto esse que de certa forma dificulta a coleta e a análise literária devido ao fato de haver muitas variáveis, sendo necessário, algumas vezes, fazer ponderações para o enquadramento da pesquisa.

Lubombo e Huneault (2018) ainda fomentam o que Rodríguez-Panes, Claver e Camacho (2018) relatam, de que as propriedades mecânicas de uma peça impressa tridimensionalmente dependem dos parâmetros de processo de impressão e do tipo de preenchimento utilizado. Nesse sentido, percebe-se certo interesse por parte da comunidade científica em estudar os efeitos consequentes da escolha dos parâmetros impressão e tipos de preenchimento escolhidos (LUBOMBO e HUNEULT 2018). Com isso, diversos experimentos vêm sendo realizados nessas áreas a fim de que possam, cada vez mais, conseguir estruturas mais leves, fortes e com maior resistência ao impacto (MISHRA et al., 2021) para os produtos.

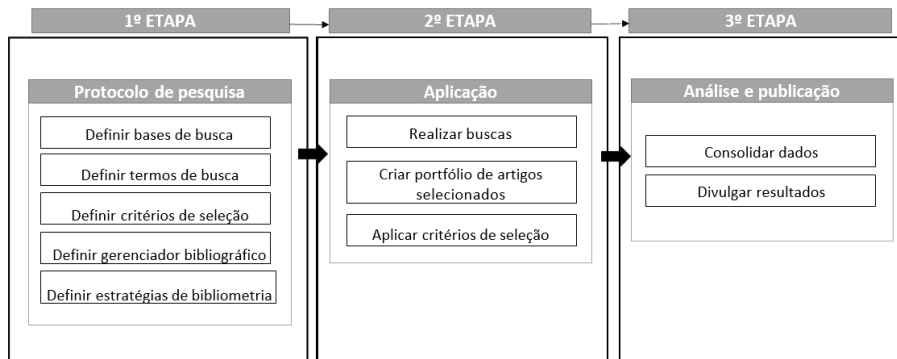
Entretanto, a maioria dos trabalhos ainda se encontra em estágio inicial. Ante a essa situação, o presente estudo visou investigar, por meio da revisão bibliométrica e sistemática, pesquisas que tratavam sobre tipos de padrões de preenchimento com boa resistência a impacto e as porcentagens de preenchimento utilizadas. Ademais, essa pesquisa se justifica por colaborar de forma prática e teórica para a cobrir a lacuna literária existente, bem como a fomentar mais estudos científicos sobre o tema.

2. Metodologia

2.1 Revisão Bibliométrica da Literatura (RBL)

Como direcionamento para a realização da revisão bibliométrica, utilizou-se como base o fluxo de atividades apresentado pela Figura 1. Esse fluxo, embora elaborado de forma autoral, teve inspiração no trabalho de Ferenhof e Fernandes (2016).

Figura 1 – Revisão bibliométrica da literatura

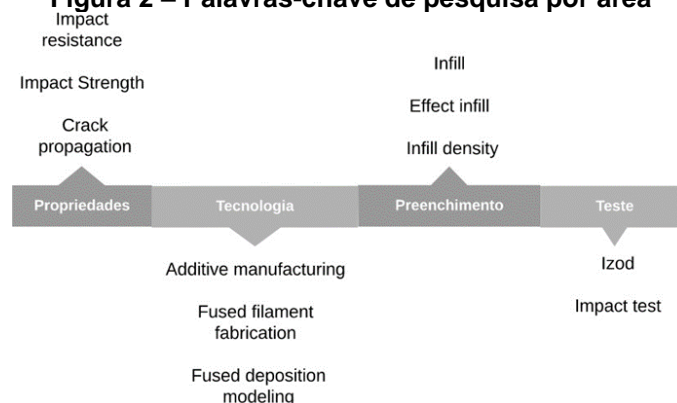


Fonte: autores (2022)

O primeiro passo para o planejamento da revisão bibliométrica foi o início da elaboração de um protocolo de revisão junto com a estipulação do objetivo pelo qual tem-se a necessidade de efetuar uma RBL. Algumas pesquisas foram feitas, de forma simplificada, somente para conhecer um pouco mais sobre o tema pesquisado e observar certos padrões de palavras-chave utilizados, para então, definir com maior certeza o protocolo final de revisão.

Após feita a parte de planejamento, e definido o objetivo geral da revisão como sendo: “trazer um panorama no que diz respeito à relevância dos estudos relacionados aos tipos de padrões de preenchimento com boa resistência a impacto e as porcentagens de preenchimento utilizadas”, deu-se início a criação do protocolo definitivo de RBL. Foram estipuladas nesse protocolo: as palavras-chave de pesquisa; as *strings* de busca; os critérios de inclusão e exclusão; bases de busca; intervalo de tempo de publicação; e, de forma sucinta, como seria feito o tratamento e análise dos dados. Depois do primeiro contato com o tema e com alguns estudos na fase de planejamento, estipulou-se os conjuntos de palavras-chave (Figura 2).

Figura 2 – Palavras-chave de pesquisa por área



Fonte: autores (2022)

Por meio dos operadores booleanos *AND* e *OR*, definiu-se também as *strings* de busca, obtendo as seguintes combinações de palavras (Figura 3).

Figura 3 – Combinações de palavras-chave

Strings de busca
<i>(("Impact resistance" OR "Impact strength" OR "crack propagation") AND ("Additive manufacturing" OR "Fused filament fabrication" OR "Fused deposition modeling") AND ("Infill" OR "Infill effect" OR "infill density"))</i>
<i>(("Impact resistance" OR "Impact strength" OR "crack propagation") AND ("Additive manufacturing" OR "Fused filament fabrication" OR "Fused deposition modeling") AND ("Izod" OR "impact test"))</i>

Fonte: autores (2022)

Para o levantamento dos materiais da revisão, utilizou-se duas bases de busca acadêmica: *Scopus* e *Web of Science*. A escolha dessas bases se deu por serem umas das principais na área acadêmica, bem como pelo reconhecimento científico a elas inferido. O período estipulado para essa revisão partiu do ano de 2015 até 2021. Tratando dos critérios de inclusão (CI) e de exclusão (CE), esses foram estipulados da seguinte forma:

Critérios de Inclusão:

- CI1: Possui afinidade/familiaridade com o tema ou com os termos de busca?
- CI2: Somente artigos de periódicos;
- CI3: Somente estudos cuja matéria-prima utilizada seja o PLA.

Critérios de Exclusão:

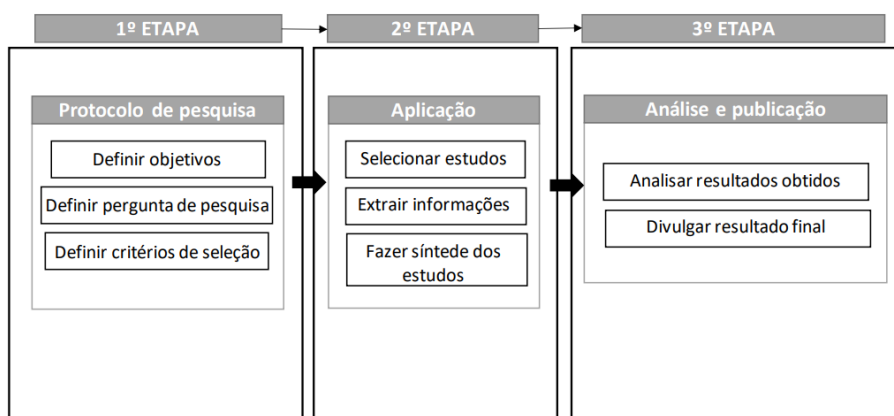
- CE1: Repetição;
- CE2: Não atende ao CI1;
- CE3: Artigos de outros idiomas além do Inglês;

A escolha do PLA (ácido polilático) se deu por ele ser um dos materiais mais utilizados em Manufatura Aditiva, bem como ser de fácil acesso. Após feito isso, para análise e tratamento dos dados, estipulou-se como ferramenta para gerenciamento bibliográfico o Mendeley, por ser um software gratuito. Como verificador de citação para a bibliometria definiu-se o Google Acadêmico, visto ser uma plataforma que engloba as duas bases de busca selecionadas, além de ser de fácil manuseio. Por fim, utilizou-se também a ferramenta nuvem de palavras, a fim de explicitar os termos de maior relevância que apareceram com mais frequência durante a pesquisa. Subsequentemente, encaminhou-se para a condução e desenvolvimento da RBL.

2.2 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

Com os artigos derivados da bibliometria, foi feita a revisão sistemática da literatura. Inicialmente, foi feito o planejamento e a definição do objetivo que seria trabalhado no decorrer da revisão. Como guia para o planejamento utilizou-se a estrutura apresentada pela Figura 4, que, assim como na RBL, foi feita de forma autoral, mas teve inspiração nos trabalhos do Falbo (2018) e Gohr et al., (2013).

Figura 4 – Revisão sistemática da literatura



Fonte: autores (2022)

Para o planejamento da RSL, definiu-se as perguntas que moveram a realização desta revisão, apresentadas como:

- QP1: quais os tipos de preenchimento com melhores propriedades de resistência a impacto vêm sendo trabalhados atualmente?
- QP2: quais as porcentagens utilizadas para obter os resultados?

Já para fazer a seleção final dos estudos que vieram da etapa anterior, definiu-se os últimos critérios de inclusão e exclusão:

Critérios de Inclusão:

- CI1: ter pelo menos 2 tipos de densidade de preenchimento;
- CI2: ter sido feito teste de impacto.

Critério de Exclusão:

- CE1: não obedece ao CI1.

A definição do CI1 se deu pelo fato de que como a quantidade de preenchimento é um dos fatores que diretamente impactam na resistência de uma peça fabricada aditivamente, preferiu-se fazer o comparativo de pelo menos 2 densidades de materiais, para ter a possibilidade de observar como cada tipo de geometria se comporta com níveis de preenchimentos diferentes. Além de que, como se trata de um processo variável, como variações na marca do material, temperatura de extrusão, impressora usada, cor do filamento, entre outros fatores, torna-se complexo analisar, tendo somente um parâmetro de densidade, como certa quantidade de material depositado pode influenciar nas propriedades de determinado tipo de geometria de preenchimento. Já a escolha do CI2 se deu por ser um tópico diretamente ligado a temática da pesquisa.

3. Resultados e discussão

3.1 Desenvolvimento da RBL

As *strings* definidas foram submetidas as bases de busca no mês de julho de 2021, e resultaram nas seguintes quantidades de artigos (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultados das buscas

Strings de busca	Scopus	WoS
<i>("Impact resistance" OR "Impact strength" OR "crack propagation") AND ("Additive manufacturing" OR "Fused filament fabrication" OR "Fused deposition modeling") AND ("Infill" OR "Infill effect" OR "infill density"))</i>	150	18
<i>("Impact resistance" OR "Impact strength" OR "crack propagation") AND ("Additive manufacturing" OR "Fused filament fabrication" OR "Fused deposition modeling") AND ("Izod" OR "impact test"))</i>	198	20
Total	348	38

Fonte: autores (2022)

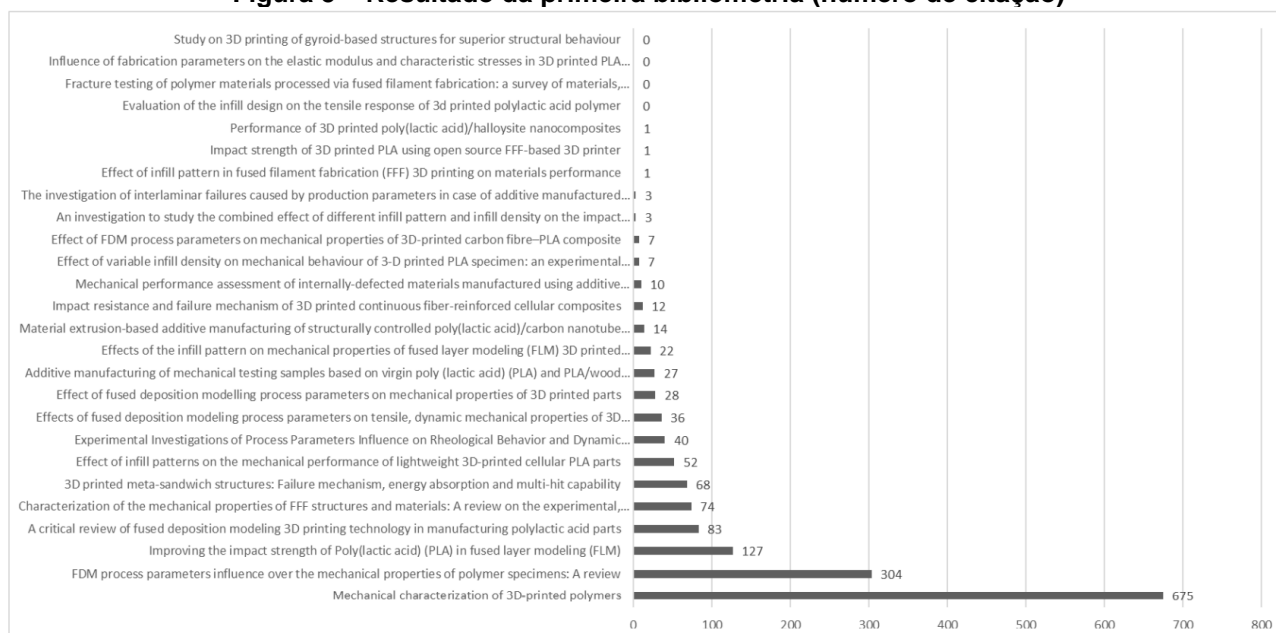
Após, todos os materiais foram transferidos para o gerenciador bibliográfico Mendeley, e deu-se início a aplicação das etapas de seleção.

- 1ª etapa: ao submeter os 386 artigos no gerenciador e aplicar o CE1: “repetição”, obteve-se um total de 314 estudos, ou seja, 72 artigos repetidos foram excluídos.
- 2ª etapa: CE2: “Não atende ao C11”, efetuou-se a leitura dos títulos de todos os artigos, os que não tinham afinidade/familiaridade com o tema nem com os termos de busca foram excluídos na seleção. Nesta etapa sobraram 73 artigos, os quais foram encaminhados para uma planilha no Excel, organizados por ano, ordem numérica e título.
- 3ª etapa: C12: “somente artigos de periódicos”. Nesta fase, verificou-se se os estudos selecionados na etapa anterior eram de periódicos. Artigos de anais de congressos foram excluídos. Os 57 artigos que restaram passaram para a próxima etapa.
- 4ª etapa: “C13: Somente estudos cuja matéria-prima utilizada seja o PLA”. Nesta parte, conduziu-se a leitura dos resumos dos 57 artigos aplicando os critérios acima, resultando em 26 estudos. Após, conduziu-se a primeira bibliometria através do número de citações de cada um.
- 5ª etapa: Aqui, foram feitas as leituras dos resultados e metodologia de cada um dos 26 artigos aplicando o CE3: “Artigos de outros idiomas além do Inglês”. Nesta etapa restaram 8 estudos. A partir deles, gerou-se uma nuvem de palavras para representar os termos que apareceram com mais frequência neles.

Em todos os passos, caso houvesse dúvidas se o artigo deveria ser incluído ou excluído, ele sempre era incluído para análise mais aprofundada nas próximas fases.

Com a realização das etapas 1, 2, 3 e 4, os 26 artigos resultantes da 4ª etapa foram analisados bibliograficamente por meio do número de citação de cada um, pois, segundo Araújo (2008), isso possibilita reconhecer e retratar certos padrões por meio da quantidade de citações que cada estudo possui. Vide Figura 5.

Figura 5 – Resultado da primeira bibliometria (número de citação)



Fonte: autores (2022)

Destes estudos, após a realização da 5ª etapa, os 8 artigos restantes foram listados, como apresentado no Quadro 1.

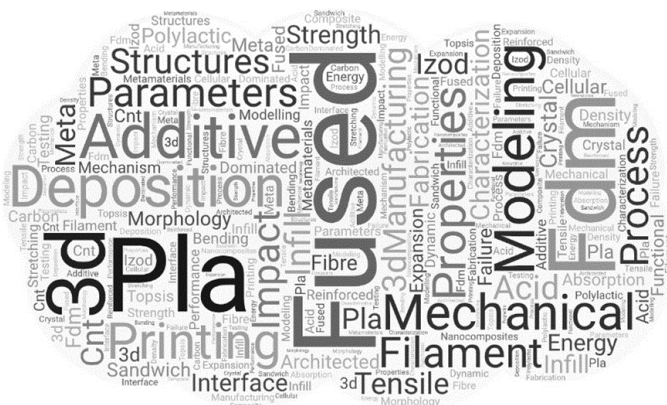
Quadro 1 – Artigos restantes

Ano	TÍTULO
2017	Improving the impact strength of Poly (lactic acid) (PLA) in fused layer modeling (FLM)
2018	3D printed meta-sandwich structures: Failure mechanism, energy absorption and multi-hit capability
2019	A critical review of fused deposition modeling 3D printing technology in manufacturing polylactic acid parts
2019	Characterization of the mechanical properties of FFF structures and materials: Areview on the experimental, computational and theoretical approaches
2019	Effects of fused deposition modeling process parameters on tensile, dynamic mechanical properties of 3D printed polylactic acid materials
2019	Effect of variable infill density on mechanical behavior of 3-D printed PLA specimen: an experimental investigation
2021	An investigation to study the combined effect of different infill pattern and infill density on the impact strength of 3D printed polylactic acid parts
2021	Study on 3D printing of gyroid-based structures for superior structural behavior

Fonte: autores (2022)

A partir deles, desenvolveu-se a nuvem de palavras com os termos-chave retirados dos estudos acima listados (Figura 6).

Figura 6 – Nuvem de palavras



Fonte: autores (2022)

Por fim, esses estudos foram encaminhados para Revisão Sistemática da Literatura (RSL), apresentada a seguir.

3.2 Desenvolvimento da RSL

Com os critérios de seleção definidos, classificou-se os estudos por ano, título e autores; em seguida, realizou-se a leitura completa dos materiais aplicando os últimos critérios de seleção. Os artigos excluídos encontram-se demonstrados no Quadro 2:

Quadro 2 – Artigos excluídos – fase final

Ano	Título	Autores	Exclusão - motivo
2017	Improving the impact strength of Poly(lactic acid) (PLA) in fused layer modeling (FLM)	Lu Wang, William M. Gramlich, Douglas J. Gardner	O foco do artigo era estudar a influência de dois parâmetros, altura de camada e temperatura do prato de impressão.
2019	A critical review of fused deposition modeling 3D printing technology in manufacturing polylactic acid parts	Z Liu, Y Wang, B Wu, C Cui, Y Guo, C Yan	Durante o texto não foi apresentado nenhum foco para a porcentagem de preenchimento bem como para os tipos de preenchimentos.
2019	Characterization of the mechanical properties of FFF structures and materials: A review on the experimental, computational and theoretical approaches	Enrique Cuan-Urquizo , Eduardo Barocio, Viridiana Tejada-Ortigoza, R. Byron Pipes, Ciro A. Rodriguez and Armando Roman-Flores	A parte que trata sobre fratura e propagação de trinca é baseado em análises feitas no ABS
2018	3D printed meta-sandwich structures: Failure mechanism, energy absorption and multi-hit capability	H. Yazdani Sarvestani, A.H. Akbarzadeh, A. Mirbolghasemi, K. Hermenean	O estudo se tratou de uma aplicabilidade diferente de preenchimento, não enquadrando no foco da pesquisa.
2019	Effects of fused deposition modeling process parameters on tensile, dynamic mechanical properties of 3D printed polylactic acid materials	Abhinav Chadha, Mir Irfan Ul Haq, Ankush Raina, Rana Ratna Singh, Narendra Babu Penumarti and Manjeet Singh Bishnoi	As densidades de preenchimentos não variaram, sendo assim não há como responder às perguntas de pesquisa.

Fonte: autores (2022)

Já os artigos que obedeceram ao C11 estão apresentados no Quadro 3:

Quadro 3 – Artigos aceitos – fase final		
Ano	Título	Autores
2019	Effect of variable infill density on mechanical behavior of 3-D printed PLA specimen: an experimental investigation	Md. Qamar Tanveer, Abid Haleem, Mohd Suhaib
2021	Study on 3D printing of gyroid-based structures for superior structural behaviour	Silva, C; Pais, A I; Caldas, G; Gouveia, B.P.P.A.; Alves, J L; Belinha, J
2021	An investigation to study the combined effect of different infill pattern and infill density on the impact strength of 3D printed polylactic acid parts	Pradeep Kumar Mishra, P. Senthil, S. Adarsh, M.S. Anoop

Fonte: autores (2022)

Esses 3 artigos foram sintetizados e os resultados apresentados a seguir.

3.3 Apresentação dos resultados

Em 2019, Tanveer, Haleem e Suhaib objetivaram investigar o efeito da densidade de preenchimento variável na resistência à tração e ao impacto de amostras feitas de PLA impressas por uma impressora 3D de código aberto. Utilizando o padrão de preenchimento de linhas, aplicado a $+45^{\circ}/-45^{\circ}$, os autores concluíram que, em geral, a densidade de preenchimento único influencia diretamente a resistência à tração e ao impacto da amostra impressa em 3D. No entanto, conforme testes realizados durante a pesquisa, a resistência à tração e ao impacto mostraram uma resposta mista com densidade de preenchimento combinada. A porcentagem de preenchimento, segundo esse estudo, que obteve maior resistência a impacto foi 100% tanto em camadas externas quando em internas – considerada um *benchmark*. Já a segunda porcentagem com melhor desempenho foi 100% nas camadas internas e 75% nas camadas internas da peça (TANVEER; HALEEM e SUHAIB, 2019).

Já em 2021, Silva et al., conduziram um estudo sobre o padrão de preenchimento giróide. Utilizando 3 tipos de densidades de preenchimento, 20%, 50% e 80%, os autores concluíram que os que obtiveram os melhores resultados foram as porcentagens de 80% e 50%, respectivamente (SILVA et al., 2021). Por fim, Mishra et al. (2021) estudaram os efeitos de diferentes tipos de preenchimentos e densidades de preenchimento na resistência ao impacto de peças feitas de PLA em tecnologia 3D. Para isso, os pesquisadores realizaram testes em laboratórios para medir a energia absorvida durante a deformação do PLA com diferentes combinações de preenchimento e densidade. Os tipos de preenchimentos que foram estudados no decorrer do artigo, foram: preenchimento em linha, zig zag, concêntrico, *cross*, concêntrico 3D, *cross* 3D, subdivisão cúbica, grid, octeto, quarto cúbico, triangular e hexagonal. Desse modo, concluíram que a quantidade de 85% de preenchimento junto com o padrão de linha foi o que demonstrou o maior potencial de absorção de energia (MISHRA et al., 2021).

4. Conclusões

Com esse trabalho foi possível investigar, por meio da revisão bibliométrica e sistemática, pesquisas que tratavam sobre tipos de padrões de preenchimento com boa resistência a impacto e as porcentagens de preenchimento utilizadas. Além disso, com a revisão

bibliométrica, foi apresentado um panorama no que diz respeito à relevância dos estudos relacionados aos tipos de padrões de preenchimento com boa resistência a impacto. Se tratando das perguntas de pesquisa apresentadas na revisão sistemática de “quais os tipos de preenchimento com melhores propriedades de resistência a impacto vêm sendo trabalhados atualmente?” e “quais as porcentagens utilizadas para obter os resultados?”, pode-se dizer que os tipos de preenchimento com melhores propriedades de resistência ao impacto que vêm sendo trabalhados atualmente são: giróide e linha. Já referente as porcentagens de preenchimento, destacam-se os valores de 100% e 85% para o design de linha, e 80% para o giróide. E, embora a quantidade final de estudos não tenha atingido um número expressivo, seus resultados são bem direcionados para o foco desta pesquisa e de demais trabalhos que venham utilizar os mesmos princípios.

Com isso, considera-se que os objetivos propostos nesse trabalho foram alcançados. Como recomendações futuras, sugere-se ampliar o escopo da pesquisa para verificar a influência dos materiais de impressão na resistência ao impacto.

Referências

ARAÚJO, C. A. **Bibliometria: evolução histórica e questões atuais**. Em *Questão*, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006. Disponível em: < <https://seer.ufrgs.br/EmQuestao/article/view/16>> Acesso: 25/10/2021.

ALVES, T. P.; DE JESUS, A. V. S.; PINTO, G. V. S.; RIBEIRO., R. R. M.; RODRIGUES, L. K. O. Análise da influência do padrão de preenchimento e da altura de camada de deposição nas propriedades mecânicas de peças fabricadas em PLA a partir de impressão 3d. *Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, v. 8, n. 1, p. 95-103, 2021.

BRISCHETTO, S., TORRE, R., e FERRO, C. G. **Experimental Evaluation of Mechanical Properties and Machine Process in Fused Deposition Modelling Printed Polymeric Elements**. *Anais AHFE 2019 International Conference on Additive Manufacturing, Modeling Systems and 3D Prototyping*, 377–389, (2019).

CHADHA, A.; HAQ, M. I. U.; RAINA, A.; SINGH, R. R.; PENUMARTI, N. B.; e BISHNOI, M. S. Effect of fused deposition modelling process parameters on mechanical properties of 3D printed parts. **World Journal of Engineering**, v. 16, n. 4, p. 550-559, 2019.

CUAN-URQUIZO, E.; BAROCIO, E.; TEJADA-ORTIGOZA, V.; PIPES, R. B.; RODRIGUEZ, C. A.; e ROMAN-FLORES, A. Characterization of the mechanical properties of FFF structures and materials: A review on the experimental, computational and theoretical approaches. **materials**, v. 12, n. 6, p. 895, 2019.

DIZON, J. R. C.; ESPERA JR, A. H.; CHEN, Q.; e ADVINCULA, R. C. Mechanical characterization of 3D-printed polymers. **Additive manufacturing**, v. 20, p. 44- 67, 2018.

FALBO, R. de A. **Mapeamento sistemático**. Retrieved October, v. 7, 2018. p. 4. Disponível em: < http://www.inf.ufes.br/~falbo/files/MP/TP/Sobre_MS.pdf > Acesso em: 5 nov 2021.

FERENHOF, H. A.; FERNANDES, R. F. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SSF. **Revista ACB**, v. 21, n. 3, p. 550-563, 2016.

GOHR, C. F.; SANTOS, L. C.; GONÇALVES, A. M. C.; PINTO, N. O. **Um método para a revisão sistemática da literatura em pesquisas de engenharia de produção**. Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção, v. 33, p. 1-18, 2013.

LIU, Z.; WANG, Y.; WU, B.; CUI, C.; GUO, Y.; e YAN, C. A critical review of fused deposition modeling 3D printing technology in manufacturing polylactic acid parts. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 102, n. 9, p. 2877-2889, 2019.

LUBOMBO, C.; HUNEALUT, Michel A. Effect of infill patterns on the mechanical performance of lightweight 3D-printed cellular PLA parts. **Materials Today Communications**, v. 17, p. 214-228, 2018.

MISHRA, P. K.; SENTHIL, P.; ADARSH, S.; e ANOOP, M. S. An investigation to study the combined effect of different infill pattern and infill density on the impact strength of 3D printed polylactic acid parts. **Composites Communications**, v. 24, p. 100605, 2021.

RAJPUROHIT, S. R.; DAVE, H. K. Analysis of tensile strength of a fused filament fabricated PLA part using an open-source 3D printer. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 101, n. 5, p. 1525-1536, 2019.

RODRÍGUEZ-PANES, A.; CLAVER, J.; CAMACHO, A. M. The influence of manufacturing parameters on the mechanical behaviour of PLA and ABS pieces manufactured by FDM: A comparative analysis. **Materials**, v. 11, n. 8, p. 1333, 2018.

SARVESTANI, H. Y.; AKBARZADEH, A. H.; MIRBOLGHASEMI, A.; e HERMENEAN, K. 3D printed meta-sandwich structures: Failure mechanism, energy absorption and multi-hit capability. **Materials & Design**, v. 160, p. 179-193, 2018.

SILVA, C.; PAIS, A. I.; CALDAS, G.; GOUVEIA, B. P.; ALVES, J. L.; e BELINHA, J. Study on 3D printing of gyroid-based structures for superior structural behaviour. **Progress in Additive Manufacturing**, p. 1-15, 2021.

TANVEER, M. Q.; HALEEM, A.; SUHAIB, M. Effect of variable infill density on mechanical behaviour of 3-D printed PLA specimen: an experimental investigation. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 12, p. 1-12, 2019.

WANG, L.; GRAMLICH, W. M.; GARDNER, D. J. Improving the impact strength of Poly (lactic acid)(PLA) in fused layer modeling (FLM). **Polymer**, v. 114, p. 242-248, 2017.