



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO
ON-LINE

02 a 04
de dezembro 2020

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: Metodologia de superfície de resposta (RSM) aplicada ao processo de manufatura aditiva por deposição fundida (FDM)

Rogério Santana Peruchi
Nathália Nunes de Melo
Williane de Oliveira Silva Soares
Marcel de Góis Pinto
Sandra Naomi Morioka

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Resumo: Segundo Ghobakhloo (2018), a manufatura aditiva constitui uma das tendências tecnológicas na crescente Indústria 4.0 devido ao fato de possibilitar maior flexibilidade, rapidez e uso eficiente de recursos. Todavia, algumas desvantagens do processo são citadas com frequência na literatura. Lambiase, Genna e Leone (2020) apontam a baixa precisão geométrica, alta rugosidade da superfície e longo tempo de produção. Enquanto Dey e Yodo (2019) enfatizam propriedades mecânicas abaixo do padrão de qualidade, que comprometem a aceitabilidade dessa tecnologia na indústria. Dessa forma, o ajuste de parâmetros operacionais que contribuem com a melhoria do processo tem sido estudado para se obter um modelo de manufatura mais robusto, capaz de concorrer com os modelos de manufaturas atualmente disponíveis. Partindo desse pressuposto, o presente estudo tem como objetivo apresentar uma visão geral das pesquisas desenvolvidas sobre o processo de manufatura aditiva por deposição fundida (FDM) que aplicaram a metodologia de superfície de resposta (RSM) para alcançar melhorias nas características da qualidade das partes impressas, visando com isso obter um modelo de manufatura mais robusto, capaz de concorrer com os modelos de manufaturas atualmente disponíveis.

Palavras-chave: Manufatura aditiva, Metodologia de superfície de Resposta, Modelagem por deposição fundida.

Response Surface Methodology applied to additive manufacturing by fused deposition modeling (FDM): LITERATURE REVIEW

Abstract: According to Ghobakhloo (2018), additive manufacturing is one of the technological trends in the growing Industry 4.0 due to the fact that it allows greater flexibility, speed and efficient use of resources. However, some disadvantages of the process are frequently cited in the literature. Lambiase, Genna and Leone (2020) point to low geometric precision, high surface roughness and long production time. While Dey and Yodo (2019) emphasize mechanical properties below the quality standard, which compromise the acceptability of this technology in the industry. Thus, the adjustment of operational parameters that contribute to the improvement of the

process has been studied to obtain a more robust manufacturing model, capable of competing with the manufacturing models currently available. Based on this assumption, the present study aims to present an overview of the research developed on the process of additive manufacturing by fused deposition modeling (FDM) that applied the response surface methodology (RSM) to achieve improvements in the quality characteristics of the printed parts, aiming to obtain a more robust manufacturing model, capable of competing with the currently available manufacturing models.

Keywords: Additive manufacturing, Response surface methodology, Fused deposition modeling

1. Introdução

Manufatura aditiva (AM) é o processo de criar objetos em três dimensões (3D), camada por camada ou gota à gota, por meio da deposição de materiais utilizando um sistema de manufatura controlado por computador (KIM; LIN; TSENG, 2018). Segundo Ghobakhloo (2018), ela constitui uma das tendências tecnológicas na crescente Indústria 4.0 devido ao fato de possibilitar maior flexibilidade, rapidez e uso eficiente de recursos, aspectos esses indispensáveis para manter a competitividade nos dias atuais.

De acordo com norma internacional, ISO/ASTM 529000 (2015), o processo de manufatura aditiva (AM) pode ser classificado em sete categorias: (1) extrusão de material; (2) jateamento de materiais; (3) jateamento de ligantes; (4) fusão seletiva a laser; (5) deposição de energia direcionada; (6) fotopolimerização em cubas; (7) laminação de chapas. Das quais a seleção do material é realizada com base nas aplicações e requisitos específicos. Jaisingh, Sheoran e Kumar (2020) destacam os polímeros termoplásticos, concreto, metal e cerâmicas como exemplos.

A modelagem por deposição fundida (FDM), conforme destacam Dey, Hoffman e Yodo (2020), trata-se de uma das tecnologias da manufatura aditiva classificada dentro da categoria de extrusão de material. Nguyen et al. (2020), explicam que o fato de a manufatura aditiva por deposição fundida (FDM) ser realizado com máquinas comerciais relativamente de baixo custo, sendo acessível, dessa forma, para organizações educacionais, comerciais, ou até uso doméstico, contribuiu bastante para sua popularização. Observa-se na literatura acadêmica, portanto, uma grande quantidade estudos sobre o processo, tendo em vista sua relação custo-benefício, visando com isso torná-lo mais robusto para sua ampla utilização na manufatura, uma vez que alguns problemas são citados com frequência na literatura, como baixa precisão geométrica, alta rugosidade da superfície e longo tempo de produção conforme citam Lambiase, Genna e Leone (2020) e propriedades mecânicas abaixo do padrão de qualidade (DEY; YODO, 2019).

A metodologia de superfície de resposta (RSM) é um excelente método para alcançar melhorias nesse processo, explicam Saad et al. (2019), pois erros padrão muito baixos são observados durante validação experimental, além disso, pode ser usada em modelos com alto grau de ajuste e multi-objetividade. El Magri et al. (2020) explicam que nesse método algumas variáveis independentes são combinadas, utilizando a técnica de design de experimentos estatísticos (DOE) para gerar um modelo de regressão, a partir do qual, por meio do gráfico de superfície de resposta é possível investigar os resultados e determinar as condições ideais para otimizar a variável de resposta. Resultados de otimizações significantes para o processo foram identificados na literatura, por meio da aplicação da metodologia de superfície de resposta (RSM) por diversos autores, conforme apresentado por El Magri et al. (2020), Jaisingh Sheoran e Kumar (2020), Raju et al. (2019) e Srivastava et al. (2016).

2. Materiais e Métodos

De acordo com Tranfield et al. (2003) a revisão sistemática da literatura tem o objetivo de fornecer *insights* através da síntese teórica de determinado campo estudo por meio de

uma metodologia transparente e replicável para produção de um conhecimento robusto. A Figura 1 representa o esquema dos passos conduzidos durante o presente estudo.

Uma revisão sistemática da literatura foi realizada para analisar de que forma a literatura acadêmica aborda a Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) em processos de manufatura aditiva (AM) por meio de Deposição Fundida (FDM /FFF) e, com isso, obter uma visão geral sobre os estudos relacionado ao tema. Para tal, uma pesquisa foi realizada na base de dados do *Web of Science core collection*, utilizando os seguintes termos de busca e lógica booleana:

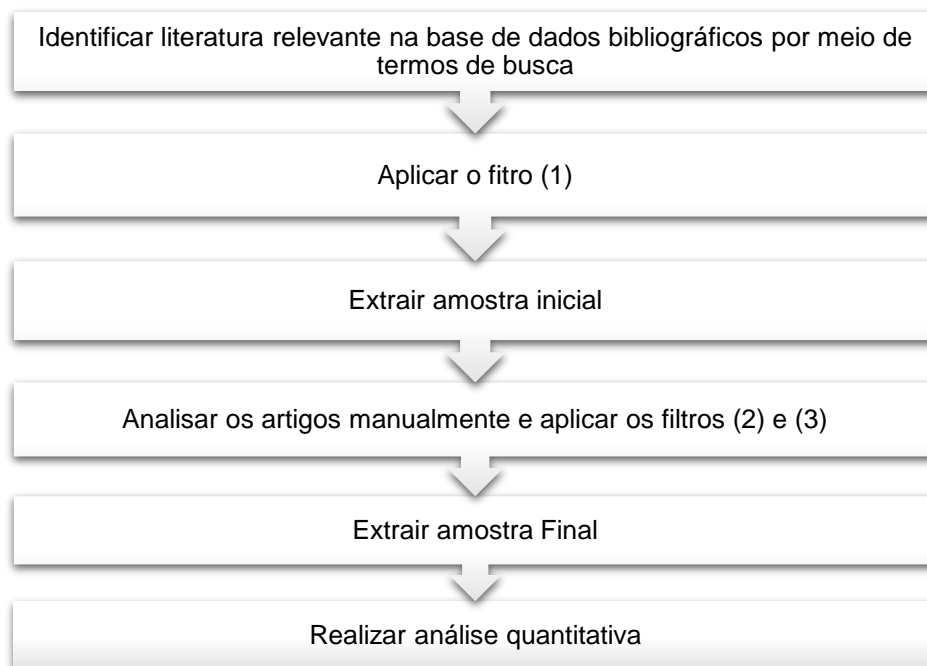
- Tópico: "*Fused deposition modeling**" or "*FDM*" or "*3D Print**" and
- Tópico: "*Response surface*"

A pesquisa inicial resultou em uma amostra com noventa e quatro documentos. Em seguida foi realizada uma filtragem da amostra a partir dos seguintes critérios de exclusão:

- 1) Documentos que não se adequam ao filtro do *Web of Science*: Artigos e Revisões;
- 2) Artigos que não estão relacionados com o modelo de deposição fundida (FDM);
- 3) Artigos que não aplicam a metodologia de superfície de resposta (RSM);

Após aplicar todos os filtros, foram eliminados 49 artigos não-relevantes para pesquisa por distanciarem-se do objetivo de pesquisa, dentre eles pode-se citar: Croes et al., (2020), Etxabide et al. (2018), Wang et al. (2020), Zhang et al. (2019), Zou et al. (2012).

Figura 1 - Estágios para condução da revisão sistemática



Fonte: Do autor (2020)

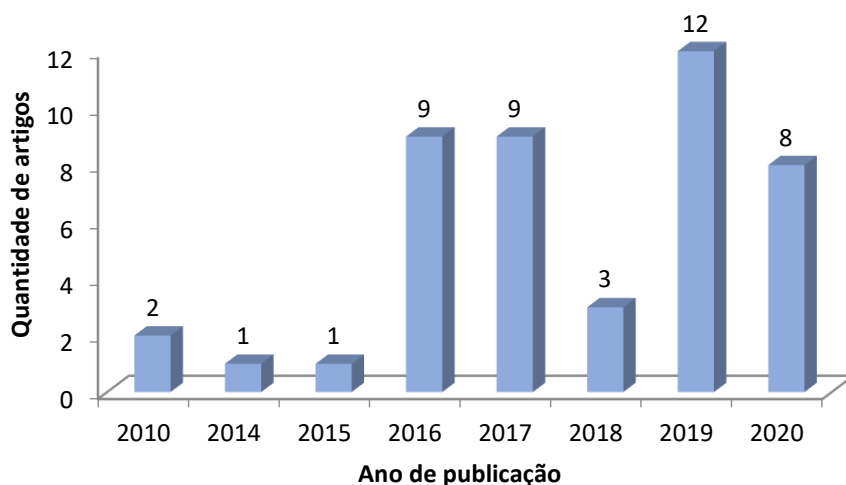
Em posse da amostra final, contendo 45 artigos, foi conduzida uma análise quantitativa para observar o perfil das publicações no decorrer dos anos, principais periódicos de publicações e parâmetros operacionais mais abordados.

3. Análise dos Resultados

Uma análise quantitativa foi realizada para levantar o número de publicações a partir do surgimento do primeiro artigo relacionado ao tema de pesquisa identificado por meio da

presente revisão sistemática. De acordo com a Figura 2, é possível observar que o maior número de publicações ocorreu no ano de 2019, todavia, ressalta-se que ano de 2020 foi contabilizada apenas as publicações referente ao primeiro semestre do ano. Os dados apontam para a relevância do tema atualmente.

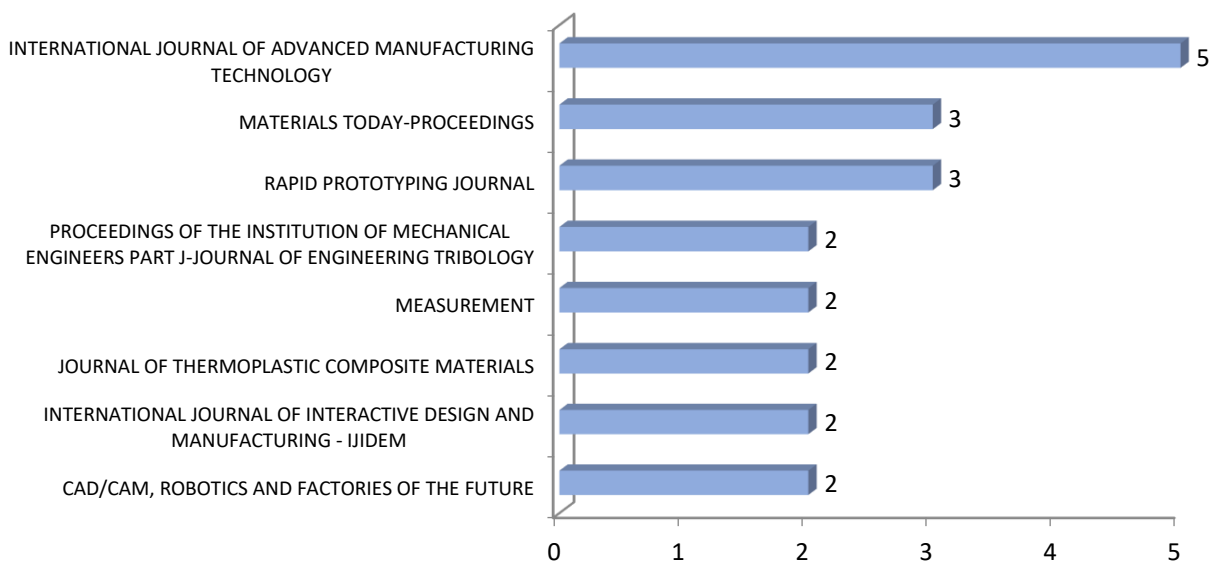
Figura 2 - Distribuição da amostra com relação ao ano de publicação



Fonte: Do Autor (2020)

Na Figura 3 são apresentados os principais periódicos nos quais os artigos foram publicados. O maior número de publicações foi verificado no *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology* (5 publicações), que possui um fator de impacto 2,63 de acordo com o *Journal Citation Reports* (2019).

Figura 3 - Principais periódicos das publicações

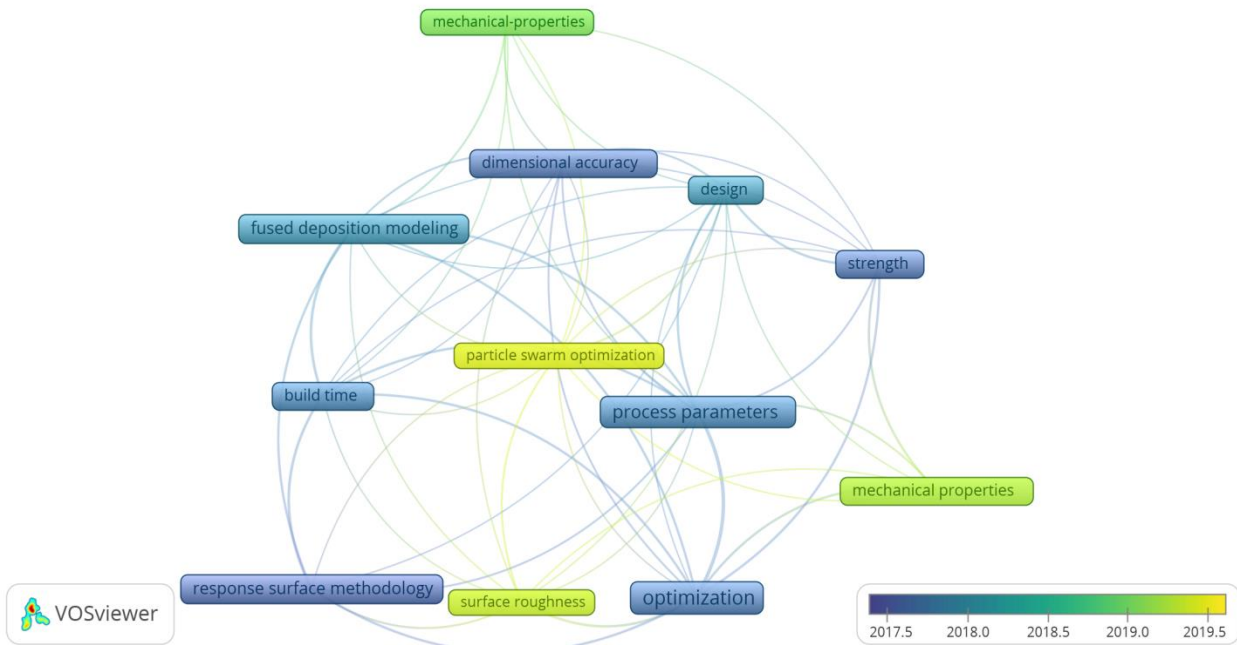


Fonte: Do Autor (2020)

Visando compreender o perfil das publicações durante o período de tempo foi utilizado o *software VOSViewer*. A Figura 4 apresenta uma visão geral da amostra final, baseada em traços comuns obtidos por meio da frequência com que determinadas palavras-chaves ocorrem conjuntamente. Para verificar essa correlação entre os artigos, foi definida uma frequência mínima de três vezes, que possibilitou a identificação de 12 palavras-chaves fortemente relacionadas. A partir do ano de 2019, a ênfase nas pesquisas, baseada na frequência em que os termos foram citados nos artigos, está nas propriedades mecânicas

e de qualidade das peças, com maior destaque para propriedade da qualidade – rugosidade – enquanto o modelo de otimização *Particle Swarm* foi o mais aplicado durante os estudos experimentais.

Figura 4 - Gráfico de redes



Fonte: Do autor (2020)

A Tabela 1 apresenta os materiais que foram utilizados pelos autores no processo de manufatura aditiva por deposição fundida (FDM), na qual se observa uma predominância dos materiais Acrilonitrila butadieno estireno (ABS) e poliácido láctico (PLA).

Enquanto na Tabela 2 são mostradas algumas propriedades importantes do PLA e ABS que justificam sua escolha no processo de manufatura aditiva por deposição fundida (FDM). Alguns autores incrementam as propriedades desses materiais acrescentando Policarbonatos (PC) em sua composição. De acordo com Dey e Yodo (2019), os PCs são um grupo de termoplásticos conhecidos por sua boa resistência, durabilidade, tenacidade e alguns são transparentes, além disso, possuem uma boa camada para colagem e fornecem uma superfície de boa qualidade.

Tabela 1 - Classificação dos trabalhos de FDM com relação ao material do filamento

Material	Artigos
Acrilonitrila butadieno estireno (ABS)	(NORANI et al., 2020); (RAJU et al., 2019); (SAMYKANO et al., 2019); (DESWAL; NARANG; CHHABRA, 2019); (ABID et al., 2019); (PANDA et al., 2018); (TOOTOONI et al., 2017); (RATHEE et al., 2017); (SRIVASTAVA et al., 2017); (SRIVASTAVA et al., 2016a); (SINGH et al., 2016); (SRIVASTAVA et al., 2016b); (SRIVASTAVA et al., 2016c); (MOHAMED; MASOOD; BHOWMIK, 2016a); (DEVIKA; GUPTA, 2016); (PENG; XIAO; YUE, 2014); (SOOD; OHDAR; MAHAPATRA, 2010); (EQUBAL et al., 2010);
Poliácido láctico (PLA)	(LAMBIASE; GENNA; LEONE, 2020); (DEY; HOFFMAN; YODO, 2020); (NGUYEN et al., 2020); (MORADI; MEIABADI; KAPLAN, 2019); (YANG et al., 2019); (SAAD et al., 2019); (HOU et al., 2018); (GRGURAS; KRAMAR, 2017); (LANZOTTI et al., 2015).
Polycarbonato/Acrilonitrila Butadieno Estireno (PC-ABS)	(MOHAMED; MASOOD; BHOWMIK, 2017a); (MOHAMED; MASOOD; BHOWMIK, 2017b); (MOHAMED; MASOOD; BHOWMIK, 2017c); (MOHAMED; MASOOD; BHOWMIK, 2017d); (MOHAMED; MASOOD; BHOWMIK, 2016b); (MOHAMED; MASOOD; BHOWMIK, 2016c).
Acetato-vinilo de etileno (EVA)	(KUMAR; KUMAR JAIN, 2019); (KUMAR et al., 2018).
PLA/ ABS/ PLA-PC	(CHAUDHRY et al., 2019).
Nylon 12	(KAMOONA; MASOOD; MOHAMED, 2017).
Polivinilpirrolidona (PVP)	(NAZAN et al., 2016).
Plaster-based powder	(HAKAMIVALA et al., 2019).
Poli(éter-éter-cetona) (PEEK)	(EL MAGRI et al., 2020).
Sustainable Natural Biocomposite	(VIJAY et al., 2019).
Partícula de policaprolactona / ferro carbonil (PCL/CIP)	(RATH; PANDEY, 2020).
Polycabornato reforçado com fibra de carbono (PC-SCF)	(GUPTA et al., 2020).

Fonte: Do autor (2020)

Tabela 2 - Propriedades do Poliácido láctico (PLA) e Acrilonitrila butadieno estireno (ABS)

Propriedade	PLA	ABS
Temperatura de Impressão (°C)	180 -230	210 - 250
Temperatura da plataforma de construção (°C)	20-60	80 - 110
Raft*	Opcional	Mandatário
Resistência	Alta	Média
Flexibilidade	Quebradiço	Moderadamente flexível
Resistência ao calor	Baixa	Moderada
Biodegradabilidade	Sim	Não

Fonte: Allthat3D (2020)

Por fim, foram levantados os parâmetros operacionais analisados com maior frequência nos procedimentos experimentais, conforme apresentado na Tabela 3, com destaque para os dez mais citados. A seleção apropriada dos parâmetros operacionais é um aspecto vital para obter a melhor qualidade das partes impressas (SAAD et al., 2019).

Tabela 3 – Parâmetros Operacionais

Parâmetros Operacionais	Frequência
Orientação(°)	51,16%
Espessura da camada(mm)	44,19%
Ângulo de varredura(°)	44,19%
Espaço vazio(mm)	37,21%
Altura da camada(mm)	25,58%
Numero de contornos	23,26%
Velocidade(mm/s)	20,93%
Densidade de preenchimento(%)	20,93%
Largura da estrada(mm)	16,28%
Largura de varredura(mm)	13,95%

Fonte: Do autor (2020)

Mohamed, Masood e Bhowmik (2017b) explicam que o impacto de parâmetros como espessura de camada, ângulo de varredura, espaço vazio, largura da varredura, numero de contornos e orientação, nas propriedades da qualidade são investigados com o objetivo de possibilitar a criação de produtos funcionais com melhor acuraria dimensional sem comprometer suas propriedades mecânicas dinâmicas.

4. Considerações Finais

No presente estudo foi realizado uma pesquisa bibliográfica sobre a aplicação da Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) no processo de manufatura aditiva por deposição fundida (FDM) para otimização do processo, no qual se verificou a relevância do tema nos dias atuais. O maior número de publicações foi verificado no *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*. Os resultados de estudos recentes apontam maior frequência de otimização de propriedades mecânicas e da qualidade do processo por meio do modelo de otimização Particle Swarm. Além disso, foi observada predominância dos materiais Acrilonitrila butadieno estireno (ABS) e poliácido láctico (PLA) para os estudos experimentais, enquanto os parâmetros operacionais: orientação(°), espessura da camada(mm), ângulo de varredura(°) e espaços vazios(mm) foram analisados, respectivamente, com maior frequência.

Referências

- ABID, S. et al. Optimization of mechanical properties of printed acrylonitrile butadiene styrene using RSM design. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 100, n. 5–8, p. 1363–1372, 2019.
- ALLTHAT3D. PLA vs ABS Filament – Plastic Strength, Flexibility Compared! Buyer’s Guide 2020. Disponível em: <<https://www.allthat3d.com/pla-vs-abs/>>. Acesso em: 31 ago. 2020.
- CHAUDHRY, F. N. et al. Effect of carbon fibre on reinforcement of thermoplastics using FDM and RSM. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, 2019.

- CROES, M. et al. A multifaceted biomimetic interface to improve the longevity of orthopedic implants. **Acta Biomaterialia**, v. 110, p. 266–279, 2020.
- DESWAL, S.; NARANG, R.; CHHABRA, D. Modeling and parametric optimization of FDM 3D printing process using hybrid techniques for enhancing dimensional preciseness. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, v. 13, n. 3, p. 1197–1214, 2019.
- DEVIKA, D.; GUPTA, N. S. Modeling the process parameters of RP-FDM using ANOVA and RESPONSE SURFACE METHODOLOGY for PC-ABS materials. **International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques, ICEEOT 2016**, p. 2059–2062, 2016.
- DEY, A.; HOFFMAN, D.; YODO, N. Optimizing multiple process parameters in fused deposition modeling with particle swarm optimization. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, v. 14, n. 2, p. 393–405, 2020.
- DEY, A.; YODO, N. A systematic survey of FDM process parameter optimization and their influence on part characteristics. **Journal of Manufacturing and Materials Processing**, v. 3, n. 3, 2019.
- EL MAGRI, A. et al. Optimization of printing parameters for improvement of mechanical and thermal performances of 3D printed poly(ether ether ketone) parts. **Journal of Applied Polymer Science**, n. January, p. 1–14, 2020.
- EQUBAL, A. et al. Prediction and analysis of sliding wear performance of fused deposition modelling-processed ABS plastic parts. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology**, v. 224, n. 12, p. 1261–1271, 2010.
- ETXABIDE, A. et al. Extraction and incorporation of bioactives into protein formulations for food and biomedical applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, p. 2094–2105, 2018.
- GHOBAKHLOO, MORTEZA, "The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0", **Journal of Manufacturing Technology Management**, Vol. 29 Issue: 6, pp.910-936, 2018.
- GRGURAŠ, D.; KRAMAR, D. Optimization of hybrid manufacturing for surface quality, material consumption and productivity improvement. **Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering**, v. 63, n. 10, p. 567–576, 2017.
- GUPTA, A. et al. Processing, mechanical characterization, and micrography of 3D-printed short carbon fiber reinforced polycarbonate polymer matrix composite material. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 107, n. 7–8, p. 3185–3205, 2020.
- HAKAMIVALA, A. et al. Parametric process optimization to improve the accuracy and mechanical properties of 3D printed parts. **MRS Advances**, v. 4, n. 24, p. 1383–1392, 2019.
- HOU, T. et al. Ultimate Tensile Strength in Fused Deposition Modeling Considering Process Parameters of Flow Rate and Printing Head Speed. **Proceedings - 12th International Conference on Reliability, Maintainability, and Safety, ICRMS 2018**, p. 111–116, 2018.
- KAMOONA, S. N.; MASOOD, S. H.; MOHAMED, O. A. An investigation on impact resistance of FDM processed Nylon-12 parts using response surface methodology. **AIP Conference Proceedings**, v. 1859, 2017.

KUMAR, N. et al. The effect of process parameters on tensile behavior of 3D printed flexible parts of ethylene vinyl acetate (EVA). **Journal of Manufacturing Processes**, v. 35, n. August, p. 317–326, 2018.

KUMAR, N.; KUMAR JAIN, P. Analysing the influence of raster angle, layer thickness and infill rate on the compressive behaviour of EVA through CNC-assisted fused layer modelling process. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science**, v. 0, n. 0, p. 1–10, 2019.

LAMBIASE, F.; GENNA, S.; LEONE, C. Laser finishing of 3D printed parts produced by material extrusion. **Optics and Lasers in Engineering**, v. 124, n. July 2019, p. 105801, 2020.

LANZOTTI, A. et al. The impact of process parameters on mechanical properties of parts fabricated in PLA with an open-source 3-D printer. **Rapid Prototyping Journal**, v. 21, n. 5, p. 604–617, 2015.

MOHAMED, O. A.; MASOOD, S. H.; BHOWMIK, J. L. Mathematical modeling and FDM process parameters optimization using response surface methodology based on Q-optimal design. **Applied Mathematical Modelling**, v. 40, n. 23–24, p. 10052–10073, 2016a.

MOHAMED, O. A.; MASOOD, S. H.; BHOWMIK, J. L. Analytical modelling and optimization of the temperature-dependent dynamic mechanical properties of fused deposition fabricated parts made of PC-ABS. **Materials**, v. 9, n. 11, 2016b.

MOHAMED, O. A.; MASOOD, S. H.; BHOWMIK, J. L. Experimental Investigations of Process Parameters Influence on Rheological Behavior and Dynamic Mechanical Properties of FDM Manufactured Parts. **Materials and Manufacturing Processes**, v. 31, n. 15, p. 1983–1994, 2016c.

MOHAMED, O. A.; MASOOD, S. H.; BHOWMIK, J. L. Characterization and dynamic mechanical analysis of PC-ABS material processed by fused deposition modelling: An investigation through I-optimal response surface methodology. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 107, p. 128–141, 2017a.

MOHAMED, O. A.; MASOOD, S. H.; BHOWMIK, J. L. Experimental investigation for dynamic stiffness and dimensional accuracy of FDM manufactured part using IV-Optimal response surface design. **Rapid Prototyping Journal**, v. 23, n. 4, p. 736–749, 2017b.

MOHAMED, O. A.; MASOOD, S. H.; BHOWMIK, J. L. Investigation of the influence of FDM operating parameters on dynamic force response using IV-optimal design and principal component analysis. **AIP Conference Proceedings**, v. 1859, 2017c.

MOHAMED, O. A.; MASOOD, S. H.; BHOWMIK, J. L. Process parameter optimization of viscoelastic properties of FDM manufactured parts using response surface methodology. **Materials Today: Proceedings**, v. 4, n. 8, p. 8250–8259, 2017d.

MORADI, M.; MEIABADI, S.; KAPLAN, A. 3D Printed Parts with Honeycomb Internal Pattern by Fused Deposition Modelling; Experimental Characterization and Production Optimization. **Metals and Materials International**, v. 25, n. 5, p. 1312–1325, 2019.

NAZAN, M. A. et al. Optimization of warping deformation in open source 3D printer using response surface method. **Proceedings of Mechanical Engineering**, n. March, p. 1–2, 2016.

NGUYEN, V. H. et al. Single and multi-objective optimisation of processing parameters for fused deposition modelling in 3D printing technology. **International Journal of Automotive and Mechanical Engineering**, v. 17, n. 1, p. 7542–7551, 2020.

NORANI, M. N. M. et al. 3D printing parameters of acrylonitrile butadiene styrene polymer

for friction and wear analysis using response surface methodology. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology**, 2020.

PANDA, B. et al. Experimental and numerical modelling of mechanical properties of 3D printed honeycomb structures. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 116, n. October 2017, p. 495–506, 2018.

PENG, A.; XIAO, X.; YUE, R. Process parameter optimization for fused deposition modeling using response surface methodology combined with fuzzy inference system. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 73, n. 1–4, p. 87–100, 2014.

RAJU, M. et al. A hybrid PSO–BFO evolutionary algorithm for optimization of fused deposition modelling process parameters. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 30, n. 7, p. 2743–2758, 2019.

RATH, U.; PANDEY, P. M. Experimental investigations into extrusion-based 3D printing of PCL/CIP composites for microwave shielding applications. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, n. 152, 2020.

RATHEE, S. et al. Effect of varying spatial orientations on build time requirements for FDM process: A case study. **Defence Technology**, v. 13, n. 2, p. 92–100, 2017.

SAAD, M. S. et al. Optimization of surface roughness in FDM 3D printer using response surface methodology, particle swarm optimization, and symbiotic organism search algorithms. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 105, n. 12, p. 5121–5137, 2019.

SAMYKANO, M. et al. Mechanical property of FDM printed ABS: influence of printing parameters. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 102, n. 9–12, p. 2779–2796, 2019.

SINGH, R. et al. Rapid Prototyping Journal Development of ABS based wire as feedstock filament of FDM for industrial applications"Rapid prototyping process selection using multi criteria decision making considering environmental criteria and its decision support system"An. **Rapid Prototyping Journal Iss Rapid Prototyping Journal Rapid Prototyping Journal Rapid Prototyping Journal**, v. 22, n. 2, 2016.

SOOD, A. K.; OHDAR, R. K.; MAHAPATRA, S. S. Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. **Materials and Design**, v. 31, n. 1, p. 287–295, 2010.

SRIVASTAVA, M. et al. An Integrated RSM-GA Based Approach for Multi Response Optimization of FDM Process Parameters for Pyramidal ABS Primitives. **Journal for Manufacturing Science and Production**, v. 16, n. 3, p. 201–208, 2016a.

SRIVASTAVA, M. et al. Experimental Investigation of Process Parameters for Build Time Estimation in FDM Process Using RSM Technique. **CAD/CAM, Robotics And Factories Of The Future**, v. 1, n. d, p. 830, 2016b.

SRIVASTAVA, M. et al. Integration of Fuzzy Logic with Response Surface Methodology for Predicting the Effect of Process Parameters on Build Time and Model Material Volume in FDM Process. **CAD/CAM, Robotics And Factories Of The Future**, v. 1, n. d, p. 830, 2016c.

SRIVASTAVA, M. et al. Multi-Response Optimization of Fused Deposition Modelling Process Parameters of ABS Using Response Surface Methodology (RSM)-Based Desirability Analysis. **Materials Today: Proceedings**, v. 4, n. 2, p. 1972–1977, 2017.

TOOTOONI, M. S. et al. Assessing the geometric integrity of additive manufactured parts

from point cloud data using spectral graph theoretic sparse representation-based classification. **ASME 2017 12th International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC 2017 collocated with the JSME/ASME 2017 6th International Conference on Materials and Processing**, v. 2, n. Cmm, p. 1–13, 2017.

VIJAY, Y. et al. Control of process settings for large-scale additive manufacturing with sustainable natural composites. **Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME**, v. 141, n. 8, 2019.

WANG, Z. et al. Formulation and Characterization of a 3D-Printed Cryptotanshinone-Loaded Niosomal Hydrogel for Topical Therapy of Acne. **AAPS PharmSciTech**, v. 21, n. 5, p. 1–13, 2020.

YANG, L. et al. Experimental Investigations for Optimizing the Extrusion Parameters on FDM PLA Printed Parts. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 28, n. 1, p. 169–182, 2019.

ZHANG, T. et al. Bending characteristics analysis and lightweight design of a bionic beam inspired by bamboo structures. **Thin-Walled Structures**, v. 142, n. April, p. 476–498, 2019.

ZOU, T. et al. Analyzing the uncertainty of simulation results in accident reconstruction with Response Surface Methodology. **Forensic Science International**, v. 216, n. 1–3, p. 49–60, 2012.